

夏菊耐热性指标筛选和综合评价

贾思振, 房伟民, 陈发棣, 陈素梅, 杨雪萌

(南京农业大学 园艺学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 在夏季高温条件下, 不同品种夏花型菊花 *Dendranthema × grandiflorum* 开花能力有较大差异。为了比较品种间的耐热性差异和确定筛选有关耐热性的评价指标, 对 5 个品种夏菊的生理特性、解剖结构和花期性状等方面的 13 个指标进行测定, 并采用主成分分析、隶属函数分析以及回归分析法对它们进行耐热性综合评价。结果表明: 群体花期、叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性、叶片丙二醛(MDA)含量和净光合作用日积累量可作为耐热性评价的指标; 根据建立的回归方程计算的综合评价值比较, 5 个品种夏菊的耐热性依次为‘火炬’>‘紫荷’>‘粉荷’>‘金光’>‘金星’; 5 个品种的耐热性预测值与综合评价值呈极显著相关。表 4 参 14

关键词: 植物学; 夏菊; 耐热性; 综合评价

中图分类号: S682.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5691(2009)02-0052-06

Heat tolerance for summer blooming of *Chrysanthemum*

JIA Si-zhen, FANG Wei-min, CHEN Fa-di, CHEN Su-mei, YANG Xue-meng

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

Abstract: Summer chrysanthemum varieties in seasonal high temperatures differ in their blossoming characteristics. To evaluate heat-tolerance and to choose heat resistance indicators for *Chrysanthemum* that bloom in summer, physiological indicators, anatomic structure, and blooming traits were among 13 indicators, studied in five cultivars—‘Huoju’, ‘Zihe’, ‘Fenhe’, ‘Jinguang’, and ‘Jinxing’. Principal component and subordinate function analyses were used. Results showed that both superoxide dismutase (SOD) activity and malondialdehyde (MDA) content in leaves as well as the integral of the diurnal net photosynthetic rate (P_n) could be used as heat-tolerance evaluation indexes. A comprehensive evaluation model $D = -1.818 + 0.013x_2 + 0.008x_6 + 0.002x_8 - 0.000\ 048x_{13}$, where x_2 is the blooming period, x_6 is the SOD activity in leaves, x_8 is the MDA content in leaves, and x_{13} is the integral of diurnal P_n , was developed. A significant correlation ($P < 0.001$, $R = 0.973$) between predictive value (V_p) and D was also found. The decreasing order for heat tolerance of D with the five cultivars was ‘Huoju’ > ‘Zihe’ > ‘Fenhe’ > ‘Jinguang’ > ‘Jinxing’. [Ch, 4 tab. 14 ref.]

Key words: botany; summer blooming of *Chrysanthemum*; heat tolerance; comprehensive evaluation

菊花 *Dendranthema × grandiflorum* 是我国十大传统名花和世界四大切花之一。由于菊花多数为短日、喜冷凉特性的秋菊品种, 因而开展具有对光周期不敏感特性的夏菊品种的选育, 从而实现自然条件下菊花的春夏供应是菊花育种的重要方向。目前, 通过国内外菊花育种者的努力, 已取得了较大进展, 但是, 不同品种夏菊的耐热特性差异较大, 部分品种在夏季高温条件下花蕾难以正常开放, 形成

收稿日期: 2008-05-15; 修回日期: 2008-08-28

基金项目: 江苏省科学技术攻关招标项目(BE2007305); 科学技术部农业科技成果转化资金项目(2007GB23600461); 江苏省科技成果转化专项资金项目(DA2007111); 上海市农业委员会高技术产业化项目(沪农科产字 2004-2-1)

作者简介: 贾思振, 从事园林植物遗传育种研究。E-mail: jiasizhen07@163.com。通信作者: 房伟民, 副教授, 从事花卉栽培与遗传育种研究。E-mail: fangwm@njau.edu.cn

