

# 不同菜心品种耐热性鉴定指标的筛选

李光光<sup>1</sup>, 张财顺<sup>2</sup>, 郑岩松<sup>1</sup>

(1. 广州市农业科学研究院, 广东 广州 510308; 2. 华南农业大学 园艺学院, 广东 广州 510642)

**摘要:**研究了6个不同熟性的菜心品种在高温塑料棚中苗期和采收期对农艺性状(株高(PH)、开展度(Width)、基叶数(BLN)、茎叶数(SSLN)、叶片长度(LL)、叶柄长(PL)、叶宽(LW)、叶柄宽(PW)、叶厚(LT)、茎高(SSH)、茎粗(SSD)、茎重(SSW)、总重(TW)和播种成活率(SR))和生理生化(丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)、电导率(EC)、叶绿素(Ch))等指标变化的影响,并以菜心热害指数为性状筛选标准,采用隶属函数法对相关数据进行了分析。结果表明:4项指标与热害指数显著负相关并可以用来鉴定菜心的耐热性,即高温塑料棚采收期的菜心株高(HT-PH)、茎叶数(HT-SSLN)、采收期的单株生物总重(HT-TW)和播种成活率(HT-SR)。6个菜心材料的耐热性可以分为3类:“四九-19号菜心”和“四九黄菜心”为耐热型;“油绿50d菜心”和“油绿501菜心”为一般耐热型;“油绿菜心701”和“特青迟心4号”为热敏型。

**关键词:**菜心;耐热性;热害指数;综合隶属函数法

**中图分类号:**S 634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)18-0001-05

菜心 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee.) 属十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种的一个变种,其风味独特,是广东省目前栽培面积最大和市场供应的主要蔬菜。菜心生长的适宜温度为20℃,但广东省在每年的夏季田间温度可达40℃,昼夜温差小<sup>[1]</sup>,已经严重威胁到菜心的种植。目前,蔬菜的耐热性研究已经在白菜<sup>[2]</sup>、茄子<sup>[3]</sup>、番茄<sup>[4]</sup>、甜椒<sup>[5]</sup>、茼蒿<sup>[6]</sup>等蔬菜上开展,并提出了各自的耐热性鉴定指标。廖飞雄等<sup>[7]</sup>、刘燕燕等<sup>[8]</sup>以羟脯氨酸含量来衡量菜心的耐热性,但是蔬菜作物上开展的是单一性的指标,在试验鉴定中缺乏普遍性。因此,该试验采用综合隶属函数鉴定法,以菜心的热害指数为评价标准,对参选的指标进行相关性分析,并筛选能够鉴定菜心耐热性的指标。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选用目前推广面积较大的6个菜心品种,“油绿501菜心”、“油绿50天菜心”、“四九-19号菜心”、“四九黄菜心”、“油绿菜心701”、“特青迟心4号”,其中,“四九-19号菜心”和“四九黄菜心”为耐热性品种,“油绿501菜心”、

“油绿50天菜心”和“油绿菜心701”为耐热性一般的品种,“特青迟心4号”为耐热性较差的品种。6个菜心品种均由广州市农业科学研究院提供。

### 1.2 试验方法

将6份材料在8月份分2批、3次重复,每重复各200粒种子播种在塑料棚中,并分别记录下温棚和温棚土壤的温度变化。在菜心达到3叶1心时,将其中1批菜心移栽在高温下塑料棚中,3d后调查并分析高温下各材料的热害指数;另1批菜心材料调查高温下单株的农艺性状(叶长、叶宽、叶柄长、叶柄宽和鲜重)和生理生化指标(叶绿素、丙二醛、脯氨酸和电导率)。当菜心达到采收期时,调查各材料的播种成活率、单株农艺性状(株高、开展度、基叶数、茎叶数、最大叶长、最大叶宽、最大叶柄长、最大叶柄宽、最大叶厚、茎高、茎粗、茎重和单株鲜重)和生理生化指标(叶绿素、丙二醛、脯氨酸和电导率),各农艺性状和生理生化指标调查10株,3次重复。同时,在另一简易棚采用遮荫及喷洒水分的方式将温度降到25℃左右,作为对照,试验方法及调查内容同上,计算各指标的相对值。

