

# 高温高湿对辣椒抗氧化系统的影响及 不同品种抗氧化性差异研究

徐小万<sup>1</sup>, 曹必好<sup>1</sup>, 陈国菊<sup>1</sup>, 陈清华<sup>2</sup>, 雷建军<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学 园艺学院, 广东 广州 510642; 2. 广东省农业蔬菜研究所, 广东 广州 510640)

**摘要:** 选用 10 个具有代表性辣椒品种(系), 于人工气候室内分别在正常和高温高湿条件下, 研究苗期抗氧化系统生理性状的变化以及不同品种(系)抗氧化性差异。结果表明: 10 个辣椒品种(系)抗坏血酸(AsA)含量增加, 谷胱甘肽(GSH)、类胡萝卜素(CAR)含量下降, 类黄酮(Fla)含量变化不一致; 脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)、超氧化物歧化酶(SOD)活性降低, 过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性增强。根据各生理指标的相对值通过隶属函数法 10 个辣椒品种(系)的抗氧化性强弱顺序为: I > C > W > D > J > H > F > G > E > K。

**关键词:** 高温高湿; 辣椒; 抗氧化系统; 抗氧化性

**中图分类号:** S641.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2008)01-0081-06

## Effects of High Temperature and Air Humidity Stress on Antioxidant System and Antioxidant Activity Differences of Hot Pepper Varieties

XU Xiao-wan<sup>1</sup>, CAO Bi-hao<sup>1</sup>, CHEN Guo-ju<sup>1</sup>, CHEN Qing-hua<sup>2</sup>, LEI Jian-jun<sup>1</sup>

(1. Horticultural College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Vegetable Research Institute, Guangdong Academy of Agriculture Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The experiment was carried out in climate chambers to investigate the effects of high temperature and air humidity on reduced glutathione (GSH) content, ascorbic acid (AsA) content, carotenoid content, flavonoid content and antioxidative enzyme activities in ten hot pepper varieties leaves under both normal and high temperature and air humidity conditions during seedling stage. The results indicated that contents of AsA and activities of POD, APX increased, and contents of GSH, CAR and activities of DHAR, SOD decreased under high temperature and air humidity stress. There was no regularity of the contents of flavonoid under high temperature and air humidity stress. According to the every index's the relative value, and then the methods of subordinate function was used in evaluation for antioxidant activity differences of hot pepper varieties, and the antioxidant activity followed the sequence: I > C > W > D > J > H > F > G > E > K.

**Key words:** High temperature and air humidity; Hot pepper; Antioxidant system; Antioxidant activity

高温和湿害是常见的环境胁迫,更是影响农业生产严重问题。高温条件下,植物生长受到抑制,代谢导致异常。湿害使土壤水分达到饱和造成嫌气环境,氧气亏缺改变了植株的代谢,危害植株正常生长发育<sup>[1]</sup>。另外,人类活动导致全球气候变化加速,和全球一样,21 世纪中国地表气温将继续上升、降水量也呈增加趋势<sup>[2]</sup>。近年来,有关作物对高温或高湿单一逆境胁迫的研究报道较多,而对高温高湿双重胁迫的研究却见诸甚少。

兴起于 20 世纪 90 年代初的自由基生物学是一

门新兴学科<sup>[3]</sup>。许多逆境胁迫都能导致机体活性氧代谢的失调与自由基的积累,并进一步导致细胞膜结构损伤,所以,植物抗逆性的形成常常与抗氧化系统的活性增强密切相关<sup>[4,5]</sup>。有研究证明<sup>[6]</sup>,逆境胁迫时,植物体内可通过调节抗氧化酶类物质(如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、谷胱甘肽还原酶(GR)等)和抗氧化剂(如谷胱甘肽(GSH)、抗坏血酸(AsA)等)来抵御和清除活性氧,阻抑膜脂过氧化,维持膜的稳定性。本研究以 10 个辣椒品种(系)为试材探讨高温高湿对其抗氧化系统的影响,

