

不同补光时长对贮运暗胁迫下人参榕叶片生长和细胞膜的影响

陈小玲, 王 威, 张 瑶, 吴雪娥, 陈清西

(福建农林大学 园艺学院, 福建 福州 350002)

摘 要:以人参榕叶片为试材,研究了不同补光时长对贮运暗胁迫下人参榕叶片生长和细胞膜的影响。结果表明:不同补光时长处理的人参榕,随着贮运时间的延长,落叶率、黄化指数、丙二醛(MDA)含量、相对电导率(REC)均呈上升趋势。补光时间不同,上升的幅度也不同,总体变化趋势为补光时间越长,落叶率、黄化指数、MDA含量、REC增幅越小。比叶重(SLW)变化趋势相反。总体而言,光照 8、10、12 h/d 植株贮运效果较好,考虑成本及灯管发热量,人参榕贮运时最适补光时长为 8 h/d。

关键词:人参榕;暗胁迫;贮运;补光;叶片品质;细胞膜

中图分类号:Q 945.79 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)22-0165-05

人参榕(*Ficus microcarpa* L. f.)属桑科榕属植物,为福建省主要出口花卉品种,2010 年占全省花卉出口总额 33%^[1]。但由于较长时间断光、断水的海运环境(30 d 左右),易造成人参榕叶片黄化与脱落,影响到岸后的商品性状,给生产者带来较大的经济损失。长期的弱光或黑暗胁迫会引发膜脂质过氧化和改变膜透性,继而破坏植物细胞膜结构,抑制营养生长,从而导致叶片的黄化脱落^[2-4]。相对电导率(Relative conductivity, REC)和丙二醛(Malonaldehyde, MDA)含量常作为衡量植物细胞膜损伤程度的重要指标。因此,二者的变化与植株在弱

光或黑暗胁迫下受伤害程度密切相关。目前对人参榕贮运的研究主要集中在温度、基质、肥料、保水剂、植物生长调节剂和根结线虫等方面^[5-6],而对人参榕贮运期间光合生理的研究尚鲜见报道。该研究旨在通过探讨贮运期间不同补光时间对人参榕叶片形态及细胞膜的影响,摸索合适的补光时长,从而改善人参榕贮运期间叶片黄化脱落的问题,以期生产实践提供技术支持及一定的理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为符合出口要求的人参榕(接穗为泰国榕),于 2013 年 10 月 5 日购自漳州恒隆园艺有限公司,选择无病害、健壮、长势一致的人参榕植株,规格 200 g。

1.2 试验方法

试验于 2013 年 10 月 21 日至 11 月 20 日在室内进行,植株模拟贮运前浇透水 1 次,后置模拟集装箱的黑暗贮运环境(温度 16℃、湿度 65%),连续 30 d。补光光

第一作者简介:陈小玲(1989-),女,硕士研究生,研究方向为花卉生理生态。E-mail:928723907@qq.com.

责任作者:陈清西(1964-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事园艺植物栽培生理的教学与科研工作。E-mail:cqx0246@163.com.

基金项目:2013 年科技富民强县专项行动计划资助项目(财教[2013]144 号)。

收稿日期:2014-07-04

Abstract: Taking *Bletilla striata* as materials, the diurnal variation of photosynthetic in June, and August and October by using the Li-6400 photosynthetic system was studied and compared. The results showed that, diurnal variation of photosynthetic rate had a 'midday depression' phenomenon, and the photosynthetic rate in June was stronger when there was the strongest photosynthesis and the maximum value reached to $8.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ at 9:00. The maximum value in autumn was also at 9:00 reached to $5.81 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, and the photosynthetic rate in October was total low whose average value was only $3.31 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. There was a significant positive correlation between net photosynthetic rate and light intensity in June and October, and the photosynthetic rate of *Bletilla striata* mainly determined by stomata factors.

