

文章编号: 1001-1498(2001)06-0633-08

低温胁迫对马占相思树代谢的影响研究

巫光宏¹, 詹福建¹, 黄卓烈¹, 罗焕亮², 邵志芳³

(1 华南农业大学 生物技术学院, 广东 广州 510642; 2 华南理工大学 食品与生物工程学院,
广东 广州 510641; 3 广东省深圳市莲花山公园管理处, 广东 深圳 518100)

摘要: 报道了马占相思QLD 19835 家系 7 个月苗龄的树苗在低温胁迫下, 电导率、可溶性糖、脯氨酸和可溶性蛋白质的含量变化及ATP 酶(ATPase)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)的活性动态变化, 揭示了在低温逆境下, 由于细胞膜系统受到寒害而使电导率不断升高, ATPase 活性亦有所下降, 而可溶性糖、脯氨酸和可溶性蛋白质的含量则显著升高。这在保护细胞膜稳定性方面起到重要的作用, 增强了植株本身对低温的忍耐能力。另外, CAT 活性升高, POD、SOD 的活性有所下降, 但仍保持一定活性, 提高了它们对氧自由基和过氧化物的清除, 这些变化的总效应是使植物细胞膜结构和物质代谢过程中免遭寒害, 提高植物的抗寒力。

关键词: 马占相思; 苗期抗寒性; 代谢

中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A

马占相思(*Acacia mangium* Willd)是热带、亚热带地区的优良速生纤维用材树种, 近年来引入广东, 是良好的制浆造纸原材料。在每年的冬春期间, 马占相思因寒潮的侵袭而受到冷害, 造成生长发育受阻, 甚至死亡, 因此研究该植株的冷害及其冷害机理等问题在理论上及实践上都具有重要意义。现代有关植物抗寒性研究表明, 在低温胁迫下, 植物细胞内的生理代谢发生变化, 包括细胞壁、细胞膜的组分、结构, 膜渗透性, 可溶性糖、脯氨酸含量和可溶性蛋白质的质和量发生变化等^[1]。同时, 植物出现的伤害与某些毒害物质如氧自由基和过氧化物在低温下大量积累而引起膜脂过氧化作用增强有关, 那么, 在低温胁迫逆境中, 植株必然要发生相应的适应性变化或迅速的防卫反应, 才能提高抗寒力, 避免冻害^[2]。有关的研究揭示, 植物需要提高保护酶如过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)及ATP 酶(ATPase)的酶促防御系统来清除有害物质, 从而保护机体不受伤害^[3]。

国内外关于马占相思植株的冷害机理尚缺乏研究, 我们试图在这方面开展一些研究工作。本文报道马占相思QLD 19835 家系 7 个月苗龄的树苗在低温胁迫下, 细胞膜电导率、可溶性糖、脯氨酸和可溶性蛋白质的含量的变化动态及细胞保护酶——CAT、POD、SOD 和ATPase 活性变化, 为马占相思树种的抗冷育种和栽培提供理论依据和生理指标。

1 材料与方法

1.1 材料及低温处理方法

用马占相思QLD 19835 家系(简称Q 家系)盆栽植物进行试验。树苗由种子萌发培育而

收稿日期: 2000-08-24

基金项目: 广东省林业厅重点课题“DNA 分子标记在马占相思抗性育种中的应用研究”(1998-038)的部分内容

作者简介: 巫光宏(1964-), 女, 广西玉林人, 讲师, 硕士

成。苗龄7个月,高度50~60 cm。试验于1999年9月7日至23日进行。变温处理在Conviron CM P3244人工气候箱中进行,人工降温程序见表1。光照时间8:00~17:00,光照强度为 $120 \text{ mmol (photons)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,相对湿度为80%~85%。对照组于室外条件培植,室外平均温度为 32 ± 2 。各项检测项目设3个重复实验,在变温处理过程中,每两天取样一次进行检测,采样时间均为8:00。取样方法,每一次分别取变温组和对照组各3盘植株(每盘1株)的第3位至第8位叶状体(叶柄)进行各种分析。

