

甜瓜叶片对弱光转强光的生理响应*

吴 燕¹, 高青海^{2**}

(1. 安徽科技学院 建筑学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:【目的】探究设施栽培连续阴天后突然晴天对甜瓜生理特性的影响。【方法】以薄皮甜瓜甜宝(*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino cv. 'Tianbao')和厚皮甜瓜天使(*Cucumis melo* var. *reticulatus* cv. 'Tianshi')为试材,测定甜瓜叶片叶绿素含量、类胡萝卜素含量、光合速率、气孔导度、胞间CO₂浓度、Rubisco酶活性、抗氧化酶(SOD和POD)活性、丙二醛(MDA)含量等,研究去除遮阴恢复(由弱光转强光)过程中甜瓜叶片生理特性的变化。【结果】(1)与对照相比,去除遮阴后甜瓜叶片类胡萝卜素、Rubisco酶活性、光合速率、抗氧化酶活性升高,而叶绿素含量、MDA含量降低。(2)不同品种甜瓜表现出显著的生理差异,其中薄皮甜瓜甜宝对去除遮阴后环境变化的适应性较强,类胡萝卜素含量、抗氧化酶活性迅速升高,有效地保护了细胞膜和光合器官,光合速率恢复较快;而厚皮甜瓜天使则恢复较慢。【结论】在早春设施生产中,与厚皮甜瓜天使相比,薄皮甜瓜甜宝对光照变化的适应性更强。

关键词: 甜瓜; 光合速率; 遮阴; 抗氧化酶; 恢复

中图分类号: S 652.01

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2019)03-0466-07

Physiological Response of Melon Leaves from Weak Light to Strong Light

WU Yan¹, GAO Qinghai²

(1. College of Architecture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

2. College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: [Purpose] The study was to explore the effect of the sudden sunny day after continued cloudy days on the growth of melon. [Method] With *Cucumis melo* var. *makuwa* Makino cv. 'Tianbao' and *Cucumis melo* var. *reticulatus* cv. 'Tianshi' as materials, the physiological indices were observed, including chlorophyll content, carotenoid content, photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration, Rubisco activity, antioxidant enzymes (SOD and POD) activities, malondialdehyde (MDA) content, et al., to study the changes of physiological characteristics of leaves in the process of shading recovery (from weak light to strong light). [Result] (1) Compared with the control, the carotenoids contents, Rubisco activities, photosynthetic rate and antioxidant enzymes activities showed a tendency of increase, while chlorophyll and MDA contents decreased in the leaves of different melons after removing shade. (2) The different melons showed significant physiological differences, in which 'Tianbao' had a strong adaptability to the environment change after removing shade, the carotenoids contents and antioxidant enzyme activities increased rapidly, to protect the cell

收稿日期: 2017-12-02

修回日期: 2018-03-26

网络出版时间: 2019-03-15

*基金项目: 安徽省科技计划项目(1704a07020081); 安徽省教育厅重点项目(KJ2017A509)。

作者简介: 吴燕(1978—), 女, 山东禹城人, 硕士, 副教授, 主要从事蔬菜栽培生理研究。

E-mail: wuy@ahstu.edu.cn

**通信作者 Corresponding author: 高青海(1977—), 男, 山东金乡人, 博士, 教授, 主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail: gaoqh@ahstu.edu.cn

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201711078](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201711078)



membrane and photosynthetic organs effectively, and the photosynthetic rate recovered quickly, while ‘Tianshi’ recovered slowly. [Conclusion] In the early spring production, compared with ‘Tianshi’, ‘Tianbao’ had more adaptability to the illumination change.

Keywords: melon; photosynthetic rate; shade; antioxidant enzyme; recovery

设施栽培已成为中国重要的农业栽培模式之一,在栽培过程中经常遇到低温弱光等不良环境的影响,尤其在冬春季节常见的雨、雪和连续阴天等不良气候影响,造成设施内光照强度大幅度降低,不能满足作物生长发育的需要,导致产量降低和品质下降^[1]。研究表明:弱光条件改变了黄瓜叶绿体的超微结构,降低了其叶绿素对光能的吸收利用能力^[2],同时也降低了黄瓜叶绿素含量、光合速率、碳同化关键酶活性,进而也减少黄瓜干物质的积累^[3-4]。不同作物品种对弱光的响应差异较大,耐弱光的马铃薯在弱光条件下仍保持较高的光合速率、较低的光补偿点、较低的CO₂补偿点和较快的光诱导反应速度^[5]。也有研究表明:遮阴降低了甜瓜叶片的净光合速率和功能叶片的比叶重,植株通过增加自身叶片光合色素含量以增强对环境的适应性,缓解遮阴的影响^[6]。