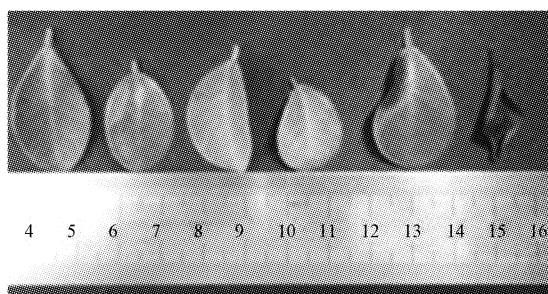
Keywords: *Bletilla striata*; photosynthetic characteristics; different months; diurnal variation

源采用 T₅ 荧光灯(灯管长 120 cm,功率为 28 W),每个处理 2 根荧光灯,照射到植株上的光强为 $(8 \pm 2) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (灯下 11 cm)。补光时长分别为 0、2、4、6、8、10、12 h/d。每处理 23 株,模拟贮运第 0、7、14、21、28 天观察叶片黄化脱落情况和测定相关指标。

1.3 项目测定

落叶率:贮运前统计植株总叶片数 N_1 ,每次取样前再分别统计每株植株的叶片数 N_2 。落叶率(%) = $(N_1 - N_2) / N_1 \times 100\%$ 。**黄化指数:**叶片黄化指数参照李英慧等^[7]、徐连生等^[8]的方法,将每周掉落的叶片黄化状态分为 6 级(图 1),即未黄化(1 级,绿色)、轻微黄化(2 级,绿黄

色)、中等黄化(3 级,黄绿色)、较重黄化(4 级,带有轻微的斑点)、严重黄化(5 级,带有褐色斑点)、枯萎(6 级)。取每株所有落叶,确定其黄化级数,黄化指数 = $[\sum(\text{黄化级值} \times \text{相应黄化级值叶片数}) / (\text{每株植株的总叶片数} \times 6)]$ 。**比叶重:**参照赵世杰^[9]的方法,略作改动。用打孔器($d = 1.5 \text{ cm}$)打取 15 个圆叶片,计算出叶片的总面积。105℃ 杀青 15 min 后,置于 55℃,直至衡重,称取叶片干重(DW)并计算,比叶重(SLW) = 叶片干重(mg)/叶面积(cm^2)。**细胞膜透性:**用相对电导率(REC)表示,参照李合生^[10]的方法,略作修改。**丙二醛(MDA)含量:**参照刘祖祺等^[11]的方法,采用硫代巴比妥酸(TBA)反应法测定。



注:从左至右依次为:未黄化(1 级,绿色)、轻微黄化(2 级,绿黄色)、中等黄化(3 级,黄绿色)、较重黄化(4 级,带有轻微的斑点)、严重黄化(5 级,带有褐色斑点)、枯萎(6 级)。

Note: From left to right: no chlorosis (First level, green), a little chlorosis (Second level, green-yellow), secondary chlorosis (Third level, yellow-green), serious chlorosis (Fourth level, leaf with a slight spots), more serious chlorosis (Fifth level, leaf with brown spots), withered (Sixth level).

图 1 人参榕落叶黄化等级的代表图

Fig. 1 Respective images of defoliation chlorosis index of *Ficus microcarpa*

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 软件整理、统计、绘图;用 DPS v7.05 软件进行单因素方差分析和最小显著差异法(LSD)比较不同处理组数据的差异。

2 结果与分析

2.1 不同补光时长对人参榕落叶率的影响

由图 2 可知,在不同补光条件下,随着贮运时间的延长,落叶率均呈上升趋势。但补光时间不同上升的幅度也不同,总体的趋势是补光时间越长,落叶率增加的程度越小。相同贮运天数下(除 0~7 d),补光 8~12 h/d 处理的落叶率均低于其它处理,在第 28 天时,与其它处理(落叶率 > 50%)差异极显著($P < 0.01$),其中光照 12 h/d 处理的落叶率最低,仅为 26.08%。在贮运的不同时间段,落叶率变化的幅度也不同,在 0~7 d 期间,各处理落叶率均接近 0,处理间无显著差异;而在 7~28 d 期间,补光 0~6 h/d 条件下的落叶率上升的幅度比补光 8~12 h/d 大,尤其在 21~28 d 期间,补光 0~6 h/d 快速升高,与其它处理差异极显著($P < 0.01$)。这说明短时间的暗胁迫对人参榕落叶率影响较小,通过一定时长的补光(光照 8~12 h/d),可显著降低长时间暗胁迫造成的落叶。

