

赤霉素及硫酸铵对低温条件下榕树幼株生理生化指标的影响

李德明¹, 陈平², 张秀娟², 蔡兴来¹

(1. 海南省农业科学院 蔬菜研究所, 海南 海口 571100; 2. 长江大学 园艺园林学院, 湖北 荆州 434025)

摘要:以榕树(*Ficus microcarpa*)为试材,研究了冬季低温条件下不同浓度赤霉素(GA_3)(0、15、150 mg/L)和硫酸铵($(NH_4)_2SO_4$)(0、20、200 g/L)处理 15、30、45 d 对活性氧代谢酶系统的愈创木酚过氧化物酶(G-POD)活性、抗坏血酸过氧化物酶(ASA-POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性和非酶系统丙二醛(MDA)含量的影响。结果表明:经 GA_3 和 $(NH_4)_2SO_4$ 处理后可保持相对较高的抗氧化酶(POD、CAT、SOD)活性,削弱 MDA 含量的积累。在低温胁迫下随着 GA_3 浓度的增加,POD 活性、CAT 活性和 SOD 活性呈先升高后降低的趋势;随 $(NH_4)_2SO_4$ 浓度的增加,POD 活性、CAT 活性和 SOD 活性呈增高的趋势,而 MDA 含量下降。含 200 g/L $(NH_4)_2SO_4$ 的各处理 15 d 后 G-POD 活性均表现得极为明显,15 mg/L GA_3 + 200 g/L $(NH_4)_2SO_4$ 处理下,ASA-POD 活性均达到最高,15 mg/L GA_3 + 200 g/L $(NH_4)_2SO_4$ 处理 30 d 后 SOD 活性持续上升并达峰值,15 mg/L GA_3 + 20 g/L $(NH_4)_2SO_4$ 处理 15 d 后达到差异极显著水平($P < 0.01$);受 GA_3 和 $(NH_4)_2SO_4$ 处理后榕树叶片的 MDA 含量逐渐下降,在处理 15 d 时达到最低;且 30 d 和 45 d 处理后整体 MDA 含量较 15 d 有所升高。

关键词:赤霉素;硫酸铵;榕树;活性氧代谢;酶;丙二醛

中图分类号:Q 948 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)04-0053-05

随着工农业的迅速发展,人们所处的地球环境也在不断地发生变化,土壤、水体和大气均遭受不同程度的污染或破坏,气候的变化更为严重^[1]。近年来,我国南方大部分地区遭遇了近 50 年罕见的持续低温雨雪冰冻自然灾害,不仅对社会经济的发展带来重大影响,同时也影响到南方地区绿地景观、园林植物的正常生长发育^[2]。低温冷害是限制植物自然分布和栽培区域的主要因素,低温胁迫会导致植物产量降低,尤其是喜温植物,会引起生理障碍、代谢失调,严重时还会造成植株死

亡^[3-4]。低温作为一种严重的自然灾害,对许多喜温园林植物的生长发育及其苗木生产造成了严重影响和重大损失,直接影响到城市的绿化和景观效果。一直以来,研究人员都在想办法降低低温造成的不良影响。已有研究表明,注入外源抗冷物质能诱导植物产热^[5-6];而探讨植物在低温胁迫下喷抗冷剂对其生理生化变化及其抗寒冻机理^[7-8],弄清园林植物在低温胁迫下冻伤冻死原因,改善园林植物抗冷性能^[9-10],对提高经济作物产量,改善环境绿化状况均有十分重要的理论与社会效益^[11-14]。目前在植物的耐冷性方面,主要围绕着蔬菜、果树、花卉等园艺作物和大田作物展开,虽然喷洒外源抗冷剂有助于植物抗寒,但对于大型乔木生长发育影响

第一作者简介:李德明(1972-),男,博士,副教授,研究方向为植物生理生化应用技术及园林植物应用。E-mail:lidmn@163.com.