大量盲花，从而影响了其观赏价值。因此，通过建立科学有效的耐热性综合评价体系，开展夏菊品种的进一步筛选十分必要。贾开志等^[1]研究高温胁迫下茄子 *Solanum melongena* 幼苗的耐热性，指出电解质渗出率、脯氨酸含量可以作为茄子耐热性的指标。陈发棣等^[2]研究表明，高温胁迫下不同耐热品种菊花的过氧化物酶(POD)活性、叶绿素含量等不同。缪旻珉等^[3]研究表明，不同黄瓜 *Cucumis sativus* 叶片结构和气孔导度等与耐热性显著相关，但是，目前对于耐热性的研究多集中在生理或叶片解剖等部分指标，难于全面准确反映植物的耐热性。而综合评价则能较完整、准确地评价植物忍受逆境的能力^[4]。作者在开展不同夏菊品种以花期性状为特征的田间耐热表现及其与相关生理特性和解剖结构等关系的基础上，初步筛选出 13 个指标，并应用主成分分析、隶属函数分析以及回归分析法对它们开展耐热性指标的进一步筛选与综合评价，以期为夏菊新品种培育与筛选提供更科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

试验材料为南京农业大学菊花课题组自主选育的 5 个光周期不敏感的夏花型小菊品种‘粉荷’‘Fenhe’，‘火炬’‘Huoju’，‘紫荷’‘Zihe’，‘金星’‘Jinxing’和‘金光’‘Jinguang’。

1.2 试验方法

2008 年 3 月 20 日选取生长整齐一致的插穗，在插床(蛭石：珍珠岩 = 2：1)上扦插生根。4 月 20 日每品种选 10 株生长健壮一致的生根苗定植于大田中，进行常规的栽培管理，8 月初进行相关指标测定。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 花期性状的调查统计 每一品种随机选取 5 个健壮单株，每单株统计 10 个花序，始花(花序最外轮花平展)至末花(花序最外轮花萎蔫)的时间为单花序花期。每一品种随机选取 5 个健壮单株，每株选取 200 朵花蕾，每天调查其花序开放状况，包括开放花数、萎蔫花数(正常开放后衰老萎蔫的花序)和盲花(不能开放和开放异常的花序)数，以开放率 10%为单株始花期，萎蔫率 70%为单株末花期，其间为群体花期长度，分别统计群体花期和盲花率。

1.3.2 叶片解剖结构分析 选取植株上部完整、无病虫害的功能叶，切取近中脉处叶片用甲醛、乙醇和冰醋酸混合固定液(FAA)固定，石蜡切片后镜检，观察测量叶片栅栏组织和海绵组织的厚度。方法参考文献[5]。

1.3.3 生理指标的测定 选取植株上部正常功能叶或完全展开的外轮花瓣，测定叶绿素含量、过氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量与可溶性蛋白含量，以及花瓣 MDA、可溶性蛋白含量。测定方法参照文献[6]。采用 LI-6400 便携式光合测定仪测定净光合作用日积累量。方法参照文献[7]。

1.4 数据处理与统计分析

1.4.1 单项指标的耐热系数(α) $\alpha(\%) = \text{各品种测定值/均值} \times 100\%$ 。

1.4.2 统计分析 主成分分析、逐步回归分析用 SPSS 13.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 各单项指标的耐热性系数及相关性分析

高温条件下各品种夏菊的耐热性系数值各不相同(表 1)。由表 1 可见，所有材料的各单项指标的变化幅度不同，用不同的单一指标的耐热性系数来评价夏菊的耐热性其结果均不同，说明夏菊的耐热性是一个复杂的综合过程，用任何单项指标评价都存在片面性。从相关系数矩阵可以看出(表 2)，所有指标之间都存在着或大或小的相关性，从而使它们提供的信息发生重叠。同时，各单项指标在耐热性评价中所起的作用也不同，所以直接利用这些指标对耐热性进行评价，不能准确地反映各材料的耐热性。

表1 单项指标耐热系数 α 值Table 1 α value of each single index of heat tolerance coefficient