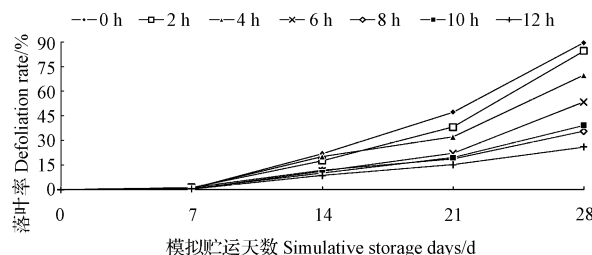


图 2 不同补光时长对人参榕落叶率的影响

Fig. 2 Effect of different supplement lighting time on defoliation rate of *Ficus microcarpa*

2.2 不同补光时长对人参榕叶片黄化指数的影响

叶片的黄化指数与落叶率的变化趋势一致。由图 3 可知,随着贮运时间的延长,不同补光处理的叶片黄化指数均呈上升趋势。在 0~7 d,各处理黄化指数接近 0,说明短期暗胁迫对人参榕叶片的黄化影响较小;在 14~28 d 期间,各处理在 14~21 d 期间黄化指数缓慢上升,21 d 后快速升高,其中补光 0、2 h/d 上升的幅度最大,第 28 天时其黄化指数均为 0.52。另外,在相同贮运天数下(除 0~7 d 外),补光时间越长黄化指数上升的幅度越小。第 28 天补光 8、10、12 h/d 的黄化指数分别为 0.25、

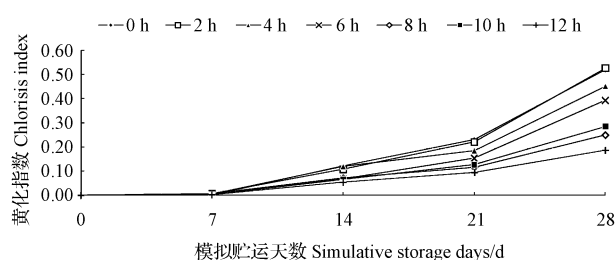


图3 不同补光时长对人参榕叶片黄化指数的影响

Fig. 3 Effect of different supplement lighting time on chlorosis index of the leaves *Ficus microcarpa*

0.28、0.19,与其它处理差异极显著($P<0.01$),说明适当的补光处理有利于降低黄化指数,延缓叶片黄化脱落。

2.3 不同补光时长对人参榕叶片比叶重的影响

比叶重是衡量叶片质量的一个重要指标,反映光合产物积累及分配趋势。比叶重与落叶率、黄化指数呈相反的变化趋势。由图4可知,随着贮运时间的延长,不同处理比叶重均呈下降趋势。于贮运0 d相比,第28天补光0~6 h/d SLW 分别下降39%、36%、34%、30%,与其它处理差异极显著($P<0.01$),说明补光8~12 h/d可有效延缓贮运黑暗胁迫下人参榕叶片光合产物的消耗。

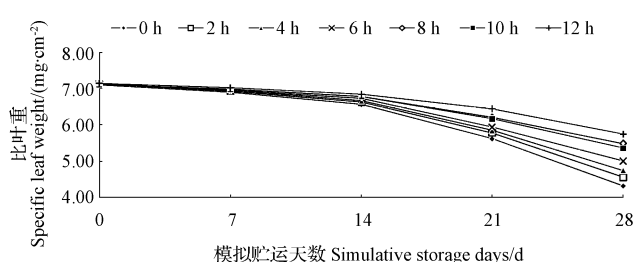


图4 不同补光时长对人参榕叶片比叶重(SLW)变化的影响

Fig. 4 Effect of different supplement lighting time on specific leaf weight of the leaves of *Ficus microcarpa*