收稿日期:2013-10-30

Abstract: During the growing season, or in the course of storage and transportation, quality of vegetable sweet potato and its products always degrade or deteriorate affected by cultural, physical, chemical or biological factors. Taking scientific and reasonable measures to prevent and control these detrimental factors could be contributed to greatly improve the nutritional and commercial quality of vegetable sweet potatoes. On the basis of a review of the effect factors of stem vegetable sweet potatoes quality on cultural, physical, chemical, biological and other, the prevention and control measures for stems vegetable sweet potatoes quality influence factors improving cultivation measures, creating the appropriate storage environment, controlling pollution of chemical factors, timely preventing and controlling of diseases and pests were analyzed.

Key words: vegetable sweet potato; quality; influence; measures

方面的研究尚鲜见报道^[15-22]。赤霉素(GA_3)和硫酸铵($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)作为其中之一的外源抗冷剂,它们是调节植物生理活动、促进植物生长发育的重要激素,包括种子萌发、茎秆伸长、叶片生长等^[18-23]。马国华等^[24]用 GA_3 诱导白鹤芋幼苗,能促进幼苗生长,植株长大。榕树(*Ficus microcarpa*)属桑科榕属多年生常绿乔木,喜高温多雨、空气湿度大的环境,多分布在热带、亚热带地区。在我国,榕树主要分布在西南部和南部,尤以云南最多^[25-26]。榕树作为一种优良的观赏园林植物,在众多的园林景观中均有应用,它不仅是园林景观布置的良好观赏植物材料,而且树皮、气生根和叶芽等还具有清热解暑药效,但其分布受到温度的影响(尤其是冬季的低温),从而影响到榕树在城市绿化和景观效果中的应用。目前尚鲜见低温胁迫下 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 对榕树抗冷性的缓解效应报道。现以榕树幼树为试材,研究低温胁迫下 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2种外源抗冷剂对活性氧代谢酶系统和非酶系统物质含量的影响,探讨 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 在冬季低温胁迫下缓解榕树冷害的机理,以期为防止或减轻短期低温对喜温植物造成的伤害或南方植物向北方引种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试榕树幼株采自长江大学园艺园林学院基地;ABT1号生根粉75 mg/L由河南省鹏威科技有限公司生产。

1.2 试验方法

以嫩枝扦插方式进行育苗,扦插苗先经生根粉浸泡12 h,于2009年5月25日扦插于长江大学园艺园林学院试验基地的沙床,每天早晚各浇水1次。6月27日将生根苗移植到装有培养基质的育苗袋中,栽培基质为粉碎过筛的风干土、砂土、腐殖质,体积比为6:2:2,将移植好的扦插苗转入温室培养。11月17日将扦插苗移出温室,置于长江大学园艺园林学院基地的盆景园。每隔7 d喷施处理液1次,共6次,时间分别为11月25日、12月2日、12月10日、12月17日、12月25日、2010年1月2日。室内分析试验于2009年12月至2010年3月在长江大学园艺园林学院本科生实验室进行。

试验设2因素3水平共9个处理(表1),每个处理18株,共162株,每个育苗袋1株,每处理300 mL处理液。在喷施处理液后15、30、45 d各取样1次,对活性氧代谢酶系统和非酶系统物质含量进行测定。

1.3 项目测定

榕树愈创木酚过氧化物酶(G-POD)活性的测定采用赵世杰等^[27]的方法;抗坏血酸过氧化物酶(ASA-POD)活性的测定采用修改的Nakano等^[28]的方法;过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用Cakmak等^[29]的方法;超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用Giannopolitis等^[30]的方法;丙二醛(MDA)含量测定参考Cakmak等^[29]的方法。

表 1 处理液浓度设计

Table 1 The design of processing liquid concentration

处理 Treatment	处理液浓度	
	赤霉素浓度 GA_3 concentration/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	硫酸铵浓度 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ concentration/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
1(CK)	0	0
2	15	0
3	150	0
4	0	20
5	15	20
6	150	20
7	0	200
8	15	200
9	150	200

