

温度对匍匐剪股颖2个品种光合特性和 抗氧化酶活性的影响

戚甫友¹, 赵 钢²

(1 仲恺农业工程学院 园艺与园林学院, 广东 广州 510225; 2 仲恺农业工程学院 生命科学学院, 广东 广州 510225)

摘要: 选用匍匐剪股颖 *Agrostis stolonifera* 品种粤选一号和 Penncross 为试验材料, 在人工控制环境 18、25、30、35 和 40 °C 温度下处理 24 h 后, 测定其净光合速率、叶片蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度及超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性等 6 个光合生理指标, 结果表明: 2 个品种的净光合速率随温度的升高而降低; 30 °C 温度处理下, 冷季型草坪草净光合速率的变化由气孔因素决定, 35 和 40 °C 时由非气孔因素控制; 短期亚高温胁迫下, 植物可通过调节自身的相关反应来抵抗高温带来的伤害, 避免净光合速率下降过快。

关键词: 温度胁迫; 草坪草; 光合特性; 匍匐剪股颖

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2011)01-0063-05

Effects of Temperature on Photosynthetic Characteristics and Antioxidant Enzyme Activity of Two Cultivars of *Agrostis stolonifera*

QI Fu-you¹, ZHAO Gang²

(1 College of Horticulture and Landscape Architecture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2 College of Life Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: Effects of temperature on the photosynthetic characteristics of two cultivars of *Agrostis stolonifera* were studied. The net photosynthetic rate, transpiration ratio, stomatal conductance, activity of POD and SOD, and intercellular CO₂ concentration were measured. The results showed that: Net photosynthetic rates of turfgrass decreased with higher temperature; Net photosynthetic rates of turfgrass was affected by stomatal factors under 30 °C, but it was affected mainly by non-stomatal factors when the temperature was over 35 °C; The turfgrass which suffered sub-high temperature stress for a short time could adjust by itself to adapt to the changed environment, and to avoid rapid decline of net photosynthetic rate.

Key words: hot stress; turfgrass; photosynthetic characteristic; *Agrostis stolonifera*

在热带亚热带地区, 高温是限制植物生长的一个重要非生物因子, 高温胁迫下, 植物的光合速率显著下降^[1], 活性氧大量积累, 如超氧离子(O₂⁻)、氢氧根离子(OH⁻)、双氧水(H₂O₂)等. 大量积累的活性氧使植物膜质过氧化及蛋白质和核酸变性, 导致植物生长缓慢甚至死亡^[2]. 然而, 耐热性植物的热胁迫

保护机制可以减轻和修复活性氧对植物的伤害, 如通过超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)等清除活性氧的抗氧化酶系统, 清除活性氧来保护光合系统, 从而减轻高温胁迫对植物的伤害^[3].

匍匐剪股颖 *Agrostis stolonifera* 是一种高品质的

收稿日期: 2010-04-08

作者简介: 戚甫友(1982—), 男, 硕士研究生; 通信作者: 赵 钢(1958—)男, 教授, 博士, E-mail: zhaogangnm@sina.com

基金项目: 广东省科技计划项目(2007A020300002-7); 仲恺农业工程学院人才引进基金(G2360224)

冷季型草坪草,对温带气候具有广泛的适应性,15~25℃的温度最适合其生长^[4].在众多的匍匐翦股颖品种中, Pennncross 是一种具有非常好的坪用性能,适宜于高尔夫果岭、发球台或球道区建植使用,也可在已建成的草坪上用于补播的品种,在世界各地的高尔夫球场上使用均有令人满意的表现.但该品种很难适应我国南方亚热带地区的高温环境,常常不能越夏,极大地限制了该品种的推广与应用.目前,仲恺农业工程学院选育的具有自主知识产权的耐热型匍匐翦股颖新品种粤选一号,就是由 Pennncross 选育而得到的一个在地处亚热带的广东地区可以成功越夏,具有良好应用价值的耐热型新品种.

近年来,有关冷季型草坪草耐热性方面的研究很多,但主要集中在高羊茅^[5-6]、草地早熟禾^[7-8]、多年生黑麦草^[9-10]等几种草坪草,而对于匍匐翦股颖粤选一号耐热性的研究还很少.从文献中可以看出,对匍匐翦股颖新品种粤选一号的研究主要集中在脯氨酸含量、膜相对透性和叶绿素等生理指标^[11]以及形态特征等方面的研究^[12].对冷季型草坪草匍匐翦股颖在高温胁迫下光合特性的研究则鲜见报道.本试验研究的主要目的在于探究不同温度条件下匍匐翦股颖粤选一号光合作用的响应机制以及抗氧化酶活性的变化,了解高温胁迫条件下粤选一号的光合生理特性,探讨匍匐翦股颖草坪草耐热机制.