表1 实验采用人工降温程序

处理日期 (月-日) (d)	时间/h			处理日期 (月-日) (d)	时间/h		
	8:00~ 14:00	14:00~ 17:00	17:00~ 次日 8:00		8:00~ 14:00	14:00~ 17:00	17:00~ 次日 8:00
	温度/				温度/		
09-07 (0)	30	28	28	09-16 (9)	8	8	8
09-08 (1)	28	26	24	09-17 (10)	6	6	6
09-09 (2)	20	18	17	09-18 (11)	6	6	6
09-10 (3)	16	15	14	09-19 (12)	6	6	6
09-11 (4)	13	12	11	09-20 (13)	6	6	6
09-12 (5)	10	9	8	09-21 (14)	6	6	6
09-13 (6)	8	8	8	09-22 (15)	6	6	6
09-14 (7)	8	8	8	09-23 (16)	6	6	6
09-15 (8)	8	8	8				

1.2 脯氨酸、可溶性糖和电导率测定方法

游离脯氨酸的含量测定采用磺基水杨酸提取、酸性茚三酮显色,分光光度计比色法测定^[4]。水溶性糖含量测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[5]。电导率测定采用电导仪(DDS-11A GA型)测定,以叶片杀死前的电导率占杀死后(全透性)电导率的百分数来表示膜的相对透性^[6]。

1.3 酶活性和蛋白质含量测定

取0.5 g叶柄,用5 mL 0.05 mol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH 7.8)冰浴研磨,离心15 min (10 000 r·min⁻¹),收集上清液,用于蛋白质含量及各种酶活性测定。可溶性蛋白质含量测定参照Bradford^[7]的方法进行,用牛血清白蛋白作为标准。过氧化氢酶(CAT)的活性测定采用硫代硫酸钠滴定法^[8],酶活性以“ $\mu\text{g}(\text{H}_2\text{O}_2) \cdot \text{mg}^{-1}(\text{protein}) \cdot \text{min}^{-1}$ ”表示。过氧化物酶(POD)的活性测定采用愈创木酚法^[9],酶活性以“ $\Delta\text{OD}_{470\text{nm}} \cdot \text{mg}^{-1}(\text{protein}) \cdot \text{min}^{-1}$ ”表示。超氧化物歧化酶(SOD)的活性测定采用SOD抑制氯化硝基氮蓝四唑(NBT)光化还原方法^[10]测定,酶活性单位采用抑制NBT光化还原50%为一个酶活性单位,酶比活以“ $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}(\text{protein}) \cdot \text{min}^{-1}$ ”表示。ATP酶(ATPase)活性测定采用孔雀石绿比色法^[11],酶活性用ATP酶降解ATP生成无机磷的速率[$\mu\text{mol}(\text{Pi}) \cdot \text{mg}^{-1}(\text{protein}) \cdot \text{min}^{-1}$]表示。

2 结果与分析

2.1 人工降温过程中的受害症状

在人工降温过程中,当温度分别降至20、13、8, Q家系整个植株外观正常,未表现出明显的受害症状。当温度降至6后处理6 d(即处理第16天)时,植株表现一定程度失水状态,

老叶开始变黄、反卷、枯萎, 有少部分脱落, 而嫩叶受的影响不大, 无萎蔫现象。同时还发现植株的有些老根受寒害坏死, 且有些新根生长出来, 可见低温伤害程度不算太严重, 说明 Q 家系经逐步降温, 对低温胁迫能较快地作出反应, 因而能够活下来。