### 1.3 项目测定

叶片中的叶绿素用SPAD-502Plus测定;丙二醛和脯氨酸的测定参照邹琦<sup>[9]</sup>的方法;电导率的测定参照贾开志等<sup>[10]</sup>的方法;热害指数参照贾开志等<sup>[10]</sup>、易金鑫等<sup>[11]</sup>的方法,并加以改进,将热害共分6级(0级、1级、3级、5级、7级、9级),0级:植株生长正常;1级:植株外围少数叶片干枯;3级:植株1/3左右叶片表现受害症状;5

**第一作者简介:**李光光(1982-),男,硕士,研究方向为菜薹(菜心)育种。E-mail:252590295@qq.com.

**基金项目:**广东省特色蔬菜现代产业技术体系资助项目;广州市农业局招标资助项目(GZCQC1002FG08015);广州市科技支撑计划资助项目(2009Z1-E801)。

**收稿日期:**2012-05-19

级:植株半数左右叶片表现受害症状;7级:植株 2/3 左右叶片受害,但未死亡;9级:植株死亡或已无经济价值。热害指数 =  $\sum (X \times X_i) / (A \times N) \times 100$ ,  $X$  代表热害级数,  $X_i$  代表  $X$  热害级数下植株数,  $A$  代表最高级数,  $N$  代表调查总株数。

#### 1.4 数据分析

各调查指标的相对值分别与热害指数进行相关分析,采用隶属函数法计算各材料的综合隶属函数值,计算方法及公式参照聂文娟等<sup>[12]</sup>;然后再与初选指标进行相关分析,淘汰没有显著相关的初选指标,形成优化鉴定指标,计算此时的综合隶属函数值,确立菜心耐热性鉴定的指标。应用 Excel 求平均值、SAS 统计软件处理数据相关系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 菜心在塑料棚的生育期温度变化

菜心整个生育期在塑料大棚中每天的最高温度和大棚地面的最高温度调查数据见图 1。由图 1 可知,塑料大棚每天的最高温度在 33℃ 的有 69 d,大棚地面的最高温度在 33℃ 的有 46 d,最高温可以达到 42℃,大棚地面的最高温度可以达到 40℃,说明菜心整个生育期在塑料大棚中受到了高温胁迫。

### 2.2 高温条件下菜心材料的热害指数

6 个菜心品种高温下苗期的热害指数显示,不同基因型的菜心材料耐热顺序由强到弱依次为:“四九黄菜心”(0.416)、“四九-19”(0.421)、“油绿 501 菜心”(0.582)、

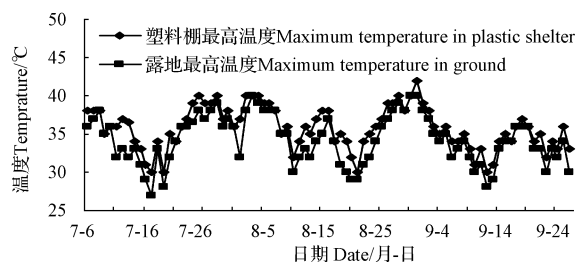


图 1 菜心生育期间塑料棚中的温度变化

Fig. 1 Temperature changes during the growing period of Chinese flowering cabbage in the plastic shelter

“油绿菜心 701”(0.656)、“油绿 50 天菜心”(0.660)、“特青迟心 4 号”(0.791)。该结果与实际生产较为一致,可以用来评定菜心材料的耐高温情况。

### 2.3 高温条件下菜心各项调查指标与耐热性的关系

6 个菜心品种在高温塑料棚中苗期的调查指标与热害指数进行相关性分析的结果见表 1。由表 1 可知,热害指数与菜心苗期的各项调查指标无任何显著相关性,因此该时期的指标不能作为菜心耐热性鉴定的标准;菜心在高温塑料棚中采收期的调查指标与热害指数进行相关性分析的结果(表 2)表明,热害指数与菜心采收期的叶绿素(简称 HT-Ch)含量呈极显著正相关,与菜心采收期的单株高(简称 HT-PH)、薹叶数(简称 HT-SSLN)以及菜心在高温下播种到采收期时的成活率(简称 HT-SR)呈极显著负相关,与采收期的单株生物总重(简称 HT-TW)呈显著负相关。