1 材料与方法

1.1 供试材料与培养

匍匐翦股颖 *Agrostis stolonifera* 品种为粤选一号和 Pennncross,由仲恺农业工程学院陈平教授提供,种植在 12 cm × 25 cm 的花盆中,种植土为 V(泥炭土):V(园土):V(沙子) = 2:2:1,混合,营养繁殖,每隔 3 d 浇水 1 次,7 d 浇 Hoagland 营养液 1 次,放置在室外生长.

1.2 试验方法

1.2.1 温度处理 待植株长到 5 叶时,在大型人工气候箱中进行不同的温度处理,温度分别为 25、30、35 和 40℃,时间为 24 h,人工气候箱湿度为 75%,光照强度为 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.每处理 3 个重复.

1.2.2 气体交换参数测定 每次测定时间为 08:30—10:30,气体交换用 Li-6400XT 光合作用测定仪(美国,LI-Cor 公司)测定,光照强度为 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,测定净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度.每次测定用不同植株的叶片,

固定选取顶端第 3 个叶片,重复 3 次.

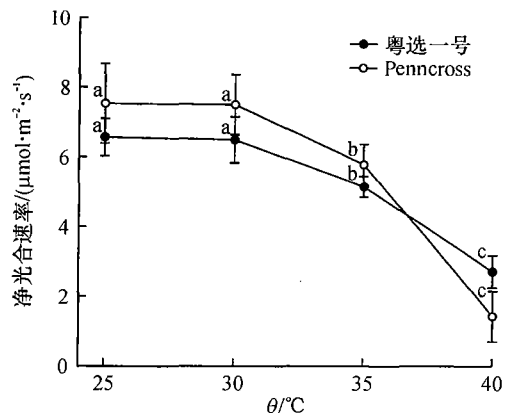
1.2.3 抗氧化酶的测定 SOD 活性采用 NBT 光化学还原法测定;POD 的活性采用愈创木酚法测定^[13].

用 Excel 和 SPSS 13.0 软件进行数据统计分析,用 LSD 法进行不同处理间的差异显著性分析.图表处理用 Sigmaplot10.0 软件.

2 结果与分析

2.1 不同温度胁迫下草坪草的净光合速率的变化

由图 1 可以看出,不同的温度处理对草坪草净光合速率影响明显,当温度高于 30℃ 后,草坪草净光合速率值随着温度的升高呈现下降的趋势.但在 30℃ 以下,草坪草的净光合速率变化不大,与其在适宜生长温度(25℃)下的净光合速率无显著差异($P > 0.05$).耐热性强的品种粤选一号在 25、30 和 35℃ 温度下,其净光合速率都小于耐热性差的品种 Pennncross,但二者未表现出显著差异($P > 0.05$);在温度达到 30℃ 以后,虽然 2 品种净光合速率均有随温度升高而下降的趋势,但粤选一号下降的幅度小于 Pennncross,当温度升高至 40℃ 时,粤选一号净光合速率已显著大于 Pennncross($P < 0.05$).



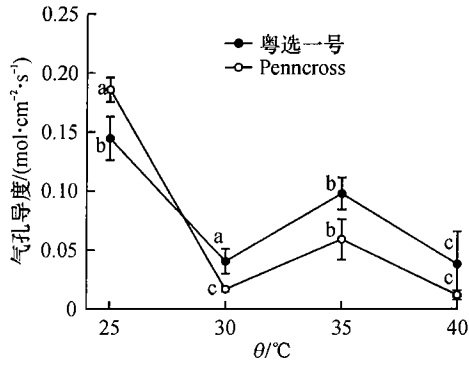
同一品种草坪草中,凡具有一个相同英文字母者,表示在 0.05 水平差异不显著(LSD 法).

图 1 不同温度胁迫下草坪草的净光合速率的变化

Fig. 1 The change of net photosynthetic rate under different temperature

2.2 不同温度处理下草坪草气孔导度的变化

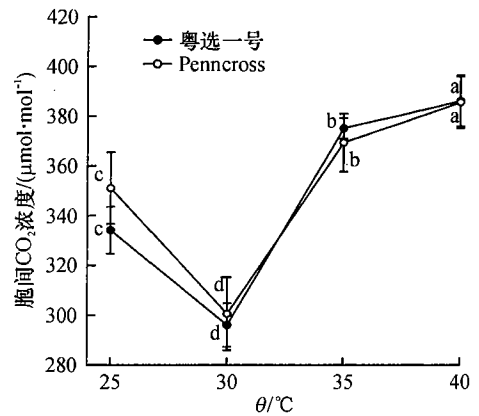
由图 2 可以看出,草坪草在适宜温度 25℃ 时,气孔导度最大.随着温度升高至 30℃ 时,气孔导度出现下降;当温度继续上升至 35℃ 时,气孔导度又开始变大,但当温度进一步上升至 40℃ 时,气孔导度又一次下降.由图 2 还可以看出, Pennncross 的气孔导度在 25℃ 时大于粤选一号,但随着温度升高,其气孔导度均显著小于耐热性品种粤选一号.