材料名称	单项指标 α 值/%												
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
‘粉荷’	114.3	119.7	22.8	148.3	108.0	91.1	124.9	71.0	99.6	163.5	109.5	125.4	110.5
‘紫荷’	94.1	110.4	0	76.2	117.3	104.4	97.8	101.2	94.1	172.1	99.4	123.0	101.9
‘火炬’	119.5	107.9	54.0	89.1	104.6	102.8	98.3	160.6	119.0	32.4	103.5	104.9	107.6
‘金星’	86.3	79.9	122.5	84.7	77.1	100.4	60.0	61.9	107.2	36.5	76.7	76.9	90.4
‘金光’	85.2	81.9	300.4	101.6	92.7	101.0	118.2	105.0	79.8	95.3	101.0	69.6	89.3

说明: x_1 为单花序花期; x_2 为群体花期; x_3 为盲花率; x_4 为栅栏组织厚度; x_5 为栅栏/海绵; x_6 为叶片 SOD 活性; x_7 为叶片 CAT 活性; x_8 为叶片 MDA 含量; x_9 为叶片可溶性蛋白含量; x_{10} 为花瓣 MDA 含量; x_{11} 为花瓣可溶性蛋白含量; x_{12} 为叶绿素含量; x_{13} 为净光合作用日积累量 (下同)。

表2 各单项指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix of each single index

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
x_1	1.000												
x_2	0.795	1.000											
x_3	-0.718	-0.833*	1.000										
x_4	0.431	0.436	-0.090	1.000									
x_5	0.525	0.866	-0.608	0.148	1.000								
x_6	-0.350	-0.359	0.139	-0.962**	0.005	1.000							
x_7	0.369	0.503	0.057	0.661	0.591	-0.439	1.000						
x_8	0.493	0.213	-0.152	-0.342	0.376	0.530	0.201	1.000					
x_9	0.644	0.288	-0.668	-0.139	-0.040	0.042	-0.468	0.345	1.000				
x_{10}	0.018	0.589	-0.262	0.401	0.708	-0.338	0.587	-0.335	-0.536	1.000			
x_{11}	0.418	0.490	0.049	0.513	0.630	-0.261	0.974**	0.413	-0.391	0.475	1.000		
x_{12}	0.657	0.968**	-0.880*	0.315	0.859*	-0.283	0.353	0.078	0.262	0.661	0.324	1.000	
x_{13}	0.924*	0.964**	-0.852*	0.457	0.744	-0.389	0.431	0.311	0.486	0.365	0.0438	0.893	1.000

2.2 夏菊耐热性综合评价主成分分析

利用 SPSS 13.0 软件对高温下 13 个指标值进行主成分分析。结果表明, 第一、第二、第三主成分累计贡献率达 88.04%, 根据贡献率的大小可知各指标的重要性(表 3)。这样把原先 13 个指标换算成 3 个新的相互独立的综合指标, 分别用 CI(1), CI(2)和 CI(3)表示。其中第一主成分对单花序花期、群体花期、盲花率、栅栏海绵比、叶绿素含量、光合作用日积分值胁迫系数有绝对值较大的负荷系数, 第二主成分对叶片可溶性蛋白有绝对值较大的负荷系数, 第三主成分对叶片 SOD 活性和 MDA 含量有绝对值较大的负荷系数。

表3 各综合指标的系数及贡献率

Table 3 Coefficients of comprehensive indexes and contribution proportion

指标	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	贡献率/%
CI(1)	0.808	0.983	-0.688	0.558	0.853	-0.450	0.649	0.219	0.192	0.607	0.829	0.916	0.951	51.09
CI(2)	0.387	0.131	-0.487	-0.597	0.051	0.544	-0.581	0.566	0.858	-0.552	-0.260	0.155	0.267	22.47
CI(3)	-0.151	-0.029	0.299	-0.446	0.439	0.662	0.369	0.652	-0.427	0.147	0.391	-0.068	-0.129	14.48

根据各综合指标的指标系数(表 3)和各单项指标的耐热性系数标准化值求得每一个品种的 3 个综合指标值(表 4)。

表 4 5 个菊花品种的综合指标值、权重、隶属函数值、 D 值和预测值(V_p)

