

弱光胁迫对不同生育期番茄光合特性的影响^{*}

朱延姝¹ 樊金娟¹ 冯 辉^{2**}

(¹ 沈阳农业大学生物科学技术学院, 沈阳 110866; ² 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110866)

摘 要 以耐弱光番茄品系 02S02、02S32 和不耐弱光番茄品系 02S52、02S57 为材料,以普通塑料大棚光照环境为对照(晴天 9:00—11:00 平均光强约为 $800\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),普通塑料大棚上覆盖一层黑色遮阳网模拟弱光环境(光强约为对照的 50%),研究弱光对 4 个番茄品系苗期、开花座果期、果实膨大期光合特性的影响.结果表明:弱光环境下,4 个番茄品系叶片光合速率在低光强下略有增加,超过此光强后大幅下降,不同品系在不同生育期的变化趋势一致,但变化幅度不同;叶片光补偿点和暗呼吸速率随发育进程逐渐降低,耐弱光品系的降幅均大于不耐弱光品系;叶片光饱和点、最大光合速率和表观量子效率在不同生育期均有所降低,但变化幅度不同,且与品系的弱光耐受性无一致性关系.

关键词 弱光 番茄 生育期 光合特性

文章编号 1001-9332(2010)12-3141-06 **中图分类号** S641.2 **文献标识码** A

Effects of low light on photosynthetic characteristics of tomato at different growth stages.

ZHU Yan-shu¹, FAN Jin-juan¹, FENG Hui² (¹ College of Biological Science and Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; ² College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2010, 21(12): 3141–3146.

Abstract: Taking low light tolerance tomato strains 02S02 and 02S32 and sensitive strains 02S52 and 02S57 as test objects, this paper studied their leaf photosynthetic characteristics at seedling stage, flowering–fruit-setting stage, and fruit-inflating stage under effects of low light. The experiment was carried out in a low light environment, a plastic tunnel covered with black shading nets, with the light intensity being about 50% of that in normal plastic tunnel (average light intensity $800\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ at sunny morning 9:00–11:00). For the four test tomato strains, their leaf photosynthetic rate in low light environment had a slight increase, but decreased greatly when the light intensity increased, with the change trends being similar but the change degree differed with strains and growth stages. The light compensation point and dark respiration rate decreased gradually with plant growth, and the decrement was larger for low light tolerance strains than for sensitive strains. The light saturation point, maximum photosynthetic rate, and apparent quantum yield decreased at all the growth stages, but the decrements differed with growth stages and were not consistent with the low light tolerability of test strains.

Key words: low light; tomato; growth stage; photosynthetic characteristic.

番茄(*Lycopersicon esculentum*)起源于南美洲热带及亚热带地区,是喜光蔬菜,其正常生长发育对光照条件要求较高.在我国北方番茄是秋、冬和早春设施栽培的重要蔬菜,由于栽培季节光照不足,加上覆盖物、灰尘等遮光的影响,经常发生弱光胁迫,严重影响了番茄产量和品质^[1–3].弱光是指环境光照强度持久或短时间显著低于植物的光饱和点,但不低

于限制其生存的光补偿点^[4].弱光对植物生长发育的影响与弱光环境下植物的光合特性有着密切的关系,因此,了解弱光环境下番茄的光合特性,对筛选和培育耐弱光番茄品种,以及进行耐弱光栽培具有重要意义.

目前关于弱光胁迫对植物光合特性的影响研究多针对低温弱光共同胁迫或为光照培养箱中的短期试验结果^[5–9].由于自然界中低温时常伴随弱光,似乎耐低温与耐弱光是协同的,但事实上,不同基因型的植株对低温和弱光的耐受性是不同的^[10],低温和

^{*} 辽宁省重点科技攻关项目(2008201007)资助.

^{**} 通讯作者. E-mail: fenghui111@263.net

2010-06-13 收稿,2010-09-23 接受.

