

水杨酸对温度胁迫下紫御谷 幼苗生长及光合特性的影响^①

杨丙贤¹, 龚 婷¹, 马永甫², 易小林¹, 宗学风¹

1. 西南大学 农学与生物科技学院 农业部生物技术与作物品质改良重点开放实验室, 重庆 400716;

2. 重庆文理学院 生命科学与技术学院, 重庆 永川 402168

摘要:以紫御谷为材料,研究了水杨酸对温度胁迫(高温和低温)下紫御谷幼苗生长及光合特性的影响,结果表明:
①高温和低温胁迫显著降低了紫御谷幼苗的根冠比、根系活力、总根长和平均根直径,使根系生长受到抑制,而水杨酸处理则提高了其根冠比、根鲜物质量、茎鲜物质量和根系活力;
②高温胁迫显著降低了紫御谷叶片的叶绿素 a、总叶绿素质量分数和净光合速率,而水杨酸处理显著提高了紫御谷叶片的净光合速率. 低温胁迫使紫御谷幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均显著低于常温对照,而水杨酸处理后,叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均有所升高.
③高温胁迫下,紫御谷幼苗的初始荧光(F_0)、光化学量子效率(F_v/F_m)和光下 PSII 实际光化学效率(Φ_{PSII})与常温对照相比差异不显著,而低温胁迫下的 F_v/F 和 Φ_{PSII} 则显著低于常温对照,喷施水杨酸后 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 均低于低温处理组,且 F_v/F_m 差异显著,由此推断低温胁迫可能使 PSII 反应中心受到不可逆的损害.

关键词:紫御谷; 高温胁迫; 低温胁迫; 水杨酸; 生长; 光合特性

中图分类号: Q949.71⁺4.2

文献标志码: A

正常情况下,植物体内各项代谢的生理生化过程都是比较稳定而协调的,当植物受到逆境胁迫时,植物体内的各种代谢活动都会由于某种因素的影响而失调,使植物对逆境作出反应. 光合器官是植物的敏感部位,温度胁迫能直接影响光合机构的性能和活性^[1]. 黄锦文等^[2]发现高温胁迫下两种结缕草叶片的 Chla, Chlb 和 Car 质量分数以及 Chla/Chlb 的比值均有不同程度的下降. 有研究表明低温能降低植物的光合效率、改变光合色素组成和抑制叶绿体发育等,因此提高植物光合器官的抗冷性有助于提高植物个体的抗冷性^[3]. 曹宁等^[4]的研究证实,低温胁迫下玉米苗期根表面积、根体积和轴根长都明显低于常温处理;低温胁迫减弱了玉米根系的生长,同时对地上部的生长有明显的抑制作用.

水杨酸(Salicylic acid, SA)被认为是植物对逆境反应的信号传导分子,可导致细胞内 H_2O_2 质量分数上升^[3,5], SA 能够诱导相关蛋白(PR)基因表达,引发产生系统获得性抗性(Systemic resistance, SAR)^[6],表现在它可以通过改变活性氧代谢和信号传导途径增强植物抗冷性^[7]、抗盐性^[8]和抗高温性^[9-10]等. 刘伟等^[11]发现适宜体积分数的 SA 预处理对维持叶肉细胞较高的光合特性,缓解低温弱光对黄瓜光合速率的影响可发挥积极的作用,低温弱光胁迫会使黄瓜幼苗的光合机构受到伤害,而适宜体积分数的 SA 预处理可减轻其伤害程度. 薛建平^[12]研究表明喷施 0.15 mmol/L 的 SA 时,半夏叶片的叶绿素质量分数、胞间

① 收稿日期: 2010-09-30

基金项目: 重庆市建委“十一五”科技基金资助项目(城科字 2007 第 53 号).

作者简介: 杨丙贤(1986-), 男, 山东济南人, 硕士, 主要从事植物逆境生理学研究.

通信作者: 宗学风, 副教授.