1.4 数据分析

试验数据采用SPSS 16.0软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 赤霉素和硫酸铵对榕树愈创木酚过氧化物酶(G-POD)活性的影响

由表2可知,低温胁迫下CK的G-POD活性较低,经 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理15、30、45 d后,G-POD活性均极显著($P < 0.01$)高于CK。随着 GA_3 浓度的增加G-POD活性较CK呈先升高后降低的趋势;随着 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度的增加G-POD活性呈增高的趋势。其中,处理8在任何处理时段G-POD均为最高,其次为处理5。在不同天数(15、30、45 d)间处理的G-POD活性中,30 d>45 d>15 d。由此可见,经 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理后榕树叶片能保持较高水平的G-POD活性。

表 2 赤霉素和硫酸铵对榕树愈创木酚过氧化物酶活性的影响

Table 2 Effect of GA_3 and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on G-POD activity of *Ficus microcarpa* $\text{mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$

处理 Treatment	处理时间 Treatment time/d		
	15	30	45
1(CK)	0.599±0.075 gG	0.540±0.051 eE	0.511±0.073 gF
2	1.897±0.139 dD	2.173±0.156 cC	1.958±0.073 dC
3	1.078±0.012 fF	1.533±0.058 dD	1.112±0.015 fE
4	1.298±0.067 eE	1.410±0.088 dD	1.390±0.097 eD
5	2.489±0.139 bB	2.620±0.059 bB	2.539±0.052 bB
6	2.002±0.141 cdCD	2.073±0.058 cC	2.000±0.139 dC
7	1.965±0.061 cdCD	2.042±0.129 cC	1.999±0.117 dC
8	2.702±0.116 aA	2.986±0.079 aA	2.867±0.060 aA
9	2.115±0.080 cC	2.169±0.059 cC	2.140±0.132 cC

注:同一列不同小写字母间差异显著($P < 0.05$);同一列不同大写字母间差异极显著($P < 0.01$)。下同。

Note: Different lowercase letters within a line indicate significant differences at 0.05 level; different capital letters within a line indicate very significant differences at 0.01 level. The same below.

2.2 赤霉素和硫酸铵对榕树抗坏血酸过氧化物酶(ASA-POD)活性的影响

由表3可知,经 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理后榕树ASA-POD活性与G-POD活性呈现出相同的变化趋势,均表现为随 GA_3 浓度的增加而先升高后降低;随 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度的增加而升高。处理8的ASA-POD

活性最高,但 GA_3 浓度持续增加 ASA-POD 活性则下降。 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 复合处理后榕树叶片 ASA-POD 活性均显著高于 CK ($P<0.05$),其中处理 8 在任何时段均为最高,与其它各处理差异极显著 ($P<0.01$)。

表 3 赤霉素和硫酸铵对榕树抗坏血酸过氧化物酶活性的影响

Table 3 Effect of GA_3 and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on ASA-POD activity of *Ficus microcarpa* $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

处理 Treatment	15	30	45
1(CK)	200.030±1.572 eD	200.000±1.742 gG	199.276±1.258 hH
2	202.891±1.384 dC	219.097±1.450 dD	210.822±2.046 fF
3	200.163±1.028 eD	210.815±1.413 fF	204.965±1.446 gG
4	203.196±1.441 dC	216.749±1.018 eE	214.944±1.137 eE
5	207.085±1.453 cB	224.587±1.570 bB	221.458±1.723 bB
6	204.015±1.092 dC	218.766±1.310 dD	219.081±2.266 dD
7	207.653±1.302 bcB	224.705±1.285 bB	221.141±2.441 bBC
8	214.533±1.359 aA	231.649±1.100 aA	224.787±2.254 aA
9	208.997±1.472 bB	221.995±1.190 cC	220.094±1.279 cCD