Table 4 The value of comprehensive index, index weight, $\mu(x)$, D and V_p of each accessions

材料名称	综合指标值			隶属函数值			综合评价值 (D)	耐热性预测 值(V_p)
	CI(1)	CI(2)	CI(3)	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$		
‘粉荷’	8.152	- 2.446	- 1.825	1	0.113	0.088	0.621	0.604
‘紫荷’	2.585	0.652	1.500	0.663	0.540	0.921	0.671	0.650
‘火炬’	2.709	3.985	0.707	0.671	1.000	0.723	0.760	0.723
‘金星’	- 8.391	- 1.079	- 2.182	0	0.599	0	0.153	0.143
‘金光’	- 5.056	- 3.268	1.812	0.202	0	1	0.281	0.260
权重			0.580	0.256	0.164			

2.3 数据处理与统计分析

2.3.1 隶属函数分析 每一品种各综合指标的隶属函数值用公式(1)求得:

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

式(1)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。根据公式(1)可求出每一个菊花品种所有综合指标的隶属函数值(表 4)。

2.3.2 权重的确定 根据综合指标贡献率(分别为 0.511, 0.225 和 0.145)的大小用公式(2)求出各指标的权重。

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

式(2)中: W_j 值表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度; P_j 为各品种第 j 个综合指标的贡献率。经计算 3 个指标的权重分别为 0.580, 0.256 和 0.164(表 4)。

2.3.3 综合评价 用公式(3)计算 5 个品种的综合耐热性能力的大小。

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(x_j)W_j], j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

式(3)中: D 值为各品种在高温条件下用综合指标评价所得的耐热综合评价值。5 个夏菊品种根据综合评价值(D)得出的耐热性排序为‘火炬’ > ‘紫荷’ > ‘粉荷’ > ‘金光’ > ‘金星’。

2.3.4 D 值与各指标的回归分析 根据 D 值与各指标进行逐步回归分析, 得出群体花期 (x_2), 叶片 SOD 活性(x_6), 叶片 MDA 含量(x_8)、光合作用日积累量(x_{13})是对 D 值有极显著影响的变量。以 D 值作为因变量把 13 个指标的耐热系数作为自变量建立最优回归方程, $D = - 1.818 + 0.013x_2 + 0.008x_6 + 0.002x_8 - 0.000\ 048x_{13}$ 。该回归方程相关系数 $R = 0.973$, 显著水平 $P = 0.001$ 。

通过最优回归方程预测夏菊耐热性, 得到预测值 V_p , 5 个材料的 V_p 与 D 值极显著相关, 相关系数 $R = 0.973$, 说明用此方程对材料的耐热性进行预测, 效果好, 准确性高。

3 讨论

作物的抗逆性是多因素控制的复杂的数量性状, 且不同品种的抗逆机制也不同, 使得不同品种在逆境条件下对某一具体指标的反应也不尽相同, 因此, 单一指标难以准确反应作物品种抗逆能力的强弱。用综合指标进行评价能够克服上述的缺点, 更全面准确地评价植物的抗逆能力。综合评价方法在植物抗旱性、耐湿性以及耐盐性等许多方面得到了应用^[8-11], 并取得了显著的效果。陈发棣等^[2]对 5 个品种(或种)小菊的耐热性进行鉴定表明, 叶绿素含量、POD 活性与耐热性有关, 随着高温处理时

