

高温胁迫对文冠果保护酶系统酶活性的影响研究

江萍¹, 王小平², 王雪莲¹, 孙向宁³, 牛攀新¹, 杜志敏¹

(1. 石河子大学 农学院 新疆 石河子 832003; 2. 新疆农业职业技术学院, 新疆 昌吉 831100; 3. 山西省林业科学研究院, 山西 太原 030012)

摘要:以文冠果水培枝为试验材料,对6个高温梯度、4种培养液处理条件下其叶中多酚氧化酶(PPO)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶活性(CAT)进行了测定与分析。结果表明:文冠果的POD酶当温度在35℃时酶活力出现一明显峰值;CAT酶当温度在45℃时酶活力出现一个明显峰值;SOD、PPO酶在温度为35℃和45℃时先后出现明显峰值;POD和CAT酶在植物体内起作用的温度范围不同,温度在45℃之前,CAT酶起主要作用,温度高于45℃后POD酶起主要作用。不同铜、锌元素的水培液处理对PPO、SOD活性影响均达到显著水平,即处理4:Cu(3)/Zn(3)对PPO、SOD活性影响极其显著,其显著性依次4:Cu(3)/Zn(3)>3:Cu(3)/Zn(0)>2:Cu(0)/Zn(3)。保护酶系统酶活性与文冠果的生理代谢以及抗逆性有关。

关键词:文冠果; 高温胁迫; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 过氧化氢酶

中图分类号:S 668.903.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2008)01-0028-05

文冠果(*Xanthoceras sorbi folia* Bunge.)属于无患子科(Sapindaceae),文冠果属(*Xanthoceras*),又称木瓜,文官果,分布于我国东北及华北地区,在进化过程中形成了极强的抗逆能力,为西北地区退耕还林的主要造林树种,是我国特有的珍贵木本油料植物,同时又是珍贵的观赏植物,也是优良的薪炭树种和水土保持树种,被列为国家重点保护树种^[1]。

逆境是指对植物生存与发育不利的各种环境因素的总称,而抗逆性是植物对逆境的抵抗和忍耐能力^[2-3]。植物在逆境胁迫下,活性氧O₂⁻生成量增加,活性氧积累且超过伤害阈值时,细胞膜的完整性破坏,差别透性丧失,电解质及某些小分子有机物大量渗漏,细胞物质交换平衡破坏等一系列生化代谢紊乱^[4-5],而SOD、POD、CAT与清除体内氧自由基和抗衰老有关。SOD是清除O₂⁻专一的酶,这些年来它在高等植物的氧伤害及抗逆性中起到的防护作用已逐渐被证实,有关SOD与作物的抗性关系的研究也有大量报道^[6-8]。POD是广泛存在于植物体内且功能较多的酶类,它可能参与吲哚乙酸水平的调节、乙烯的形成、细胞壁的形成、膜透性的调节、脂肪酸的氧化等反应,具有控制氧气透过种皮以及抗病、抗感染、抗旱等多种功能^[9]。CAT也是体内抗氧化

物酶之一,能分解体内有毒性作用的H₂O₂,对维持体内的活性氧水平,防止细胞老化有着重要的作用^[10]。这3种酶在植物体内含量虽少,但它对调节生物体内的新陈代谢、清除氧自由基却有重要作用。

多酚氧化酶(PPO)的研究起步较晚,我国多酚氧化酶的研究仅限于农学方面。对棉花中PPO试验研究^[11]表明:棉花抗病品种被枯萎病菌侵染后PPO活性显著高于感病品种,这说明棉苗内PPO活性和抗病性有关;近几年来在林学方面的研究有所发展,对美洲黑杨I-69树皮中多酚氧化酶同工酶研究表明:PPO是美洲黑杨I-69具有抗病虫能力的重要原因之一;还有不少其他植物如荔枝、烟草、蘑菇体内的研究^[12-15]表明:用诱发物处理的植物中多酚氧化酶活性的升高与诱导抗性的表现有关。