表 1 高温条件下菜心苗期各项调查的相对指标与热害指数的相关系数

Table 1 Correlation coefficient of investigated relative indicators and heat injury index of Chinese flowering cabbage during seedling stage under high temperature

品种 Varieties	MDA	Pro	Ec	Ch	LL	PL	LW	PW	TW
“油绿 501 菜心”	0.527	0.941	0.716	0.418	0.368	0.240	0.260	0.260	0.714
“油绿 50 天菜心”	0.473	0.700	1.371	0.382	0.414	0.200	0.232	0.280	0.532
“四九-19 号菜心”	0.645	0.610	0.609	0.388	0.432	0.354	0.272	0.360	0.814
“四九黄菜心”	0.509	0.719	0.671	0.383	0.358	0.326	0.224	0.280	0.504
“油绿菜心 701”	0.410	0.733	1.221	0.388	0.384	0.212	0.200	0.290	0.412
“特青迟心 4 号”	0.422	2.092	0.809	0.517	0.386	0.302	0.234	0.322	0.600
相关性指数	-0.791	0.714	0.541	0.683	-0.042	-0.552	-0.382	-0.149	-0.348

注:MDA 为丙二醛、Pro 为脯氨酸、Ec 为电导率、Ch 为叶绿素、LL 为叶长、PL 为叶柄长、LW 为叶宽、PW 为叶柄宽、TW 为单株生物总重、HI 为热害指数。下同。

Note: MDA means malondialdehyde, Pro means proline, Ec means conductivity, Ch means chlorophyll, LL means leaf length, PL means petiole length, LW means leaf width, PW means petiole width, TW means total weight, HI means heat injury index, same as below.

表 2 高温条件下菜心采收期各项调查的相对指标与热害指数的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of investigated relative indicators and heat injury index of Chinese flowering cabbage during harvest time under high temperature

品种 Varieties	MDA	Pro	Ec	Ch	LT	PH	PS	BL	FL
“油绿 501 菜心”	0.204	0.237	0.399	0.488	0.444	0.212	0.211	0.780	0.600
“油绿 50 天菜心”	0.145	0.120	0.521	0.461	0.430	0.191	0.243	0.620	0.580
“四九-19 号菜心”	0.199	0.083	0.544	0.438	0.409	0.274	0.428	0.840	0.760
“四九黄菜心”	0.123	0.098	0.609	0.423	0.427	0.267	0.384	0.960	0.740
“油绿菜心 701”	0.178	0.235	0.484	0.493	0.419	0.159	0.330	0.820	0.560
“特青迟心 4 号”	0.182	0.290	0.669	0.636	0.588	0.143	0.284	1.560	0.560
相关性指数	0.182	0.805	0.134	0.850 *	0.714	-0.973 * *	-0.661	0.452	-0.932 * *

续表 2

品种 Varieties	LL	PL	LW	PW	FSH	FSD	FSW	TW	SR
“油绿 501 菜心”	0.142	0.342	0.812	0.130	0.096	0.152	0.237	0.500	0.195
“油绿 50 天菜心”	0.136	0.198	0.636	0.122	0.138	0.116	0.141	0.314	0.145
“四九-19 号菜心”	0.188	0.740	0.966	0.114	0.221	0.154	0.429	1.115	0.245
“四九黄菜心”	0.172	0.930	0.954	0.122	0.206	0.162	0.372	0.916	0.213
“油绿菜心 701”	0.156	0.480	0.732	0.120	0.126	0.130	0.161	0.410	0.074
“特青迟心 4 号”	0.161	0.488	0.894	0.156	0.135	0.138	0.287	0.483	0.033
相关性指数	-0.587	-0.706	-0.535	0.732	-0.739	-0.710	-0.676	-0.842 *	-0.919 * *