CO₂ 质量分数提高最大, 叶绿素能吸收和传递光能, CO₂ 是光合作用的原料, 所以叶绿素质量分数和胞间 CO₂ 质量分数的提高有利于光合速率增大。

紫御谷 *Pennisetum glaucum*, 又名紫粟紫威 *Purple Majesty*, 系禾本科狼尾草属植物。作为观赏草的一种, 它株形修长、颜色奇特、美丽多姿, 紫红的颜色尤显别致, 其幼嫩花穗被切取后可在花展上创造出戏剧化的效果。该品种可大面积栽培, 用作花园背景或园林镶边效果极佳。紫御谷被引种到中国后, 相关研究较少。结合重庆市夏季高温, 冬季寒冷的特点, 本文研究了水杨酸对温度胁迫下紫御谷幼苗生长及光合特性的影响, 对增强紫御谷抗逆性具有重要的意义, 同时为紫御谷在重庆地区的育苗种植提供参考, 以期能够进一步丰富重庆园林的草坪草地植被资源。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为紫御谷, 种子来源于美国泛美子公司, 进口。

1.2 培养和处理方法

以德国维特介质作为培养基质, 选取饱满一致的紫御谷种子, 在穴盘进行育苗。待幼苗长至 7~9 cm 时, 选取长势一致的幼苗连同基质一同转移到盆钵(高 10.5 cm, 直径 11.5 cm)里面, 盆钵基质依然选用维特介质, 维特介质以波罗的海苔藓泥炭为主要原材料, 结构稳定, 持水性和通气性好, 拥有优良的孔隙结构, 且有机质质量分数高, 灰分质量分数少, 能长时间保持介质特性一致。介质里添加特有肥料, 每立方泥炭添加 1 kg 专用肥料。整个过程在西南大学农学与生物科技学院人工气候箱中进行, 幼苗生长温度设定为 30 °C/22 °C(昼/夜), 等长至 6 叶 1 心时, 进行 SA 叶面喷施和温度胁迫处理。

温度处理: 将长至 6 叶 1 心的紫御谷幼苗分为 3 组, 每组 3 盆(3 个重复), 移入温度分别为 45 °C/37 °C(高温)、8 °C/8 °C(低温)和 30 °C/22 °C(常温)的人工气候箱中。昼夜时间分别为 12 h, 光照 12 000 lx, 胁迫处理期间均正常浇水。于胁迫的第 7 天, 测定其根系活力、根冠比及光合指标。

SA 处理: SA 为分析纯, 用蒸馏水溶解后配成 0.5 mmol/L 的溶液, 并调节 pH 值为 6.8。在进行高温和低温胁迫处理前 24 h, 用 0.5 mmol/L 的 SA 分别喷施叶面, 对照幼苗喷施等体积的去离子水(H₂O)。

1.3 测定方法

光合色素质量分数采用分光光度法测定^[13]; 株高采用常规方法测定; 根冠比用公式计算: 根冠比 = 地下部干物质量/地上部干物质量; 根系活力的测定采用 TTC 法测定^[14]; 采用 Epson 根系扫描仪及 WinRHIZO 分析软件测定根总长、根总表面积、平均直径节点数和根体积等根系相关指标。

光合特性用美国 LI-6400 型便携式光合作用测定仪在天气晴朗的上午 9:00 开始, 测定全展剑叶的光合特性。测定光合特性时, 使用普通叶室, 面积为 6 cm²。使用红、蓝光源, 光强为 1 200 μmol/(m² · s), 温度为 30 °C, CO₂ 质量分数为空气中的质量分数, 湿度为大气中的湿度。每组处理材料随机选取生长相对一致的单株各 5 株, 测定其净光合速率(*Pn*)、气孔导度(*Gs*)、胞间二氧化碳质量分数(*Ci*)和蒸腾速率(*Tr*), 每株重复测定 2 次, 取平均值。参照冯大兰等^[15]的方法, 用 LI-6400 和荧光叶室 6400-40(美国, Li-Cor公司)测定材料的叶绿素荧光动力学参数。每份材料随机选取生长相对一致的单株各 5 株, 测定其健康剑叶的初始荧光(*F_o*)、PSII 的最大光能转化效率(*F_v*/*F_m*), 光下实际光化学效率(Φ_{PSII})。计算公式为: $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$; $\Phi_{PSII} = (F'_m - F_s)/F'_m$ 。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计软件进行数据挖掘和分析。

2 结果与分析

2.1 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷根冠比、根鲜物质量、茎鲜物质量、株高和根系活力的影响

由表 1 可知, 高温胁迫和低温胁迫极显著降低了紫御谷幼苗的根冠比和根系活力, 同时也降低了紫御

谷幼苗的根鲜物质量、茎鲜物质量和株高,而 SA 处理能提高高温胁迫和低温胁迫下紫御谷幼苗的根冠比、根鲜物质量、茎鲜物质量和根系活力,说明高温和低温胁迫使紫御谷幼苗的生长受到抑制,而 SA 处理则起到了一定的缓解作用。