铜是多酚氧化酶等诸酶的组成成分,是叶绿体中质体酶的组成成分,在植物氧化还原电子传递及光合电子传递系统中均有重要作用。锌是超氧化物歧化酶等诸酶的组成成分,是细胞膜的重要组成部分,对于膜的稳定起重要作用,此外锌还对各种代谢特别是蛋白质、糖代谢以及核酸的合成降解均有显著作用^[16-17]。

目前对文冠果的研究^[18-19]主要集中在其产品的加工利用、新药研发方面;对其生理生态方面的研究主要集中在对冷害的研究方面,得到的定论性的结论也较多,但对其适应高温的生理生化研究较少,常见的多集中研究叶解剖结构方面,而从酶学角度阐释其适应高温的研究还未见报道。现着重从树木生长发育对新疆生态环境的适应性方面出发,通过对文冠果的水培枝进行不同元素和高温温度梯度处理,深入微观领域对文冠果保护酶系统酶活性进行测定,进而探讨保护酶系统与抗

第一作者简介:江萍(1978-),女,讲师,2004年硕士毕业于山西农业大学,主要从事林木生理与生态研究。

通讯作者:王雪莲。

基金项目:石河子大学人才引进基金项目-自然科学基金资助项目(5006-822017)。

收稿日期:2007-09-07

逆性的关系, 探讨文冠果适应高温的生物化学因素和规律, 为促进文冠果生长发育, 大幅度提高文冠果人工林的生物产量提供科学的理论和实践依据。

1 试验地概况

石河子大学农学院试验站位于石河子市, 石河子地处天山北麓中段, 古尔班通古特大沙漠南缘, 即东经: $E 84^{\circ} 58' \sim 86^{\circ} 24'$, 北纬: $N 43^{\circ} 26' \sim 45^{\circ} 20'$ 。海拔 300~500 m 左右, 属典型的温带大陆性气候, 冬季长而严寒, 夏季短而炎热, 气温变化剧烈, 年平均气温 $7.5^{\circ}\text{C} \sim 8.2^{\circ}\text{C}$, 日照 2 318~2 732 h, 无霜期 147~191 d, 年降雨量 180~270 mm, 年蒸发量 1 000~1 500 mm。属于洪水冲积平原, 土壤多系沙质土。

2 材料与方法

2.1 试验材料

将文冠果播种苗上生长健壮的枝条消毒后进行水培(种子由山西省林业科学研究院提供)。

2.2 试验设计

采用 2 因素(4 个水培液处理、6 个温度梯度处理)完全随机设计, 每个处理组合进行 3 次重复。4 个水培液处理分别为: 处理 1: $\text{Cu}(0)\text{Zn}(0)$; 处理 2: $\text{Cu}(0)\text{Zn}(3)$; 处理 3: $\text{Cu}(3)\text{Zn}(0)$; 处理 4: $\text{Cu}(3)\text{Zn}(3)$ 。其中 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的浓度为 1 900 mg/kg 水; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的浓度为 2 200 mg/kg 水。6 个温度梯度处理分别为: 对其水培枝进行不同程度的高温 (25°C 、 30°C 、 35°C 、 40°C 、 45°C 、 50°C) 处理。选择代表苗木上旺盛生长的枝条, 进行不同水培液处理 3 d 后将水培枝连同烧杯放入培养箱, 严格控制培育条件, 进行高温胁迫处理 2 h 后, 测定叶的酶活性。

2.3 测定方法

多酚氧化酶活性测定: 采用邻苯二酚法^[20]。超氧化物歧化酶活性测定: 采用 NBT 还原法^[20]。过氧化氢酶活性测定: 采用 KMnO_4 滴定法^[20]。过氧化物酶活性测定: 采用愈创木酚法^[20]。