注:1. LT 为叶片厚、PH 为株高、PS 为开展度、BL 为基叶数、FL 为薹叶数、FSH 为薹高、FSD 为薹粗、FSW 为薹重、SSR 为播种成活率;2. \* 和 \* \* 分别表示处理与对照差异达显著( $P < 0.05$ )和极显著水平( $P < 0.01$ )。

Note: 1. LT means leaf thickness, PH means plant height, PS means angular divergence, BL means number of basic leaves, FL means flowering leaves, FSH means flowering sprouts height, FSD means flowering sprouts, FSW means flowering sprouts weight, SSR means sowing survival rate; 2. \* and \* \* means significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

表 3

5 项菜心初选指标的数值及综合隶属函数值

Table3 5 primary indicators value and comprehensive membership function value of Chinese flowering cabbage

品种 Varieties	负向指标 Negative index			正向指标 Positive index		综合隶属函数值 Comprehensive function value
	HT-PH	HT-SSLN	HT-TW	HT-SR	HT-Ch	
“油绿 501 菜心”	0.473	0.8	0.768061	0.235479	0.306	0.517
“油绿 50 天菜心”	0.631	0.9	1	0.470958	0.178	0.636
“四九-19 号菜心”	0	0	0	0	0.071	0.014
“四九黄菜心”	0.052	0.1	0.249413	0.153061	0	0.111
“油绿菜心 701”	0.876	1	0.880548	0.805339	0.331	0.779
“特青迟心 4 号”	1	1	0.788906	1	1	0.958
相关性指数	0.995 * *	0.964 * *	0.881 *	0.939 * *	0.807	

注:HT 表示菜心为采收期的各项指标,各含义同上。

Note: HT means harvest time of Chinese flowering cabbage, same as above.

2.4 菜心耐热性的综合鉴定

6 个菜心品种有 5 项指标与热害指数有显著相关性,参与计算综合隶属函数值;然后将综合隶属函数值再与 5 项指标进行相关性分析。由表 3 可知,初选的 5 个指标中采收期的叶绿素含量(HT-Ch)与综合隶属函数值无显著相关性,其中 4 项指标与综合隶属函数值负显著相关。

2.5 菜心耐热性综合鉴定指标体系和操作体系的确立

利用优化指标进行主成分分析表明,前 2 项的综合指标贡献率分别为 0.9095、0.084,累计贡献率达到 0.9935,其余忽略不计。因此,这 4 项指标基本上可以可靠的鉴定出各菜心品种的耐热性大小。利用优化指标计算 6 个菜心品种耐热性由强到弱依次为:“四九-19 号菜心”(0.000) > “四九黄菜心”(0.139) > “油绿 50 天菜心”(0.750) > “油绿 501 菜心”(0.569) > “油绿菜心 701”(0.891) > “特青迟心 4 号”(0.947)。

4 项菜心优化指标的综合隶属函数值采用最小距离法聚类分析,聚类结果见图 2。由图 2 可知,6 个试验材料可分为 3 类:“四九-19 号菜心”和“四九黄菜心”为耐热型;“油绿 50 菜心”和“油绿 501 菜心”为一般耐热型;“油绿菜心 701”和“特青迟心 4 号”为热敏型。菜心热害指数与优化后的综合隶属函数值极显著正相关( $F = 0.955, P = 0.003 < 0.01$ ),以热害指数为依据得到的菜心耐热性聚类图与菜心优化指标的综合隶属函数值聚类类似的结果,说明利用热害指数可以比较直观的筛选出

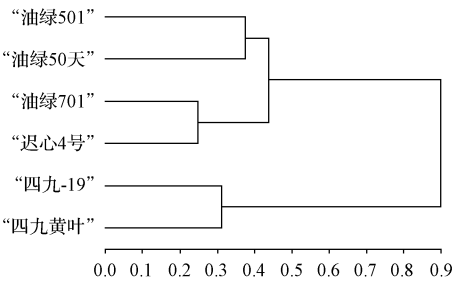


图 2 以优化指标的综合隶属函数值为依据的聚类图

Fig.2 Cluster graph based on the value of comprehensive function value of optimized indexes