2.2 低温胁迫对 Q 家系电导率的影响

电导率的增大是细胞电解质外渗增加所致, 是细胞膜系统遭受伤害的指标。从图 1 可见, 不同低温处理时, Q 家系叶柄细胞膜相对电导率呈增加趋势。当温度降至 8 时, 与对照组相比, 相对电导率增加了 43% (8 处理后第 2 天), 温度降至 6 数天时, 相对电导率分别增加了 99% (6 处理后第 1 天)、197% (6 处理后第 2 天)、161% (6 处理后第 4 天)、191% (6 处理后第 6 天)。将电导率数据进行反正弦变换后再进行方差分析, 结果列于表 2 中。可见在试验期间各天之间的电导率虽然有起伏, 但其差异并不显著; 而经变温处理的与对照之间的差异就达到极显著的水平。说明低温胁迫对细胞膜有显著破坏。

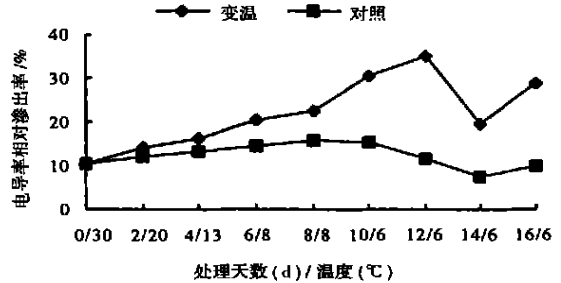


图 1 低温处理对电导率的影响

表 2 低温处理对电导率影响的方差分析

变异来源	FD	SS	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
天数/温度间	8	111.937 9	13.992 2	1.242	3.438	6.023
处理间	1	143.763 7	143.763 7	12.758 8**	5.318	11.26
误差	8	90.149 0	11.268 6			
总变异	17	345.850 6				

注: FD = 自由度; SS = 平方和; MS = 均方。以下同。

2.3 低温胁迫对 Q 家系脯氨酸含量的影响

图 2 表明低温处理对 Q 家系脯氨酸含量随低温胁迫时间的延长而升高。当温度由 32 逐渐降至 8 时, Q 家系叶柄脯氨酸含量与对照组相比, 不断增加。刚开始降至 20 时增加 32.6%, 降至 8 时增加 65.09%, 当继续降至 6 后, 脯氨酸增加的百分比分别为: 189.2% (6 后当天, 即处理第 10 天)、232.9% (6 处理后 2 d, 即处理第 12 天)、243.4% (6 处理后 4 d, 即处理第 14 天)、262.5% (6 处理后 6 d, 即处理第 16 天)。表 3 列出了脯氨酸含量变化的方差分析。结果表明, 变温处理的植株脯氨酸含量与对照比较差异极显著。

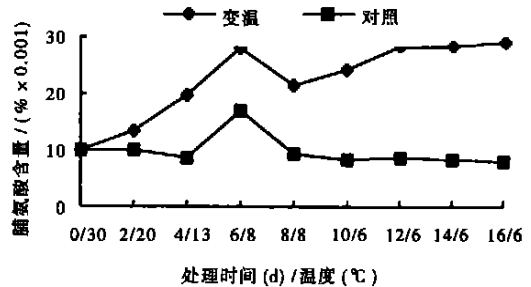


图 2 低温处理对脯氨酸含量的影响

表 3 低温处理后脯氨酸含量变化的方差分析

变异来源	FD	SS	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
天数/温度间	8	235.865 4	29.483 2	1.074	3.438	6.023
处理间	1	722.380 1	722.380 1	26.311**	5.318	11.26
误差	8	219.643 4	27.455 4			
总变异	17	1 177.888 9				

2.4 低温胁迫对 Q 家系可溶性糖含量的影响

图 3 显示, Q 家系叶柄的水溶性糖含量随低温胁迫时间的延长而升高。当温度从室温 30 下降至 20 , 可溶性糖含量比对照组下降了 11.20%。温度渐渐下降至 8 时, 与对照组相比, 可溶性糖含量升高了 24.25% (第 4 天, 13)、28.67% (第 6 天, 8)、52.66% (第 8 天, 8)。当温度降至 6 低温处理 6 d (即第 16 天), 可溶性糖比对照组增加了 47.8%。