2.4 不同补光时长对人参榕叶片相对电导率(REC)的影响

相对电导率(REC)是描述细胞膜透性的重要指标之一,当植株处于逆境胁迫时容易造成其细胞膜透性的

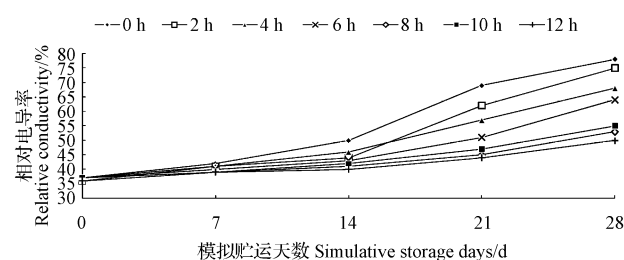


图5 不同补光时长对人参榕叶片相对电导率(REC)变化的影响

Fig. 5 Effect of different supplement lighting time on relative conductivity of the leaves of *Ficus microcarpa*

改变或丧失,导致细胞内的电解质往外渗,REC上升。由图5可知,补光时间越短,贮运时间越长,REC越高,在贮运14~28 d期间,补光0~6 h/d与8~12 h/d差异显著($P<0.05$)。贮运第28天,补光0~12 h/d处理的REC分别为78%、75%、68%、64%、53%、55%、50%,说明贮运补光处理可有效降低对人参榕叶片细胞膜损伤,且随着补光时间延长,效果更明显。

2.5 不同补光时长对人参榕叶片丙二醛(MDA)含量的影响

丙二醛(MDA)是植株处于逆境胁迫时膜脂过氧化作用形成的重要产物之一,其大小反映膜脂过氧化程度。MDA含量与REC变化趋势一致。由图6可知,随着贮运时间延长,不同处理的人参榕叶片MDA含量均呈上升趋势,在0~14 d,MDA含量变化不明显,而在14~28 d,MDA含量快速上升,表明短时间黑暗胁迫对人参榕膜脂过氧化影响较小。此外,补光时间越长MDA含量越低,贮运第28天,补光8~12 h/d时,MDA含量为18.27~19.69 $\mu\text{mol/g}$ FW,显著($P<0.05$)低于其它处理。由此可见,贮运期适当补光处理可抑制活性氧自由基积累,减轻膜脂过氧化,从而降低MDA含量。

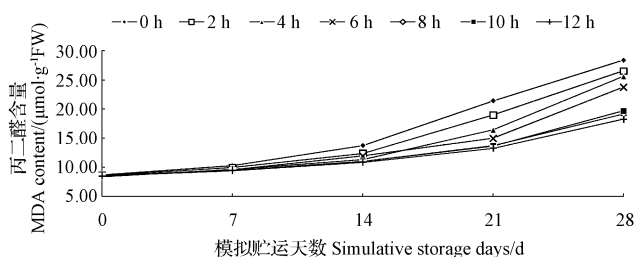


图6 不同补光时长对人参榕叶片MDA含量变化的影响

Fig. 6 Effect of different supplement lighting time on malonaldehyde content of the leaves of *Ficus microcarpa*

3 讨论

叶片脱落是植株衰老的一个重要表现,它既依赖于本身的生长发育进程,又受到外界环境的影响,如光照、温度、水分等因素^[12]。黑暗胁迫是诱导植株衰老的主要外源因素之一^[13-17]。研究表明,植株自然衰老与黑暗诱导衰老具有许多相同之处(超过75%基因表达一致)^[18]。该研究中,不同补光时长处理的人参榕植株,随着贮运时间的延长,落叶率均呈上升趋势,并在21~28 d上升速度加快,说明短时间的黑暗胁迫对人参榕叶片衰老影响较小。此外,在相同贮运天数下,补光时间越长,落叶率越低,当补光时长 ≥ 8 h/d时,下降最为显著。这说明补光措施可有效缓解贮运黑暗胁迫对人参榕植株叶片的影响,从而延缓植株叶片衰老进程。程瑞锋^[19]研究发现,黄瓜补光时间越长、光照强度越大,衰老脱落叶指数越小,与该研究结果一致。