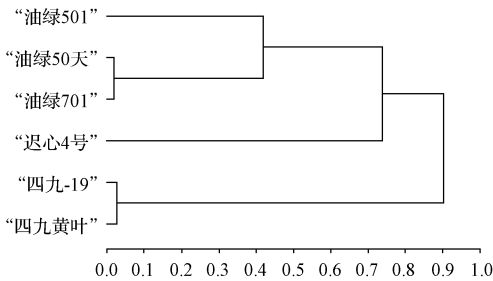


图 3 以热害指数为依据的聚类图

Fig.3 Cluster graph based on the heat injury index

耐热性好的菜心品种。

3 结论与讨论

植物抗逆性强弱的直观表现可以用植物在逆境下

的形态特征变化来直接评价<sup>[13]</sup>,因此该试验采用田间鉴定菜心的耐热性,以菜心在高温温棚下的热害指数为鉴定其它耐热性指标的筛选标准,并利用隶属函数法对6个菜心品种的耐高温逆境能力的调查指标进行综合评价,并对单一指标的耐热性值进行比较,所筛选的指标与菜心品种间的差异顺序不完全一致。隶属函数法在某些指标不符合菜心抗逆性表现时,能够筛选出其中符合鉴定的指标,从而较准确的确定其抗逆性能力。

蔬菜在逆境环境下会造成质膜选择性的改变甚至丧失,孟焕文等<sup>[14]</sup>认为电导率与黄瓜的耐热性呈显著相关,而汪祖程<sup>[15]</sup>在38℃处理3d的黄瓜幼苗叶片与热害指数极显著相关,当温度达到42℃时,这种显著性差异消失;另外在测定耐热性的MDA含量时,李成琼等<sup>[16]</sup>认为MDA含量与耐热性呈显著负相关,而姚元干等<sup>[17]</sup>发现辣椒叶片的MDA含量难以准确的判断品种间的耐热性差异。该研究发现,菜心的耐热性与在高温温棚下苗期和采收期的叶片中MDA和Pro含量变化以及电导率值都无任何显著性相关,这可能受菜心采摘后与试验处理间隔时间影响较大。另外,叶片经高温胁迫后叶绿素类囊体膜的损伤会使光合作用下降<sup>[18]</sup>,但以叶绿素的变化来鉴定植物的耐热性受到质疑<sup>[19]</sup>,该研究结果发现,菜心在高温温棚下采收期的叶片叶绿素含量与其耐热性没有显著相关性,这与王志和<sup>[19]</sup>的研究结果一致。同时,菜心耐热性直观表现还可以用田间高温的薹高、薹叶数、单株生物重以及播种成活率来判断。利用菜心热害指数与优化后优化后的综合隶属函数值极显著正相关( $F=0.955, P=0.003<0.01$ ),可以将6个试验材料分为3类:“四九-19号菜心”和“四九黄菜心”为耐热型;“油绿50天菜心”和“油绿501菜心”为一般耐热型;“油绿菜心701”和特“青迟心4号”为热敏型。而2份耐热型的菜心材料为早熟类型,热敏型菜心材料为迟熟类型,因此耐热型菜心的选育可以选育早熟型为主。