甜瓜(*Cucumis melo*),属于葫芦科甜瓜属一年生蔓性草本喜光植物,是中国设施栽培面积较大的水果型蔬菜之一,在生产中经常遇到弱光环境^[7]。在早春设施栽培过程中,经常遇到连续阴天、低温等环境条件,而且连续阴天后突然晴天,光照强度和温度迅速变化,对作物生长均有一定的影响。近年来,有关遮阴弱光处理对作物生理及生长发育的影响研究较多,如黄瓜、番茄、辣椒和绿豆等作物,而对去除遮阴后光照加强、温度升高环境的适应性研究较少。为此本研究以不同甜瓜品种为材料,研究甜瓜叶片光合及生理特性对去除遮阴后环境变化的响应,旨在为甜瓜设施优质高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2017年2—6月在安徽科技学院蔬菜种植基地日光温室内完成,供试甜瓜材料2种,分别为薄皮甜瓜甜宝(*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino cv. ‘Tianbao’)和厚皮甜瓜天使(*Cucumis melo* var. *reticulatus* cv. ‘Tianshi’),种子由安徽科技学院园艺教研室提供。

1.2 试验处理

试验于2017年3月初开始育苗,精选饱满的种子,浸种催芽后播种于32孔的穴盘中,待幼苗长至三叶一心时,选择长势一致的幼苗按照45 cm×80 cm距离定植在日光温室栽培槽中,日常管理按照统一标准进行。待幼苗长至6叶时,开始遮阴处理,由于阴天时设施内的光照强度通常是晴天光照强度的25%左右,故本试验选用透光率为25%的黑色遮阴网进行遮阴处理,时间为7 d。之后取下遮阴网,给予植株设施内充分光照。试验处理期间,设施内最大光照强度为800 μmol/(m²·s),遮阴下最大光照强度为200 μmol/(m²·s),温度为(15~30)℃±3℃,相对空气湿度为(65%~80%)±5%。分别在去除遮阴后0、1、2、3和4 d进行相关指标的测定。选取未遮阴的甜瓜幼苗为对照,每个处理为50株幼苗,重复3次。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 甜瓜叶片叶绿素、类胡萝卜素含量的测定

甜瓜叶片叶绿素含量的测定参照LICHENTHALER等^[8]的方法,稍作调整。分别选取薄皮甜瓜甜宝和厚皮甜瓜天使各6株,每株取上数第二片功能叶,然后避开叶脉用6 mm金属打孔器打孔,取出叶圆片(30片)迅速放入装有95%乙醇的试管中,黑暗中浸泡36 h以上,分别在665、649和470 nm波长下比色,计算出叶绿素和类胡萝卜素含量。重复测定3次,取平均值。

1.3.2 甜瓜叶片光合速率、气孔导度、胞间CO₂浓度的测定

在晴天的上午,分别选取薄皮甜瓜甜宝和厚皮甜瓜天使各5株,选取同一叶位的功能叶片,每株3叶(第2、3和4叶),采用LI-6400光合仪在晴天上午9:00于温室内测定供试材料的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和胞间CO₂浓度(C_i)。光和参数测定时,光照为人工光源,光照强度为600 μmol/(m²·s),温度为(28±2)℃。待仪器稳定后,每个处理选取5片叶,记录5组数据,取均值。

1.3.3 甜瓜叶片Rubisco酶活性的测定

取经过光照处理2 h后的甜瓜同一叶位的叶

片, 参照郑炳松^[9]的方法, 利用分光光度计测定 NADH₂ 被氧化后在 340 nm 波长下吸光度的变化值, 求出 Rubisco 酶的活力。

1.3.4 甜瓜叶片抗氧化酶 (SOD 和 POD) 活性及丙二醛 (MDA) 含量的测定

从恢复 0 d 起, 每天上午 10:00 取样, 每个处理分别取甜瓜幼苗 6 株, 并剪取上数第 2 片完全展开的叶, 进行抗氧化酶 (SOD 和 POD) 活性和丙二醛含量的测定。抗氧化酶 (SOD 和 POD) 活性测定参照李合生^[10]的方法, 丙二醛 (MDA) 含量参照 CAKMAK 等^[11]的方法。

