

外来入侵种豚草对不同环境胁迫的生理响应

邓旭^{1,2}, 王娟¹, 谭济才^{1,*}

¹湖南农业大学生物安全科学技术学院, 长沙 410128; ²玉林师范学院化学与生物系, 广西玉林 537000

摘要: 豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)是一种外来入侵恶性杂草, 本文研究了在人工模拟的不同环境胁迫(低温、高温、干旱和积水)下豚草叶片中丙二醛(MDA)和抗氧化系统的变化。结果表明: 在4种环境胁迫下MDA含量、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活力都升高; 过氧化氢酶活性在高温胁迫下升高, 在其他3种胁迫下活性降低; 还原型谷胱甘肽含量及抗超氧阴离子自由基活性在4种胁迫下降低。说明豚草抗逆机制多样, 对高温、高湿的适应性强, 在华南及西南各省入侵潜力较大。

关键词: 豚草; 抗氧化系统; 入侵植物; 环境胁迫

Physiological Response of Invasive Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) to Various Environmental Stresses

DENG Xu^{1,2}, WANG Juan¹, TAN Ji-Cai^{1,*}

¹ College of Bio-Safety Science & Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ² Department of Chemistry and Biology, Yulin Normal University, Yulin, Guangxi 537000, China

Abstract: Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) has become a major invasive plant in China. In this paper, the content of MDA and changes of antioxidant system were studied in ragweed under various environmental stresses (including heat, cold, drought and flooding). The results showed that MDA contents, activities of superoxide dismutase and guaiacol peroxidase increased in response to all stresses, while GSH contents and anti-superoxide anion radical activities decreased. However, catalase activities increased in response to heat but decreased to cold, drought and flooding. It indicated rapidly spread of ragweed owed to the diversified resist mechanism of various environmental stresses and it could acclimatize itself to different habitats. South China and Southwest China were the next imaginable invasive areas of the plant according to the climate (high air temperature and abundant moisture).

Key words: ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*); antioxidant system; invasive plant; environmental stress

豚草起源并分化于美国西南部和墨西哥西北部的索诺兰地区, 近200年来在世界范围内迅速蔓延。豚草是危害人体健康和农牧业生产的恶性危险性杂草, 是公认的有毒有害植物之一(万方浩和王韧 1990)。目前, 豚草在我国主要发生和分布在黑龙江、吉林、辽宁、河北、河南、北京、天津、山东、江苏、浙江、上海、南京、江西、安徽、湖北、湖南、新疆等20多个省和直辖市(刘绍芹和吕国忠 2005)。我国豚草有5个发生传播中心, 即辽宁中心区、秦皇岛中心区、青岛中心区、长江中下游中心区及新疆中心区(李宏科等 1999)。由于其发展迅速, 危害严重, 2003年豚草被列入我国公布的首批16个外来入侵物种名单(国家环保总局和中国科学院 2003)。

许多学者希望通过研究外来种与入侵地生态

环境间的关系来揭示其入侵机制、预测扩散范围。有研究表明, 外来种自身的特性对入侵、生存和扩展极为重要, 适应性和抗逆性强的物种也许具有较大的入侵潜力(彭少麟和向言词 1999)。外来种在入侵过程中及成功定居后都会受到各种干扰的影响, 入侵潜力大的物种在不利于生存的条件下可以维持自身的存活, 一旦生长条件适宜将大量扩增, 伺机爆发。有的还可以通过改变干扰机制以适

收稿 2010-04-16 修定 2010-07-22

资助 湖南省财政专项基金[湘农指 2008 (54); 2009 (55)]。

致谢 湖南农业大学程天印教授的指导, 湖南农业大学生物安全科学技术学院08级李密博士、08级周红春、王志高硕士和东方科技学院06级邓海涛等同学的支持与帮助, 东方科技学院创新实验室提供实验仪器。