2.3 赤霉素和硫酸铵对榕树过氧化氢酶(CAT)活性的影响

由表 4 可知,不同处理对榕树 CAT 活性影响具有明显差别,经低温胁迫后 CAT 活性随 GA_3 浓度增加呈先升高后下降的趋势,随 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度增加呈上升趋势。除高 GA_3 浓度(150 mg/L)处理 15 d 外,其余 GA_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 单一或复合处理的 CAT 活性在任何时段均极显著高于 CK ($P<0.01$)。 GA_3 与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 复合处理除与单一高 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理(200 g/L)差异不显著外,其余均差异极显著 ($P<0.01$) 高于 GA_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 单一处理。其中,处理 2 处理 15、30、45 d 后 CAT 活性分别比 CK 增加了 6.45%、8.58%和 7.63%;处理 8 在任何处理时段 CAT 活性均为最高,处理 9 其次。结果表明,经 GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理后 CAT 活性均升高,这有效阻止了 O_2^- 和 H_2O_2 的积累,从而减缓了低温对榕树的伤害。

表 4 赤霉素和硫酸铵对榕树过氧化氢酶活性的影响

Table 4 Effect of GA_3 and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on CAT activity of *Ficus microcarpa* $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

处理 Treatment	15	30	45
1(CK)	14.523±0.285 eE	14.500±0.146 eE	14.487±0.275 eE
2	15.460±0.189 cC	15.744±0.088 dD	15.592±0.261 cC
3	14.913±0.340 dDE	15.544±0.192 dD	15.119±0.082 dD
4	15.250±0.104 cCD	15.693±0.169 dD	15.430±0.219 cC
5	16.281±0.202 bB	16.571±0.270 bB	16.319±0.206 bB
6	16.026±0.132 bB	16.167±0.215 cC	16.101±0.135 bB
7	16.100±0.104 bB	16.174±0.062 cC	16.129±0.198 bB
8	16.994±0.119 aA	16.919±0.057 aA	16.910±0.097 aA
9	16.788±0.227 aA	16.800±0.144 abAB	16.790±0.101 aA

2.4 赤霉素和硫酸铵对榕树超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

由表 5 可知,SOD 活性随 GA_3 浓度增加呈先升高而后下降的趋势,随 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度的增加 SOD 活性呈升高的趋势。30 d 后处理 8 的 SOD 活性达到峰值。处理 15 d 后,200 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 与 3 个浓度水平 GA_3 复合处理 SOD 含量分别为 CK 的 1.08、1.10、1.06 倍,30 d 后则增加至 CK 的 1.18、1.19、1.12 倍,45 d 后增加至 CK 的 1.17、1.18、1.11 倍。比较而言,处理 30 d 后的 SOD 活性增加效果比处理 15、45 d 后的效果明显。

表 5 赤霉素和硫酸铵对榕树超氧化物歧化酶活性的影响

Table 5 Effect of GA_3 and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on SOD activity of *Ficus microcarpa* $\mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$

处理 Treatment	15	30	45
1(CK)	188.672±1.644 fH	188.010±2.626 dE	188.001±2.284 eD
2	192.039±1.277 eFG	199.134±2.349 cD	197.788±2.225 cdCD
3	189.202±1.638 fGH	197.784±2.781 cD	195.405±2.167 deCD
4	192.957±1.364 eEF	206.766±2.336 bCD	204.746±1.391 bcBC
5	198.028±0.976 cCD	212.089±2.279 bBC	211.538±2.319 bAB
6	195.275±0.971 dDE	206.625±3.611 bCD	205.532±3.679 bcBC
7	204.483±1.542 bB	221.026±1.813 aAB	220.725±1.029 aA
8	208.279±2.044 aA	223.096±3.142 aA	222.477±2.330 aA
9	200.085±1.472 cC	210.090±3.182 bC	208.191±1.815 bBC