弱光分别对植株有不同的单一作用,同时也有互作效应,而设施栽培中植株耐弱光比耐低温更重要^[11-12].我国北方冬季设施环境中光照不足常常伴随植株生长的整个时期,影响着植株不同生育期的生长发育.卜令铎等^[13]指出,苗期水分胁迫通过气孔限制降低玉米叶片净光合速率是光合作用下降的表现现象,与光合系统的实际受害程度不同步,应对不同生育时期进行全面研究;孙一荣等^[14]也指出,不同光环境下红松不同发育阶段的需光特性不同.可见,短期试验难以全面评估弱光对植物不同生育期光合作用的影响.为此,本试验以耐弱光性不同的番茄品系为试材,在设施内模拟单一弱光逆境,研究弱光胁迫对不同生育期番茄光合特性的影响,旨在为设施生产中番茄耐弱光栽培和耐弱光育种提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为经过 5 代以上自交选择、性状稳定的番茄品系 02S02、02S32、02S52 和 02S57. 其中,经过产量测定验证的品系 02S02、02S32 对弱光耐受性较强,品系 02S52、02S57 对弱光耐受性较差^[1].

1.2 试验设计

试验于 2007 年在沈阳农业大学园艺科研试验基地进行.3 月 10 日穴盘播种,营养基质育苗,基质为草炭和蛭石按体积 3 : 1 混合并掺入 5% 的腐熟鸡粪.4 月 20 日定植在规模和条件都相同的 2 个塑料大棚内.每个大棚中 4 个品系随机机组排列,3 次重复.每小区种植 16 株,株距 30 cm,行距 50 cm.定植 1 周后,以 1 个塑料大棚为对照(晴天 9:00—11:00 平均光强约为 $800\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),将另 1 个大棚上覆盖 1 层黑色遮阳网模拟弱光环境(光强约为对照的 50%).试验过程中对照和处理的水肥及温、湿度管理保持一致.

1.3 测定项目与方法

遮光处理 14 d 后,分别于番茄苗期(定植后 21 d)、开花座果期(定植后 35 d)、果实膨大期(定植后 56 d)在每个小区中随机取样 3 株,用 CIRAS-1 光合作用测定仪测定叶片光合参数,设定叶室温度为 $(28\pm1)\text{ }^{\circ}\text{C}$, CO_2 浓度为 $(380\pm10)\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ (钢瓶 CO_2 气源),空气相对湿度为 $(60\pm5)\%$,光强依次为 1600、1200、1000、800、600、400、300、200、150、100、50 和 $30\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,分别测定植株上数第 3 片功能叶的光合速率,并以光照强度为横坐标,光合速率为纵坐标,做光照强度-光合速率响应曲线,

采用二次多项式曲线模拟计算光饱和点,采用非直角双曲线模型模拟计算最大光合速率^[15-16],并对曲线的初始部分(光强 $<200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)进行线性回归,计算光补偿点、表观量子效率和暗呼吸速率^[17].

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理和分析,所有数据用平均值 \pm 标准差表示.

2 结果与分析

2.1 弱光胁迫下番茄叶片光强-光合速率响应曲线的变化

由图 1 可知,在低光强范围内,番茄功能叶片的光合速率随着光强的增加呈线性增加,超过一定光强(约 $300\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)后光合速率增加幅度减缓,而在光饱和点后光合速率则略有下降.与对照相比,生长在弱光环境中的番茄叶片光合速率在低光强范围内略有增加,而超过一定光强范围后则大幅下降.不同番茄品系在不同生育期的变化趋势一致,但变化幅度不同.

2.2 弱光胁迫下番茄叶片光补偿点和光饱和点的变化

光补偿点反映了植株对弱光的利用能力.由图 2 可知,在正常光照时,4 个番茄品系的光补偿点在不同生育期间相对稳定,其中品系 02S02、02S32 低于品系 02S52、02S57.在弱光胁迫下,各番茄品系光补偿点均下降,其中品系 02S02、02S32 的下降幅度大于品系 02S52、02S57,随着发育进程,各番茄品系光补偿点呈逐渐下降趋势.在苗期、开花座果期、果实膨大期,品系 02S02、02S32 的光补偿点分别为对照的 35%、27%、24% 和 33%、29%、24%;品系 02S52 和 02S57 的光补偿点分别为对照的 41%、50%、30% 和 47%、42%、38%.说明不同基因型番茄品系经过不同生育期的调节对弱光均产生了适应,而品系 02S02、02S32 的适应性更强,对弱光的利用能力更大.