目前认为,叶片黄化的主要原因有浇水施肥过多^[20]、干旱胁迫^[21]、缺 Fe、Mg 等微量元素^[22-23]、光照不足^[24]、病虫害^[25]等。该试验结果表明,随着日补光时间的延长,人参榕叶片的黄化指数呈下降趋势,说明植株叶片的黄化脱落主要是由于光照不足造成的,通过适当的补光处理,有利于植株的生长,能显著减轻植株叶片的黄化脱落,其中补光时长 ≥ 8 h/d 时,下降最为显著。这与栾征等^[26]在茶苗上的研究结果一致。

该试验发现,随着日补光时长增加,叶片 SLW 上升,与落叶率、黄化指数的变化趋势相反。说明适当的补光,有利于减缓贮运植株光合产物的消耗,增加植株叶干重,这与裴海霞等^[27]在德国鸢尾‘Royal touch’上的研究结果一致。

细胞膜是细胞的重要组成部分,长期逆境胁迫产生的 OH· 会跟膜的不饱和脂肪酸发生过氧化作用,形成的最终产物 MDA 不仅会对细胞膜结构造成严重的损害,还会引起膜脂间或膜脂与膜蛋白的交联,降低膜的流动性,最终破坏膜的半透性,导致电解质渗透增加,REC 上升^[28-29]。该研究中,随着贮运时间的延长,人参

榕叶片的 REC、MDA 含量变化趋势与叶片黄化指数、落叶率一致,说明在黑暗条件下,植株代谢紊乱发生膜脂过氧化,生物膜的半透性被破坏,电解质渗透增加,是导致叶片的黄化与脱落的主要原因之一。这与夏含嫣等^[30]研究结果一致。但通过 ≥ 8 h/d 的补光处理,可在一定程度上保护膜半透性,维持细胞膜系统的稳定性,从而显著减少叶片的黄化与脱落。这与李海云等^[31]在黄瓜幼苗上的研究结果一致。

目前,低温结合低光度补光处理是观叶植物较为通用的贮运方式^[32-33]。Kubota 等^[32]认为,光补偿点是较为合适的贮运补光光强。因此,该试验根据人参榕光补偿点 $6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ^[34],设置试验补光光强为 $(8 \pm 2) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,可最大程度地节省成本。试验发现通过补光措施可显著减缓人参榕叶片黄化与脱落,随着补光时间增加,植株的落叶率、黄化指数均呈下降趋势。综上所述,补光时长 ≥ 8 h/d 效果最好,可显著改善人参榕叶片黄化脱落(图 7),但考虑成本及灯管发热量等因素,最适补光时长为 8 h/d。