收稿日期: 2007-12-15

基金项目: 国家支撑计划资助(2006BAD01A7-04-09); 广州市攻关项目(2005Z2-E0071); 广东省攻关项目(2006B20201028)

作者简介: 徐小万(1975-),男,湖南郴州人,博士,主要从事园艺植物逆境生理生态与生物技术改良研究。

通讯作者: 雷建军(1957-),男,湖南衡阳人,教授,博士,博士生导师,主要从事蔬菜育种与生物技术研究。

根据各生理指标的相对值,对 10 个辣椒品种(系)的抗氧化性进行比较,为揭示辣椒抗氧化机理和抗氧化性评价提供一些科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料和处理方法

供试材料为 C(06591),D(06590),E(06592),F(B04-51-4-2-1-4-1),G(B04-512-14-1),H(B04-114-1-1-1-1-1),I(06597),J(115-5-5-12-9-1-2),K(43-5-1-1-1),W(B04-99-5-1-1-2) 10 个辣椒品种(系),由华南农业大学蔬菜作物遗传与品种改良研究中心提供。辣椒幼苗管理按常规方法进行,于辣椒 4~6 片叶期时,将其幼苗移入华南农业大学测试中心人工气候室(光照强度 20 000 lx)进行高温高湿处理。对照:7:00-19:00,温度维持 28℃;19:00-7:00 温度维持 18℃,使昼夜温差为 10℃,空气相对湿度为 75%。高温高湿处理:7:00-19:00,温度维持 40℃;19:00-7:00 温度维持 30℃,使昼夜温差为 10℃,空气相对湿度为 90%。

1.2 测试指标

处理 4 d 测定同一部位功能叶片中类胡萝卜素(CAR)<sup>[7]</sup>、类黄酮(Fla)<sup>[8]</sup>、抗坏血酸(AsA)<sup>[9]</sup>、谷胱甘肽(GSH)<sup>[10]</sup>含量,抗坏血酸过氧化物酶(APX)<sup>[11]</sup>、脱

氢抗坏血酸还原酶(DHAR)<sup>[12]</sup>,SOD<sup>[13]</sup>,POD<sup>[14]</sup>酶活性。以上各生理指标均重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 高温高湿对辣椒不同品种(系)抗氧化剂含量的影响

类胡萝卜素在植物体内可以保护叶绿素分子,使其在光下不致被光氧化而破坏。类胡萝卜素能抑制和消除活性氧的生成。高温高湿逆境胁迫下,各辣椒品种(系)类胡萝卜素含量均低于对照(表 1)。高温高湿处理下,C,D,E,F,G,H,K,W 8 个辣椒品种(系)类胡萝卜素有所下降但没有达到显著水平,I,J 2 个辣椒品种(系)类胡萝卜素含量下降达到显著水平,但没有达极显著水平。最近研究发现类黄酮与抗坏血酸一样,也是主要的活性氧清除剂。高温高湿逆境胁迫下,各辣椒品种(系)类黄酮含量变化趋势并不一致(表 1)。C,D,H,K 4 个辣椒品种(系)类黄酮含量比对照有所减少,分别减少了 2.28%,6.53%,23.86%,14.91%;其余 6 个辣椒品种(系)类黄酮含量比对照有所增加,其中 G,W 2 个辣椒品种(系)增加较多,分别达到了 25.75%,29.42%。

表 1 高温高湿对苗期辣椒抗氧化剂含量的影响

Tab. 1 Effects of high temperature and high air humidity stress on antioxidant in pepper leaves