间的延长,耐热能力强的毛华菊 *Dendranthema vestitum* 叶绿素下降最小、POD 活性最高。郑文俊^[12]对 6 个菊属耐热性研究表明, SOD 活性、MDA 和可溶性蛋白也与植物的耐热性有关,耐热能力强的品种在高温处理下 SOD 活性上升,MDA 含量变化较平缓,可溶性蛋白含量降低的幅度小。缪旻珉等^[3]、苗琛等^[13]的研究表明,叶片的组织结构与耐热性有关,耐热性强的叶片维管束发达并且叶片紧密程度高。此外,高温胁迫下植物光合特性的变化也与耐热性有一定的关系^[14]。因此,本试验在前期试验的基础上,从花期特性、解剖结构和生理等众多指标中筛选出与耐热性有关的指标,并且对它们综合分析,能够有效地进行耐热的评价。并且以“各品种测定值/均值”来作为植物的耐热系数,能够消除材料间的固有的差异,真正地比较出材料的耐热能力。本试验利用主成分分析法对 5 个夏菊品种的 13 个耐热指标系数进行分析,对各材料的每一综合指标值及相应的隶属函数值进行加权,得到耐热性的综合评价值(D)。利用综合评价值对其耐热性进行评价,克服了运用单一指标对夏菊耐热性进行评价时的片面性,又避免了应用多种指标进行评价时的信息重叠性,使耐热性的评价量化、直观。利用逐步回归在耐热综合评价值与所测指标间建立最优回归方程,根据方程筛选出一些对耐热性有显著影响的指标后,可在相同的逆境条件下测定其他品种的这些指标,利用该方程则可以预测所测品种耐热性的强弱,使耐热性的鉴定与利用研究更有预见性,也可为耐热栽培、育种及资源的鉴定与筛选提供依据。

本研究中利用综合评价值与回归分析方程对 5 个夏菊品种进行耐热性评价得出耐热能力排序为‘火炬’>‘紫荷’>‘粉荷’>‘金星’>‘金光’,并且根据评价值和耐热性预测值可以将它们分为 2 类,‘火炬’‘紫荷’‘粉荷’耐热性明显高于‘金星’和‘金光’。对 5 个品种在高温下的田间性状统计观察表明,‘火炬’‘紫荷’‘粉荷’等 3 个品种的单朵花期、群体花期、最大开放率高于‘金星’和‘金光’,盲花率则低于它们,田间性状也表明‘火炬’‘紫荷’‘粉荷’的耐热性高于‘金星’和‘金光’。综合评价的结果与田间耐热性的表现一致,这说明用该方法进行耐热性评价可行。回归分析得出群体花期、叶片 SOD 活性、叶片 MDA 含量以及净光合日积累值 4 个与耐热性有关的指标,其中叶片 SOD 活性及 MDA 含量是与菊花耐热性有关的重要生理指标,这与郑文俊^[12]的研究结论一致。高温下群体花期长度是田间耐热性的重要评价指标,高净光合日积累值则是夏菊营养生长和生殖生长的基础,也是夏菊耐热性的重要指标。因此,这 4 个指标均是与夏菊耐热性有着重要的关系,是夏菊耐热性的重要评价指标。

本试验将耐热性评价这一主观的、经验的判断进行数理统计的量化表达,并对 5 个夏菊的耐热性进行综合评价,这在理论和实践中具有重要意义,但是,综合评价的指标选择仍需要进一步研究,需要经过多次的筛选得到最适的组合。

参考文献:

- [1] 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.
JIA Kaizhi, CHEN Guilin. Tolerance of different eggplant varieties at seedling stage to high temperature stress [J]. *Chin J Ecol*, 2005, 24 (4): 398 - 401.
- [2] 陈发棣,陈素梅,房伟民,等. 5 个小菊品种(或种)的耐热性鉴定[J]. 上海农业学报, 2001, 17 (3): 80 - 82.
CHEN Fadi, CHEN Sumei, FANG Weimin, et al. Determining heat tolerance for *Chrysanthemum vestitum* and four *Ch. morifolium* cultivars with small flowers[J]. *Acta Horti Shanghai*, 2001, 17 (3): 80 - 82.
- [3] 缪旻珉,张玉华,蒋亚华. 黄瓜耐热性与其叶片、根系和花粉性状关系的研究[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 26 (2): 83 - 85.
MIAO Minmin, ZHANG Yuhua, JIANG Yahua. The relationship between cucumber heat tolerance and some characters of leaves, roots and pollens[J]. *J Yangzhou Univ Agric Life Sci Ed*, 2005, 26 (2): 83 - 85.
- [4] 张狄,高洪文,王赞,等. 偃麦草属植物苗期耐盐性指标筛选及综合评价[J]. 草业学报, 2007, 16 (4): 55 - 61.
ZHANG Di, GAO Hongwen, WANG Zan, et al. Studies on screening identification indexes of salt tolerance and comprehensive evaluation at seedling stage of *Elytrigia*[J]. *Acta Prat Sin*, 2007, 16 (4): 55 - 61.
- [5] 王荣,郭志华. 不同光环境下枫香幼苗的叶片解剖结构[J]. 生态学杂志, 2007, 26 (11): 1719 - 1724.