2.5 赤霉素和硫酸铵对榕树丙二醛(MDA)含量的影响

由表 6 可知,低温胁迫下 CK 随处理时间的延长 MDA 含量略有增加。 GA_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理后 MDA 含量降低,且随处理浓度的增加而显著降低 ($P<0.01$) (除单一 GA_3 处理后期降幅不明显外); GA_3 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 复合处理后,MDA 含量进一步降低;处理 9 在任何时段 MDA 含量均最低。150 mg/L GA_3 单一处理 15 d 的 MDA 含量最低,各 GA_3 处理 30 d 和 45 d 后依然低于 CK。其中,处理 3 处理 15、30、45 d 后 MDA 含量较 CK 分别下降了 38.25%、25.02%和 23.05%;处理 7 处理 15、30、45 d 后 MDA 含量较 CK 分别下降了 58.84%、43.38%和 24.27%;处理 9 处理 15、30、45 d 后 MDA 含量较 CK 分别下降了 69.45%、57.79%和 38.09%。统计分析表明,任何 GA_3 或 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 处理 MDA 含量均极显著 ($P<0.01$) 低于 CK。任何 GA_3 与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 复合处理 MDA 含量也极显著 ($P<0.01$) 低于 CK。结果表明,植株受低温胁迫后 MDA 含量增加,减轻了植株膜氧化,从而减缓伤害发生的过程。

2.6 活性氧代谢酶活性和非酶系统物质含量的相关性分析

从表 7 可以看出,SOD 与 G-POD、ASA-POD 和 CAT 呈极显著正相关 ($P<0.01$),相关系数分别为 ($r=0.690^{**}$ 、 $r=0.872^{**}$ 和 $r=0.709^{**}$)。G-POD 与 ASA-POD、CAT 呈极显著正相关 ($P<0.01$),相关系数

分别为($r=0.748^{**}$ 和 $r=0.890^{**}$)。ASA-POD与CAT呈极显著正相关($r=0.737^{**}$)。SOD、G-POD、ASA-POD和CAT与MDA含量呈极显著负相关,相关系数分别为($r=-0.728^{**}$ 、 $r=-0.653^{**}$ 、 $r=-0.797^{**}$ 和 $r=-0.734^{**}$)。

表6 赤霉素和硫酸铵对榕树丙二醛(MDA)含量的影响

Table 6 Effect of GA ₃ and (NH ₄) ₂ SO ₄ on MDA content of <i>Ficus microcarpa</i> $\mu\text{mol/g}$				
处理 Treatment	处理时间 Treatment time/d			
	15	30	45	
1(CK)	13.013 \pm 0.927 aA	12.385 \pm 0.813 aA	13.031 \pm 0.593 aA	
2	9.646 \pm 0.925 bB	9.557 \pm 1.110 bB	10.916 \pm 0.994 bB	
3	8.035 \pm 0.869 cC	9.286 \pm 0.969 cC	10.027 \pm 0.886 cC	
4	6.968 \pm 0.835 dD	8.685 \pm 0.738 dD	10.896 \pm 0.986 bB	
5	5.200 \pm 0.856 eEF	7.307 \pm 1.904 eE	9.502 \pm 0.875 dDE	
6	4.987 \pm 0.931 fF	6.986 \pm 0.926 fF	9.152 \pm 0.924 eE	
7	5.356 \pm 0.711 eE	7.012 \pm 0.820 fEF	9.868 \pm 1.175 cCD	
8	4.196 \pm 0.871 gG	5.419 \pm 0.860 gG	8.493 \pm 0.833 fF	
9	3.976 \pm 0.884 gG	5.228 \pm 0.882 gG	8.068 \pm 0.804 gF	

表7 低温胁迫下GA₃和(NH₄)₂SO₄处理后榕树叶片中活性氧代谢酶活性与非酶促系统物质含量的相关性

Table 7 Correlations of enzymatic activity and content of non-enzymatic materials in reactive oxygen metabolism of *Ficus microcarpa* leaves of GA₃ and (NH₄)₂SO₄ under low temperature stress