3 结果分析

3.1 温度胁迫下文冠果叶细胞保护性酶的活力变化

3.1.1 文冠果叶的多酚氧化酶活力变化曲线 图 1 可明显看出: 文冠果 PPO 酶活力在 30°C 以下维持相对较低水平, 且随温度上升(经铜元素处理的 PPO 酶)而增加。当温度上升到 35°C 酶活力出现一个峰值, 但温度超过 35°C 以后, PPO 酶活力随温度上升反而出现下降趋势; 未含有铜元素的处理则随温度的升高而酶活力上升, 40°C 之后, 温度增加, 酶活力维持相对较低水平且呈上升趋势, 至 45°C 又出现一峰值, 但比上次峰值低, 45°C 之后随温度升高酶活力均下降。各处理对 PPO 酶活力变化有不同程度的影响。其中铜锌元素共同处理 4: $\text{Cu}(3)\text{Zn}(3)$ 对 PPO 酶活力影响极为明显, 在各级温度

条件下均能增加 PPO 酶活性。当温度超过 30°C 前 PPO 酶活力变化趋势趋于平缓; 处理 3: $\text{Cu}(3)\text{Zn}(0)$ 处理的文冠果叶 PPO 酶活力在 40°C 以下的温度与对照处理相差比较明显, 当温度达到 35°C , 随着温度上升可 PPO 酶活力降低; 处理 2: $\text{Cu}(0)\text{Zn}(3)$ 与处理 1: $\text{Cu}(0)\text{Zn}(0)$ 相比, 对 PPO 酶活力影响不太明显, 且有降低 PPO 酶活力的作用。

说明铜离子是多酚氧化酶的重要辅助因子, 对文冠果施用铜离子可以提高其抗逆性, 单独施用锌离子对文冠果的抗逆性作用不明显, 但铜锌离子共同处理比单独用铜处理对 PPO 酶活力作用更好, 有关作用机理有待于进一步研究。

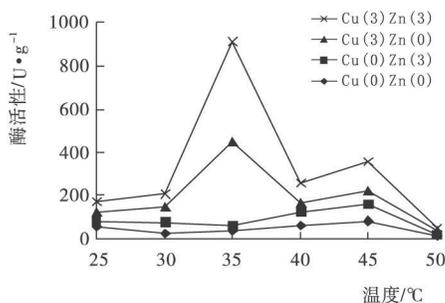


图 1 高温胁迫下多酚氧化酶活性变化

表 1 不同处理对 PPO 活性影响的方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
处理	3	1 342.97	447.66	4.67 **	2.80	4.22
温度	5	751.11	150.22	1.57	2.41	3.43
处理×温度	15	1 440.84	96.06	1.01	1.88	2.44
误差	48	4 598.47	95.8			
总变异	71	8 133.39				

注: ** 在 0.01 水平上差异极显著, * 在 0.05 水平上差异显著。

表 1 中, 由于 $F_{\text{处理} \times \text{温度}} < F_{0.05}$, 说明不存在交互效应, 应将处理×温度项合并到误差项之内再进行检验, 得表 2。由表 2 方差分析可知, 文冠果中 PPO 酶活性在不同处理下有极显著的差异。由此可以看出 PPO 活性与不同元素处理有关系。为了比较不同元素处理对文冠果叶 PPO 活性影响的差异性, 故进行多重比较, 见表 3。

表 2 不同处理对 PPO 活性影响的方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
处理	3	1 342.97	448.0	4.67 **	2.75	3.33
温度	5	751.11	150.0	1.56	2.36	4.12
误差	63	6 039.31	95.9			
总变异	71	8 133.39				

表 3 不同元素处理对 PPO 活性影响的多重比较

$Y_i - Y_j$	Y_i		
	Y_3	Y_2	Y_1
Y_0	90.57 **	57.98 *	3.7
Y_j	Y_1	86.87 **	54.28 *
	Y_2	32.59	

注: ** 在 0.01 水平上差异极显著, * 在 0.05 水平上差异显著, $\text{LSD}_{0.05} = 43.48$, $\text{LSD}_{0.01} = 79.81$ 。