表 1 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷根冠比、根鲜物质量、茎鲜物质量、株高和根系活力的影响

材 料	根冠比 (干)	根鲜物质量 /g	茎鲜物质量 /g	株高 /cm	根系活力 /[mg·(g·h) ⁻¹]
常温对照	0.21+0.01 A	1.21+0.10 A	8.13+0.10 A	47.20+2.20 A	55.92+1.89 A
高温处理	0.10+0.01 B	0.58+0.03 B	6.29+0.02 AB	38.80+4.30 A	40.70+1.45 B
高温 SA 处理	0.23+0.03 A	0.65+0.01 BC	6.91+1.11 AB	40.23+0.96 A	50.39+1.88 A
低温处理	0.11+0.01 B	0.35+0.03 C	7.00+0.88 AB	38.33+2.9 A	30.07+0.06 D
低温 SA 处理	0.11+0.01 B	0.40+0.05 C	8.91+0.82 A	43.17+2.29 A	33.23+0.99 C

注:不同字母表示差异达到 5% 的显著水平.下同.

2.2 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷幼苗根系形态的影响

高温胁迫和低温胁迫使紫御谷根系的总根长和平均根直径较常温对照都显著地降低(表 2),同时根总表面积、根节点数及根体积等不同程度地降低,说明高温胁迫抑制了根系的生长.而喷施 SA 后,高温胁迫下根总长和根节点数分别上升了 35.98% 和 11.01%,根总表面积、平均根直径和根体积则差异不大;而低温胁迫下的根节点数则上升了 51.30%.

表 2 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷根系形态的影响

材 料	根总长 /cm	根总表面积 /cm ²	根平均直径 /mm	根节点数/个	根体积/cm ³
常温对照	244.14+7.54 A	16.12+0.93 A	0.27+0.018 A	1 922.67+8.90 B	0.13+0.05 A
高温处理	139.16+8.36 C	13.63+1.76 A	0.19+0.021 B	1 919.00+6.91 B	0.06+0.02 A
高温 SA 处理	189.24+9.28 B	14.61+0.62 A	0.18+0.005 B	2 130.33+8.55 A	0.06+0.01 A
低温处理	99.24+4.43 D	12.08+0.04 A	0.21+0.022 AB	707.66+8.74 D	0.03+0.03 A
低温 SA 处理	121.86+10.39 CD	12.87+0.81 A	0.20+0.007 AB	1 070.66+5.14 C	0.04+0.02 A

2.3 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷光合色素质量分数的影响

由表 3 可知,和常温对照相比,高温处理显著降低了紫御谷叶片的叶绿素 a 和总叶绿素质量分数,而胡萝卜素/叶绿素则显著高于常温对照,喷施 SA 后高温胁迫下的紫御谷幼苗叶片的叶绿素 a 和总叶绿素与高温胁迫处理组没有显著差异.低温胁迫使紫御谷幼苗叶片的叶绿素 a 和胡萝卜素/叶绿素显著下降,喷施 SA 显著提高了叶绿素 a 和叶绿素 b 的质量分数,而胡萝卜素/叶绿素则出现了显著下降的情况.

表 3 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷光合色素质量分数的影响

材 料	叶绿素 a /(mg·g ⁻¹)	叶绿素 b /(mg·g ⁻¹)	总叶绿素 /(mg·g ⁻¹)	胡萝卜素 /(mg·g ⁻¹)	胡萝卜素/ 叶绿素
常温对照	1.019+0.023 A	0.329+0.001 C	1.348+0.004 A	0.190+0.000 2 A	0.141+0.000 2 B
高温处理	0.738+0.041 B	0.244+0.013 C	0.982+0.053 B	0.155+0.009 A	0.158+0.000 4 A
高温 SA 处理	0.707+0.079 B	0.242+0.028 C	0.950+0.108 B	0.146+0.015 AB	0.154+0.001 A
低温处理	0.895+0.076 AB	0.319+0.028 C	1.214+0.104 A	0.099+0.012 A	0.074+0.003 C
低温 SA 处理	1.100+0.030 A	0.553+0.005 A	1.653+0.035 A	0.101+0.011 A	0.061+0.005 D

2.4 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷幼苗光合参数的影响

由表 4 可知,在高温胁迫下,紫御谷幼苗叶片的净光合速率显著低于常温对照;而气孔导度和蒸腾速率略高于常温对照,但差异不明显;胞间 CO₂ 质量分数则显著高于常温对照;SA 处理显著提高了紫御谷叶片的净光合速率.低温胁迫下,紫御谷幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均显著低于常温对照;胞间 CO₂ 质量分数则高于常温对照;SA 处理后,叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均有所升高.

