

## 不同基因型花椰菜苗期耐热性指标筛选及综合评价

朱朝辉, 钟开勤, 林翮飞, 黄建都, 方淑桂, 陈文辉

(福建省福州市蔬菜科学研究所, 福建 福州 350012)

**摘要:** 以 17 份不同基因型花椰菜幼苗为试材, 研究高温胁迫对花椰菜的 3 个农艺性状和 6 个生理指标的影响, 采用主成分分析、系统聚类分析和隶属函数法等综合评价花椰菜的耐热性。结果表明, 9 个单项指标集约于 5 个主成分, 累计贡献率为 0.877, 通过隶属函数值  $D$  评价耐热性的强弱, 并利用聚类分析将 17 份不同基因型花椰菜分为 3 类: 第Ⅰ类是耐热类型花 1-3 优-H; 第Ⅱ类是中度耐热类型, 包括郑反 1-H、14 号、A-1×18-3、18-2-2-4s、143-4-1-1-5-4s、A-4×22-2、A-2×5 花 1-2、花 1♂-2 优、142-2-5 和 A3×A19-2; 第Ⅲ类是不耐热类型, 包括 B-1×花 1-3-2、C-5×19-1、C-1×196-6、A6×A19-2、C-5×19-1×A36-5 和 B-2×10-2。采用耐性指标和综合评价方法对 17 份不同基因型花椰菜的耐热性能力进行了分类、筛选和评价, 为花椰菜耐热性进一步育种奠定了基础。

**关键词:** 花椰菜; 耐湿性; 主成分分析; 系统聚类; 隶属函数

**中图分类号:** S 433.4

**文献标识码:** A

### Heat Tolerance of Seventeen Cauliflower Genotypes

ZHU Chao-hui, ZHONG Kai-qin, LIN He-fei, HUANG Jian-du, FANG Shu-gui, CHEN Wen-hui

(Fuzhou Institute of Vegetable Crops, Fuzhou, Fujian 350012, China)

**Abstract:** Seventeen cauliflower genotypes were subjected to heat stress to study the effects on 3 agronomical and 6 physi-biochemical traits. Using the principal component analysis, subordinate function and system clustering analysis on these 9 traits, heat tolerance of the genotypes was evaluated. The principal component analysis indicated that the 9 indices could be characterized into 5 factors with an accumulative contribution rate of up to 0.877. Based on the  $D$  value of subordinate function analysis, the 17 genotypes were divided into 3 clusters by system clustering analysis. The most heat tolerant genotype was H1-3Y-H, the medium tolerant genotypes were ZF1-H, 14, A-1×18-3, 18-2-2-4s, 143-4-1-1-5-4s, A-4×22-2, A-2×5H1-2, H1♂-2Y, 142-2-5 and A3×A19-2, and the least tolerant genotypes were B-1×H-1-3-2, C-5×19-1, C-1×196-6, A6×A19-2, C-5×19-1×A36-5 and B-2×10-2. The selection and evaluation methods developed in this study provided a useful tool for further study on heat tolerance and breeding of cauliflowers.

**Key words:** *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.; heat tolerance; principal component analysis; system clustering; subordinate function

夏季高温是制约花椰菜 *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L. 生长的主要环境因子。早熟花椰菜在生长期经常受到高温的危害, 导致植株营养生长受阻, 花球膨大受抑制, 造成产量和品质下降。因此, 科学地评价并选育耐热品种是提高花椰菜耐热性的主要途径之一。

植物的耐热性受多基因控制, 且受环境条件和植物对热胁迫多样性的影响, 许多学者从形态、生理生化机理等几个方面探索出了各种耐热性的鉴定方法和指标<sup>[1-6]</sup>。目前, 植物的耐热性评价的鉴定