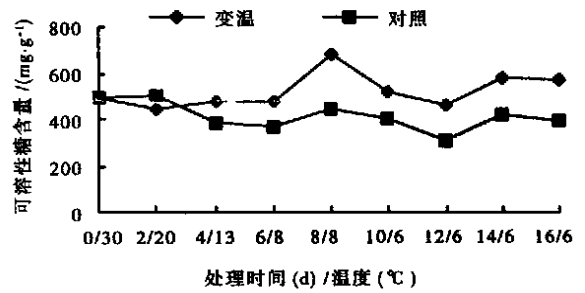


图 3 低温处理对马占相思树可溶性糖含量的影响

表 4 列出了可溶性糖变化方差分析的结果, 可见, 经低温处理后, 体内的可溶性糖含量显著地高于对照。这表明在低温下 (6) 植株体内糖代谢仍然活跃, 合成增加。

表 4 低温处理后可溶性糖含量的方差分析

变异来源	FD	SS	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
天数/温度间	7	43 111.859 0	6 158.837 0	1.286	3.787	6.993
处理间	1	49 383.950 3	49 383.950 3	10.310*	5.591	12.250
误差	7	33 523.364 8	4 789.052 0			
总变异	15	126 019.174 0				

2.5 低温对 Q 家系可溶性蛋白质的影响

从图 4 看出, 可溶性蛋白质含量随着温度下降与对照组相比呈增加趋势, 刚开始升幅较低, 如温度下降至 13 , 只增加了 2.67%, 然后随着温度继续下降至 8 6 , 增加的幅度加大。8 (第 6 天) 时增加 19.49%, 6 (第 12 天) 增加 46%, 6 (第 14 天) 增加 75%, 6 (第 16 天) 增加 93.0%。从表 5 的方差分析结果表明, 经低温处理后可溶性蛋白质含量与对照比较差异达到极显著水平。

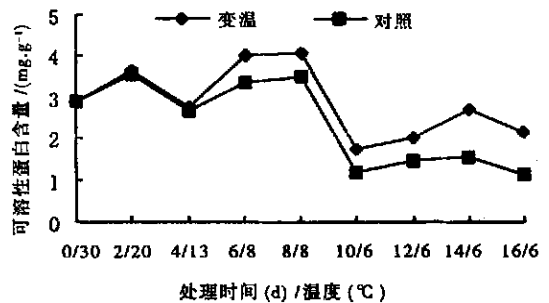


图 4 低温处理对马占相思树可溶性蛋白含量的影响

表 5 马占相思叶柄可溶性蛋白质含量的变化方差分析

变异来源	FD	SS	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
天数/温度间	8	13.737 4	1.717 2	19.944**	3.438	6.023
处理间	1	1.251 9	1.251 9	14.540**	5.318	11.260
误差	8	0.688 6	0.086 1			
总变异	17	15.677 9				

2.6 低温对 Q 家系过氧化氢酶(CAT)活性的影响

由图 5 看出, 与对照组相比, 在低温处理下 Q 家系 CAT 活性随着温度的降低而变化, 温度降到 20℃, CAT 表现下降。然后随着温度继续下降到 13℃ (第 4 天) 和 8℃ (第 6 天), CAT 活性反而分别升高了 42.42% 和 37.12%。温度降至 6℃ 后处理 6 d (即第 16 天), CAT 活性比对照组还高 7.6%。方差分析结果 (表 6) 表明, 在低温处理期间, CAT 活性的变化与对照比较没有显著的差异, 说明在不良的低温条件下, Q 家系能够表现较高的 CAT 活性, 清除低温引起的毒物积累, 以保护植株免遭寒害。