表 3 PPO 酶多重比较得出如下结果: 清水处理的

PPO 酶活性均低于各溶液处理。说明不同元素处理对文冠果体内 PPO 酶有一定的促进作用。清水对照、处理 2: Cu(0)Zn(3) 与处理 4: Cu(3)Zn(3) 在 $\alpha=0.01$ 水平上均有极显著差异, 与处理 3: Cu(3)Zn(0) 在 $\alpha=0.05$ 水平上达到显著差异水平; 处理 3: Cu(3)Zn(0) 与处理 1: Cu(0)Zn(0) 在 $\alpha=0.01$ 水平上有极显著差异; 处理 2: Cu(0)Zn(3) 与对照、处理 3: Cu(3)Zn(0) 与处理 4: Cu(3)Zn(3) 无显著差异。

上述分析可知, 处理 4: Cu(3)Zn(3) 可明显增加文冠果 PPO 酶活性, 处理 3: Cu(3)Zn(0) 也有明显增加 PPO 酶活性的作用。对文冠果来说, 不同元素处理有提高其苗木整体 PPO 酶活性的作用。其显著性依次为 4: Cu(3)Zn(3) > 3: Cu(3)Zn(0) > 2: Cu(0)Zn(3)。

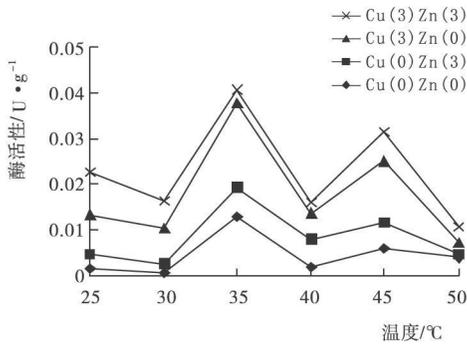


图2 高温胁迫下超氧化物歧化酶活性变化

3.1.2 文冠果叶的超氧化物歧化酶的活力变化曲线

从图2可明显看出: 文冠果的SOD酶活力随着温度的增加呈起伏状态, 分别在35°C和45°C出现两个高峰, 而前一个峰值大于后一个峰值, 分别在30°C和40°C出现低谷, 45°C之后温度再升高, 酶活力呈下降趋势。说明文冠果随着气温回升, 可能有新叶片生成, 刚长出的新叶生命力强, 生理活动活跃, 并且此时外界环境适宜, 组织细胞受损程度小, 不会大量产生氧自由基, 因此SOD酶活力低。随着温度再增高, 树木虽然生长旺盛, 但随着气温持续上升, 打破了组织细胞活性氧的产生和消除的平衡, 活性氧产量增加, 文冠果为了消除过量的活性氧, 维持其自由基代谢系统的平衡, 因而SOD酶活力就有所增加, 活性氧产量减少后, SOD酶活力就降低, 但是, 随着温度的持续升高, 组织细胞受损程度变大, 活性氧产量增加, 故SOD酶活力增大。

铜锌元素的各种处理对SOD酶活力变化也有着不同程度的影响。其中处理4: Cu(3)Zn(3)对SOD酶活力影响比较明显, 在各种温度条件均能增加SOD酶活力, 而且变化趋势完全相同; 经处理3: Cu(3)Zn(0)和处理2: Cu(0)Zn(3)处理后文冠果叶SOD酶活力与处理1: Cu(0)Zn(0)相比, 都有所增加, 但增加幅度不如处理4: Cu(3)Zn(3)。说明锌离子和铜离子都是超氧化物歧化酶

的重要辅助因子。因此, 在速生期给文冠果补充铜锌元素, 一定程度上可以提高其抗高温能力, 渡过高温季节。

表4 不同处理对SOD酶活性影响的方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F值	F _{0.05}	F _{0.01}
处理	3	21.75	7.25	4.33 **	2.75	4.22
温度	5	18.12	3.62	2.17	2.41	3.43
处理×温度	15	17.22	1.15	0.69	1.88	2.44
误差	48	80.37	1.67			
总变异	71	137.46				