指标和方法尚无既定标准, 制约了耐热种质发掘与应用。近年来, 大白菜<sup>[7]</sup>、辣椒<sup>[8]</sup>、黄瓜<sup>[9]</sup>等耐热性综合分析方法的应用, 较好地揭示相关农艺性状、生理生化性状与耐热性的关系, 较准确地评价各品种(系)间耐热性差异, 并将其划分为不同的耐热类型。而花椰菜耐热性的相关研究鲜见。

本试验旨在通过对不同基因型花椰菜多个生理生化指标的测定, 应用隶属函数、主成分和聚类分析等方法对花椰菜耐热性进行较系统的综合评价, 筛选出耐热性材料, 以期在花椰菜耐热育种提供条件。

收稿日期: 2011-08-03 初稿; 2011-09-26 修改稿

作者简介: 朱朝辉(1972-), 男, 助理研究员, 从事蔬菜育种工作(E-mail: zhuchaohui1972@163.com)

基金项目: 福建省科技计划重大专项专题 [2008NZ0002-1 (1)]; 福建省科技计划项目 (2008N0046)

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

供试 17 个花椰菜材料为高代自交系或雄性不育系,由福州市蔬菜科学研究所十字花科蔬菜课题组提供。其中生育期小于 50 d 的有花 1-3 优-H;生育期 50~65 d 的有 A3×A19-2、142-2-5、花 1 ♂-2 优、A-4×22-2、A-2×5 花 1-2、郑反 1-H、18-2-2-4s、A-1×18-3、A6×A19-2、C-1×196-6、143-4-1-1-5-4s、14 号等 12 份;生育期 66~85 d 的有 C-5×19-1×A36-5、B-2×10-2、C-5×19-1、B-1×花-1-3-2 等 4 份。

### 1.2 试验设计

供试材料于 2010 年 6 月 7 日播入营养杯中,按照常规方法管理,4 叶 1 心定苗,每杯保留 1 株,每处理 10 株,3 次重复。幼苗长到 6 片叶时,置于智能型人工气候箱中进行处理,参照司家钢等<sup>[8]</sup>的方法进行改进,设 2 个温度处理,处理 A (高温胁迫组):模拟福建夏季气候特点,昼温 38℃、夜温 28℃;处理 B (对照组)设昼温 25℃、夜温 18℃。两组均光照培养 10 h,黑暗培养 14 h,平均光通量密度为 50  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均湿度 80%,处理 96 h 后进行测定。

### 1.3 测定项目与方法

农艺性状测定:茎粗、株高、地上部鲜重、地下部鲜重、地上部干重、地下部干重、单株重,参照《花椰菜种质资源描述规范和数据标准》<sup>[10]</sup>计算壮苗指数<sup>[11]</sup>。每个处理统计 5 株,3 次重复。

生理生化性状的测定:测定项目包括超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(POD)活性、叶片相对膜透性(RMP)、脯氨酸(Pro)含量、丙二醛(MDA)含量、叶绿素 Chl (a+b)、叶片相对含水量采用李合生和李玲的<sup>[12-13]</sup>方法测定,吸光度测定采用 U2810 分光光度计。每个处理统计 5 株,取每株第 4 片,避开主叶脉打孔取样,每个处理 3 次重复。

### 1.4 数据处理

1.4.1 壮苗指数 壮苗指数=(茎粗/株高+地下部干重/地上部干重)×(地下部干重+地上部干重)

#### 1.4.2 耐热系数 $\alpha$

$$\alpha = \text{处理平均值} / \text{对照平均值} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\alpha$  是各项单项指标的耐热系数<sup>[6]</sup>。

#### 1.4.3 各项指标隶属函数值 $U(X_j)$

$$U(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: $X_j$ 表示第  $j$  个指标值; $X_{\max}$ 表示第  $j$  个综合指标的最大值, $X_{\min}$ 表示第  $j$  个综合指标的最小值。

#### 1.4.4 权重的确定 $W_j$ :

$$W_j = p_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: $p_j$ 为供试材料第  $j$  个公因子的贡献率。