* 通讯作者(E-mail: tanjicai@163.com; Tel: 0731-84613707)。

宜自我繁衍生存(Walker 和 Smith 1997)。很多研究证明抗氧化酶系统是植物应对环境胁迫的一个重要机制,植物体内清除活性氧的抗氧化酶活性随着胁迫程度的加剧而增强(Kuk 等 2003)。对乳浆大戟(*Euphorbia esula*)叶片在高温、低温、干旱和天敌取食条件下超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽还原酶(GR)和谷胱甘肽转氨酶(GST)活性的变化进行测定,结果发现只有CAT活性在4种胁迫条件下都降低,说明SOD、APX、GR和GST对乳浆大戟抵抗不良环境的影响具有重要作用(Davis和Swanson 2001)。飞机草(*Eupatorium odoratum*)在干旱、高温及低温胁迫下,SOD、APX和脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)的活性都升高(鲁萍等 2006)。国内外对豚草的研究主要集中在生物学特性、分布与传播特点及控制管理措施等方面(刘绍芹和吕国忠 2005; Chen 等 2007; Fumanal 等 2007)。豚草对不良环境条件的响应与入侵能力直接相关,对其抗逆生理方面的研究未见报道。本研究以盆栽的豚草幼苗为材料,探讨低温、高温、干旱及积水等环境胁迫下抗氧化酶系统在短期环境胁迫中的动态变化,了解豚草对环境适应的特点,为预测其潜在入侵范围和有效治理提供理论依据,也为揭示外来入侵植物在环境胁迫下的响应机制提供参考。

材料与方 法

1 供试材料与处理

1.1 植物材料 豚草(*Ambrosia artemisiifolia* L.)幼苗采自湖南农业大学校内实习基地,移栽于装有混合土(菜园土:沙=3:1)的塑料花盆内(直径为18 cm,高度为20 cm),每盆3株。豚草幼苗在实验室中培养,白天和夜晚的温度分别为28 °C和20 °C,室内最大光照强度约为700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。定期浇水施肥,保证豚草在适宜的水分和养分条件下正常生长。经过约6周,当幼苗长到30~40 cm,生长状况稳定后进行胁迫处理。

1.2 高温和低温处理 豚草幼苗先放到人工气候箱(广东韶关宏泰医疗器械公司,LRH-400)中,在温度为25 °C、相对湿度为70%、光照时间为12 h的条件下适应1周。一部分幼苗进行高温处理,将气候箱的温度从25 °C以1 °C $\cdot\text{h}^{-1}$ 的速率逐渐上升到

30、35、38和42 °C。另一部分幼苗进行低温处理,将培养箱内的温度从25 °C以1 °C $\cdot\text{h}^{-1}$ 的速率逐渐降低到20、15、10和5 °C,每一个温度处理时间均为24 h,每种处理都在4个独立的培养箱中重复4次。整个处理过程土壤都保持在田间持水量水平,以防出现干旱。以25 °C处理下的幼苗作为对照,各温度处理结束后立即随机摘取叶片,在液氮中迅速冷冻,置于-70 °C的低温冰箱保存,以备分析之用。

1.3 干旱和积水处理 干旱处理是在温室(白天温度为25~28 °C,晚上温度为20~23 °C,最大光照强度约为700 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)内进行,采取自然干旱的方式。处理持续4 d,当处理结束时,豚草幼苗叶片萎蔫、失水严重。积水处理也同时在室内进行,将花盆放入水池中,保证液面没过盆土,连续处理4 d。在水分胁迫处理期间,每天定时采集叶片,立即放入液氮中,带回实验室置于-70 °C的低温冰箱保存,以备分析之用。

2 抗氧化酶系统活性测定

2.1 反应液制备 按孙群和胡景江(2006)的方法加以改进,取植物材料1.000 g于预冷过的研钵中,加入2 mL预冷过的提取液,在冰浴条件下研磨成匀浆,将匀浆转移至10 mL容量瓶定容,吸取5 mL上清液在低温离心机(4 °C)中经15 000 $\times g$ 离心30 min,离心后的上清液备用。提取液为50 mmol $\cdot\text{L}^{-1}$ (pH 7.8)的磷酸缓冲溶液,内含1% (W/V)的聚乙烯吡咯烷(PVP)。

2.2 测定方法 丙二醛(MDA)含量测定用硫代巴比妥酸(TBA)法,根据532 nm的吸光值计算1 g干重叶片中MDA的含量。SOD活性测定采用黄嘌呤氧化酶法,以每毫克蛋白在1 mL反应液中SOD抑制率达50%时所对应的SOD量为1个酶活单位。POD活性测定采用愈创木酚法,以每毫克蛋白每分钟氧化1 μmol 愈创木酚为1个酶活单位。CAT活性测定则是在25 °C下直接测定波长240 nm处由于 H_2O_2 分解而引起吸光值的下降速率,以每毫克蛋白每分钟分解1 μmol H_2O_2 为1个酶活单位。GSH含量测定依据二硫代双-二硝基苯甲酸(DTNB)和GSH反应生成黄色的2-硝基-5-硫代苯甲酸来测定,以412 nm处的吸光度来确定样品中GSH的浓度。抗超氧阴离子自由基测定采用黄嘌呤氧化酶法,以