光饱和点反映了植株对强光的利用能力.弱光处理后苗期各番茄品系光饱和点均下降,其中品系 02S02、02S32 下降幅度较大,均为对照的 85%;品系 02S52、02S57 下降幅度较小,分别为对照的 96% 和 90%.在开花座果期各番茄品系在弱光下光饱和点的变化趋势与苗期一致,但 4 个品系降低幅度均大于苗期,分别为对照的 74%、65%、88% 和 90%.在果实膨大期光饱和点逐渐恢复到与对照接近的水平,分别为对照的 88%、96%、89% 和 99% (图 2).

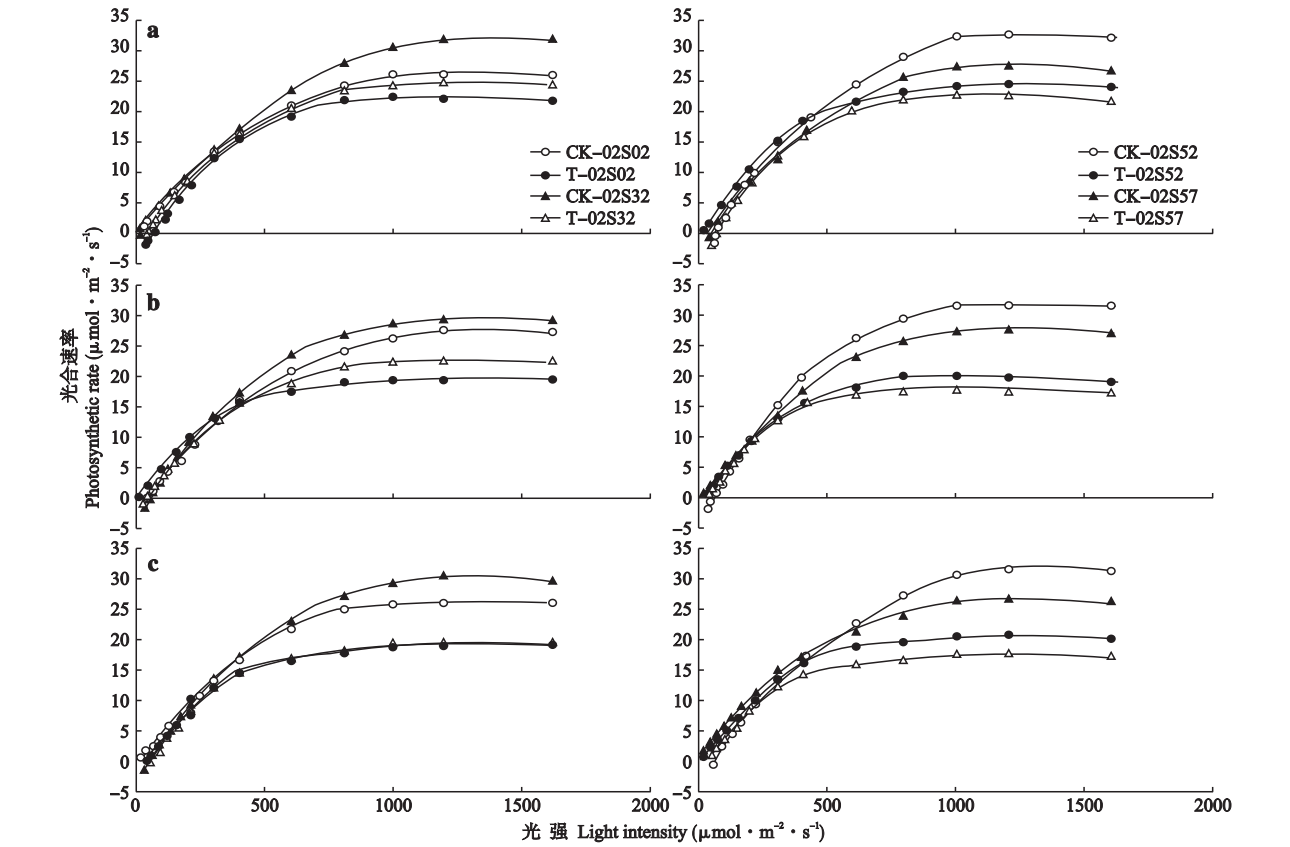


图1 弱光胁迫下番茄叶片光强-光合速率响应曲线的变化

Fig. 1 Change of light intensity-photosynthetic rate response curve in leaves of tomato under low light intensity stress.