表4中, 由于 $F_{处理 \times 温度} < F_{0.05}$, 说明不存在交互效应, 应将处理×温度项合并到误差项之内再进行检验, 得以下方差分析表。由表5方差分析可知文冠果中SOD酶活性在不同处理下有极显著的差异。由此可以看出SOD活性与不同元素处理有关系。为了比较不同元素处理对文冠果叶SOD活性影响的差异性, 故进行多重比较, 见表6。

表6 SOD酶多重比较得出如下结果: 清水处理的SOD酶活性均低于各溶液处理。说明不同元素处理对文冠果体内SOD酶有一定的促进作用。清水对照与处理4: Cu(3)Zn(3)在 $\alpha=0.05$ 水平上有极显著差异; 其它各处理之间均无显著差异。

上述分析可知, 处理4: Cu(3)Zn(3)可明显增加文冠果SOD酶活性, 处理3: Cu(3)Zn(0)与处理2: Cu(0)Zn(3)也有增加SOD酶活性的作用, 不过没有处理4: Cu(3)Zn(3)表现的差异显著。

表5 不同处理对SOD酶活性影响的方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F值	F _{0.05}	F _{0.01}
处理	3	21.75	7.25	4.68 **	2.75	3.33
温度	5	18.12	3.62	2.34	2.36	4.12
误差	63	97.60	1.55			
总变异	71	137.46				

表6 不同元素处理对SOD活性影响的多重比较

Y _i -Y _j	Y _i		
	Y ₃	Y ₂	Y ₁
Y ₀	5.74 *	1.19	1.17
Y _j	Y ₂	4.57 *	0.20
	Y ₁	4.55	

注: LSD_{0.05} = 5.53, LSD_{0.01} = 10.15.

3.1.3 文冠果叶的过氧化氢酶的活力变化曲线 图3表明, 文冠果叶中的CAT酶活力随温度的增加做起伏变化。在温度上升到35°C时酶活力出现一个低谷, 但温度超过35°C后, CAT酶活力随温度上升而出现增加趋势, 至45°C时酶活力出现一个最高峰, 之后随温度增加酶活力又呈下降趋势。

铜锌元素的各种处理对CAT酶活力变化也有着不同程度的影响。其中处理4: Cu(3)Zn(3)对CAT酶活力影响较为明显, 在各种温度条件均能增加CAT酶活力, 而且变化趋势大体相同; 经处理3: Cu(3)Zn(0)和处理2: Cu(0)Zn(3)处理后文冠果叶CAT酶活力与处理1: Cu(0)Zn(0)相比, 都有所增加, 但增加幅度不如处理4: Cu(3)Zn(3)。

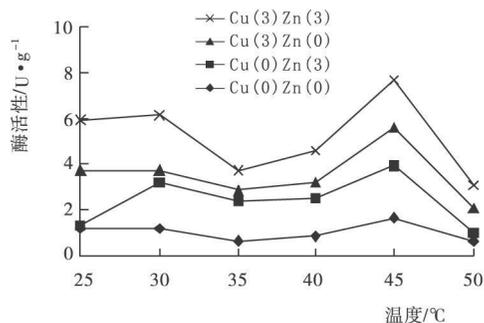


图3 高温胁迫下过氧化氢酶活性变化曲线

表7 不同处理对CAT活性影响的方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F值	F _{0.05}	F _{0.01}
处理	3	1.43	0.48	1.14	2.75	4.22
温度	5	2.37	0.47	1.13	2.41	3.43
处理×温度	15	9.26	0.62	1.47	1.88	2.44
误差	48	20.14	0.42			
总变异	71	33.20				

方差分析见表7表明由于 $F_{处理 \times 温度} < F_{0.05}$, 说明不存在交互效应; 并且两因素处理的 F 值对 CAT 酶活性影响均未达到显著水平。由此可以看出 CAT 酶活性与不同元素、不同高温处理关系不大。