#### 1.4.5 综合评价

$$D_i = \sum_{j=1}^n [U(X_i)W_j] \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中: $D_i$ 为试材用综合指标评价所得的耐热性综合值。

1.4.6 数据处理 利用 EXCEL 计算平均值及以上公式,DPS 统计软件上进行相关分析及主成分分析和聚类分析<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 花椰菜各单项指标的耐热系数及其相关分析

由公式(1)得出花椰菜各项单项耐湿系数  $\alpha$  值(表 1)表明,在高温胁迫后,花椰菜 SOD、POD、Chl (a+b)、LW、WP、壮苗指数的耐热系数小于 100%,RMP、Pro、MDA 耐热系数大于 100%,从表 1 各单项指标的标准差可见,不同基因型花椰菜之间的各单项系数的变化幅度不同,因此用各单项指标的耐热系数来评价花椰菜的耐热性,其结果均不相同。

从各指标间的相关系数矩阵(表 2)可知,相对膜透性(RMP)与脯氨酸(Pro)、叶绿素 [Chl (a+b)] 显著的负相关;脯氨酸(Pro)与叶绿素 [Chl (a+b)] 呈极显著的正相关;叶片相对含水量(LW)与单株鲜重(WP)极显著正相关;单株鲜重(WP)与壮苗指数呈显著的正相关。由于各指标间存在不同程度的相关性,使得各指标所提供的信息发生重叠,故在花椰菜耐热性鉴定中,仅用单一指标或少数几个指标很难反映花椰菜不同基因型间耐热性的遗传本质,需要对这些指标进行综合评价,能较好地鉴定花椰菜耐热性的强弱。

### 2.2 花椰菜各单项指标的主成分分析

对 17 个花椰菜单项指标的耐热系数进行主成分分析(表 3),获得前 5 个综合指标的贡献率分别为 0.288、0.250、0.137、0.127 和 0.075,累计贡献率为 87.70%,其余可忽略不计。说明不同性状的耐热系数的权重并不相同,根据贡献率大小可知各个综合指标的重要性,这样就把原来彼此关系复杂的 9 个单项指标转换成 5 个新的相互独立的综合指标,基本上反映了 9 个指标的信息。

表 1 花椰菜不同基因型各项指标的耐热系数  $\alpha$  值  
Table 1  $\alpha$  value of individual indices for cauliflower's heat tolerance at seeding

供材	SOD	POD	RMP	Pro	MDA	Chl(a+b)	LW	WP	壮苗指数
B-1×花-1-3-2	67.77	66.30	144.32	134.81	149.454	67.38	59.44	40.36	74.34
郑反 1-H	89.90	76.31	197.26	104.13	108.045	62.31	90.058	82.66	92.65
A6×A19-2	63.03	44.55	111.99	139.56	120.856	66.71	81.249	60.01	72.61
A-2×5 花 1-2	64.66	77.40	116.43	148.33	107.704	73.13	72.194	56.84	67.44
18-2-2-4s	91.28	94.53	112.62	143.28	112.350	68.74	80.427	58.94	61.92
A-4 22-2	85.08	88.99	105.01	193.57	135.547	75.53	73.372	55.77	62.41
A-1 18-3	94.13	78.21	112.43	189.09	149.545	79.24	94.537	67.28	59.17
142-2-5	85.75	95.40	159.74	133.11	132.292	60.60	77.961	52.74	70.20
C-5 19-1 A36-5	85.80	75.65	116.62	146.29	127.778	81.31	72.194	53.84	26.06
花 1♂-2 优	77.69	69.66	164.09	106.52	134.601	68.06	91.304	66.18	80.55
花 1-3 优-H	44.74	90.94	150.99	196.80	111.829	78.92	93.126	69.25	70.58
A3×A19-2	60.02	68.76	107.00	111.97	140.801	70.78	86.071	63.08	68.48
C-5×19-1	37.44	69.20	189.17	128.64	200.277	68.74	67.728	49.64	42.61
14 号	71.24	90.53	133.26	161.58	124.744	91.49	77.783	55.81	50.89
C-1×196-6	63.18	57.82	157.28	116.07	125.743	61.96	74.55	51.71	56.89
B-2×10-2	94.20	37.21	134.06	134.04	111.974	65.71	83.249	60.01	64.34
143-4-1-1-5-4s	59.65	45.50	108.08	192.95	119.387	91.81	73.249	57.84	88.48
标准差 SD	17.17	17.80	29.27	30.93	22.45	9.42	9.61	9.30	16.03