	G-POD 活性	ASA-POD 活性	CAT 活性	MDA 含量
SOD 活性	0.690 ^{**}	0.872 ^{**}	0.709 ^{**}	-0.728 ^{**}
G-POD 活性		0.748 ^{**}	0.890 ^{**}	-0.653 ^{**}
ASA-POD 活性			0.737 ^{**}	-0.797 ^{**}
CAT 活性				-0.734 ^{**}

注: * 表示显著相关($P<0.05$); ** 极显著相关表示($P<0.01$)。

Note: * stands for significant correlation ($P<0.05$), ** stands for extremely significant correlation ($P<0.01$).

3 讨论

POD、SOD、CAT共同组成植物体内一个有效的活性氧清除系统,能有效清除植物体内的自由基和过氧化物,在一定范围内,SOD和CAT的共同作用能消除超氧化物阴离子自由基,从而产生H₂O₂,之后分解成H₂O和O₂,并能起到减少具毒性和高活性的·OH的形成,POD和CAT则可催化H₂O₂形成H₂O,从而有效阻止O₂⁻和H₂O₂的积累,限制这些自由基对膜脂过氧化的启动^[31]。研究表明,低温引起的活性氧积累是植物冷害的重要原因之一,而细胞质中清除活性氧的能力可作为植物抗逆能力的生理指标^[32]。抗氧化酶(POD、SOD、CAT)活性是反映对活性氧的清除能力,而MDA含量是膜脂过氧化的分解产物,它的积累反映了活性氧在植物体内超过阈值时对细胞膜系统造成的伤害程度。SOD是植物适应和抵抗逆境最主要的一种抗性酶,是膜脂过氧化防御系统的重要抗氧化保护酶,它可以及时清除自由基和活性氧,提高组织的抗氧化能力。在逆境胁迫条件下,植物体内由于活性氧的平衡受到影响,造成了活

性氧的产生,这些活性氧如果不被SOD清除掉,就会对细胞膜等产生破坏^[32]。过氧化氢酶是植物活性氧清除系统中一种膜结构保护酶,能够有效清除细胞内过多的H₂O₂,维持细胞内H₂O₂在一个正常水平,从而与呼吸作用、光合作用及生长素的氧化等有密切的联系^[33]。该试验结果表明,榕树幼株受GA₃和(NH₄)₂SO₄处理后POD活性、SOD活性、CAT活性均有所升高。15 mg/L GA₃+200 g/L (NH₄)₂SO₄处理30 d后G-POD活性和ASA-POD活性达到最高;15 mg/L GA₃+20 g/L (NH₄)₂SO₄处理15 d后CAT活性达到极显著高于对照水平($P<0.01$),且处理效果不随时间延长而变化;15 mg/L GA₃+200 g/L (NH₄)₂SO₄处理30 d后SOD活性达到峰值。抗氧化酶(POD、SOD、CAT)活性提高意味着抗氧化保护能力的增强,从而减缓低温对榕树幼株的伤害。

MDA是膜脂过氧化的主要产物,其产量成为鉴别逆境伤害的指标之一。当植物受到胁迫(高温、低温、盐渍、干旱等)时,自由基积累过多,从而破坏膜结构,损伤大分子生命物质,引起一系列生理生化紊乱,导致植物死亡^[34]。该研究结果表明,随低温胁迫时间的延长,MDA含量增加,GA₃和(NH₄)₂SO₄处理后MDA含量呈逐渐下降趋势,30 d和45 d处理时MDA含量较15 d呈积累的趋势。

该研究结果表明,低温胁迫下榕树幼株经GA₃和(NH₄)₂SO₄处理后POD活性、SOD活性、CAT活性升高,抑制了MDA含量的积累,显著降低了低温胁迫对榕树幼苗的伤害,外源GA₃和(NH₄)₂SO₄在一定程度上提高了榕树幼株的抗冷性。15 mg/L GA₃和200 g/L (NH₄)₂SO₄复合处理POD活性、CAT活性、SOD活性较高,MDA含量较低,这一复合处理应用到榕树幼株抗冷性栽培中较为适合,也适合北方地区引种南方植物时进行前期处理以提高其对低温的耐受性。