每克蛋白在37 °C反应40 min所抑制的超氧阴离子自由基相当于1 mg的维生素C所抑制的超氧阴离子自由基的变化值为1个酶活单位(孙群和胡景江2006)。测定使用南京建成生物工程研究所提供的MDA试剂盒、GSH试剂盒、SOD试剂盒、POD试剂盒、CAT试剂盒及抗超氧阴离子测试盒测定。可溶性蛋白采用考马斯亮蓝G-250法进行测定(孙群和胡景江2006)。所有吸光值测定均在Shimadzu(岛津)紫外可见分光光度计UV-1800上完成。

3 统计分析

实验采取完全随机设计, 每处理4个重复。所有数据经Excel进行基本统计分析, 各组间的差异采用SPSS软件进行Dunnett's检验。

实验结果

1 丙二醛(MDA)含量的变化

MDA是细胞膜脂过氧化作用的产物之一, 其含量的高低代表细胞损伤的程度, 间接反映了植物组织抗氧化能力的大小。

豚草受到4种环境胁迫时, 叶片MDA含量都有显著增加(表1), 且干旱和积水胁迫后增加量比高温和低温胁迫后的增加量要高, 说明逆境都对豚草细胞产生了伤害, 水分胁迫的伤害比温度胁迫大。在高温、低温、干旱和积水4种环境胁迫下, 随着胁迫强度的增加或时间的延长叶片中MDA含量呈上升趋势, 说明环境胁迫强度越大时间越长对植物影响越大。比较4种胁迫下叶片中的MDA含量

的变化, 可以发现干旱胁迫下MDA增加量最大, 处理4 d后增加了320.5%, 低温胁迫后MDA含量比高温胁迫后的高, 表明土壤干旱比积水对豚草的伤害更大, 低温对豚草的伤害比高温大。

2 抗氧化酶与抗氧化剂的活性变化

2.1 环境胁迫下SOD活性的变化 SOD是植物体内清除活性氧自由基的重要酶之一, 其活性增加能增强植物在逆境下的抵抗力(Prashanth等2008)。本研究测得豚草叶片在25 °C时和0 d时的SOD活性分别为(60.441±9.35) U·mg⁻¹(蛋白)和(38.918±4.62) U·mg⁻¹(蛋白), 在4种逆境条件下, 豚草叶片SOD活性较对照有不同程度的上升(图1)。在低温胁迫时, 随着温度的下降, SOD活性持续上升, 15 °C、10 °C及5 °C下, SOD活性分别比25 °C增加了47%、50%和54%, 差异极显著($P<0.01$)。高温条件下, 30 °C和38 °C下的SOD活性与对照相比差异显著($P<0.05$)。在干旱胁迫后第1天SOD活性达到最高, 比对照上升了123%, 第2天、第3天、第4天分别比对照上升了16%、42%和69%。在积水处理第1、2、3和4天时, SOD活性分别比对照上升了136%、114%、51%和19%, 差异显著($P<0.05$)。从SOD活性的高低来看, 相近胁迫强度下低温处理组比高温组高, 积水处理组高于干旱组。

2.2 环境胁迫下POD活性的变化 对照组(25 °C和0 d)豚草叶片POD的活性分别为(108.307±31.37) U·mg⁻¹(蛋白)和(88.104±12.19) U·mg⁻¹(蛋白), 在4

表1 豚草叶片在不同环境胁迫条件下MDA含量的变化

Table 1 MDA content in leaves of *Ambrosia artemisiifolia* under different stress conditions