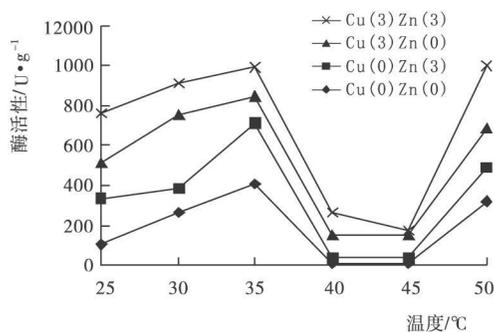


图4 高温胁迫下过氧化物酶活性变化

3.1.4 文冠果叶的过氧化物酶的活力变化曲线 由图4表明, 文冠果叶中的POD酶活力在35°C以下时随温度上升而增大, 在35°C时酶活力出现一个高峰, 之后呈下降趋势, 至45°C时出现一低谷, 随着温度继续上升 POD 酶活力呈上升趋势。说明文冠果随着温度持续升高, 细胞受损, 打破了组织细胞活性氧的产生和消除的平衡, 植物体为了消除过量的活性氧, 维持其自由基代谢系统的平衡, 因而 POD 酶活力有所增加, 但温度持续增高, POD 酶活力又有所增加。

铜锌元素的各种处理对 POD 酶活力变化也有着不同程度的影响。其中处理4: Cu(3)Zn(3)对 POD 酶活力影响比较明显, 在各种温度条件均能增加 POD 酶活力, 而且变化趋势完全相同; 经处理3: Cu(3)Zn(0)和处理2: Cu(0)Zn(3)处理后文冠果叶 POD 酶活力与处理1: Cu(0)Zn(0)相比, 都有所增加, 但增加幅度不如处理4: Cu(3)Zn(3), 说明锌离子和铜离子都是超氧化物歧化酶的重要辅助因子。因此, 在速生期给文冠果补充铜锌元

素, 一定程度上可以提高其抗高温能力, 渡过高温季节。

表8 不同处理对POD活性影响的方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F值	F _{0.05}	F _{0.01}
处理	3	101.88	33.96	0.32	2.75	4.22
温度	5	1365.73	273.15	2.60*	2.41	3.43
处理×温度	15	1501.99	100.13	0.95	1.88	2.44
误差	48	5044.09	105.09			
总变异	71	8913.69				

表8中, 由于 $F_{处理 \times 温度} < F_{0.05}$, 说明不存在交互效应, 应将处理×温度各项合并到误差项之内再进行检验, 得方差分析表9。由表9方差分析可知, 文冠果中 POD 酶活性在不同高温处理下有极显著的差异。由此可以看出 POD 活性与不同高温处理有关系。为了比较不同高温处理对文冠果叶 POD 活性影响的差异性, 故进行多重比较, 见表10。

表9 不同处理对POD活性影响的方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F值	F _{0.05}	F _{0.01}
处理	3	101.88	34	0.33	2.75	3.33
温度	5	1365.73	273	2.63*	2.36	4.12
误差	63	6546.09	104			
变异	71	8913.69				

表10 不同高温处理对POD活性影响的多重比较

Y _i -Y _j	Y _i					
	Y ₅	Y ₂	Y ₁	Y ₀	Y ₃	
Y ₄	204.21*	202.33*	161.83	143.55	22.13	
Y ₃	182.08*	180.21*	159.71	121.43		
Y _j	Y ₀	60.66	58.78	38.28		
	Y ₁	22.38	20.50			
	Y ₂	1.88				

注: $LSD_{0.05} = 174.2$ $LSD_{0.01} = 330.03$.