同一品种草坪草中,凡具有一个相同英文字母者,表示在 0.05 水平差异不显著(LSD 法).

图 2 不同温度处理下草坪草气孔导度的变化

Fig. 2 The change of stomatal conductance under different temperature



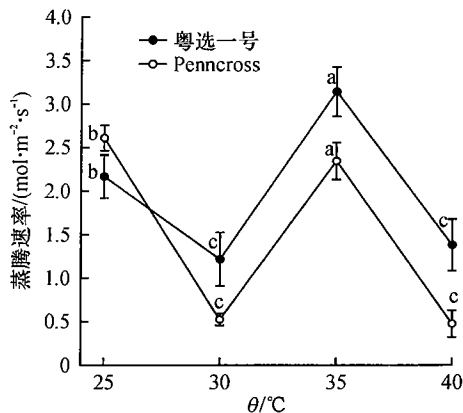
同一品种草坪草中,凡具有一个相同英文字母者,表示在 0.05 水平差异不显著(LSD 法).

图 4 不同温度处理下胞间 CO₂ 浓度的变化

Fig. 4 The change of intercellular CO₂ concentration under different temperature

2.3 不同温度处理下草坪草蒸腾速率的变化

由图 3 可以看出,2 种草坪草的蒸腾速率随温度持续上升而发生变化的趋势是一致的,均表现为先下降再上升,然后再次下降.从 2 个不同品种的比较来看,虽然 Penncross 的蒸腾速率在 25 °C 时大于粤选一号,而当温度升高至 30 °C 时,耐热性品种粤选一号的蒸腾速率已显著大于 Penncross.



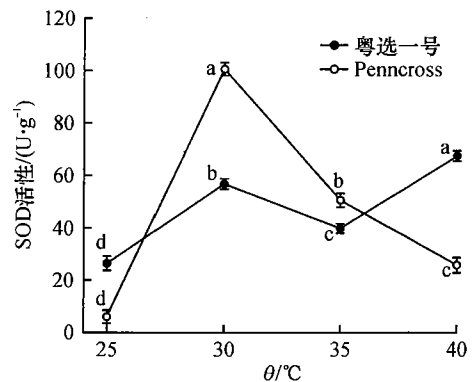
同一品种草坪草中,凡具有一个相同英文字母者,表示在 0.05 水平差异不显著(LSD 法).

图 3 不同温度处理下草坪草蒸腾速率的变化

Fig. 3 The change of transpiration ratio under different temperature

2.5 不同温度处理后草坪草 SOD 活性的变化

由图 5 可以看出,2 品种冷季型草坪草的 SOD 酶活性变化不一致,30 °C 时,2 种草坪草 SOD 酶活性都大于 25 °C 时酶的活性,然后活性又降低,但在 40 °C 处理后,粤选一号的 SOD 酶活性升高,而 Penncross 的 SOD 酶活性继续降低.同一品种不同温度处理后 SOD 酶活性差异显著($P < 0.05$).



同一品种草坪草中,凡具有一个相同英文字母者,表示在 0.05 水平差异不显著(LSD 法).

图 5 不同温度处理后草坪草 SOD 活性的变化

Fig. 5 The activity of SOD under different temperature

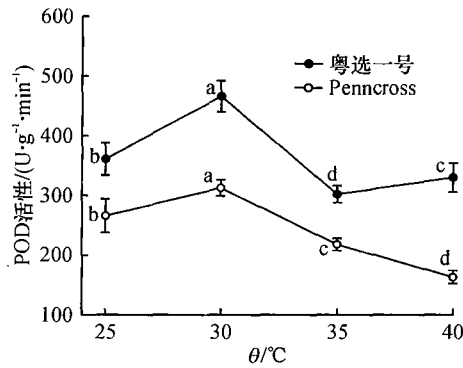
2.4 不同温度处理下胞间 CO₂ 浓度的变化

由图 4 可以看出,温度处理对 2 种冷季型草坪草的胞间 CO₂ 浓度影响很大,二者均呈先下降再上升趋势.其中 30 °C 温度下,胞间 CO₂ 浓度最小,显著低于 25、35 和 40 °C 温度处理下的胞间 CO₂ 浓度 ($P < 0.05$).其他温度处理间,胞间 CO₂ 浓度均存在显著差异($P < 0.05$).但 2 种草坪草之间无显著差异 ($P > 0.05$).