表 4 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷幼苗光合参数的影响

材 料	净光合速率	气孔导度	蒸腾速率	胞间 CO ₂ 质量分数
	/[$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	/[$\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	/[$\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	/[$(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$]
常温对照	12.067±0.09 A	0.058 5±0.003 A	1.597±0.043 A	50.33±8.799 C
高温处理	4.897±0.970 C	0.069 2±0.008 A	1.867±0.218 A	265.00±9.504 A
高温 SA 处理	6.670±0.588 B	0.057 0±0.010 A	1.567±0.242 A	178.67±42.24 B
低温处理	0.705±0.017 D	0.004 3±0.000 2 B	0.126±0.008 B	120.00±21.00 B
低温 SA 处理	1.543±0.013 D	0.019 0±0.000 B	0.530±0.000 B	243.67±1.333 A

2.5 水杨酸对温度胁迫下紫御谷叶绿素荧光动力学参数的影响

F_0 表示 PSII 反应中心全部开放即原初电子受体全部氧化时的荧光水平, 如果 PS II 反应中心出现可逆失活或不易逆转的破坏会引起 F_0 的增加, 且 F_0 增加量越多, 受损伤程度就越严重^[16-18]. F_0 是已经暗适应的光合机构全部 PS II 中心完全开放时的荧光强度, 它反映了 PS II 天线色素受激发后的电子密度, 与叶片叶绿素质量分数有关^[19]. 由表 5 可知, 高温和低温胁迫处理使紫御谷的 F_0 降低, 而 SA 处理能提高 F_0 , 但都低于常温对照, 这应该是由于叶绿素质量分数降低造成的.

高温处理下紫御谷的光化学量子效率(F_v/F_m)和光下 PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII})与对照相比没有较大差异, 喷施 SA 也未见明显差异出现. 而低温处理下的 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 则显著低于对照, 说明低温对 PS II 反应中心产生了损害, 其光能转化能力显著下降, 导致了紫御谷光合能力的降低, 喷施 SA 后 F_v/F_m 和 Φ_{PSII} 均低于低温处理组, 且 F_v/F_m 差异显著, 推断低温胁迫可能使 PS II 反应中心受到不可逆的损害.

光化学淬灭系数(qP)反映的是用于光化学反应的光能部分^[20]. 由表 5 可知, 高温处理下的 qP 显著高于对照, 表明其用于光化学反应的光能部分明显提高, 这也是紫御谷在高温逆境下实现自我适应调节的一种方式, 喷施 SA 后对比原高温组没有明显变化. 低温处理下的 qP 较对照变化不明显, 喷施 SA 后 qP 则显著降低(表 5).

表 5 水杨酸(SA)对温度胁迫下紫御谷叶绿素荧光动力学参数的影响

材 料	初始荧光	光化学量子效率	光下 PS II 实际光化学效率	光化学淬灭系数
	(F_0)	(F_v/F_m)	(Φ_{PSII})	(qP)
常温对照	68.933±3.13 A	0.761±0.011 A	0.728±0.003 A	0.984±0.002 B
高温处理	48.833±3.14 A	0.775±0.008 A	0.718±0.009 A	0.993±0.001 A
高温 SA 处理	57.533±5.805 A	0.797±0.012 A	0.735±0.011 A	0.991±0.000 6 A
低温处理	47.633±3.133 A	0.677±0.024 A	0.571±0.047 B	0.981±0.003 B
低温 SA 处理	53.900±11.89 A	0.513±0.094 B	0.565±0.000 8 B	0.961±0.002 C

3 讨 论

植物根系生长和生理特性是研究植物抗逆性的一个重要方面. 从表观特征来看, 温度胁迫对植物的影响会在根系形态特征上表现出来, 如根长、根质量和根体积等. 根系是植物吸收、转化和储藏营养物质的重要器官, 其生长好坏直接影响到地上部分产量和植物的水土保持能力. 在逆境胁迫条件下, 植物可以通过改变根系的形态和分布以适应环境胁迫. 根冠比是衡量地下部与地上部是否协调的一个重要指标. 本实验研究发现, 高温和低温胁迫下紫御谷的根系生理指标和形态指标均表现出不同程度的降低, 其中总根长和平均根直径降低显著, 说明高温和低温胁迫抑制了紫御谷根系的生长, 进而影响了整个紫御谷的生长. SA 处理后, 高温胁迫下根总长和根节点数分别比高温处理上升了 35.98% 和 11.01%, 低温胁迫下的根节点数和低温处理相比上升了 51.30%, 说明 SA 对紫御谷调节根系适应温度胁迫起到了积极的作用.