表 2 花椰菜各单项指标的相关系数矩阵  
Table 2 Correlation matrix of various indices

指标	SOD	POD	RMP	Pro	MDA	Chl(a+b)	LW	WP
SOD	1.000							
POD	0.150	1.000						
RMP	-0.190	0.080	1.000					
Pro	-0.060	0.210	-0.520 *	1.000				
MDA	-0.380	0.010	0.270	-0.100	1.000			
Chl(a+b)	-0.150	0.110	-0.48 *	0.720 **	-0.070	1.000		
LW	0.260	0.120	0.060	0.020	-0.330	-0.030	1.000	
WP	0.250	0.090	0.180	-0.030	-0.430	-0.020	0.870 **	1.000
INDEX	0.030	-0.200	0.150	-0.090	-0.390	-0.200	0.310	0.450

第 1 主成分中系数载荷较高的特征向量为脯氨酸（Pro），且为负值，因此，第 1 主成分为渗透压调节因子；第 2 主成分相对电导率（RMP）的系数载荷较高，可认为第 2 主成分是膜透性因子；第 3 主成分为叶片相对含水量（LW）的系数载荷较高，可认为水分因子；第 4 因子绝对值较大的特征向量为单株重（WP）且为负值，可认为生长势因子；第 5 主成分主要是叶绿素 [Chl (a+b)]，可

认为光合作用因子。主成分分析表明，综合 5 主成分所携带的信息，可选前 5 个主成分中概括 9 个指标中的大多数信息。

2.3 隶属函数分析

根据公式（3）求出每个基因型综合指标的隶属函数值（表 4）。利用各综合指标贡献率的大小用公式（4）求出其权重。经计算，5 个综合指标的权重分别为 0.328、0.285、0.156、0.145 和

0.086。根据不同基因型的各综合指标的  $U$  值和权重  $W_j$ ，获得各基因型的耐热性综合评价值  $D$ ， $D$  值反映了综合耐热能力的大小，数值越大，表明耐热能力越强。

表 3 花椰菜各综合指标的系数及贡献率  
Table 3 Coefficients of comprehensive indices [Z(x)] and their contribution rates (p)

主成分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
SOD	0.277	0.023	0.113	−0.119	−0.381
POD	0.119	0.152	−0.503	0.568	−0.257
RMP	0.114	0.765	0.304	0.047	0.288
Pro	−0.728	−0.086	0.292	0.226	0.260
MDA	−0.115	0.522	0.166	0.147	−0.361
Chl(a+b)	0.426	−0.050	−0.073	0.351	0.661
LW	0.410	−0.251	0.639	0.066	−0.088
WP	0.046	0.213	−0.289	−0.673	0.228
INDEX	0.043	−0.011	0.179	−0.089	−0.105
贡献率(p)	0.288	0.250	0.137	0.127	0.075

表 4 各供试综合指标值  $C(X)$ 、权重  $W_j$ 、 $U(X_j)$  与综合评价值  
Table 4 Component score,  $C(X)$ , index weight,  $W_j$ , subordinate,  $U(X_j)$  and comprehensive evaluation,  $D$ , of test materials