品系 Variety	抗坏血酸/(mg/g) AsA		谷胱甘肽/(μmol/g) GSH	
	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment
C	1.27 ±0.24a	0.50 ±0.18bc	1.11 ±0.14ab	1.50 ±0.21cd
D	0.70 ±0.02bcd	0.42 ±0.07c	0.60 ±0.01f	1.13 ±0.19d
E	0.81 ±0.13bc	0.71 ±0.33ab	1.15 ±0.14a	1.67 ±0.32bcd
F	0.66 ±0.15bcd	0.50 ±0.11bc	0.82 ±0.06cde	2.02 ±0.31abc
G	0.87 ±0.13b	0.84 ±0.03a	0.96 ±0.15bc	2.41 ±0.23ab
H	0.56 ±0.07cd	0.45 ±0.08c	0.67 ±0.12ef	1.25 ±0.11cd
I	0.54 ±0.03d	0.45 ±0.07c	0.93 ±0.02c	1.33 ±0.29cd
J	0.65 ±0.20bcd	0.49 ±0.03bc	0.71 ±0.06def	1.36 ±0.09cd
K	0.47 ±0.02d	0.45 ±0.01c	0.86 ±0.03cd	1.45 ±0.72cd
W	0.63 ±0.16bcd	0.58 ±0.04bc	0.90 ±0.11c	2.77 ±0.89a

品系 Variety	类胡萝卜素/(mg/g) Carotenoids		类黄酮/g Flavonoids	
	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment
C	0.30 ±0.01 a	0.27 ±0.03a	19.02 ±1.06bc	18.59 ±0.79abcd
D	0.25 ±0.01 cd	0.23 ±0.03b	17.86 ±0.24bc	16.69 ±2.70cd
E	0.24 ±0.01 de	0.22 ±0.01bc	17.66 ±1.98bc	18.07 ±2.65bcd
F	0.28 ±0.04abc	0.24 ±0.02ab	16.55 ±0.74c	16.64 ±0.91cd
G	0.26 ±0.01bcd	0.26 ±0.01ab	18.25 ±2.08bc	22.95 ±6.52ab
H	0.24 ±0.01de	0.23 ±0.01bc	22.07 ±1.41a	16.81 ±1.80cd
I	0.29 ±0.01ab	0.25 ±0.01ab	16.37 ±1.33c	18.78 ±0.94abcd
J	0.25 ±0.01cd	0.23 ±0.01bc	20.58 ±2.03ab	21.30 ±0.89abc
K	0.26 ±0.01bcd	0.24 ±0.03ab	18.00 ±0.38bc	15.32 ±1.23d
W	0.22 ±0.01e	0.20 ±0.03c	18.10 ±2.63bc	23.43 ±2.69a

注:表中数据为平均值±标准差(n=3),同列中不同小写字母代表5%处差异显著性。下表同。  
Note: Data in the column was the mean ±SD of three repetition, different little letters in same row was significant difference (p<0.05), the same as follows.

AsA 和 GSH 是植物体内有效清除活性氧的重要非酶类物质,它们可以通过多种途径直接或间接地猝灭活性氧自由基。本试验研究表明,无论是处理或对照条件下,苗期各品种 AsA 含量有较大差异(表 1)。高温高湿条件下,E,F,G,H,I,J,K,W 8 个辣椒品种(系)抗坏血酸含量比对照均有所下降但没有达到显著水平,C 辣椒品种(系)达到显著水平,但没有达极显著水平,D 辣椒品种(系)较对照下降了 40.20%,达到了极显著水平。GSH 是植物体内重要的抗氧化剂。对照条件下,10 个辣椒品种(系)谷胱甘肽含量存在基因型差异。高温高湿双重逆境胁迫下,各辣椒品种(系)谷胱甘肽含量比对照均有所上升(表 1),其中 C,E,H,J,K,W 6 个辣椒品种(系)没有达到显著水平,I 辣椒品种(系)达到显著水平,D,F,G 3 个辣椒品种(系)较对照分别上升了 88.08%,146.41%,151.17%,达到极显著水平。

2.2 高温高湿对辣椒不同品种(系)抗氧化酶活性的影响

SOD 是重要的活性氧清除酶,当外来胁迫导致

大量活性氧产生时,它能及时有效地清除自由基,保护细胞免受活性氧胁迫的伤害。高温高湿双重胁迫的条件下,各辣椒品系 SOD 酶活性均低于对照(表 2)。高温高湿逆境胁迫处理后,F 与其他 9 个辣椒品种(系)间 SOD 酶活性差异显著;高温高湿处理前后 C,D,E,F,H,J,K,W 8 个辣椒品种(系)超氧化物歧化酶活性变化没有达到显著水平;G 品种(系)超氧化物歧化酶活性变化达到显著水平;I 品种(系)超氧化物歧化酶活性变化最大,达极显著水平,活性下降了 37.08%。