参考文献

- [1] 曾韶西,王以柔,刘鸿先.低温胁迫对水稻幼苗抗坏血酸含量的影响[J].植物生理学报,1987(13):365-370.
- [2] 王莉,靳素娟.南方常见园林植物寒冻害成因及防御措施[J].现代农村科技,2009(11):21-22.
- [3] 冯玉龙,曹坤芳,冯志立,等.夜间低温对不同光强下生长的两种热带树苗光合作用的影响[J].植物生理与分子生物学报,2002,28(6):433-440.
- [4] 谢晓金,郝日明.南京地区12种常绿阔叶树种冬季抗寒性动态变化[J].生态学报,2009,29(4):2149-2154.
- [5] 王宏伟,魏家绵,沈允钢.喷洒低浓度亚硫酸氢钠可促进小麦叶片光合磷酸化和光合作用[J].科学通报,2000,45(4):394-398.
- [6] 黄先忠,蒋才富,廖立力,等.赤霉素作用机理的分子基础与调控模式研究进展[J].植物学通报,2006,23(5):499-510.
- [7] 马晓梅.生长调节剂赤霉素对大叶白蜡幼苗生长的影响[J].科技风,2010(11):392-404.
- [8] Haldimann P. Effects of changes in growth temperature on photosynthesis and carotenoid composition in *Zea mays* leaves[J]. Physiol Plant,1996,97:554-562.

- [9] 李远超. 园林树木冻害发生原因及其防护策略[J]. 现代农业科技, 2010(12):186-188.
- [10] 马德华, 庞金安, 李淑菊, 等. 温度逆境锻炼对高温下黄瓜幼苗生理的影响[J]. 园艺学报, 1998, 25(4):350-355.
- [11] Lee D H, Lee C B. Chilling stress-induced changes of antioxidant enzymes in the leaves of cucumber; in gelyzyme activity assays[J]. Plant Science, 2000, 159(1):75-85.
- [12] Gong M. Absciscic acid-induced thermotolerance in maize seedlings is mediated by calcium and associated with antioxidant systems[J]. Plant Physiol, 1998, 153(3/4):482-491.
- [13] Prasad T K. Role of catalase in inducing chilling tolerance in pre-emergent maize seedlings[J]. Plant Physiology, 1997, 114(4):1369-1376.
- [14] Li Q B, Haskell D W, Guy C L. Coordinate and non-coordinate expression of the 70 family and other molecular chaperones at high and low temperature in spinach and tomato[J]. Plant Mol Biol, 1999, 39(1):21-34.
- [15] 倪志华, 陈团显, 朱博, 等. 果树抗寒性研究进展[J]. 现代园艺, 2009(8):182-187.
- [16] 姜跃丽, 师进霖. 不同浓度赤霉素对打破洋桔梗簇叶化的影响[J]. 北方园艺, 2010(13):36-39.
- [17] 柏新富, 赵建萍, 蒋小满, 等. 切花月季花枝生长规律及 GA₃ 对其生长的影响[J]. 植物学通报, 2001(1):96-99.
- [18] 成仿云, 杜秀娟. 低温与赤霉素处理对‘凤丹’牡丹种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(4):553-558.
- [19] 周慧芬, 郭延平, 林建勋, 等. (NH₄)₂SO₄ 对枇杷和毛叶枣叶片光合速率的促进作用[J]. 果树学报, 2003, 20(3):239-241.
- [20] 胡春梅, 季俊杰, 王秀峰, 等. (NH₄)₂SO₄ 对瓜尔豆幼苗在不同光照下耐冷性的影响[J]. 植物研究, 2006(6):6-26.
- [21] 陈永密. 赤霉素对苗木生长的影响[J]. 植物生理学通讯, 1987, 18(3):65-73.
- [22] 梁燕, 任武义, 任武臣, 等. ABT-3 与 GA₃ 在柞树育苗中的应用[J]. 林业科技, 1996(1):10-12.
- [23] Razerm F A, Baron K, Hill R D. Turning on gibberellin and abscisic acid signaling[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2006, 9(5):454-459.
- [24] 马国华, 张启明. 赤霉素和多效唑对白鹤芋幼苗生长及诱导开花的作用[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(6):413-415.
- [25] 杨大荣, 徐磊, 彭艳琼, 等. 云南省榕小蜂和榕树的物种组成及多样性[J]. 生物多样性, 2004, 12(6):611-617.
- [26] 林淑玲, 赵南先, 陈贻竹, 等. 榕树 (*Ficus*) 在中国的分布及其在协同进化研究上的意义[J]. 生态学报, 2007, 27(10):4278-4288.
- [27] 赵世杰, 史国按, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [28] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. Plant Cell Physiology, 1981, 22(5):867-880.
- [29] 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(5):1222-1227.
- [30] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiology, 1977, 59(5):309-314.
- [31] 潘瑞炽, 王小菁, 李娘辉. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [32] Horvath I, Van Hasselt P R. Inhibition of chilling-induced photo-oxidative damage to leaves of *Cucumis sativus* L. by treatment with amino alcohol[J]. Planta, 1985, 164:83-88.
- [33] 薛国希, 高辉远, 李鹏民, 等. 低温下壳聚糖处理对黄瓜幼苗生理生化特性的影响[J]. 植物生理与分子生物学报, 2004, 30(4):441-448.
- [34] 王毅, 杨宏福, 李树德. 园艺植物冷害和抗冷性的研究[J]. 园艺学报, 1994, 21(3):239-244.