表10 SOD 酶多重比较得出如下结果: 40°C、45°C高温处理与35°C、50°C高温处理在 $\alpha = 0.05$ 水平上有极显著差异; 其它处理之间均无显著差异。

分析可知, 40°C、45°C高温处理可明显降低文冠果 POD 酶活性, 35°C、50°C高温处理也影响 POD 酶活性, 不过没有40°C、45°C高温处理影响明显。对文冠果来说, 不同温度处理有影响其苗木整体 POD 活性的作用。

4 讨论与结论

4.1 讨论

植物细胞在正常状态下, 体内活性氧的产生与清除系统是处于动态平衡的, 因而抗氧化胁迫的酶系统也处于相对稳定状态。植物在逆境(如高温等)胁迫下, 活性氧 O₂⁻ 生成量增加, 活性氧积累且超过伤害阈值时, 细胞膜的完整性受到破坏, 差别透性丧失, 电解质及某些小分子有机物大量渗漏, 细胞物质交换平衡破坏等一系列生化代谢紊乱, 而 SOD、POD、CAT 与清除体内氧自由基和抗衰老有关, PPO 与植物的抗病性能关系密切; 病原菌侵染后可引起植物体内 PPO 活性升高。

45°C对于文冠果酶活性在高温胁迫下的影响具有重要意义。文冠果在高温胁迫下, 细胞受损, 组织细胞活性氧的产生和消除的平衡被打破, 活性氧产量增加而超氧化物歧化酶(SOD)能够促进 O₂⁻ 生成 H₂O₂ 和水

的歧化反应,解除自由基 O_2^- 对植物的伤害。SOD 酶活力在 40°C 以后明显上升,至 45°C 达到一高峰;分解 H_2O_2 的关键酶是 CAT 酶,随温度持续升高,其活力在 45°C 时达到一高峰,可见在 45°C 之前,CAT 酶起主要作用;分解过氧化物的酶是 POD 酶;该酶活力在 45°C 之后随温度升高而增大,可见,当温度超过 45°C 后,POD 酶起主要作用。为了消除过量的活性氧,维持其自由基代谢系统的平衡,因而各酶活力相应变化;或是在高温胁迫下有某种新酶产生,而影响了文冠果的抗逆性。

4.2 结论

4.2.1 文冠果叶中 PPO、POD、SOD、CAT 等酶活力均在 35°C 、 45°C 有明显拐点。其中 PPO 酶在 35°C 、 45°C 时先后出现峰值;SOD 酶先后在 35°C 和 45°C 出现高峰,而在 40°C 出现一个低谷;CAT 酶在 35°C 出现一个不太明显的低谷,在 45°C 出现一个极明显的峰值;POD 酶在 35°C 时出现一个峰值,而在 45°C 时该酶活力处于低谷。

4.2.2 CAT 与 POD 有相同部分的反应底物,POD 酶的反应底物是过氧化物,而 CAT 酶的专一反应底物为过氧化氢,并且 CAT 酶活力在 45°C 时达到一个高值,而此时 POD 酶活力正处于低谷之中。两种酶在植物体内起作用的温度范围不同,彼此相互变化,在 45°C 之前,CAT 酶起主要作用, 45°C 之后,POD 酶起主要作用。

4.2.3 通过不同铜、锌元素的水培液处理,可知不同处理对 PPO、SOD 酶活性影响均达到显著水平,即处理 4: $Cu(3)Zn(3)$ 对 PPO、SOD 活性影响极其显著,其显著性依次为 4: $Cu(3)Zn(3) > 3: Cu(3)Zn(0) > 2: Cu(0)Zn(3)$ 。说明铜、锌元素处理可明显提高植物整体水平的 PPO、SOD 酶活性。

参考文献

[1] 中国科学院植物研究所. 中国经济植物志[M]. 北京: 科学出版社,

1961: 877-878.

[2] 王忠主. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[3] 张振瀛. 植物抗逆性研究的物理学方法[习岗]. 物理, 1997; 3.

[4] 董玉娟, 李富英, 王秀美, 等. 柠条抗逆性的比较分析[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2003(5): 425-429.

[5] 闫志佩. 植物对气候逆境的抗逆适应性[J]. 枣庄师专学报, 1997(3): 62-64.

[6] 罗广华, 王爱国. 几种外源因子对大豆幼苗 SOD 活性的影响[J]. 植物生理学报, 1990(3): 239.