POD 是植物体内重要的抗氧化酶,能有效地清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>。与 SOD 酶活性变化相反,各辣椒品种(系) POD 酶活性均高于对照(表 2)。高温高湿处理前后 E,F,H,J,W 5 个辣椒品种(系) POD 酶活性变化没有达到显著水平;C,D,G,K 4 个辣椒品种(系) POD 酶活变化达到显著水平,但没有达极显著水平;I 品种(系) POD 酶活变化达极显著水平,增加了 75.34%。

表 2 高温高湿对苗期辣椒抗氧化酶活性的影响

Tab. 2 Effects of high temperature and high air humidity stress on antioxidative enzymes in pepper leaves							
品系 Variety	超氧化物歧化酶/ (U/ g)		SOD		POD 酶活性/ (U/ (g · min))		POD
	对照	Control	处理	Treatment	对照	Control	处理
C	65.90	±8.15c	59.06	±12.85c	173.90	±13.95ab	208.43
D	84.04	±6.86b	77.08	±14.36b	109.93	±52.28b	242.4
E	68.25	±5.58c	66.9	±2.75bc	203.79	±5.35a	205.90
F	99.47	±0.42a	91.67	±9.56a	181.30	±45.27a	221.30
G	52.94	±8.09d	38.54	±3.33d	217.77	±13.76a	295.20
H	45.18	±1.96de	33.09	±9.08d	206.28	±7.83a	245.39
I	44.94	±4.59de	28.28	±2.59d	181.68	±10.12a	318.56
J	34.48	±8.56e	33.96	±8.44d	229.78	±79.48a	234.34
K	37.15	±10.98e	33.29	±3.81d	160.7	±25.47ab	269.4
W	39.8	±10.40de	26.69	±3.29d	169.1	±34.19ab	226.2

品系 Variety	脱氢抗坏血酸还原酶 / (μmol/ (g · min)) DHAR		抗坏血酸过氧化物酶 / (U/ (g · min)) APX	
	对照	Control	处理	Treatment
C	165.26	±89.57ab	88.21	±20.69ab
D	242.69	±61.33a	96.15	±35.63ab
E	216.92	±88.98a	111.92	±42.12a
F	140.14	±35.40ab	98.33	±28.87ab
G	165.26	±89.57ab	126.79	±44.19a
H	150.65	±44.66ab	127.69	±48.79a
I	93.72	±225.64b	81.15	±34.39ab
J	129.23	±76.94ab	92.44	±18.29ab
K	181.15	±55.14ab	44.23	±6.35b
W	135.77	±24.02ab	133.46	±64.50a

APX 是清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的主要酶类。与 POD 活性变化相类似,高温高湿双重胁迫下,各辣椒品种(系) APX 酶活性均高于对照(表 2)。D,E,F,G,H,I,J,K 8 个辣椒品种(系),高温高湿处理并没有导致 APX 酶活性的显著变化;但 C,W 2 个辣椒品种(系) APX

酶活性变化达到显著水平,但没有达极显著水平,其活性分别增加了 92.50%,69.46%。

在 40 / 30 (d/n),RH 为 90% 双重胁迫的条件下,各辣椒品种(系) DHAR 酶活性均低于对照(表 2)。处理前后 C,E,F,G,H,I,J,W 8 个辣椒品种

(系)DHAR 活性变化没有达到显著水平;D,K 2 个辣椒品种(系)DHAR 活性变化达到显著水平,但没有达极显著水平,其活性分别下降了 60.38%,75.58%。

2.3 10 个辣椒品种(系)抗氧化性比较

2.3.1 各单项指标的相对值 本试验采用抗氧化

剂及抗氧化酶活性化等 8 项指标来系统地比较 10 个辣椒品种(系)抗氧化性的差异。为了消除不同品种(系)间固有生物学特性的差异,在本试验的分析过程中采用相对值来衡量(公式 1)。