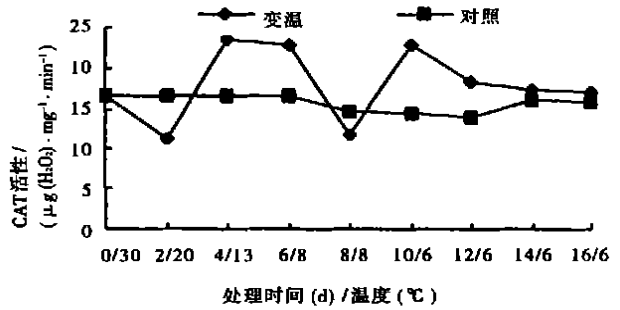


图 5 低温处理对马占相思树 CAT 活性的影响

表 6 马占相思 Q 家系的 CAT、POD、SOD、ATPase 活性变化方差分析

酶	变异来源	FD	SS	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
CAT	天数/温度间	7	58.599 2	8.371 3	0.844	3.787	6.993
	处理间	1	33.005 0	33.005 0	3.326	5.591	12.250
POD	天数/温度间	7	27.773 7	3.967 7	1.857	3.787	6.993
	处理间	1	27.654 5	27.654 5	12.942 **	5.591	12.250
SOD	天数/温度间	8	1 153.744 1	144.218 0	0.911	3.438	6.023
	处理间	1	639.388 8	639.388 8	4.040	5.318	11.260
ATPase	天数/温度间	8	0.313 2	0.039 2	10.333 **	3.438	6.023
	处理间	1	0.022 5	0.022 5	5.938 *	5.318	11.260

2.7 低温对 Q 家系过氧化物酶(POD)活性的影响

图 6 中的实验结果表明, 随着低温胁迫的加强, Q 家系的 POD 活性比对照有所下降。虽然中间亦有起伏的状况, 但总比对照的低。随着 6℃ 处理天数的增加, 下降数值有所变化。方差分析结果 (表 6) 表明, 经低温处理后, POD 活性与对照的差异达到极显著的水平。由此可见, 低温处理使 POD 活力下降, 但仍具有相当活性进行消除寒害产生的有毒物质对细胞的伤害。

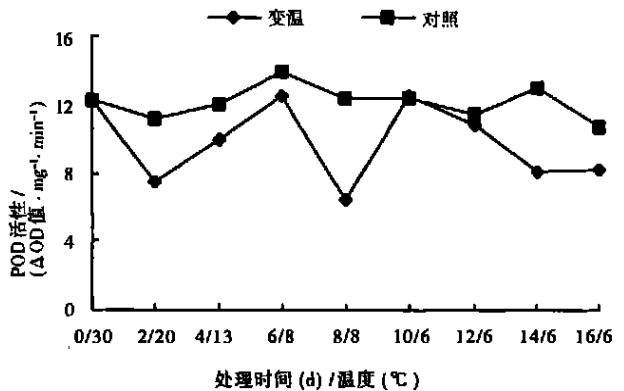


图 6 低温处理对马占相思树 POD 活性的影响

2.8 低温对 Q 家系超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

从图 7 中看出, 最初温度下降的时候, 与对照组相比 SOD 的活性呈上升状态, 如 20℃ 时 SOD 活性比对照增加了 20.86%, 13℃ 时增加了 4.2%, 说明 Q 家系体内的保护酶 SOD 和

CAT、POD 一样,对低温有一个适应的过程,具有一定的抗寒性。随着温度下降,SOD 活性有所下降但下降的幅度不大。而方差分析的结果(表 6)表明,经处理的植株 SOD 活性与对照比较,差异并不显著。说明植株细胞受到一定寒害时,SOD 活性虽然有所削弱,但仍具有一定的活性,以防止细胞遭受活性氧伤害,从而起到保护作用。