供试	$C(1)$	$C(2)$	$C(3)$	$C(4)$	$C(5)$	$U(1)$	$U(2)$	$U(3)$	$U(4)$	$U(5)$	$D$ 值	排名
B-1×花-1-3-2	−2.268	−1.435	−0.959	−0.482	1.274	0.135	0.264	0.391	0.277	1.000	0.307	16
郑反 1-H	4.007	−1.824	0.504	0.300	0.484	1.000	0.184	0.794	0.479	0.705	0.634	3
A6×A19-2	0.354	−0.231	−1.816	0.159	−0.591	0.497	0.512	0.155	0.443	0.303	0.423	13
A-2×5 花 1-2	−0.301	0.572	−0.583	−0.286	0.927	0.407	0.677	0.495	0.328	0.870	0.526	8
18-2-2-4s	0.610	0.721	0.731	−1.556	0.562	0.532	0.707	0.856	0.000	0.734	0.573	7
A-4×22-2	−0.829	1.722	0.527	−0.693	0.605	0.334	0.913	0.800	0.223	0.750	0.591	5
A-1×18-3	0.834	1.922	1.123	0.013	−1.401	0.563	0.955	0.964	0.405	0.000	0.666	2
142-2-5	0.235	−1.184	1.111	−1.019	1.163	0.480	0.316	0.961	0.139	0.959	0.500	4
C-5×19-1×A36-5	−1.664	1.078	0.767	−1.500	−1.059	0.219	0.781	0.866	0.014	0.128	0.442	10
花 1♂-2 优	1.836	−1.388	0.211	0.409	−0.369	0.701	0.274	0.713	0.507	0.386	0.526	9
花 1-3 优-H	1.147	1.517	0.981	2.320	0.627	0.606	0.871	0.925	1.000	0.758	0.802	1
A3×A19-2	0.353	−0.358	−0.329	0.398	−0.815	0.497	0.486	0.565	0.504	0.219	0.481	11
C-5×19-1	−3.251	−2.719	1.253	1.789	−0.772	0.000	0.000	1.000	0.863	0.235	0.301	13
14 号	−0.960	1.714	1.021	0.236	0.171	0.316	0.912	0.936	0.462	0.588	0.627	4
C-1×196-6	−0.626	−1.790	−0.601	−0.362	−0.103	0.362	0.191	0.490	0.308	0.485	0.336	15
B-2×10-2	1.049	−0.460	−1.561	−1.218	−1.147	0.592	0.465	0.226	0.087	0.095	0.383	16
143-4-1-1-5-4s	−0.529	2.143	−2.380	1.491	0.443	0.375	1.000	0.000	0.786	0.689	0.581	6
$W_j$						0.328	0.285	0.156	0.145	0.086		

2.4 聚类分析

采用最小距离、类平均数聚类法对综合评价值  $D$  进行聚类分析。结果显示（图 1），在欧氏距离 0.20 时，17 份不同基因型的供试花椰菜可分为 3 类：第Ⅰ类是耐热类型花 1-3 优-H；第Ⅱ类是中度耐热类型，包括郑反 1-H、14 号、A-1×18-3、18-

2-2-4s、143-4-1-1-5-4s、A-4×22-2、A-2×5 花 1-2、花 1♂-2 优、142-2-5 和 A3×A19-2 等 10 份种质；第Ⅲ类是不耐热类型，包括 B-1×花-1-3-2、C-5×19-1、C-1×196-6、A6×A19-2、C-5×19-1×A36-5 和 B-2×10-2 等 6 份种质。