Effect of Gibberellic Acid and Ammonium Sulfate on Physiological and Biochemical Indexes of *Ficus microcorpa* Plant Under Low Temperature Stress

LI De-ming¹, CHEN Ping², ZHANG Xiu-juan², CAI Xing-lai¹

(1. Institute of Vegetable Science, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571100; 2. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025)

Abstract: Taking *Ficus microcorpa* as test material, different concentrations of GA₃ (0, 15, 150 mg/L) and (NH₄)₂SO₄ (0, 20, 200 g/L) under low temperature in winter after treatment 15, 30, 45 d on active oxygen metabolism enzymes guaiacol peroxidase (G-POD) activity, ascorbate peroxidase (ASA-POD) activity, catalase (CAT) activity, superoxide dismutase enzyme (SOD) activity and (MDA) content were studied. The results showed the application of gibberellic acid and ammonium sulfate increased the root activity, reduced MDA content in leaves during recovery time after chilling. Under low temperature stress increased with the GA₃, POD activity, CAT activity and SOD activity were increased firstly and then decreased. With the increase of ammonium sulfate, POD activity, CAT activity and SOD activity were increased, and MDA content was decreased. 200 g/L (NH₄)₂SO₄ for 15 d, and G-POD activity was very significant performance. In the treatments of 200 g/L (NH₄)₂SO₄ and 15 mg/L GA₃, ASA-POD activity was the highest. 15 mg/L GA₃ and 200 g/L (NH₄)₂SO₄ treatment at 30 d, SOD activity continued to increase and reached peak. 15 mg/L GA₃ and 20 g/L (NH₄)₂SO₄ for 15 d, it was to reach a significant level ($P < 0.01$). After the treatment of GA₃ and (NH₄)₂SO₄, content of MDA content was decreased. It was to a minimum after the treatment of 15 d. And after the treatment of 30 d and 45 d, the overall MDA content was increased which compared with 15 d.

Key words: gibberellic acid (GA₃); ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄); *Ficus microcorpa*; metabolism of activity oxygen; enzyme; MDA