- WANG Rong, GUO Zhihua. Responses of seeding leaf anatomical structure of *Liquidambar formosana*, a deciduous broadleaf tree, to different light regimes[J]. *Chin J Ecol*, 2007, **26** (11): 1719 – 1724.
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 庄猛, 姜卫兵, 花国平, 等. 金边黄杨与大叶黄杨光合特性的比较[J]. 植物生理学通讯, 2006, **42** (1): 39 – 42.
ZHUANG Meng, JIANG Weibing, HUA Guoping, *et al.* Comparison of the photosynthetic characteristics of *Euonymus japonicus* L.f.aureo-marginatus Rehd. and *Euonymus japonicus* L. [J]. *Plant Physiol Commun*, 2006, **42** (1): 39 – 42.
- [8] 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.
ZHOU Guangsheng, MEI Fangzhu, ZHOU Zhuqing, *et al.* Comprehensive evaluation and forecast on physiological indices of waterlogging resistance of different wheat varieties[J]. *Sci Agric Sin*, 2003, **36** (11): 1378 – 1382.
- [9] 苏国兴, 洪法水. 桑品种耐盐性的隶属函数法之评价[J]. 江苏农业学报, 2002, **18** (1): 42 – 47.
SU Guoxing, HONG Fashui. Evaluation of salt tolerance for Partial Mulberry varieties with subordinate function[J]. *Jiangsu J Agric*, 2002, **18** (1): 42 – 47.
- [10] 廖景容, 郑中阳, 张卫星, 等. 玉米不同杂交组合抗旱性、丰产性的研究[J]. 安徽农业科学, 2005, **33** (1): 7 – 10.
LIAO Jingrong, ZHENG Zhongyang, ZHANG Weixing, *et al.* Comparing analysis of drought resistance and yield potential in different hybrid maize varieties[J]. *J Anhui Agric Sci*, 2005, **33** (1): 7 – 10.
- [11] 何雪银, 文仁来, 吴翠荣. 模糊隶属函数法对玉米苗期抗旱性的分析[J]. 西南农业学报, 2008, **28** (1): 52 – 56.
HE Xueyin, WEN Renlai, WU Cuirong. Analysis of maize drought resistance at seeding stage by fuzzy subordination method[J]. *Southwest Chin J Agric Sci*, 2008, **28** (1): 52 – 56.
- [12] 郑文俊. 6 种菊属植物的耐热性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
ZHEN Wenjun. *Studien on the Heat Resistance of Six Dendranthema Mums* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004.
- [13] 苗琛, 利千容, 王建波. 热胁迫下不结球白菜和甘蓝叶片组织结构的变化[J]. 武汉植物学研究, 1994, **12** (3): 207 – 211.
MIAO Chen, LI Qianrong, WANG Jianbo. Leaf structural changes of *Brassica campestris* and *B. oleraceain* response to heat stress[J]. *J Wuhan Bot Res*, 1994, **12** (3): 207 – 211.
- [14] 吴韩英, 寿森炎, 朱祝军. 高温胁迫对甜椒光合作用合叶绿素荧光的影响[J]. 园艺学报, 2001, **28** (6): 517 – 521.
WU Hanying, SHOU Senyan, ZHU Zhujun. Effects of high temperature stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in sweet pepper[J]. *Acta Horti Sin*, 2001, **28** (6): 517 – 521.