胁迫类型	处理	MDA含量/nmol·g ⁻¹ (DW)	胁迫类型	处理	MDA含量/nmol·g ⁻¹ (DW)
高温	对照(25 °C)	20.626±5.96 ^{cC}	低温	对照(25 °C)	20.626±5.96 ^{cC}
	30 °C	53.527±9.24 ^{bB}		20 °C	49.876±5.40 ^{bB}
	35 °C	60.233±2.29 ^{abAB}		15 °C	67.115±2.05 ^{bA}
	38 °C	64.932±9.87 ^{abAB}		10 °C	70.349±4.50 ^{abA}
	42 °C	71.882±8.11 ^{aA}		5 °C	78.198±10.64 ^{aA}
干旱	对照(0 d)	27.708±4.21 ^{cC}	积水	对照(0 d)	27.708±4.21 ^{bB}
	1 d	69.297±7.92 ^{bB}		1 d	77.512±24.98 ^{aA}
	2 d	79.016±16.56 ^{bAB}		2 d	86.611±33.41 ^{aA}
	3 d	109.963±21.44 ^{aAB}		3 d	90.989±16.21 ^{aA}
	4 d	116.125±26.84 ^{aA}		4 d	100.612±1.42 ^{aA}

表中数据为4个重复的平均值±标准差, 同一处理不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

种环境胁迫下豚草叶片POD活性均呈上升趋势(图2), 且与对照相比差异都显著。低温处理下的POD活性随着温度的下降而升高, 5 °C时最高, 达到对照的267%。高温胁迫下, 叶片POD活性逐渐增大, 到42 °C时升至最高, 达到对照的334%。在干

旱胁迫的4 d中, 与对照相比, POD活性分别增加了63%、87%、55%和44%; 在积水条件下POD酶活性增加了84%~171%。比较POD活性的数值, 相近胁迫强度下, 高温胁迫下活性高于低温胁迫下的活性, 积水处理组的活性高于干旱处理组。

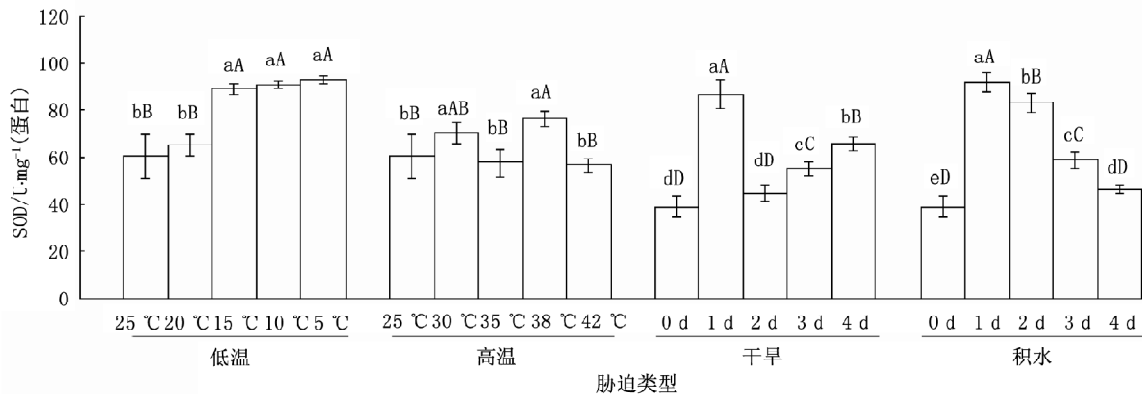


图1 环境胁迫对豚草叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

Fig.1 Effects of environmental stresses on SOD activity in leaves of ragweed

图中数据为4次测定的平均值±标准差; 同一处理柱上不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$), 下同。