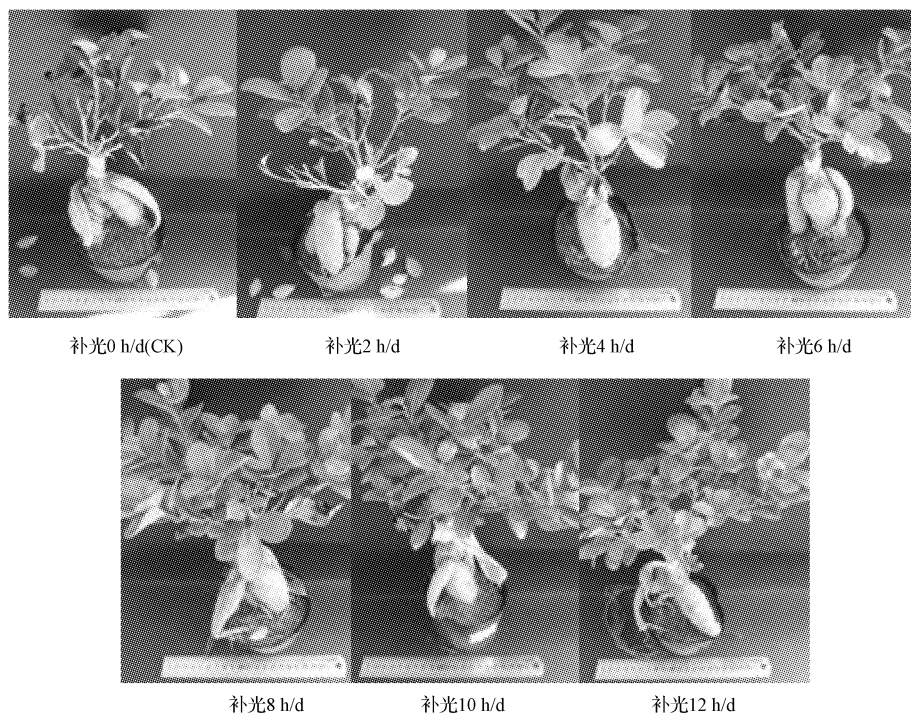


图 7 不同补光时长对人参榕落叶率影响的代表图

Fig. 7 Respective images of effect on defoliation rate of *Ficus microcarpa* treated with different supplement lighting time

综合考虑电费、荧光灯安装费用及荧光灯使用寿命,补光 8 h/d 贮运成本将增加 0.5 元/株,而由于贮运落叶造成人参榕到岸后养护或耗损,将增加的额外费用为 3 元/株,以目前人参榕出口情况,20 000 株/柜计算,预计将减少损失 50 000 元/柜,经济效益显著。因此,对

于长时间海运的出口人参榕,补光 8 h/d 在生产中具有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 柴喜堂. 福建省花卉出口步步攀高[J]. 中国花卉园艺, 2011(5): 11-12.
- [2] 赵二卫, 赵宸楠, 姚姗姗, 等. 黑暗诱导烟草衰老过程中质体色素代

谢规律研究[J]. 江西农业学报, 2010, 22(5): 1-4.

[3] 段青青. 短期光胁迫对西瓜幼苗叶片结构及其衰老的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.

[4] 夏含嫣. 黑暗及光照恢复对矮牵牛幼苗生理代谢的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.

[5] 韩娜. 人参榕贮运过程中落叶的原因及改善措施研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.

[6] 洪志方. 出口盆栽榕树贮运系统技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.

[7] 李英慧, 韩振海, 许雪峰. 苹果铁高效相关性状与黄化指数相关性的研究[J]. 园艺学报, 2004, 31(3): 350-352.

[8] 徐连生, 王磊, 王然, 等. 小金海棠实生后代耐缺铁性状分离分析[J]. 果树学报, 2012, 29(5): 770-775.

[9] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002.

[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, 2002: 164-165.

[11] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 371-372.

[12] Lim P O, Kim H J, Nam H G. Leaf senescence[J]. Annu Rev Plant Biol, 2007, 58: 115-136.

[13] 姚姗姗, 朱晓宇, 赵二卫, 等. 黑暗诱导烟草单个叶片衰老的研究[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(2): 36-39.

[14] Cheng X X, Dai X M, Zeng H M, et al. Gene expression involved in dark-induced leaf senescence in zoysia grass (*Zoysia japonica*) [J]. Plant Biotechnol Rep, 2009, 3: 285-292.

[15] Mishev K, Stefanov D, Ananieva K, et al. Different effects of dark treatment on pigment composition and photosystem I and II activities in intact cotyledons and primary leaves of *Cucurbita pepo* (zucchini) [J]. Plant Growth Regul, 2009, 58: 61-71.

[16] Keech O, Pesquet E, Ahad A, et al. The different fates of mitochondria and chloroplasts during dark-induced senescence in *Arabidopsis* leaves [J]. Plant Cell Environ, 2007, 30: 1523-1534.

[17] Kalina A, Evgueni D A, Snejana D, et al. Local induction of senescence by darkness in *Cucurbita pepo* (zucchini) cotyledons or the primary leaf induces opposite effects in the adjacent illuminated organ [J]. Plant Growth Regul, 2011, 65: 459-471.