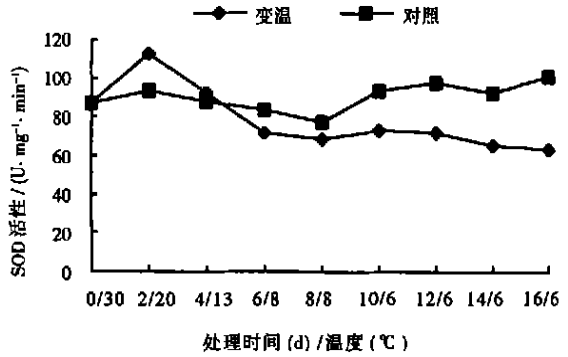


图 7 低温处理对马占相思树 SOD 活性的影响

2.9 低温对 Q 家系 ATP 酶(ATPase)活性的影响

细胞膜上的 ATPase 对有生命的细胞维持内外环境的平衡具有极重要的作用。在低温的胁迫下,细胞膜可能是冷害损伤的最初部位。与对照组相比,随着温度下降,ATPase 活性减弱(图 8)。方差分析的结果(表 6)表明,经低温处理以后,体内的 ATPase 活性与对照比较,有显著差异。

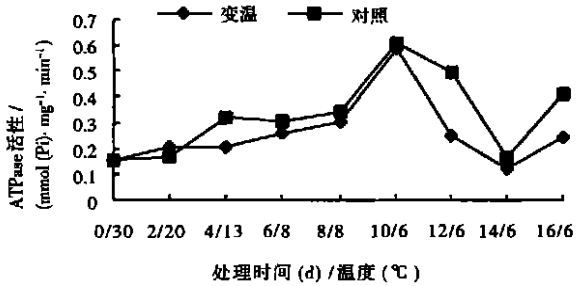


图 8 低温处理对马占相思树 ATPase 活性的影响

3 讨 论

(1)低温胁迫与 Q 家系植株相对电导率的关系 细胞膜是细胞与环境发生物质交换的主要通道,是细胞感受环境胁迫最敏感的部位。寒害与细胞膜的半透性被破坏有关。当植物遭受寒害时,水分子和小分子物质从细胞内渗出来,使电导率增大,而且电导率增大与低温强度关系密切^[12],可见电导率增大是细胞膜系统遭受寒害的指标。在本实验中,随着温度由 32 逐渐降至 8 ,Q 家系叶柄细胞膜电解质相对渗出率与对照组相比而渐渐升高,且随着低温时间持续(6 , 6 d),相对电导率进一步升高,表明细胞膜选择透性因低温伤害而有一定适应性,质膜受伤程度有所缓和。这一实验结果与某些经寒冷驯化而获得一定抗寒能力的植株如玉米(*Zea mays* L.)、黄瓜(*Cucumis sativus* L. inn.)^[13]、香蕉(*Musa nana* Lour.)等相符。同时与实验中作为渗透调节物质的脯氨酸和可溶性糖含量升高相吻合,从而起到保持原生质和环境渗透平衡,防止水分严重丧失,使 Q 家系表现出一定的抗寒能力。

(2)低温胁迫与 Q 植株游离脯氨酸、水溶性糖含量的关系 在低温胁迫下,寒害最敏感的质膜必然会发生相应的适应性变化,才能提高生物体抗寒能力,避免寒害^[12]。在本实验中发现,Q 家系的游离脯氨酸含量较低,经低温胁迫后,脯氨酸含量迅速升高,同时可溶性糖含量也随着低温胁迫加强而逐渐升高,这与某些经寒冷驯化而获得一定抗寒能力的植株如玉米、黄瓜、香蕉等的实验结果相符。这说明了游离脯氨酸和水溶性糖含量与植物抗寒性密切相关。处于低温下的植株中这两种物质积累作为渗透调节物质和防脱水剂而起作用。在低温胁迫下,它