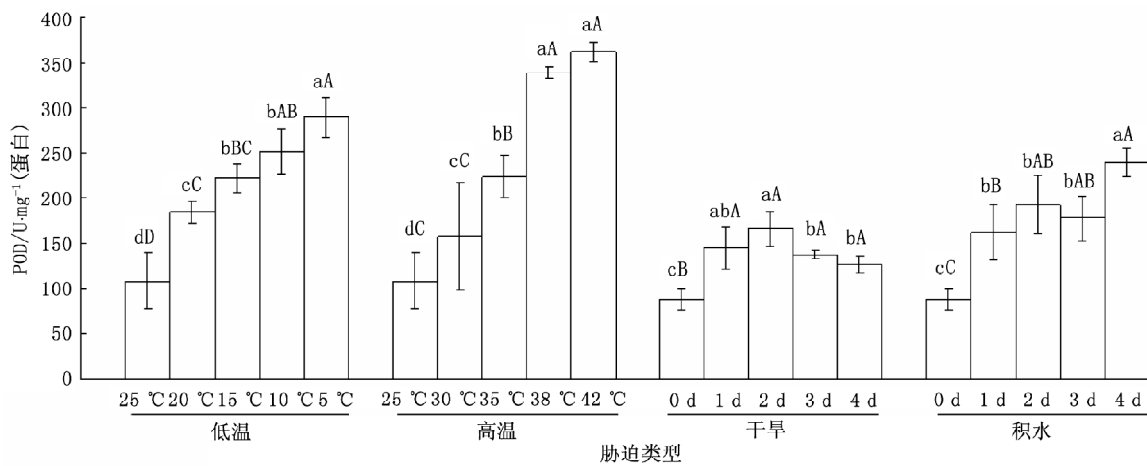


图2 环境胁迫对豚草叶片的过氧化物酶(POD)活性的影响

Fig.2 Effects of environmental stresses on POD activity in leaves of ragweed

2.3 环境胁迫下CAT活性的变化 豚草叶片25 °C时和0 d的CAT活性分别为(106.169±9.64) U·g⁻¹(蛋白)和(94.355±8.67) U·g⁻¹(蛋白)。由图3所示, 在低温胁迫下叶片中的CAT活性先下降, 随温度的下降反逐渐上升。10 °C和15 °C时与对照差异显著, 下降了44%和23%, 20 °C、5 °C与对照基本持

平。高温处理下CAT活性呈先升后降趋势, 与对照相比30 °C、35 °C和38 °C高温胁迫下CAT活性分别上升了56%、161%和159%, 42 °C下则下降了24%。积水和干旱处理下结果相似, CAT活性在处理第1天微升, 以后均随着处理时间的延长而逐渐降低, 到第4天均达到最低值, 自然干旱

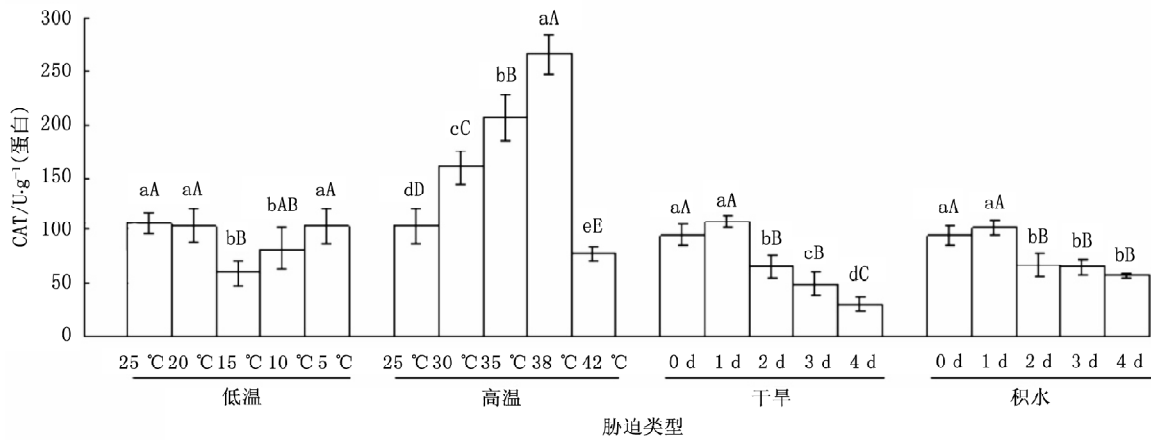


图3 环境胁迫对豚草叶片的过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig.3 Effects of environmental stresses on CAT activity in leaves of ragweed

4 d后CAT活性降至对照的32%,积水4 d后则降至60%。比较相近胁迫强度下CAT活性的数值,高温处理组>低温处理组,积水处理组>干旱处理组。

2.4 环境胁迫下GSH含量的变化 谷胱甘肽(GSH)是一种低分子的活性氧清除剂,GSH含量的变化也是衡量机体抗氧化能力大小的重要因素。本研究测得GSH在25 °C和0 d的含量分别为(9.262±0.42) mg·g⁻¹(蛋白)和(10.526±0.54) mg·g⁻¹(蛋白),经4种胁迫处理下的豚草叶片中GSH含量都比对照的低(图4)。低温处理时从20 °C到5 °C,叶片中的GSH