1.4 数据分析

所有测定的数据均重复 3 次以上, 然后取平均值, 用 Microsoft Excel 2007 处理数据和作图, 用 SPSS 13.0 软件对数据进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的变化

由图 1 可知: 去除遮阴后设施内的环境变化对不同品种的甜瓜叶片叶绿素含量和类胡萝卜素含量均有不同程度影响。与对照相比, 去除遮阴

后甜瓜叶片叶绿素含量呈降低趋势, 但薄皮甜瓜甜宝叶绿素含量在处理第 3 天时达到最低 ($P<0.05$), 后稍有升高; 而厚皮甜瓜天使叶绿素含量在处理 4 d 时叶绿素含量达到最低值, 降低了 6.75%。去除遮阴后甜宝叶片类胡萝卜素含量迅速升高而后降低, 在处理 1 d 时含量最高为 420 $\mu\text{g/g}$ (FW), 而天使的类胡萝卜素含量在处理 3 d 时含量达到最高仅为 402 $\mu\text{g/g}$ (FW)。由此说明, 去除遮阴后甜瓜叶片叶绿素含量变化较为稳定, 类胡萝卜素含量变化较为剧烈, 其中甜宝恢复较快, 天使稍差。

2.2 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片光合速率的变化

由图 2 可知: 与对照相比, 去除遮阴后甜瓜叶片光合速率呈现升高的趋势。不同品种甜瓜叶片净光合速率升高速度差异较大, 其中薄皮甜瓜甜宝叶片光合速度恢复较快, 在处理 3 d 时达到 27.5 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 为对照处理的 96.5% ($P<0.05$); 而厚皮甜瓜天使叶片光合速率恢复较慢, 在处理 3 d 时达到 20.4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 仅为对照处理的 78.7%。由此说明, 甜宝叶片对去除遮阴后环境变化适应性较强, 光合作用恢复较快, 与对照差

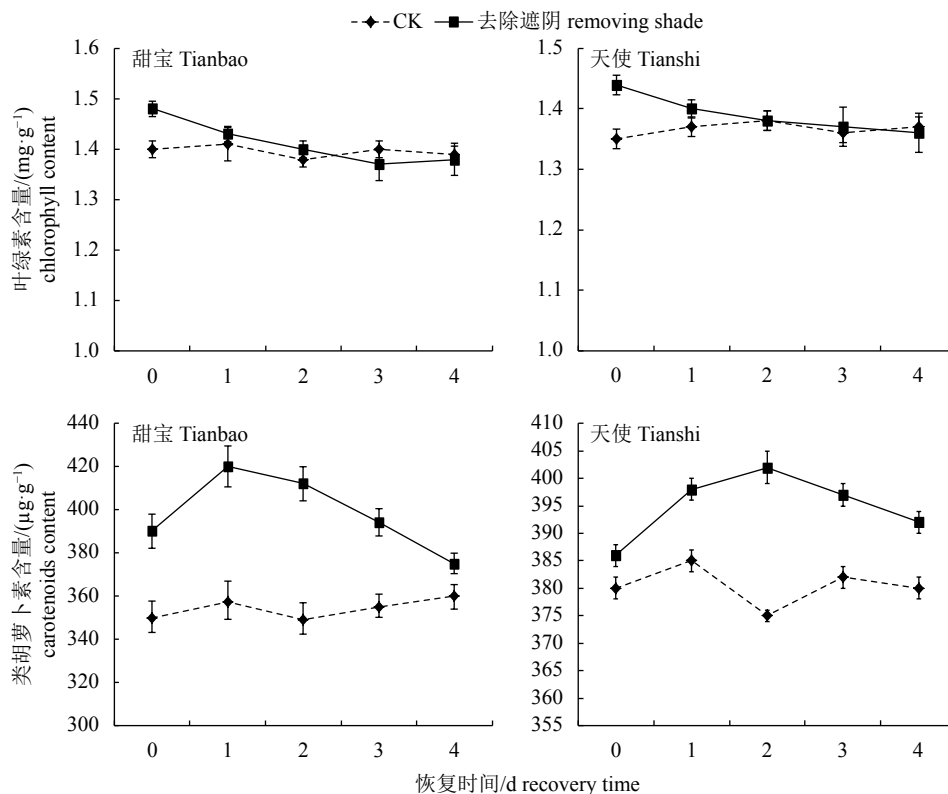


图 1 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片叶绿素和类胡萝卜素含量 (鲜重) 的变化

Fig. 1 Changes of chlorophyll and carotenoids contents (fresh weight, FW) in leaves of different melons after removing shade