相对值 a(%) = 处理测定值/对照测定值 ×100  
..... (1)

表 3 10 个辣椒品种(品系)各指标的相对值

Tab.3 Every index s the relative value of 10 hot pepper varieties									%
品系	Variety	类胡萝卜素	CAR	类黄酮	Fla	抗坏血酸	AsA	谷胱甘肽	GSH
	C	90.08		97.72		39.27		135.51	
	D	92.30		93.47		59.80		188.08	
	E	91.33		102.31		86.97		145.31	
	F	86.91		100.55		76.28		246.41	
	G	99.08		125.75		96.47		251.17	
	H	94.45		76.14		79.43		186.06	
	I	86.00		114.77		82.80		143.13	
	J	92.17		103.48		76.36		190.60	
	K	92.77		85.09		96.01		169.16	
	W	89.26		129.42		92.53		309.21	
品系	Variety	抗坏血酸过氧化物酶	APX	脱氢抗坏血酸还原酶	DHAR	超氧化物歧化酶	SOD	过氧化物酶	POD
	C	192.50		53.37		89.62		119.86	
	D	160.09		39.62		91.72		220.55	
	E	115.42		51.60		98.14		101.04	
	F	144.72		70.17		92.16		122.00	
	G	130.87		84.16		72.80		135.56	
	H	136.76		95.68		73.24		118.96	
	I	104.13		86.59		62.92		175.34	
	J	144.77		71.53		98.50		145.50	
	K	111.58		24.42		89.61		167.59	
	W	169.46		88.62		66.97		133.81	

由表 3 可知,对于同一辣椒品种(系),不同指标性状的相对值(值)并不相同,用 8 个指标中的任何单一指标的相对值来评价各辣椒品种(系)的抗氧化性所得结果均不尽相同,所以用其中任何一个指标来评价不同辣椒品种(系)的抗氧化性都存在片面性,必须用多个指标进行综合评价才较为可靠。

2.2.2 隶属函数分析 每一品种各单项指标的隶属函数值(表 4)用公式(2)求得:

$$U(x_j) = (x_j - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$
  
..... (2)

公式  $U(x_j) = (x_j - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})$  将指标数据进行转换后得到隶属函数值,与抗性负相关的用反隶属公式,公式(2)中  $x_j$  表示第 j 个综合指标; $x_{min}$  表示第 j 个综合指标的最小值; $x_{max}$  表示第 j 个综合指标的最大值(表 4)。

表 4 各辣椒品种(系)的 U(x) 值

Tab.4 The value of each hot pepper variety s U(x) value										
品种(系)	U(1)	U(2)	U(3)	U(4)	U(5)	U(6)	U(7)	U(8)	D 值	排序
Variety									D value	Order
C	0.688	0.405	1.00	1.000	1.000	0.406	0.25	0.157	4.906	2
D	0.518	0.325	0.641	0.697	0.633	0.213	0.191	1.000	4.218	4
E	0.593	0.491	0.166	0.944	0.128	0.381	0.01	0.000	2.713	9
F	0.93	0.458	0.353	0.362	0.459	0.642	0.178	0.175	3.557	7
G	0.000	0.931	0.000	0.334	0.303	0.838	0.722	0.289	3.417	8
H	0.354	0.000	0.298	0.709	0.369	1.000	0.710	0.15	3.590	6
I	1.000	0.725	0.239	0.956	0.000	0.872	1.000	0.622	5.414	1
J	0.528	0.513	0.352	0.683	0.46	0.661	0.000	0.372	3.569	5
K	0.482	0.168	0.008	0.806	0.084	0.000	0.250	0.557	2.355	10
W	0.751	1.000	0.069	0.000	0.739	0.901	0.886	0.274	4.551	3