## 参考文献

- [1] 李植良,孙保娟,罗少波,等.高温胁迫下华南茄子的耐热性表现及其鉴定指标的筛选[J].植物遗传资源学报,2009,10(2):244-248.
- [2] 张玉明.不结球白菜耐热性鉴定的研究[D].南京:南京农业大学,2000.
- [3] 张志忠.茄子耐热机理及苗期抗热性筛选指标的研究[D].福州:福建农林大学,2001.
- [4] 王冬梅.番茄耐热性鉴定方法的研究及其种质资源的筛选鉴定[D].哈尔滨:东北农业大学,2003.
- [5] 徐建峰.甜椒耐热机理及热胁迫下生理、生化变化的研究[D].福州:福建农林大学,2003.
- [6] 韩金玉.叶用莴苣耐热性鉴定及鉴定指标的筛选[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2004.
- [7] 廖飞雄,潘瑞炽.热胁迫下菜心脯氨酸含量变化及其在耐热中的作用[J].华南师范大学学报(自然科学版),2001(2):45-49.
- [8] 刘燕燕,沈火林,刘以前.高温胁迫对不结球白菜幼苗生长及生理指标的影响[J].华北农学报,2005,20(5):25-29.
- [9] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 贾开志,陈贵林.高温胁迫下不同茄子品种幼苗耐热性研究[J].生态学报,2005,24(4):398-401.
- [11] 易金鑫,侯喜林.茄子耐热性遗传表现[J].园艺学报,2002,29(6):529-532.
- [12] 聂文娟,孟焕文,程智慧,等.自然高温条件下黄瓜耐热性成株期鉴定技术研究[J].北方园艺,2010(20):22-25.
- [13] 周广,孙宝腾,张乐华,等.井冈山杜鹃叶片抗氧化系统对高温胁迫的响应[J].西北植物学报,2010,30(6):1149-1156.
- [14] 孟焕文,张彦峰,程智慧,等.黄瓜幼苗对热胁迫的生理反应及耐热鉴定指标筛选[J].西北农业学报,2000,9(1):96-99.
- [15] 汪祖程.黄瓜耐热耐渍性指标鉴定及抗性材料筛选的研究[D].武汉:华中农业大学,2008.
- [16] 李成琼,宋洪元,雷建军,等.甘蓝耐热性鉴定研究[J].西南农业大学学报,1998,20(4):198-301.
- [17] 姚元干,石雪晖,杨建国,等.辣椒耐热性叶片质膜透性及几种生化物质含量的关系[J].湖南农业大学学报,2000,26(2):97-99.
- [18] Chaitanya K V, Sundar D, Ramachandra Reddy A. Mulberry leaf metabolism under high temperature stress[J]. Biologia Plantarum, 2001, 44(3): 379-384.
- [19] 王志和.大白菜亲本耐热性筛选方法的研究[D].泰安:山东农业大学,2005.

## Screening of Assessment Indexes on Heat Tolerance in Different Chinese Flowering Cabbage Cultivars

LI Guang-guang<sup>1</sup>, ZHANG Cai-shun<sup>2</sup>, ZHENG Yan-song<sup>1</sup>

(1. Guangzhou Institute of Agricultural Science, Guangzhou, Guangdong 510308; 2. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

**Abstract:** The effects of high temperature stress on agronomic characters about plant height (PH), width, base leaf No. (BLN), seed stalk leaf No. (SSLN), leaf length (LL), petiole length (PL), leaf width (LW), petiole width (PW), leaf thickness (LT), seed stalk height (SSH), seed stalk diameter (SSD), seed stalk weight (SSW), total weight (TW), survival rate (SR) and physiological biochemical character about malon dialdehyde (MDA) content, proline (Pro) content, electric conductivity (EC), chlorophyll (Ch) content during Chinese flowering cabbages seedling stage and harvesting time in heat