含量分别是25 °C处理的89%、70%、53%和43%,差异显著。将温度从30 °C上升至42 °C,GSH含量稍有下降。自然干旱1 d后,GSH含量仍能达到对照的88%,从第2到4天依次为对照的69%、60%和54%,变化趋势与低温胁迫相同。积水处理第1天时GSH为对照的65%,是所有胁迫处理中下降幅度最大的,随后下降变缓,到第4天时GSH含量微升,为对照的52%。从GSH含量的数值来看,相近胁迫强度下高温胁迫组>低温胁迫组,干旱胁迫组>积水胁迫组。

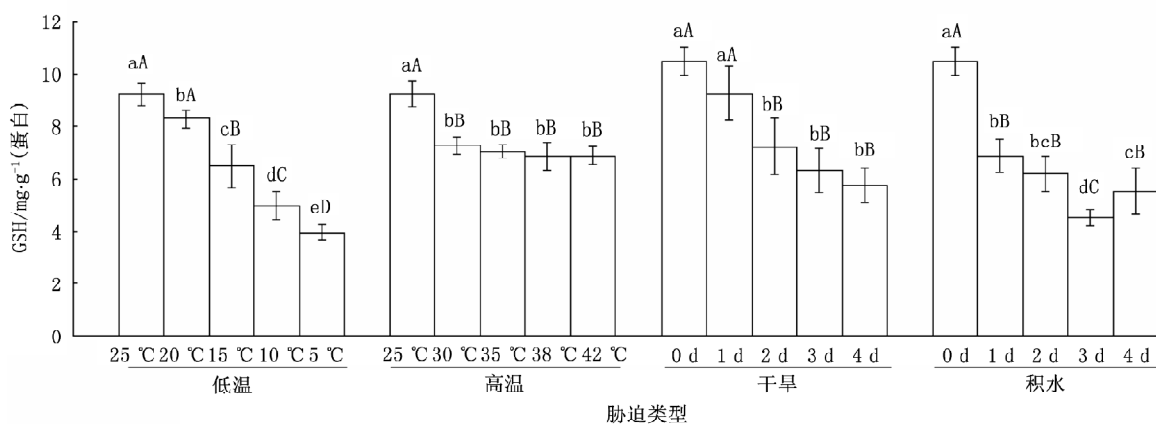


图4 环境胁迫对豚草叶片的还原型谷胱甘肽(GSH)含量的影响

Fig.4 Effects of environmental stresses on the content of GSH in leaves of ragweed

2.5 环境胁迫下抗超氧阴离子自由基活力的变化 抗超氧阴离子自由基在25 °C和0 d的活力分别为(987.799±93.51) U·g⁻¹(蛋白)和(1 189.338±183.36)

U·g⁻¹(蛋白),4种环境胁迫处理下,豚草抗超氧阴离子自由基活力基本呈下降趋势(图5)。从胁迫类别来看,抗超氧阴离子自由基活力变化最小的是高温

胁迫, 30 °C下活力上升了5%, 当处理温度高达42 °C, 活力仍达到了对照的60%。其次是低温胁迫处理, 与25 °C相比, 20 °C下降35%, 15 °C上升到95%, 到5 °C时下降到最低水平。干旱与积水对

抗超氧阴离子活力的影响相似, 随着胁迫时间的延长下降很快, 待自然干旱4 d后其活性都下降到对照的30%左右。相近胁迫强度下, 温度逆境下的抗超氧阴离子自由基活力比水分胁迫下的高。