根据各品种的 D 值可对辣椒品种(系)的抗氧化性进行强弱排序,  $I > C > W > D > J > H > F > G > E > K$ 。

### 3 讨论

类胡萝卜素既是光合色素, 又是细胞内源抗氧化剂, 一方面吸收光能并传递给反应中心, 补偿由于叶绿素减少而引起光合作用的下降; 另一方面类胡萝卜素能及时清除叶绿体中产生的  $O_2^-$  和  $^1O_2$  [15, 16]。本研究中其含量降低可能是为了猝灭活性氧, 防止膜脂过氧化。类黄酮作为非常强的自由基消除剂以及单线态氧消除剂, 可抑制脂质的过氧化作用。而且, 类黄酮与过氧化自由基相反应, 还终止了自由基反应的链式反应。本试验研究表明, 辣椒各品种(系)苗期受到 40 / 30 (d/n), RH 为 90 % 双重胁迫的条件下, 类黄酮含量变化并不一致(表 1), 就其原因还待进一步研究。

AsA 和 GSH 是植物细胞内清除自由基的非酶体系中的主要组成成分, 是重要的抗氧化剂。AsA 在辣椒各品种(系)苗期受到 40 / 30 (d/n), RH 为 90 % 双重胁迫的条件下, 其含量下降(表 1)。这一变化可能是因为它直接参与植株的抗氧化反应——AsA 被认为是抗氧化胁迫的第一道防线。GSH 是一种重要的水溶性抗氧化物质, 在植物细胞中它可直接使一些 ROS 还原。GSH 在辣椒各品种(系)苗期受到 40 / 30 (d/n), RH 为 90 % 双重胁迫的条件下, 其含量上升(表 1)。Niet-Sotetlo J 等 [17] 研究指出, 在 40 条件下对玉米根部进行高温伤害处理后, 其中半胱氨酸含量降低, GSH 含量增大, 在高温伤害过程中玉米根部 GSH 的合成能力增大, 研究者认为, GSH 含量的增加可能与高温伤害过程中  $H_2O_2$  和自由基的积累有关, GSH 合成能力的提高与植物细胞适应高温的能力有关。

植物可以通过酶类抗氧化保护系统(SOD, POD, APX)来清除自由基, 以消除或减轻非生物胁迫对植物的伤害。SOD 主要功能是清除  $O_2^-$  产生  $H_2O_2$ ; POD 则具有分解  $H_2O_2$  的作用, APX 也可通过 Halliwell - Asada 途径清除  $H_2O_2$ , 它们的共同配合清除  $H_2O_2$  和  $O_2^-$ , 减少 OH 的生成, 从而减轻对细胞的危害。本试验研究表明, 辣椒各品种(系)苗期受到 40 / 30 (d/n)、RH 为 90 % 双重胁迫的条件下, POD, APX 活性较相应对照显著增加, 但 SOD 活性较相应对照活性有所下降。与此相一致, 我们的研究发现, DHAR 在胁迫条件下不同程度地参与到其中。有研究指出, 热胁迫后无论是抗性品种还是非

抗品种, SOD, POD 活性均下降 [18], 但在进行玉米耐热胁迫研究中却有相反的报道 [19]。Ahmed S 等 [20] 报道, 绿豆渍水处理 4 d 后, SOD, APX 活性较对照下降, 这在玉米 [21, 22] 上也有相似报道。在高温高湿处理前后, SOD, POD, APX 的变化表现不一致, 说明 SOD, POD, APX, DHAR 对逆境反应不同。

隶属函数法根据模糊数学的理论, 确定各指标间的模糊关系, 从而对多个指标进行综合评定的方法。以前的研究多仅利用少数指标对一两个品种进行评价, 但不同的品种抗氧化性机制可能不同。因此, 利用多指标综合评价才可能真正揭示品种抗氧化性的实质。本研究对各项指标的相对值采用隶属函数或反隶属函数公式将各项指标函数值化, 求得各项指标隶属函数值总和, 得到较理想的评价结果。但辣椒的耐逆性是个复杂性状, 其适应高温高湿环境的机理尚不十分清楚, 活性氧诱导保护系统的机理还待深入研究。