[7] 王爱国, 罗广华. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. 植物生理学报, 1983, 9(1): 120-124.

[8] 刘金龙, 姚延涛, 仁用杏多酚氧化酶和超氧化物歧化酶的研究[J]. 山西林业科技, 2002(6): 38-41.

[9] Buttery B K, RZ Buzzell. Proxide activity in seed of soybean Varieties[J]. Crop Science, 1968 & 1722.

[10] 季成. 凤眼莲超氧化物歧化酶活性与抗寒性的关系[J]. 植物生理学报, 1989, 15(2): 76-80.

[11] 季孔庶. 美洲黑杨-69 树皮中多酚氧化酶同工酶的提纯和特性[J]. 南京林业大学学报, 1991, 15(2): 16-21.

[12] 李明启. 荔枝果皮多酚氧化酶的研究[J]. 植物学报, 1963 11(4): 329-335.

[13] 谭兴杰. 荔枝多果皮多酚氧化酶的部分纯化及性质[J]. 植物生理学报, 1984, 10(4): 339-345.

[14] 韩富根. 烟草叶片多酚氧化酶的提取及其特性研究[J]. 河南农业大学学报, 1995, 29(1): 98-102.

[15] 郑海歌. 蘑菇中的多酚氧化酶及其同工酶[J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(3): 17-18.

[16] 黄晋玲, 姚延涛. 华北落叶松中多酚氧化酶的研究[J]. 山西农业大学学报, 1999(4): 365-369.

[17] 王红斗. 文冠果的化学成分及综合利用研究进展[J]. 中国野生植物资源, 1998(1): 8.

[18] 高述民, 马凯, 杜希华, 等. 文冠果(*Xanthoceras sorbifolia*) 研究进展[J]. 植物学通报, 2002(3): 296-301.

[19] 余叔文, 汤章成. 植物生理与分子生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 380-382.

[20] 王金胜. 农业生物化学技术[M]. 山西: 山西科学技术出版社, 1997 3: 21, 191-192.

[21] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 面向 21 世纪教材—高等教育出版社.

[22] 沈同, 王镜岩. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.

Effects of High Temperature Stress on Antioxidant Enzyme System in Water-cultivated Branch of *Xanthoceras sorbifolia*

JIANG Ping¹, WANG Xiao ping², WANG Xue lian¹, SUN Xiang ning³, NIU Pan xin¹, DU Zhi-min¹

(1. Agriculture College of Shihezi University, Xinjiang 832000, China; 2. School of Garden Sciences and Technology, Xinjiang Agricultural Vocational Technical College Changji, Xinjiang 831100, China; 3. Forestry Academy of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030012, China)

Abstract: This experiment treated water-cultivated branch of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge's with different Cu and Zn treatments, six different temperatures, combined analyzing measured indexes of activities of antioxidant enzymes system, in the leaves of *Xanthoceras sorbifolia*. The results showed (1) The activity of POD reached a peak-value at around 35 centigrade; The activity of CAT arrived a vale-value at around 45 centigrade; The activity of SOD and PPO arrived a vale-value at about 35 and 45 centigrade. (2) CAT and POD had partly same substrate, substrate of POD are most peroxides while specifying substrate of CAT is H_2O_2 , the activity of CAT arrived a vale-value at about 45 centigrade, CAT had major role before 45 centigrade, while POD had major role after 45 centigrade. (3) Different Cu and Zn treatments had improment influence on PPO, SOD activity in leaves of *Xanthoceras sorbifolia*, the difference order is 4-[$Cu(3)Zn(3)$] > 3-[$Cu(3)Zn(0)$] > 2-[$Cu(0)Zn(3)$]. The activity of PPO and SOD is related to physiology metablism and adversity resistance of *Xanthoceras sorbifolia*. The aim is to provide a deeper evidence on the mechanism concerns resistance.

Key words: *Xanthoceras sorbifolia*; High temperature stress; SOD; POD; CAT