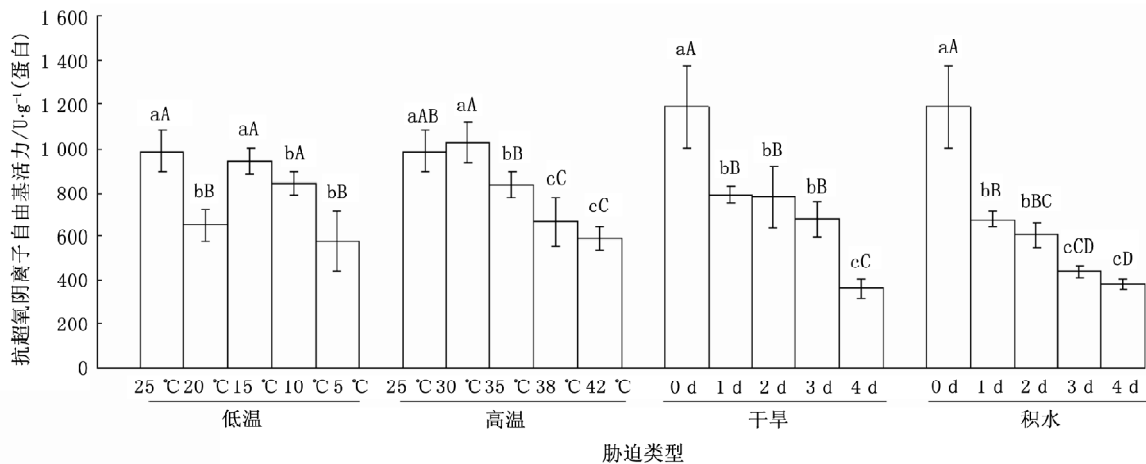


图5 环境胁迫对豚草叶片抗超氧阴离子自由基活力的影响

Fig.5 Effects of environmental stresses on anti-superoxide anion radical activity in leaves of ragweed

讨 论

环境胁迫使植物体内产生与清除活性氧自由基的平衡机制被打破, 形成抗氧化胁迫(antioxidative stress), 植物细胞能利用抗氧化酶来调节氧化还原平衡, 抗氧化系统越活跃则抗性越强(Younis 等 2009)。本研究讨论了水分和温度两类逆境对豚草幼苗生理的影响, 4种抗氧化酶及抗氧化剂在不同逆境条件的变化是不一样的。SOD、POD的活性在4种逆境环境下都升高, CAT在高温胁迫下活性增强, 在干旱及积水逆境下则先上升后下降。表明当豚草处于逆境胁迫下, 植物体对逆境做出了适应性的调节, 抗氧化酶系统发挥消除自由基的作用。不同逆境下抗氧化系统趋势各异, 表明豚草对不同逆境的响应机制是不同的, 抗性机制多样, 对多种生境的适应性强, 可能是其成为入侵植物的原因之一。

研究表明 SOD 在逆境变化与物种、胁迫程度、胁迫类型有关。如乳浆大戟和飞机草在高温、低温和干旱逆境中(Davis 和 Swanson 2001; 鲁萍等 2006), 桑树在高温条件下(Chaitanya 等 2002) SOD活性都是上升的, 体细胞克隆的三倍体狗牙根

在干旱胁迫下 SOD 活性呈下降趋势(Lu 等 2009)。与 SOD 不同, POD 活性在各种环境胁迫下的响应情况是差异很大的。如加拿大一枝黄花 POD 活性在高温处理时下降, 低温胁迫下上升(郭水良和方芳 2003)。玉米植株中 POD 的活性在水分胁迫初期变化复杂, 后期成倍升高(陈永军等 1998)。综合分析表1和图1~5, 在豚草最初遭遇到不同胁迫的24 h内, MDA 含量上升, SOD、POD、CAT 活性随之增加; 后来随着逆境的加剧, SOD 和 POD 活性升高或维持较高水平, MDA 增加较缓慢。SOD 和 POD 活性高, 细胞受伤害程度小, 表明 SOD 和 POD 可能是豚草在逆境下清除活性氧的关键酶。在积水条件下适应性调节能力比在干旱下强。从酶活性的数值来看, 温度胁迫下的酶活性都比水分胁迫下的要高, MDA 值则相反。这说明水分胁迫对豚草植株造成的伤害较温度胁迫的大, 豚草处于温度胁迫下比水分胁迫下能更好地保护自身免遭活性氧自由基的伤害, 这可能是造成豚草对温度胁迫与水分胁迫忍耐能力不同的原因。在豚草的传播与扩散过程中, 水分条件可能会比温度的限制作用强。豚草处于高温胁迫下几种抗氧化酶的活性远高于低

温处理, MDA 含量变化小, 在积水胁迫下 MDA 含量低, 几种抗氧化酶活性高, 也说明豚草在高温胁迫下适应性调节能力比在低温胁迫下的强。

已有的调查表明, 豚草在上世纪 30 年代通过货船等进入我国东南沿海, 现已扩散到 20 多个省区, 华南和西南各省除广东南部外未有豚草分布报道, 豚草在湖南已经扩散到从湘北到湘南多个县市。已有的研究认为豚草是典型的一年生杂草, 不能越冬生长, 北纬 30°~35° 到 45° 地区是豚草适宜生长区。作者连续 2 年在湖南省的江永、零陵和长沙发现有少数安全越冬的豚草植株, 4 月底~5 月初能产生有生活力的花粉。江永、零陵纬度为北纬 25°~26°, 远低于豚草适生区的纬度。表明豚草入侵到南方后, 其生物学特性及适应性已和文献记载有差别。从本实验结果来看, 豚草对高温、高湿的耐受性较低温、干旱强。我国华南及西南地区气候温暖湿润, 水热条件优于实验中所模拟的逆境, 因此豚草向南扩散的入侵潜力较大, 入侵后环境阻力小, 故华南及西南各省应加强对豚草入侵的重视。