异不大,天使叶片光合作用恢复较慢。

2.3 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片胞间 CO_2 浓度的变化

由图3可知:与对照相比,去除遮阴后甜瓜叶片胞间 CO_2 浓度呈现降低的趋势,其中薄皮甜瓜甜宝叶片胞间 CO_2 浓度呈现先降低后升高 ($P < 0.05$),在处理4 d时与对照处理的差异不大,而厚皮甜瓜天使叶片胞间 CO_2 浓度呈现一直降低的趋势。甜瓜叶片胞间 CO_2 浓度降低是由于叶片光合能力的升高,加速了胞间 CO_2 同化,甜宝和天使间差异不大。

2.4 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片气孔导度的变化

由图4可知:对照处理的甜瓜叶片气孔导度变化比较平稳,而去除遮阴处理的甜瓜叶片气孔导度逐渐增加,尤其是薄皮甜瓜甜宝叶片气孔导度增加较快,在处理3 d时,其叶片气孔导度高

于对照处理 ($P < 0.05$),为 $0.39 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;而厚皮甜瓜天使叶片气孔导度在处理4 d时与对照相比差异不大。由此说明,甜宝叶片对去除遮阴后环境变化适应性比天使强,恢复较快。

2.5 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片 Rubisco 酶活性的变化

由图5可知:去除遮阴处理后甜瓜叶片 Rubisco 酶活性呈现升高趋势,其中薄皮甜瓜甜宝叶片 Rubisco 酶活性升高较快(图5),在处理3 d时其叶片 Rubisco 酶活性为 $8.03 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,达到对照处理的 96.7% ($P < 0.05$);去除遮阴处理的厚皮甜瓜天使叶片 Rubisco 酶活性则升高较慢,在处理4 d时达到对照处理水平。由此说明,甜宝叶片对去除遮阴后环境变化适应性较强,叶片 Rubisco 酶活性恢复较快,与对照差异不大,而天使叶片 Rubisco 酶活性恢复较慢。

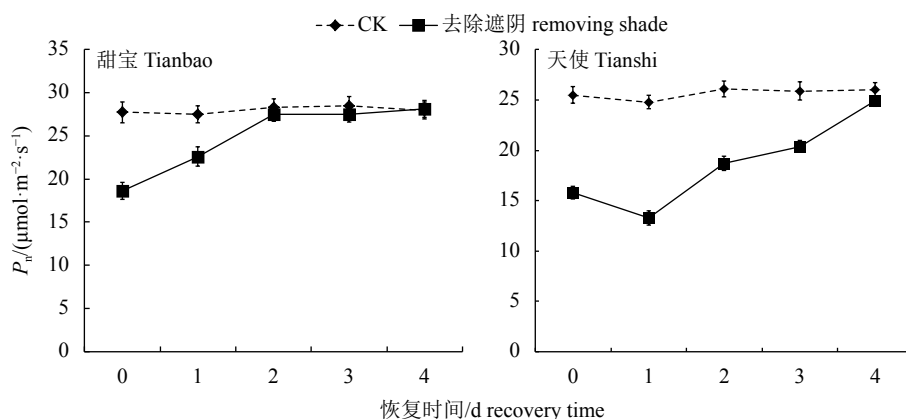


图2 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片净光合速率 (P_n) 的变化

Fig. 2 Changes of net photosynthetic rate (P_n) in leaves of different melons after removing shade