CK:对照 Control; T:处理 Treatment. a) 苗期 Seedling stage; b) 开花座果期 Flowering-fruit-setting stage; c) 果实膨大期 Fruit-inflating stage. 下同 The same below.

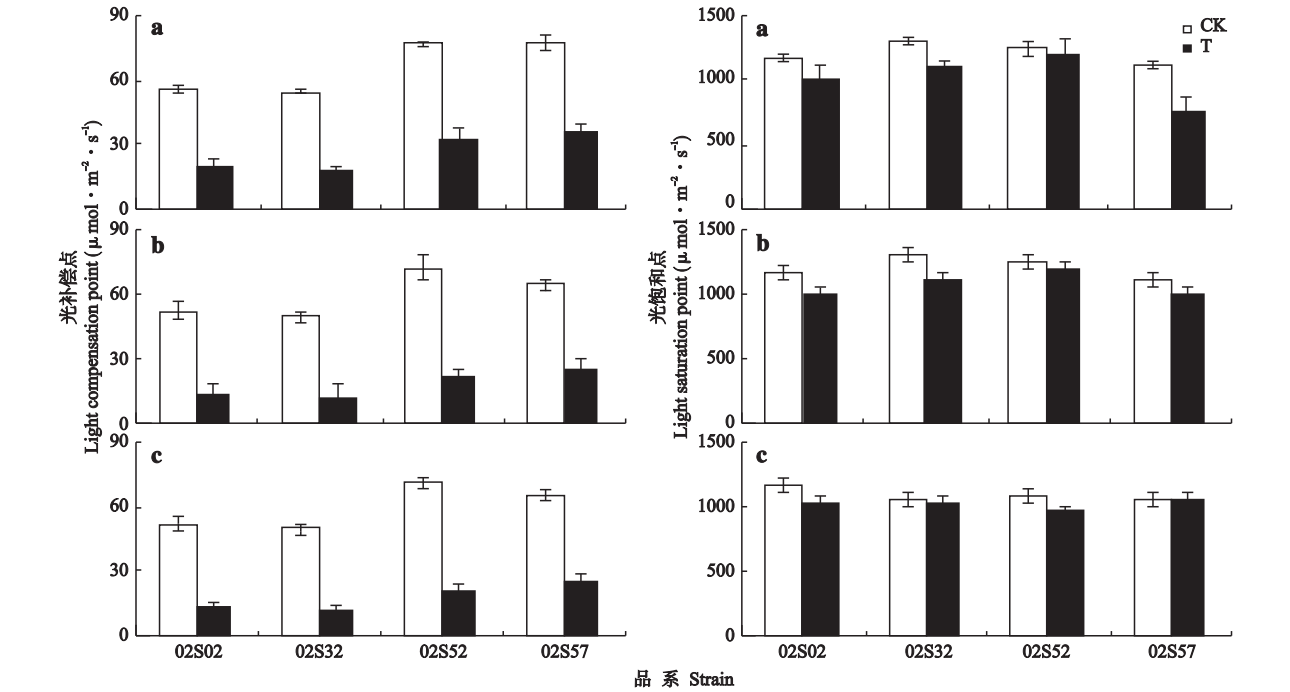


图2 弱光胁迫下番茄叶片光补偿点和光饱和点的变化

Fig. 2 Changes of light compensation point and saturation point in leaves of tomato under low light intensity stress.