们可以降低水势, 增强持水力, 当温度进一步降低时, 可作为细胞冰冻保护剂而对原生质体表面起保护作用, 以保持质膜的稳定, 这是使抗寒性增强的内在原因。

(3) 低温胁迫与 Q 家系可溶性蛋白质含量的关系 植物细胞壁和细胞膜含有大量的蛋白质, 有些蛋白质在植物生长和发育代谢与环境适应性的过程中起重要作用^[11]。对菜豆植物进行寒冷锻炼可诱导植物产生耐寒性, 同时可诱导某些特异基因的表达从而导致特异蛋白质的合成, 而这些新合成的蛋白是更能适应这种低温环境的蛋白^[11]。因而在低温逆境的胁迫下, 植物体内可溶性蛋白质含量维持在一定水平有利于抗寒性提高^[12]。在本实验中, 随着温度下降及低温(6℃)的持续胁迫, Q 植株可溶性蛋白质含量虽然有下降, 但仍维持一定水平(图 4), 这可能是植物对低温胁迫的一种保护性反应, 使得 Q 植株在低温下(6℃, 6 d)仍能存活。

(4) 低温胁迫与 Q 家系 ATP 酶活性变化的关系 寒害首先是损伤细胞的膜结构, 可能最初是改变膜上的功能性蛋白质如 ATP 酶活性, 然后引起植株生理生化过程的破坏。当面临低温胁迫时, 细胞需进行渗透调节以维持细胞内外渗透压平衡, 必然需要膜传递蛋白的跨膜运输作用, 而 ATP 酶是跨膜运输动力的生产者^[14]。可见, 细胞膜上的 ATP 酶对细胞维持内外环境的平衡有极重要作用。在本实验中, 在最初 10 d 低温处理中(由 30℃ 渐降到 6℃), ATP 酶活性与对照组相比, 先是升高, 然后降低。随着温度下降, ATPase 活性降低速度渐小, 说明最初寒害引起细胞膜上 ATP 酶活性增强, 这可能是最初有机体对外界因子引起的伤害的一种保护性反应, 即提高能量释放来抵御寒冷的侵袭^[12]。随着寒冷时间延长(6℃ 处理 6 d) ATP 酶活性继续下降, 细胞的膜上 ATP 酶还具有一定的活性, 这与寒冷驯化耐寒品种黄瓜^[15]和冬小麦^[12]等的有关 ATP 酶实验结果符合。实验表明, Q 家系质膜的 ATP 酶活性确实与其抗寒性具有密切关系。

(5) 低温胁迫与 Q 家系 CAT、POD、SOD 的关系 许多研究者都将 CAT、POD、SOD 统称为植物细胞防御系统的保护酶类。这些酶能清除低温逆境下体内产生的有害物质, 保护植物细胞膜和生物大分子, 以使植物本身尽快适应逆境而生存下来。植物在低温逆境过程中产生的氧自由基形成过氧化作用而造成膜脂的破坏是导致植物伤害的主要原因。而 SOD、CAT、POD 对这些自由基和过氧化物起清除作用^[15]。因此, 植物细胞的保护酶类在低温胁迫过程中能保持较高的活性是很重要的。在本实验中, 随着温度的逐渐下降, Q 家系的 CAT 活性先是稍微下降然后呈上升趋势, 在整个人工降温过程中, 都比对照组高。说明在低温胁迫下, Q 家系通过提高 CAT 活性来消除叶柄积累的有毒物质, 以便适应低温逆境, 使 Q 家系具有一定的抗寒能力。在低温胁迫下, Q 家系的 POD、SOD 活性先是升高, 然后下降, 随着低温加强, 活性的下降幅度不超过 50%。说明从 8℃ 下降到 6℃ 后, Q 家系的保护酶(CAT、POD、SOD)系统仍具有一定的保护功能, 使得 Q 家系苗木忍受 6℃ 的低温不死亡。相反, 未经寒冷锻炼的植株, 在冷胁迫下, CAT、POD、SOD 活性显著下降, 结果导致植株伤害和死亡^[15]。