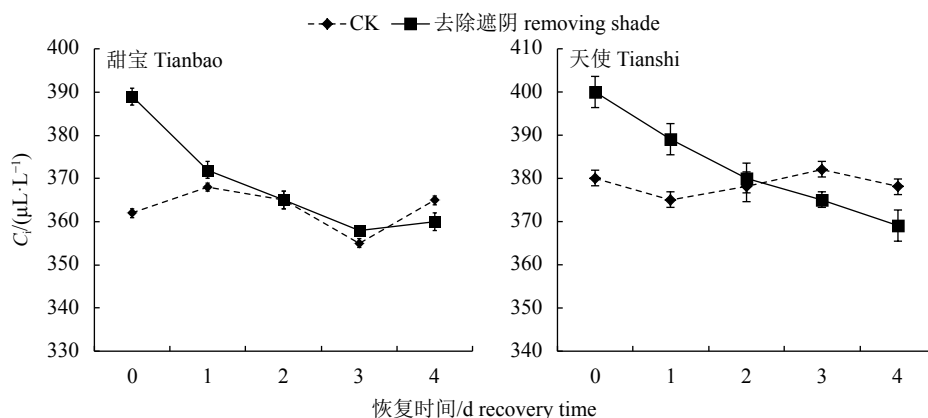


图3 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片胞间 CO_2 浓度 (C_i) 的变化

Fig. 3 Changes of intercellular CO_2 concentration (C_i) in leaves of different melons after removing shade

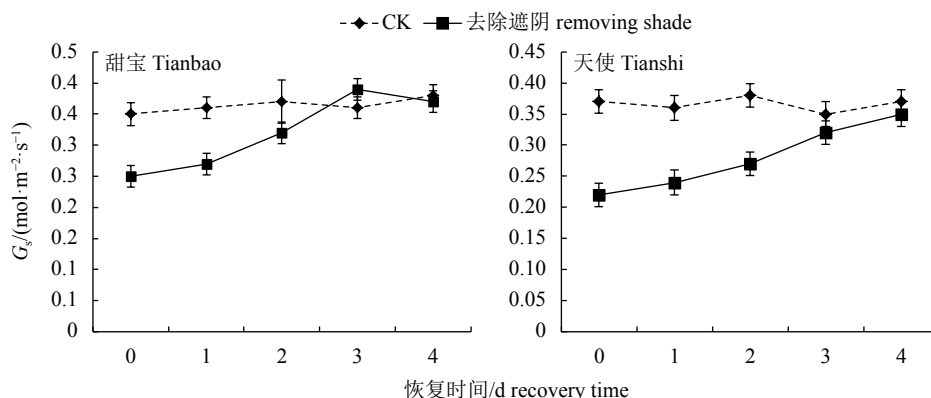


图 4 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片气孔导度 (G_s) 的变化

Fig. 4 Changes of stomatal conductance (G_s) in leaves of different melons after removing shade

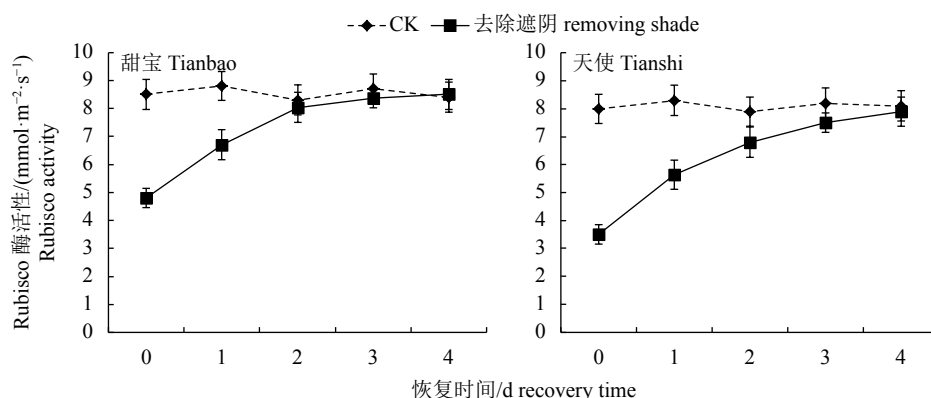


图 5 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片 Rubisco 酶活性的变化

Fig. 5 Changes of Rubisco activity in leaves of different melons after removing shade

2.6 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片 SOD 和 POD 活性的变化

由图 6 可见：与对照相比，去除遮阴后甜瓜叶片 SOD 和 POD 活性呈先升高后降低的趋势 ($P < 0.05$)，其中薄皮甜瓜甜宝叶片 SOD 在处理 1 d 时活性达到最高值为 128.7 U/mg，POD 在处理 2 d 时达到最高为 60.1 U/mg；而厚皮甜瓜天使叶片 SOD 和 POD 活性变化相对平稳，其活性最高分别为 105.4 和 53.3 U/mg。