2.3 弱光胁迫下番茄叶片最大光合速率的变化

最大光合速率是光饱和时的光合速率,反映了植株叶片的光合潜能.从图 3 可以看出,在正常光照下,各番茄品系在苗期、开花座果期和果实膨大期的最大光合速率趋于稳定,其中品系 02S32 的最大光合速率最高,在 3 个时期分别为 32.31、32.00 和 31.58 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;品系 02S57 最小,分别为 22.32、22.03 和 23.91 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;品系 02S02 和品系 02S52 居中,分别为 26.12、27.25、27.60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 27.63、29.20、27.16 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

弱光处理后,各番茄品系在 3 个时期的最大光合速率均下降,其中品系 02S02 和品系 02S52 在开花座果期降低幅度最大,分别为对照的 72% 和 52%;品系 02S32 和品系 02S57 在果实膨大期降低幅度最大,分别为对照的 67% 和 64%.苗期各番茄品系降低幅度相对较小,分别为对照的 89%、77%、74% 和 82%.

2.4 弱光胁迫下番茄叶片表观量子效率和暗呼吸速率的变化

表观量子效率是光合作用的光利用效率.从图 4 可以看出,弱光处理降低了各番茄品系不同生育期的表观量子效率,但不同品系在不同生育期的降

低幅度不同.在苗期品系 02S02、02S32 降低幅度大于品系 02S52、02S57,且两者在弱光下的绝对值也

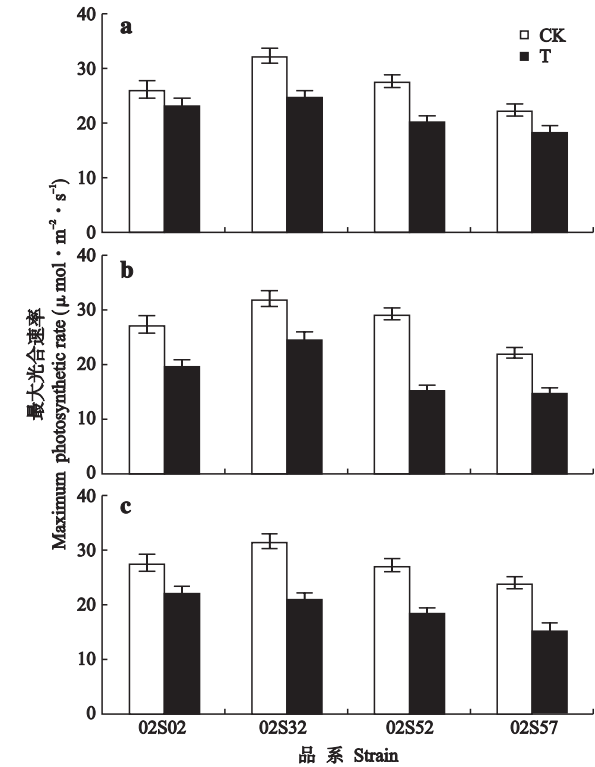


图 3 弱光胁迫下番茄叶片最大光合速率的变化
Fig. 3 Change of maximum photosynthetic rate in leaves of tomato under low light intensity stress.