[18] Graaff V D, Schwacke R, Schneider A, et al. Transcriptional analysis of *Arabidopsis* membrane transporters and hormone pathways during developmental and induced leaf senescence [J]. Plant Physiol, 2006, 141: 776-792.

[19] 程瑞峰. 外源补光解决温室黄瓜早衰问题的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.

[20] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 大田淹水对夏玉米叶片衰老特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1022-1028.

[21] 李金花, 孙敏善, 张春艳, 等. 转 *TPSP* 融合基因小麦的耐旱相关性状 [J]. 植物生理学报, 2012, 48(1): 81-84.

[22] 王翠玲, 杨晓明, 曹孜义. 缺铁黄化对葡萄生长及果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2007, 24(1): 26-29.

[23] 张广越, 彭良志, 淳长品, 等. 脐橙叶片镁、硼含量变化与缺素黄化的关系 [J]. 园艺学报, 2010, 37(8): 1317-1324.

[24] 秦玉芝, 邢铮, 邹剑锋, 等. 持续弱光胁迫对马铃薯苗期生长和光合特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2014, 47(3): 537-545.

[25] 余文贵, 赵统敏, 杨玛丽, 等. 番茄黄化曲叶病及其抗病育种研究进展 [J]. 江苏农业学报, 2009, 25(4): 925-930.

[26] 栾征, 曹前进, 成浩, 等. 冬季增温和延长光照对茶苗生长的影响 [J]. 浙江大学学报, 2007, 33(5): 519-524.

[27] 裴海霞, 石雷, 张金政, 等. 不同光周期对德国鸢尾 'Royal touch' 的花芽分化和光合作用的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(6): 477-481.

[28] 沈法富, 喻树迅, 范术丽. 棉花叶片衰老过程中激素和膜脂过氧化的关系 [J]. 植物生理与分子生物学报, 2003, 29(6): 589-592.

[29] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫 [J]. 植物学通报, 1989, 6(4): 211-217.

[30] 夏含嫣, 丁明, 别蓓蓓, 等. 黑暗对矮牵牛幼苗叶片抗氧化生理指标的影响 [J]. 上海交通大学学报, 2008, 26(1): 1-4.

[31] 李海云, 杨玉杰. 不同光周期对黄瓜幼苗抗冷性的影响 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(4): 115-119.

[32] Kubota C, Kozai T. Low-temperature storage of transplants at the light compensation point: Air temperature and light intensity for growth suppression and quality preservation [J]. Sci Hortic, 1995, 61: 193-204.

[33] Kubota C, Seiyama S, Kozai T. Manipulation of photoperiod and light intensity in low-temperature storage of eggplant plug seedlings [J]. Sci Hortic, 2002, 94: 13-20.

[34] 陆奎眉, 林金水, 陈金河. 7 种观叶小盆栽植物的光合特性与耐阴性研究 [J]. 热带作物学报, 2013, 34(4): 732-737.

Effect of Different Supplement Lighting Time on Growth and Cytomembrane of *Ficus microcarpa* Leaves Under Dark Stress During Storage

CHEN Xiao-ling, WANG Wei, ZHANG Yao, WU Xue-e, CHEN Qing-xi

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

Abstract: Taking *Ficus microcarpa* leaves as material, the effect of different supplement lighting time length on growth and cytomembrane of *Ficus microcarpa* under dark stress during storage was studied. The results showed that defoliation rate, chlorosis index, the relative conductivity (REC) and content of malonaldehyde (MDA) in leaves increased with the extension of storage time under different supplement lighting time length. But rising range was different among different treatments. The trend of defoliation rate, chlorosis index, REC and content of MDA in leaves increased less under the longer supplement lighting treatments. The trend of specific leaf weight (SLW) was opposite. In general, the supplement lighting time length of 8 h/d, 10 h/d, 12 h/d were best. Considering about the cost and lamp calorific value, the fitter artificial light time of *Ficus microcarpa* was 8 h/d.

Keywords: *Ficus microcarpa*; dark stress; storage; supplement light; leaf quality; cytomembrane