由此说明，去除遮阴后，甜宝叶片可通过迅速提高 SOD 和 POD 活性来增强对去除遮阴后环境变化适应能力，因此恢复较快，而天使叶片 SOD 和 POD 活性升高较慢，则对环境适应也较慢。

2.7 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片 MDA 含量的变化

由图 7 可知：与对照相比，去除遮阴后甜瓜叶片 MDA 含量呈现降低趋势，其中薄皮甜瓜甜宝叶片 MDA 含量降低较快，在去除遮阴后 3 d 时，其叶片 MDA 含量为 1.7 nmol/g (FW)，与对照

处理差异不大，而厚皮甜瓜天使叶片 MDA 含量为 2.3 nmol/g (FW)，显著高于甜宝叶片 ($P < 0.05$)。由此说明，甜宝叶片对去除遮阴后环境变化适应性较强，恢复较快，与对照差异不大，而天使叶片恢复较慢。

3 讨论

设施内的光照条件随着自然光照的变化而变化，光照的变化不仅影响设施内温度、水分、气体等环境，而且还显著影响设施内的作物生长发育^[12]。作物叶片对光照的变化较为敏感，叶片可以通过改变自身外部形态和内部生理代谢来适应光照的变化^[13-14]。研究表明：去除遮阴后，随着光照的增强，作物叶片叶绿素和类胡萝卜素含量均发生变化，如小麦幼苗经由弱光到强光的变化过程中，叶绿素含量逐渐降低^[15]。本试验结果表明：去除遮阴后甜瓜叶片叶绿素含量逐渐降低，而类胡萝卜素含量逐渐升高，且薄皮甜瓜甜宝类胡萝卜素含量显著高于厚皮甜瓜天使。这是由

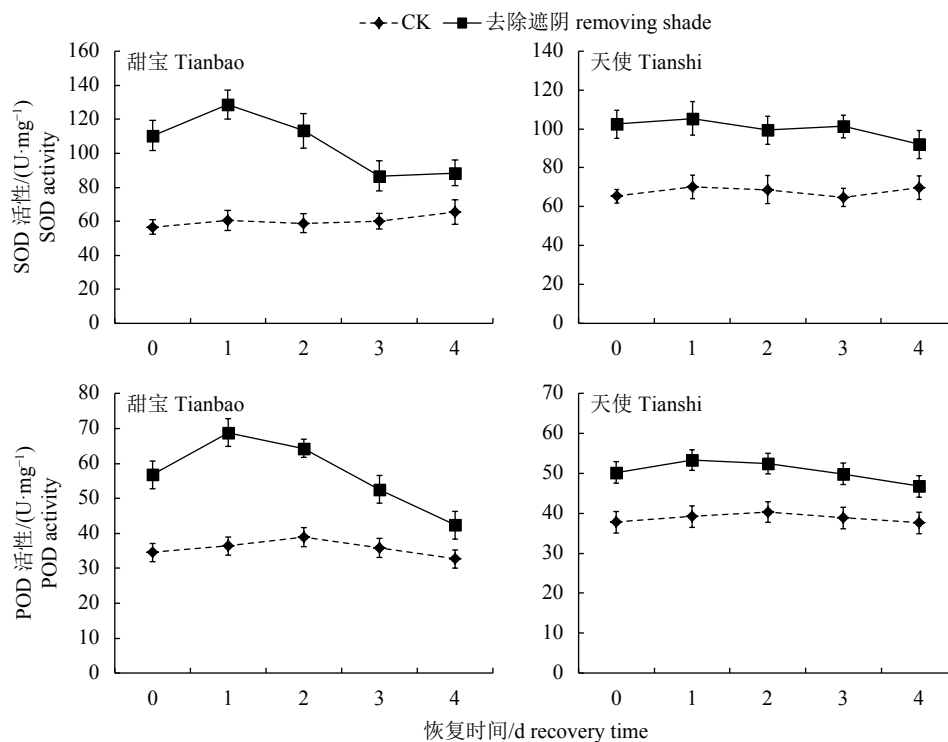


图6 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片 SOD 和 POD 活性的变化

Fig. 6 Changes of SOD and POD activities in leaves of different melons after removing shade