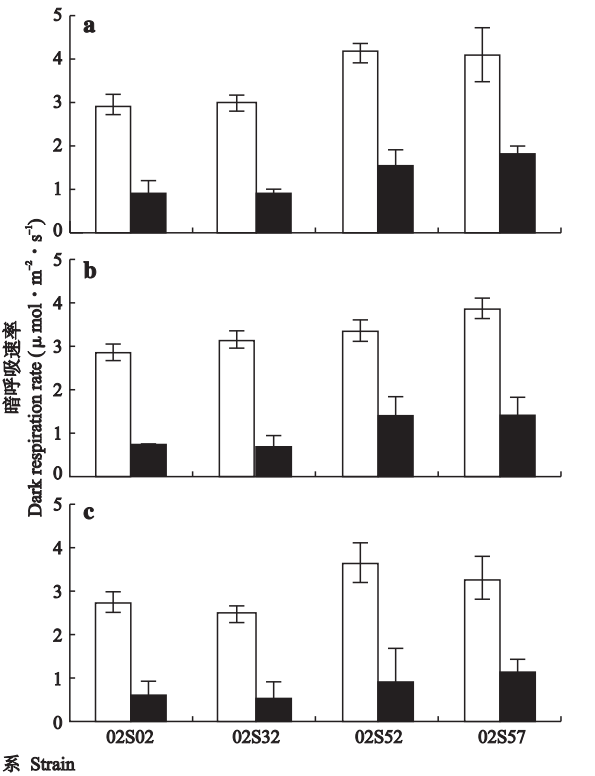
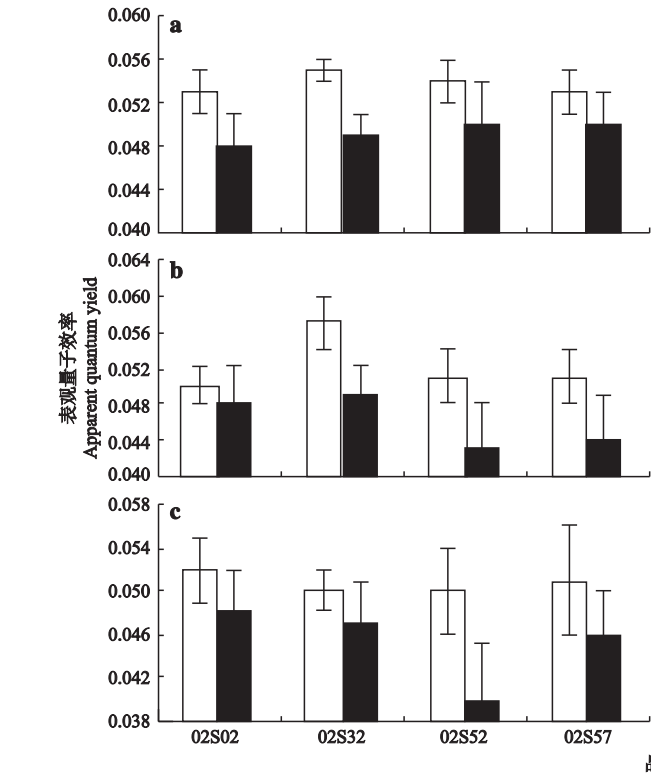


图 4 弱光胁迫下番茄叶片表观量子效率和暗呼吸速率的变化
Fig. 4 Changes of apparent quantum yield and dark respiration rate in leaves of tomato under low light intensity stress.

低于品系 02S52、02S57。在开花座果期和果实膨大期 4 个番茄品系表观量子效率的变化恰好与苗期相反,表现为品系 02S02、02S32 的降低幅度较小,绝对值较高。

暗呼吸是植株分解光合产物的生理过程,弱光下暗呼吸强意味着光合产物的积累将减少。正常光照时,品系 02S02、02S32 在不同生育期的暗呼吸速率均低于品系 02S52、02S57。弱光处理后,各番茄品系在不同生育期的暗呼吸速率均大幅度降低。随着发育进程,除品系 02S52 外,其他各品系暗呼吸速率均呈逐渐下降趋势,其中品系 02S02、02S32(分别为对照的 32%、26%、22% 和 29%、22%、22%) 的下降幅度高于品系 02S52、02S57(分别为对照的 38%、42%、24% 和 45%、37%、34%)(图 4)。