综上所述, 在逐渐降低温度处理的条件下, Q 植株的代谢起了一系列的变化。这些变化可以导致植株出现生长缓慢, 但获得对低温的逐步适应性, 从而保护自身不因低温而死亡。这种反应表现在糖、脯氨酸、可溶性蛋白的积累, 而保护酶系(CAT、POD、SOD)维持有相当活性, 在植物抵抗低温伤害过程中可能起到十分重要的作用。

参考文献:

- [1] 柴团耀, 张玉秀. 菜豆富含脯氨酸、蛋白质基因在生物和非生物胁迫下的表达[J]. 植物学报, 1999, 41(1): 111~ 113
- [2] 李美茹, 刘鸿先, 王以柔. 植物细胞中的抗寒物质及其与植物抗冷性的关系[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(5): 328~ 334
- [3] Kasamo K. Response of tonoplast and plasma membrane ATPase in chilling-sensitive and insensitive rice (*Oryza sativa* L.) culture cell to low temperature [J]. Plant Cell Physiol, 1988, 29(7): 1085~ 1094
- [4] 张殿忠, 汪沛洪, 赵云贤, 等. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(4): 62~ 65
- [5] 北京大学生物化学教研室. 生物化学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987. 22~ 24
- [6] 西北农业大学植物生理教研室. 植物生理学实验指导[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987. 57~ 58
- [7] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Anal Biochem, 1976, 72: 248~ 254
- [8] 北京农业大学食品系. 食品化学实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1984. 103
- [9] 高雯, 姜培荣, 张之佳, 等. 食品酶学原理与方法[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1991. 359~ 362
- [10] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases: I Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol, 1977, 59: 309~ 314
- [11] Lanzetta P A, Alvarez L J, Reinach P S, et al An improved assay for nanomole amounts of inorganic phosphate [J]. Anal Biochem, 1979, 100: 95~ 97.
- [12] 简令成. 生物膜与植物抗寒害和抗寒性的关系[J]. 植物学通报, 1983, (1): 17~ 23
- [13] 刘鸿先, 曾韶西, 王以柔, 等. 低温对不同耐寒力的黄瓜(*Cucumis sativas*) 幼苗子叶各细胞中超氧化物歧化酶(SOD)的影响[J]. 植物生理学报, 1985, 11(1): 48~ 57.
- [14] 李美茹, 刘鸿先, 王以柔. 植物细胞膜ATP酶及其与植物低温生理过程的关系[J]. 热带亚热带植物学报, 1997, 5(3): 74~ 82
- [15] 戴金平, 沈征言. 低温锻炼对黄瓜幼苗几种酶活性的影响[J]. 植物学报, 1991, 33(8): 627~ 632

Study on the Effects of Chilling Stress on the Metabolism of *Acacia mangium*

WU Guang-hong¹, ZHAN Fu-jian¹, HUAN G Zhuo-lie¹, LUO Huan-liang², SHAO Zhi-fang³

(1. College of Biotechnology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China;

2. Faculty of Food and Bioengineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, Guangdong, China;

3. Management Office of Lianhuashan Park, Shenzhen 518100, Guangdong, China)

Abstract: The plants of *Acacia mangium* QLD19835 clone were studied under the chilling stress in the phytotrons. The plants suffered from temperature changes from 30 °C to 6 °C. The results showed that the electrical conductivity, the contents of soluble sugar, proline, soluble protein in the phyllodia (petioles) increased in the low temperature stress. The activities of ATPase, catalase (CAT), peroxidase (POD), and superoxide dismutase (SOD) changed with chilling treatment. Under the stress of low temperature, cell membrane system was damaged and the electrical conductivity increased. The activity of ATPase decreased. These physiological changes might play an important role in protecting cell stability and promoting the enduring ability of plants to the low temperature. The results indicated that *Acacia mangium* QLD19835 clone had enduring ability to the stress of low temperature.

Key words: *Acacia mangium*; seedling cold resistance; metabolism