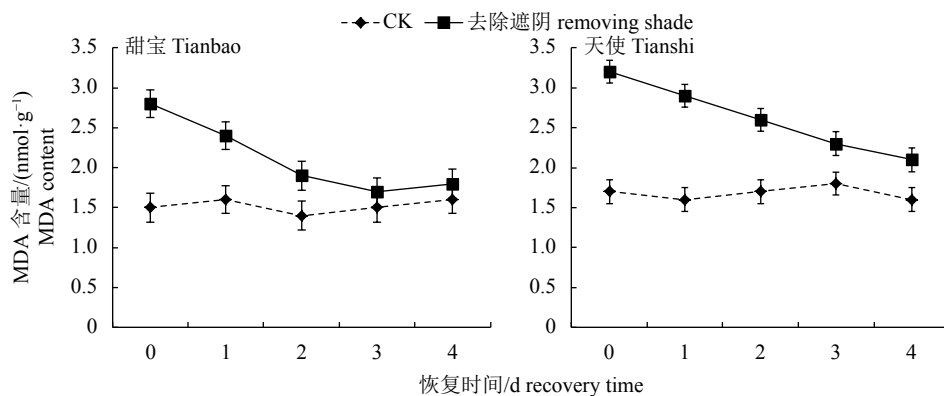


图7 去除遮阴后不同品种甜瓜叶片丙二醛含量(FW)的变化

Fig. 7 Changes of MDA content (FW) in leaves of different melons after removing shade

于叶绿素是作物叶片进行吸收光能并进行光能转化的重要器官,随着光照增强,作物不需要太多叶绿素,因此其含量逐渐降低;而类胡萝卜素是高等植物必不可少的一类色素物质,在植物光合作用中主要担负吸收过量光能、保护光合器官免受强光损坏的作用^[16],同时甜瓜为适应遮阴弱光环境条件,叶片叶绿素含量也有补偿性增加。因此在去除遮阴条件下,甜宝叶片为了更好地适应强光照,通过提高类胡萝卜素含量来保护光合器官(图1)。

在弱光下生长的作物突然暴露在强光下,往

往会导致作物发生光抑制,光合速率降低^[17-18]。本研究表明:在去除遮阴后1 d时甜瓜叶片 Rubisco 酶活性、光合速率均最低,随着甜瓜叶片对强光的适应,甜瓜叶片 Rubisco 酶活性、光合速率逐渐升高,薄皮甜瓜甜宝叶片光合速率升高较快而厚皮甜瓜天使升高较慢。这也揭示了设施栽培条件下甜宝叶片对光照变化的适应能力强,类胡萝卜素含量高,气孔导度增加快(图4),因此光合速率恢复较快。这在花生^[19]和马铃薯^[5]上也有类似的报道。

抗氧化酶活性和 MDA 含量的高低在一定范

围内可反映植株胁迫程度或对胁迫条件的适应能力^[20]。前人研究表明:大豆幼苗在解除弱光胁迫后叶片 MDA 含量呈现降低趋势^[21]。本研究结果表明:在设施栽培条件下去除遮阴后,甜瓜叶片抗氧化酶(SOD 和 POD)活性迅速升高,随着处理时间延长而后降低,尤其是薄皮甜瓜甜宝 SOD 和 POD 活性显著高于对照处理,叶片 MDA 含量也逐渐降低,在处理 3 d 时与对照差异不大;而厚皮甜瓜天使叶片保护酶活性较低,叶片 MDA 含量在处理 4 d 时达到对照水平。这进一步揭示了设施栽培条件下,甜宝叶片可通过迅速提高自身抗氧化酶活性来缓解对细胞膜的伤害,对去除遮阴后环境适应能力较强,而天使稍差。李宏伟等^[15]在小麦幼苗从弱光到强光适应过程的研究也有类似的结果。

本研究比较了不同品种的甜瓜叶片对由弱光向强光转变过程适应的生理特点,薄皮甜瓜对其光照变化适应性较强,可能是由于起源地环境条件对其长期影响的结果,在叶片形态、生理等方面与厚皮甜瓜发生较大差异。具体两种不同品种甜瓜的光响应差异及其机制还需进一步研究。

4 结论

设施栽培去除遮阴后,甜瓜的光合作用及生理代谢发生较大的变化,表现出叶绿素含量和 MDA 含量等降低,而类胡萝卜素、光合速率、抗氧化酶活性等升高,不同品种甜瓜表现出显著的生理差异,其中薄皮甜瓜对去除遮阴后环境变化适应性较强,类胡萝卜素含量、抗氧化酶活性迅速升高,有效地保护了细胞膜和光合器官,光合速率恢复较快;而厚皮甜瓜则恢复较慢,因此在早春设施生产中,与厚皮甜瓜相比,薄皮甜瓜对光照和温度变化的适应性更强。