豚草是一种恶性杂草, 对其控制的方法主要有人工刈割与机械控制、替代种植、喷施除草剂、引进天敌等, 但效果均不理想。在研究外来入侵植物的管理中, 有学者提出可以通过干扰其体内的抗氧化酶表达来削弱环境变化的抵抗能力, 从而降低其适应性与竞争力。SOD 与 POD 可能是豚草主要的抗氧化酶, 在研究清楚这两种酶在逆境下活性诱导的分子机理后有可能找到一种或几种酶阻断剂来破坏其防御系统, 从而达到有效控制豚草的目的。

参考文献

陈永军, 季淑梅, 姜凤英(1998). 水分胁迫下玉米细胞膜伤害及其保护酶活性的变化. 生态农业学报, 6 (4): 16~18
郭水良, 方芳(2003). 入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究. 植物生态学报, 27 (1): 47~52
国家环保总局, 中国科学院(2003). 中国第一批外来入侵物种名单. 国务院公报, 23: 42~43
李宏科, 李萌, 李丹(1999). 豚草及其防治概况. 世界农业, (8):

40~41

刘绍芹, 吕国忠(2005). 豚草及豚草的综合治理. 西北农林科技大学学报(自然科学版), (增刊): 237~242
鲁萍, 桑卫国, 马克平(2006). 外来入侵种飞机草在不同环境胁迫下抗氧化酶系统的变化. 生态学报, 26 (11): 3578~3585
彭少麟, 向言词(1999). 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 19: 560~569
孙群, 胡景江(2006). 植物生理学研究技术. 陕西: 西北农林科技大学出版社, 166~175
万方浩, 王韧(1990). 恶性害草豚草的生物学及生态学特性. 杂草学报, 4 (1): 46~48
Chaitanya KV, Sundar D, Masilamani S, Reddy AR (2002). Variation in heat stress-induced antioxidant enzyme activities among three mulberry cultivars. Plant Growth Regul, 36: 175~180
Chen H, Chen LJ, Albright TP (2007). Predicting the potential distribution of invasive exotic species using GIS and information-theoretic approaches: a case of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) distribution in China. Chin Sci Bull, 52 (9): 1223~1230
Davis DG, Swanson HR (2001). Activity of stress-related enzymes in the perennial weed leafy spurge (*Euphorbia esula* L.) Environ Exp Bot, 46: 95~108
Fumanal B, Chauvel B, Sabatier A, Bretagnolle F (2007). Variability and cryptic heteromorphism of *Ambrosia artemisiifolia* seeds: What consequences for its invasion in France? Ann Bot, 100: 305~313
Kuk YI, Shin JS, Burgos NR, Hwang TE, Han O, Cho BH, Jung S, Guh JO (2003). Antioxidant enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. Crop Sci, 43: 2109~2117
Lu SY, Chen CH, Wang ZC, Guo ZF, Li HH (2009). Physiological responses of somaclonal variants of triploid bermudagrass (*Cynodon transvaalensis* × *Cynodon dactylon*) to drought stress. Plant Cell Rep, 28: 517~526
Prashanth SR, Sadhasivam V, Parida A (2008). Overexpression of cytosolic copper/zinc superoxide dismutase from a mangrove plant *Avicennia marina* in *indica* rice var Pusa Basmati-1 confers abiotic stress tolerance. Transgenic Res, 17: 281~291
Walker LR, Smith SD (1997). Impacts of invasive plants on community and ecosystem properties. In: Luken JO, Thieret JW (eds). Assessment and Management of Plant Invasion. New York: Springer, 69~85
Younis ME, Hasaneen MNA, Tourky SMN (2009). Plant growth, metabolism and adaptation in relation to stress conditions. XXIV. Salinity-biofertility interactive effects on proline, glycine and various antioxidants in *Lactuca sativa*. Plant Omics J, 2 (5): 197~205