2.6 不同温度处理后草坪草 POD 活性的变化

由图 6 可以看出,30 °C 温度处理时,2 品种草坪草的 POD 酶活性均最高,Penncross 的 POD 酶活性随温度的升高先上升再下降,40 °C 时降到最低.粤选一号的 POD 酶活性在 35 °C 最低,40 °C 又升高,但小于适宜温度(25 °C)处理下 POD 的活性.在 $P = 0.05$ 水平下,各处理之间差异显著.2 品种草坪草之间相比

较,耐热性强品种粤选一号的 POD 酶活性在不同温度处理下始终高于耐热性差的品种 Penncross.



同一品种草坪草中,凡具有一个相同英文字母者,表示在 0.05 水平差异不显著(LSD 法)。

图 6 不同温度处理后草坪草 POD 活性的变化

Fig. 6 The activity of POD under different temperature

3 讨论与结论

高温胁迫对植物生长和代谢的影响是多方面的,其中对光合作用的影响尤为突出和最为重要^[14].随着温度的变化,植物的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度都会随之改变,根据它们之间的变化趋势可以推断出净光合速率改变究竟是气孔因素限制所致还是光合系统受损所致. Farquhar 等^[15]认为,气孔导度的大小和胞间 CO₂ 浓度的变化是决定光合速率下降是否由气孔限制的关键因素.当光合速率下降时,如果气孔导度下降而胞间 CO₂ 浓度也降低,说明光合速率的降低主要是由于气孔因素限制所致;如果气孔导度下降而胞间 CO₂ 浓度升高,则表明此时光合速率下降的主要原因是叶肉细胞光合能力的降低即非气孔因素限制所致.同时也有文献表明,引起光合速率降低的 2 种因素中,气孔部分关闭使胞间 CO₂ 浓度降低,叶肉细胞光合活性下降使胞间 CO₂ 浓度增高,当 2 种因素同时存在时,胞间 CO₂ 浓度的变化方向决定于占优势的因素.因此,判断哪一个因素占优势,标准应当是胞间 CO₂ 浓度变化方向,而不是胞间 CO₂ 浓度的变化幅度;而光合作用的非气孔限制的可靠判据是胞间 CO₂ 浓度升高和气孔导度降低^[16].

本试验研究结果表明,不同温度胁迫下,冷季型草坪草的净光合速率下降的原因不同,在 30 °C 温度处理时,草坪草的气孔导度和胞间 CO₂ 浓度都下降,说明光合速率的变化是由气孔因素决定的;而在 35

和 40 °C 时,草坪草的气孔导度下降,但胞间 CO₂ 浓度都上升,说明光合速率的变化是由非气孔因素决定的.随着温度的升高,草坪草的净光合速率逐渐下降,说明高温对冷季型草坪草生长的影响主要还是由于对光合系统产生了抑制作用.

大量文献表明,当温度超过冷季型草坪草的最佳生长温度时,就会对其产生胁迫,导致净光合速率下降^[17],原因是高温会产生活性氧,进而破坏光合系统. Ishida 等^[18]认为活性氧会降低 Rubisco 酶的活性,甚至植物体内氧化还原能力的水平还会影响到叶绿体和细胞核基因的表达^[19-21].

本试验中,30 °C 虽然超过了匍匐翦股颖的最佳生长温度,但光合速率下降并不明显 ($P > 0.05$),而且 30 °C 温度处理时 2 品种草坪草的 POD 和 SOD 的活性明显增加,降低了活性氧浓度,保护了植物的光合系统,使其净光合速率下降不明显.这表明在短期亚高温处理下,草坪草可以通过自我调节适应环境的变化,从而避免其光合速率的降低,这和李天来等^[22]的研究结果基本一致.当环境温度进一步升高,植物的自我调节机制减弱直至失效,植物体内的氧化还原酶活性受到抑制,此时,导致净光合速率下降的主要原因由气孔因素转变成非气孔因素,说明高温对匍匐翦股颖的胁迫,前期主要是影响气孔的开关,而后期则主要是影响植物体内氧化还原酶活性.从上述分析可以看出,粤选一号之所以耐热性较强,与其在温度升高条件下净光合速率下降慢、气孔导度和蒸腾速率下降幅度小、SOD 酶活性比较稳定、POD 酶活性较高等因素有关.