3 讨 论

光合作用的光补偿点和光饱和点是反映植物利用光能状况的两个指标。在环境条件不变时,光补偿点和光饱和点由植物内部因素决定,即与品系基因型有关;在环境条件变动时,二者是品系基因型与环境互作的综合表现。本试验中供试的 4 个番茄品系光补偿点在正常光照下在不同生育期稳定性均较好,充分体现了品系本身的特性。4 个番茄品系光补偿点在弱光环境下降低则说明其能够适应环境变化,在光照不足时加强对弱光的利用与需求。随着生长发育的进行,植株通过体内一系列的形态和代谢调节,逐渐降低光补偿点,逐步提高对弱光的利用能力。其中品系 02S02、02S32 在弱光下光补偿点的相对值和绝对值更低,这是两者耐弱光性强的表现之一。与对照相比,在弱光环境中 4 个番茄品系的光饱和点在各生育期均下降,表明弱光环境使植株对强光的利用能力减弱,在各生育期品系 02S52 和 02S57 光饱和点的降低幅度相对较小,说明其对强光的需求比品系 02S02 和 02S32 大,这是其对弱光适应性差的表现之一。

光饱和时的光合速率(即最大光合速率)也是植株特有的一个衡量光合作用强弱的指标。本试验中弱光胁迫下,各品系最大光合速率随着生长发育的进行逐渐下降,这可能是植株为适应弱光环境,逐渐调整自身功能,从而逐步丧失在强光下具有较强光合作用的潜能,即出现光合适应现象,这与 Gunderson 等^[18]和毛子军等^[19]的结论类似。这种现象可能是叶片中光合电子传递体和光合作用关键酶等的含量和活性都明显降低造成的^[20-21]。由于弱光环境

中不存在光饱和现象,因此,弱光下各品系最大光合速率的变化与其对弱光的耐受性之间无明显相关性。

植物受到环境胁迫时表观量子效率降低^[22],本试验也证明了这一点。而在同一环境中,植株表观量子效率高,说明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体多,利用弱光能力强^[23]。但本试验中弱光胁迫下品系 02S02 和 02S32 在苗期的表观量子效率降低幅度高于品系 02S52 和 02S57,与其耐弱光性不相符合,其原因尚待查明。开花座果期和果实膨大期品系 02S02 和 02S32 在弱光下表观量子效率的相对值和绝对值均高于品系 02S52 和 02S57,这与品系 02S02 和 02S32 的耐弱光性较强相匹配。弱光胁迫下暗呼吸速率下降是各品系对弱光的适应性反应,品系 02S02 和 02S32 暗呼吸速率下降幅度大于品系 02S52 和 02S57,这是其光合产物积累较多,最终导致产量降低较少的原因之一。

综上,弱光胁迫下不同基因型番茄品系在不同生育期功能叶片光合特性的变化趋势既有相似性又有差异性。弱光胁迫下,叶片光补偿点和暗呼吸速率随发育进程逐渐降低,耐性品系降低幅度较大;光饱和点、最大光合速率和表观量子效率在不同生育期也均降低,但不同生育期的变化幅度不同,且与品系的弱光耐受性无一致性。因此,在苗期快速鉴定番茄品系的弱光耐受性可以选择光补偿点和暗呼吸速率两个指标,在弱光胁迫下两个指标降低幅度大的品系耐弱光能力强。

参考文献

- [1] Zhu Y-S (朱延姝), Feng H (冯 辉), Gao S-S (高绍森). Effects of low light on growth and yield of tomato. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2006(2): 11-13 (in Chinese)
- [2] Warren W. Light interception and photosynthesis efficiency in some glasshouse crops. *Journal of Experimental Botany*, 1992, **43**: 363-373
- [3] Mao X-J (毛秀杰), Wang J-Y (王巨媛), Sun M (孙铭), et al. The change and correlation analyze of tomato major character in different illumination. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2006, **22** (12): 95-98 (in Chinese)
- [4] Zhan J-C (战吉成), Huang W-D (黄卫东), Wang L-J (王利军). Research of weak light stress physiology in plants. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 2003, **20**(1): 43-50 (in Chinese)
- [5] El-Gizawy AM, Comaa HM. Effect of different shading