植物在受到高温、低温等逆境胁迫时, 其光合作用的强度会发生变化. 吴韩英等^[21]认为, 较轻的高温胁迫通过气孔因素限制光合作用的进行, 而严重的高温胁迫下光合作用的降低主要是由非气孔因素造成的. 许大全等^[22]认为只有当 C_i 与 P_n 一起下降且气孔限制值增加时, P_n 的下降才主要由气孔因素造成.

孙宪芝等^[23]对切花菊的高温研究发现, 胁迫初期 G_s 持续下降, P_n 的降低与 C_i 的上升同时发生, 因此推断该阶段高温逆境下菊花 P_n 的降低不是由气孔性因素造成的. 胡春梅等^[24]对不结球白菜进行的低温胁迫研究, 说明各个不结球白菜品系发生光抑制的主要原因不是气孔限制因素, 而叶肉细胞光合活性下降可能是引起叶片光抑制的主要因素. 周建等^[25]认为非气孔限制因子是抑制光合作用的一个重要因素, 低温胁迫降低了 RuBPCase(核酮糖 1, 5-二磷酸羧化酶)活性, 导致光合碳同化中的羧化作用减弱, 使得光合机构发生障碍甚至遭到破坏. 本实验研究发现, 紫御谷在低温胁迫 7 d 时的 G_s 明显下降, P_n 下降的同时 C_i 上升明显, 这与前人的研究结果一致, 说明此时叶片光合速率的下降应该是由非气孔因素造成的. 紫御谷在高温胁迫的第 7 天, P_n 较对照显著减少, C_i 明显高于对照, 其 G_s 和蒸腾速率(Tr)较对照略有增加, 这证明高温胁迫下光合速率降低是因非气孔因素所致的同时, 还说明紫御谷在受到高温胁迫时进行了自身调节, 通过增大气孔导度和蒸腾速率来减少高温对自身叶片的灼伤. 有关 SA 对逆境下植物光合功能调控机理方面的研究报道较少^[26]. 本文研究发现, 喷施 SA 显著提高了高温胁迫下紫御谷的净光合速率, 而低温胁迫下紫御谷叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率在喷施 SA 后也有所升高, 推断 SA 可能通过调节叶肉细胞内与光合作用相关酶的活性和电子传递速率来达到调节紫御谷光合作用的目的.

参考文献:

- [1] 刘 辉, 郭延平, 胡美君. 杨梅光合作用的低温光抑制 [J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(4): 338—342.
- [2] 黄锦文, 陈冬梅, 郑红艳. 暖季型草坪草对高温胁迫的生理响应 [J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 964—967.
- [3] KRATSCH H A, WISE R R. The Ultrastructure of Chillingstress [J]. Plant Cell Environ, 2000, 23(4): 337—350.
- [4] 曹 宁, 张玉斌, 闫 飞. 低温胁迫对不同品种玉米苗期根系性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(16): 139—141.
- [5] LUO Jian-ping, JIANG Shao-tong, PAN Li-jun. Enhanced Somatic Embryo Genesis By Salicylic Acid of Astragalus Adsurgens Pall: Relation Ship with H_2O_2 Production and H_2O_2 Metabolizing Enzyme Activities [J]. Plant Sci, 2001, 161(1): 125—132.
- [6] SHIRAS K, NAKAJIMA H, RAJASHEKAR K, et al. Salicylic Acid Potentiates an Agonist Dependent Gain Control That Amplifies Pathogen Signal in the Activation of Defense Mechanisms [J]. Plant Cell, 1997, 9(2): 261—270.
- [7] 吴能表. 外源水杨酸对萝卜低温胁迫的缓解作用 [J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 28(5): 782—785.
- [8] 王淑芳, 杨雪清, 田桂香. 水杨酸对 NaCl 胁迫下黄芩幼苗生长的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2006, 31(5): 159—162.
- [9] 许耀照, 曾秀存, 郁继华. 水杨酸对高温胁迫下黄瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响 [J]. 西北植物学报, 2007, 27(2): 267—271.
- [10] 胡丽涛, 吴能表, 陈凤娟. 水杨酸对 UV2B 胁迫下黄瓜荧光特性和抗氧化力的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2010, 35(2): 191—196.
- [11] 刘 伟, 艾希珍, 梁文娟. 低温弱光下水杨酸对黄瓜幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 441—445.
- [12] 薛建平, 张爱民, 方中明. 水杨酸对半夏植株生长的影响 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(12): 1134—1136.
- [13] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 111—112.
- [14] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 39—41.
- [15] 冯大兰, 刘 芸, 钟章成. 三峡库区消落带芦苇(*Phragmites communis* (reed))的光合生理响应和叶绿素荧光特性 [J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2013—2021.
- [16] SCHNETTGER B, CRITCHLEY C, SANTORE U J. Relationship Between Photo-Inhibition of Photosynthesis, D1 Protein Turnover and Chloroplast Structure: Effect of Protein Synthesis [J]. Plant Cell Environ, 1994, 17(1): 55—64.
- [17] PASTENES C, HORTON P. Effect of High Temperature on Photosynthesis in Beans [J]. Plant Physiol, 1996, 112(3): 1245—1251.
- [18] DEMMIG-ADAMS B, ADAMS III W W W. Photoprotection and Other Responses of Plants To High Light Stress [J]. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1992, 43(1): 599—626.