# 外源物质对干旱复水平邑甜茶抗氧化酶的影响

权 静<sup>1</sup>, 张 林 森<sup>1</sup>, 李 雪 薇<sup>1</sup>, 张 海 亭<sup>2</sup>, 张 立 新<sup>2</sup>, 李 丙 智<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 生命学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**以苹果砧木平邑甜茶 2 a 生实生苗为材料进行盆栽试验, 研究比较了干旱复水条件下外源甜菜碱(GB)、脱落酸(ABA)和硝普钠(SNP, NO 供体)对平邑甜茶幼苗抗氧化防护酶活性的影响。结果表明:外源 GB、ABA 和 NO 显著降低了干旱胁迫下平邑甜茶幼苗叶片质膜相对透性和 MDA 含量, 重度胁迫时与 CK 相比, 分别降低了 13.5%、12.2%、18.4% 与 32.4%、14.4%、37.6%; 外源 GB、ABA 和 NO 提高了叶片中 SOD、CAT 和 POD 的活性, 在田间持水量 30% 时分别达到最大, 与同期 CK 相比, POD 活性分别增加 13.5%、13.4% 和 24.4%, SOD 活性分别增加 15.3%、13.7% 和 16.2%, CAT 活性则分别增加 63.2%、53.7% 和 95.3%, 之后酶活性开始下降。外源 GB、ABA 处理后 GR、DHAR、APX 和 MDHAR 的变化趋势与 CAT 等趋势相同, 同样在田间持水量 30% 时酶活分别达到最大; NO 处理后, GR、DHAR、APX 的变化趋势亦相同, 虽然 NO 对 MDHAR 活性比干旱处理有所升高, 但差异不显著。复水后, 不同外源物质下植物的抗旱生理指标变化趋势不尽相同。表明喷施外源 GB、ABA 和 NO 可有效的提高叶片的抗氧化系统酶的活性, 增强平邑甜茶幼苗的抗旱能力。比较 GB、ABA 和 NO 处理, NO 在提高平邑甜茶抗旱性方面效果最好, GB 处理其次, ABA 处理最低。

**关键词:**外源物质; 平邑甜茶; 干旱复水; 抗氧化防护酶

**中图分类号:**S 661.104<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)18-0005-06

苹果一直在我国果树种植业中占据优势地位, 作为北方干旱半干旱地区的重要经济树种, 主要栽培在丘陵山地, 利用工程抗旱具有较大的难度。因此, 研究利用生物抗旱技术提高苹果抗旱能力有一定的必要性。

**第一作者简介:**权静(1986-), 女, 陕西西安人, 在读硕士, 现主要从事果树生理生态研究工作。E-mail: quanjing1986@163.com.

**责任作者:**张林森(1964-), 男, 江苏镇江人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事旱地果树水分吸收与根际灌溉施肥及果树栽培与营养生理等的研究工作。E-mail: linsenzhang@163.com.

**基金项目:**国家苹果产业技术体系资助项目(CARS-28); 农业部公益性行业专项资助项目(Nyhyzx07-024); 陕西省科技厅重大攻关资助项目(2011KTZB02-02-05)。

**收稿日期:**2012-05-14

前人研究发现植物遭受逆境后, 体内生长调节物质或者渗透调节物质大量积累, 缓解了逆境对植物造成的伤害, 对于提高植物抗性, 维持其正常生长具有重要的意义。因此, 对于这类物质的研究引起人们的广泛关注, 人们试图利用外源物质保护植物免受逆境伤害, 并已取得了一定成果。外施 ABA 可以缓解植物伤害, 减小质膜透性和丙二醛含量, 提高抗氧化系统酶活性<sup>[1-3]</sup>。一氧化氮(NO)作为植物体内重要的信号分子和植物生长调节物质, 参与了植物光形态建成、种子萌发、叶片扩展、衰老、气孔运动以及植物对胁迫的响应等生命过程<sup>[4-6]</sup>。一定浓度的外源 NO 可诱导抗氧化酶基因的表达, 降低植物体内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量以保护细胞免受胁迫的伤害, 发挥抗氧化功能<sup>[7-8]</sup>; 低外源 NO 可以缓解逆境对植

stress plastic shelter were investigated in 6 cultivars. The significantly related indicators were screened with the heat injury by the membership function method. The results showed that 4 indexes, were significant negative correlation with the heat injury index, could be used to identify the heat resistance of Chinese flowering cabbages. It included the HT-PH, HT-SSLN, HT-TW and HT-SR in heat stress plastic shelter during the cultivars harvesting time. The heat tolerance of the tested 6 cultivars could be divided into three types. The 'Sijiu-19caixin' and 'Sijiu Huangcaixin' were heat resistant type, 'Youlv50tiancaixin' and 'Youlv501caixin' were general heat tolerance, 'Youlv701caixin' and 'Teqingchixin 4' were heat-sensitive.

**Key words:** Chinese flowering cabbage; heat tolerance; heat injury index; comprehensive membership function method