[参考文献]

- [1] 翁忙玲,程慧林,姜卫兵.弱光对园艺植物光合特性及生长发育影响研究进展[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2007,28(3):279. DOI: 10.3969/j.issn.1009-3575.2007.03.063.
- [2] 孙建磊,王崇启,肖守华,等.弱光对黄瓜幼苗光合特性及 Rubisco 酶的影响[J].核农学报,2017,31(6):1200. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2017.06.1200.
- [3] 梁文娟,王美玲,艾希珍,等.黄瓜幼苗光合作用对亚适温弱光胁迫的适应性[J].农业工程学报,2008,24(8):240. DOI: 10.3321/j.issn:1002-6819.2008.08.053.
- [4] 徐晓昀,郁继华,颜建明,等.2,4-表油菜素内酯对亚适温弱光下黄瓜幼苗光合特性和抗氧化系统的影响[J].核农学报,2017,31(5):979. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2017.05.0979.
- [5] 李彩斌,郭华春.马铃薯耐弱光基因型在遮阴条件下的光合和荧光特性分析[J].中国生态农业学报,2017,25(8):1181. DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.170177.
- [6] 安翠香,杨世梅,纪海波,等.遮阴对甜瓜叶片光合特性的影响[J].西北植物学报,2012,32(2):342. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4025.2012.02.020.
- [7] 马双武,刘君璞.甜瓜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [8] LICHTENTHALER H K, GITELSON A, LANG M. Non-destructive determination of chlorophyll content of leaves of a green and an aurea mutant of tobacco by reflectance measurements[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 148: 483. DOI: 10.1016/s0176-1617(96)80283-5.
- [9] 郑炳松.现代植物生理生化研究技术[M].北京:气象出版社,2006.
- [10] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [11] CAKMAK I, MARSCHNER H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves[J]. Plant Physiology, 1992, 98(4): 1222. DOI: 10.1104/pp.98.4.1222.
- [12] 曹凯,于捷,叶林,等.暗前适宜 LED 远红光光照强度促进设施番茄种苗生长发育[J].农业工程学报,2016,32(8):171. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.08.024.
- [13] POORTER L, BONGERS F. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species[J]. Ecology, 2006, 87(7): 1733. DOI: 10.1890/0012-9658(2006)87[1733:LTAGPO]2.0.CO;2.
- [14] WU Y S, GONG W Z, YANG F, et al. Responses to shade and subsequent recovery of soya bean in maize-soya bean relay strip intercropping[J]. Plant Production Science, 2016, 19(2): 206. DOI: 10.1080/1343943X.2015.1128095.
- [15] 李宏伟,李滨,郑琪,等.小麦幼苗从低光到强光适应过程中光合和抗氧化酶变化[J].作物学报,2010,36(3):449. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2010.00449.
- [16] 朱运钦,乔改梅,王志强.植物类胡萝卜素代谢调控的研究进展[J].分子植物育种,2016,14(2):471. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1469.2011.06.008.
- [17] 周连杰,谢彦庆,徐文,等.去除遮阴后自然强光对小偃 54 和 8602 及其杂交后代光合特性的影响[J].作物学报,2015,41(5):813. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2015.00813.
- [18] 杨兴洪,邹琦,王玮.遮阴棉花转入强光后光合作用的光抑制及其恢复[J].植物学报,2001,43(12):1255. DOI: 10.3321/j.issn:1672-9072.2001.12.009.
- [19] 张昆,万勇善,刘凤珍,等.花生幼苗光合特性对弱光的响应[J].应用生态学报,2009,20(12):2989. DOI: 10.13287/j.1001-9332.2009.0448.
- [20] 杜成凤,刘天学,蒋寒涛,等.弱光胁迫及光恢复对玉米幼苗活性氧代谢的影响[J].核农学报,2011,25(3):570.
- [21] 吴雨珊,龚万灼,刘鑫,等.苗期解除弱光胁迫后大豆恢复能力的生理评价[J].中国油料作物学报,2016,38(6):804. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2016.06.014.

责任编辑:何承刚