从试验结果可以看出,在不同的温度下,2 品种匍匐翦股颖草坪草的光合生理特性受到不同程度的影响,具体表现在叶片蒸腾速率、叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度的变化.本试验可得出如下初步结论:

(1)随着温度由 25 °C 逐步增加至 40 °C,冷季型草坪草净光合速率逐渐下降.而且净光合速率的变化在 30 °C 以下时由气孔因素决定,35 和 40 °C 时由非气孔因素控制.

(2)随着温度升高,耐热性较强的匍匐翦股颖草坪草粤选一号净光合速率下降速度、气孔导度和蒸腾速率下降幅度、SOD 与 POD 的酶活性下降均显著小于不耐热的 Penncross.这是粤选一号耐热性较强的重要生理机制.

参考文献:

- [1] CUI Lang-jun, LI Jian-long, XU Sheng, et al. High temperature effects on photosynthesis, PSII functionality and antioxidant activity of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility [J]. Botanical Studies, 2006, 47:61-69.
- [2] MITTLER R. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance [J]. Trends in Plant Science, 2002, 7:405-410.
- [3] ALMESELMANI M, DESHMUKH P S, SAIRAM R K, et al. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress [J]. Plant Sciences, 2006, 171:382-388.
- [4] BEARD J B. Turfgrass: Science and culture [M]. Englewood Cliffs. N J; Prentice Hall, 1995:227-260.
- [5] 郭玉春, 余高镜, 曾建敏, 等. 温度胁迫下外引高羊茅活性氧代谢与细胞膜透性的变化 [J]. 草业科学, 2003, 20(2):4-8.
- [6] 李良霞, 李建龙, 张强. 高温胁迫对高羊茅细胞膜及其核DNA 伤害的影响 [J]. 贵州农业科学, 2008, 36(1):37-39.
- [7] 李珍莲, 鲍健寅, 刘洋, 等. 草地早熟禾在武汉地区的适应性研究 [J]. 草业科学, 2001, 18(1):62-65.
- [8] 杜建雄, 孙吉雄, 刘金荣. 5个草地早熟禾品种在干热胁迫下的生理响应 [J]. 草原与草坪, 2007(3):41-44.
- [9] 赵昕, 李玉霖. 高温胁迫下冷地型草坪草几项生理指标的变化特征 [J]. 草业学报, 2001, 10(4):85-91.
- [10] 张强, 李建龙, 晏笛. 温度胁迫对亚热带常用草坪草活性氧代谢相关酶的影响 [J]. 草业科学, 2004, 21(10):83-86.
- [11] 姬承东, 张德罡, 朱钧, 等. 高温对匍匐翦股颖果岭草坪草生理特性及再生性的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(1):221-224.
- [12] 陈平, 祁桂林. 匍匐翦股颖粤选1号繁殖特性和草坪性状研究 [J]. 热带农业工程, 2005(2):17-21.
- [13] 高俊风. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 世界图书出版社, 2000.
- [14] XU Sheng, LI Jian-long, ZHANG Xin-quan, et al. Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplast in two cool-season turfgrass species under heat stress [J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 56:274-285.
- [15] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review Physiology, 1982, 33:317-345.
- [16] 许大全, 张玉忠, 张荣铎. 植物光合作用的光抑制 [J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(4):237-243.
- [17] ZHAO Wan-yu, XU Sheng, LI Jian-long, et al. Effects of foliar application of nitrogen on the photosynthetic performance and growth of two fescue cultivars under heat stress [J]. Biologia Plantarum, 2008, 52(1):113-116.
- [18] ISHIDA H, SHIMIZU S, MAKINO A, et al. Light dependent fragmentation of the large subunit of ribulose-5,1 bisphosphate carboxylase/oxygenase in chloroplast isolated from wheat leaves [J]. Planta, 1998, 204:305-309.
- [19] GARCIA-FERRIS C, MORENO J. Oxidative modification and breakdown of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase induced in *Euglena gracilis* by nitrogen starvation [J]. Planta, 1994, 193:208-215.
- [20] IRIHIMOVITCH V, SHAPIRA M. Glutathione redox potential modulated by reactive oxygen species regulates translation of rubisco large subunit in the chloroplast [J]. The Journal of Biological Chemistry, 2000, 275:16289-16295.
- [21] PFANNSCHMIDT T. Chloroplast redox signals: how photosynthesis controls its own genes [J]. Trends in Plant Science, 2003, 8(1):33-41.
- [22] 李天来, 李森. 短期昼间亚高温胁迫对番茄光合作用的影响 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(9):220-225.

【责任编辑 李晓卉】