- levels on tomato plants. I. Growth, flowering and chemical composition. *Acta Horticulturae*, 1992, **323**: 341–347
- [6] Huang W (黄伟), Ren H-Z (任华中), Zhang F-M (张福曼). Influences of low temperature and poor light on growth and photosynthesis of tomato seedling. *China Vegetables* (中国蔬菜), 2002 (4): 15–17 (in Chinese)
- [7] Lu F-C (鲁福成), Zhang J-F (张静芳), Zhang Z-G (张仲国). Effect of weak-light on growth of tomato seedling. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2002, **12**(4): 44–88 (in Chinese)
- [8] Wang X-W (王学文), Wang Y-J (王玉珏), Fu Q-S (付秋实), *et al.* Effects of low light stress on morphological trait, physiological characters and leaf ultrastructure of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2009, **24**(5): 144–149 (in Chinese)
- [9] Wang H-T (王洪涛), Ai X-Z (艾希珍), Zheng N (郑楠), *et al.* Effects of graft on lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities of *Capsicum annum* seedlings under low temperature and weak light intensity. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(5): 1289–1294 (in Chinese)
- [10] Zhang F-M (张福曼), Ma G-C (马国成). Influence of ecological environment on photosynthesis in cucumbers in solar-greenhouses during different season. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 1995, **10**(1): 70–75 (in Chinese)
- [11] Liebig HP, Krug H. Response of cucumber to climate. *Acta Horticulturae*, 1991, **287**: 47–50
- [12] Li M-R (李美茹), Liu H-X (刘鸿先), Wang Y-R (王以柔). Effects of low temperature and light on the photosynthetic electron transport activity in cucumber seedling cotyledons. *Acta Phytophysiologica Sinica* (植物生理学报), 1993, **19**(1): 23–30 (in Chinese)
- [13] Bu L-D (卜令铎), Zhang R-H (张仁和), Chang Y (常宇), *et al.* Response of photosynthetic characteristics to water stress of maize leaf in seedlings. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(5): 1184–1191 (in Chinese)
- [14] Sun Y-R (孙一荣), Zhu J-J (朱教君), Yu L-Z (于立忠), *et al.* Photosynthetic characteristics of *Pinus koraiensis* seedlings under different light regimes. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2009, **28**(5): 850–857 (in Chinese)
- [15] Graham DF. Models of photosynthesis. *Plant Physiology*, 2001, **125**: 42–45
- [16] Liu Y-F (刘宇锋), Xiao L-T (萧浪涛), Tong J-H (童建华), *et al.* Primary application on the non-rectangular hyperbola model for photosynthetic light-response curve. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2005, **21**(8): 76–79 (in Chinese)
- [17] Tang Z-C (汤章城). *Modern Plant Physiology Experiments Manual*. Beijing: China Science & Technology Press, 1999 (in Chinese)
- [18] Gunderson CA, Wullschlegel SD. Photosynthetic acclimation in trees to rising atmospheric CO₂: A broader perspective. *Photosynthesis Research*, 1994, **39**: 369–388
- [19] Mao Z-J (毛子军), Zhao X-Z (赵溪竹), Liu L-X (刘林馨), *et al.* Photosynthetic physiological characteristics in response to elevated CO₂ concentration of three larch (*Larix*) species seedlings. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2010, **30**(2): 317–323 (in Chinese)
- [20] Xu D-Q (许大全). *Photosynthetic Efficiency*. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 2002 (in Chinese)
- [21] Zhu Y-S (朱延姝), Feng H (冯辉). Change of light requirement characteristics of tomato seedling under low light density. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2007, **22**(5): 76–78 (in Chinese)
- [22] Xiao L-T (萧浪涛), Wang S-G (王三根). *Plant Physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 2004 (in Chinese)
- [23] Li H-S (李合生). *Modern Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2002 (in Chinese)

作者简介 朱延姝,女,1972年生,博士,副教授.主要从事植物光合生理和抗性生理生态研究. E-mail: zhu-yanshu@163.com

责任编辑 张凤丽