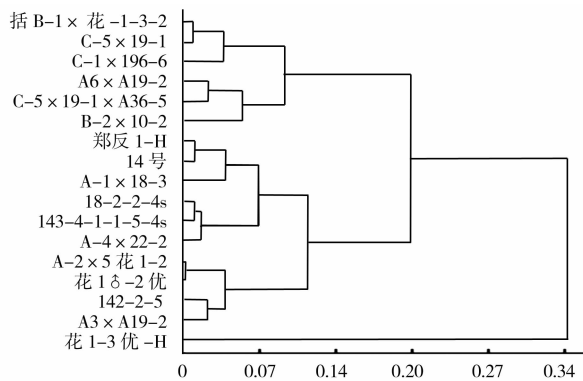


图1 不同基因型花椰菜耐热性聚类分析

Fig. 1 System clustering analysis on cauliflowers of different genotypes

### 3 讨论

生理生化分析是鉴定植物抗逆性的重要方法, 汪炳良等<sup>[15]</sup>研究表明高温胁迫导致了早熟花椰菜叶片叶绿素含量明显下降, 抗氧化酶活性以及抗氧化剂抗坏血酸和谷胱甘肽含量有所增加, 膜脂过氧化产物 MDA 有所积累。周广生<sup>[16]</sup>认为采用单一指标难以全面准确地反映作物品种抗逆性的强弱, 应用多种指标来综合评价作物对逆境的适应能力。本研究通过对 17 个花椰菜种质在苗期高温相应指标的测定, 用主成分分析法将原来个数较多而且彼此关系错综复杂的指标转换为新的、个数较少且彼此独立的综合指标, 然后利用隶属函数消除了个别指标带来的片面性, 得到的  $[0, 1]$  闭区间的纯数  $D$  值, 最后通过聚类分析对花椰菜材料进行分级, 可较准确地评价花椰菜的耐热性。本研究结果表明, 花椰菜耐热性与其生育期的长短有相关性, 生育期在 65 d 以下的材料一般比较耐热, 试验结果与田间观察相似。但是由于花椰菜耐热机制十分复杂, 仅从生育期或生理生化指标去研究花椰菜的耐热性还远远不够, 还需进一步研究热害胁迫对花椰菜的成株发育和产量的影响。

### 参考文献:

- [1] 韩笑冰, 利容千, 王建波. 热胁迫下萝卜不同耐热性品种细胞组织结构比较 [J]. 武汉植物学研究, 1997, 15 (2): 173—178.
- [2] 姚元干, 石雪晖, 杨建国, 等. 辣椒耐热性与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.
- [3] 李敏, 王维华, 王然. 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.
- [4] 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]. 生态学杂志, 2005, 24 (4): 398—401.
- [5] RANE, JAGDISH, NAGARAJAN, SHANTHA, et al. Hightemperature index-for field evaluation of heat tolerance in wheat varieties [J]. Agricultural System, 2004, 79 (2): 243—255.
- [6] 司家钢, 孙日飞, 吴飞燕, 等. 高温胁迫对大白菜耐热性相关生理指标的影响 [J]. 中国蔬菜, 1995 (4): 4—6.
- [7] 王志和, 于丽艳, 曹德航, 等. 短期高温处理对大白菜几个生理指标的影响 [J]. 西北农业学报, 2005, 14 (3): 82—85.
- [8] 徐小万, 雷建军, 罗少波, 等. 辣椒苗期耐热耐湿鉴定方法的研究 [J]. 核农学报, 2009, (5): 884—890.
- [9] 李为观, 杨寅桂, 魏跃, 等. 热胁迫下黄瓜幼苗生理生化指标变化及 CSHSP\_ (70) 基因表达 [J]. 南京农业大学学报, 2010, (3): 47—50.
- [10] 李锡香, 方智远. 花椰菜和青花菜种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [11] 何道根, 刘伟明, 何晓彪. 西兰花穴盘育苗技术研究 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (2): 171—175.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 184—260.
- [13] 李玲. 植物生理学模块实验指导 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 74—105.
- [14] 唐启义. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 203—218.
- [15] 汪炳良, 徐敏, 史庆华, 等. 高温胁迫对早熟花椰菜叶片抗氧化系统和叶绿素及其荧光参数的影响 [J]. 中国农业科学, 2004, 37 (8): 1245—1250.
- [16] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测 [J]. 中国农业科学, 2003, 36 (11): 1378—1382.

(责任编辑: 黄爱萍)