- [19] 李 晓, 冯 伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186—2196.
- [20] GENT Y B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The Relationship Between the Quantum Yield of Photosynthetic Electron Transport and Quenching of Chlorophyll Fluorescence [J]. Biochem Biophys Acta, 1989, 90(1): 87—92.
- [21] 吴韩英, 寿森炎, 朱祝军. 高温胁迫对甜椒光合作用和叶绿素荧光的影响 [J]. 园艺学报, 2001, 28(6): 517—521.
- [22] 许大全. Photosynthetic Efficiency [J]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [23] 孙宪芝, 郑成淑, 王秀峰. 高温胁迫对切花菊“神马”光合作用与叶绿素荧光的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2149—2154.
- [24] 胡春梅, 侯喜林. 低温胁迫对不结球白菜光合及叶绿素荧光特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(12): 2478—2484.
- [25] 周 建, 杨立峰, 郝峰鸽. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(1): 0136—0142.
- [26] 蔡 汉, 李卫东, 陈 颖. 水杨酸预处理对低温胁迫下茉莉幼苗光合作用及相关生理特性的影响 [J]. 中国农业大学学报: 自然科学版, 2007, 12(5): 29—33.

Effects of Salicylic Acid on the Growth and Photosynthesis Characters of Purple Majesty (*Pennisetum glaucum*) During Temperature Stress

YANG Bing-xian¹, GONG Ting¹,
MA Yong-fu², YI Xiao-lin¹, ZONG Xue-feng¹

1. School of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Key Laboratory of Biotechnology and Crop Quality Improvement, Ministry of Agriculture, Chongqing 400716, China;

2. School of Life Science and Technology, Chongqing University of Arts and Science, Yongchuan Chongqing 402618, China

Abstract: The effects of salicylic acid on the growth and photosynthesis of Purple Majesty (*Pennisetum glaucum*) grown under high temperature stress and low temperature stress were studied. Both high and low temperature stress resulted in significant reduction in root/shoot ratio, root activity, total length of the root and average diameter of the root, while salicylic acid increased root/shoot ratio, root fresh weight, stem-leaf fresh weight and the activity of root. High temperature stress reduced the contents of chlorophyll a and total chlorophyll and net photosynthesis rate, while the salicylic acid treatment significantly increased net photosynthesis rate. Compared with the normal temperature control group, low-temperature stress significantly decreased net photosynthesis rate, stomatal conductance and transpiration rate, and the salicylic acid treatment increased these indicators slightly. Compared with the normal temperature control group, high temperature stress generated little effect on F_o , F_v/F_m and Φ_{PSII} of the seedlings. Low temperature stress significantly reduced the F_v/F_m and Φ_{PSII} . Spray of salicylic acid on the plants under the low-temperature, we found the F_v/F_m and Φ_{PSII} still reduced and inferred that the Φ_{PSII} may be irreversibly damaged under the low-temperature stress.

Key words: Purple Majesty (*Pennisetum glaucum*); high temperature stress; low temperature stress; salicylic acid; growth; photosynthesis