高温高湿双重胁迫导致苗期伤害的主要原因是体内活性氧代谢失调。逆境胁迫下, 各辣椒品种(系)抗坏血酸(AsA)含量增加, 谷胱甘肽(GSH)、类胡萝卜素(CAR)含量下降, 类黄酮(Fla)含量变化不一致; 脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)、超氧化物歧化酶(SOD)活性降低, 过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性增强。

不同辣椒品种(系)存在抗氧化性差异。根据各生理指标的相对值通过隶属函数法, 10 个辣椒品种(系)的抗氧化性强弱顺序为  $I > C > W > D > J > H > F > G > E > K$ 。这为揭示辣椒抗氧化机理和抗氧化性评价提供一些科学依据。

### 参考文献:

- [1] 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应性: 抗逆性的一般概念和植物的抗涝性[J]. 植物生理学通讯, 1983, 3: 24 - 29.
- [2] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告( ): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3 - 7.
- [3] 许丙军, 施国新, 徐勤松, 等. 外源抗坏血酸对镉胁迫下黑藻抗氧化系统的保护作用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1768 - 1770.
- [4] 刘慧英, 朱祝军, 吕国华. 低温胁迫对嫁接西瓜耐冷性和活性氧清除系统的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 659 - 662.
- [5] Alscher R G, Donahue J L, Cramer C L. Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells[J]. Physiol Plant, 1997, 100: 224 - 233.
- [6] 李 晶, 阎秀峰, 祖元刚. 低温胁迫下红松幼苗活性氧

- 的产生及保护酶的变化[J]. 植物学报, 2000, 42(2): 148 - 152.
- [7] Lichtenthaler H K. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes[J]. Meth Enzynol, 1987, 148: 350 - 382.
- [8] Prie A, Gmullins M. Changes in anthocyanin and phenolic content of grapevine leaf and fruit tissue treated with sucrose, nitrate and abscisic[J]. Plant Physiol, 1976, 58: 468 - 472.
- [9] Tanaka K, Such Y, Konda N. O<sub>3</sub> Tolerance and ascorbate-dependent H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> decomposing system in Chloroplasts[J]. Plant Cell Physiol, 1985, 26: 1425 - 1431.
- [10] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- [11] Amako K, Asada K. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for chloroplastic and cytosolic isoenzymes of ascorbate peroxidases in plants[J]. Plant Cell Physiol, 1994, 35: 497 - 504.
- [12] Meneguzzo S, Navari-Izzo F, Izzo R. Antioxidant responses of shoots and roots of wheat to increasing NaCl concentrations[J]. J Plant Physiol, 1999, 155: 274 - 280.
- [13] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 世界图书出版公司, 2000.
- [14] Egle G H, Paul R N, Vaughn K C, *et al.* Role of peroxidase in the development of water impermeable seed coats in *Sida spinosa* L[J]. Planta, 1983, 157: 224 - 232.
- [15] Tewari A K, Tripathy B C. Temperature stress induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat[J]. Plant Physiology, 1998, 117: 851 - 858.
- [16] Dirk I, Marc V M. Oxidative stress in plants[J]. Current Opinion in Biotechnology, 1995, 6: 153 - 158.
- [17] Niet-Sotelo J, Ho T D. Effect of heat shock on the metabolism of glutathione in maize roots[J]. Plant Physiol, 1986, 82: 1031.
- [18] 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.
- [19] 李敏, 王维华, 王然, 等. 高温胁迫对菠菜叶片保护酶活性和膜透性的影响[J]. 园艺学报, 2004, 31(1): 99 - 100.
- [20] Ahmed S, Nawata E, Hosokawa M, *et al.* Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging[J]. Plant Science, 2002, 163: 117 - 123.
- [21] Yan B, Dai Q, Liu X, *et al.* Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves[J]. Plant Soil, 1996, 179: 261 - 268.
- [22] 刘晓忠, 李建坤, 王志霞, 等. 涝渍逆境下玉米叶片超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性与抗涝性的关系[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 29 - 32.