

苦瓜种质资源耐热性评价及其鉴定指标的筛选

林春妹^{1,2}, 廖道龙^{1,2*}, 刘子凡², 符厚隆², 陈贻诵¹

1. 海南省农业科学院蔬菜研究所, 海南海口 571100; 2. 海南大学热带作物学院, 海南海口 570228

摘 要: 本文以 27 个苦瓜自交系 4 叶 1 心的幼苗为材料, 预培养 1 d 后, 置于 39 °C 高温培养, 观察其高温胁迫 72 h 后的热害情况, 通过计算热害指数 (TDG) 筛选评价出高、中、低耐热性的苦瓜种质; 从中选取 6 个不同耐热性的自交系, 测定 39 °C 胁迫 0 h 和 48 h 的株高 (PH)、茎粗 (SD)、鲜物质量 (SFW) 和干物质量 (SDW) 等形态学指标以及叶片相对叶绿素含量 (SPAD)、电导率 (REL)、过氧化物酶活性 (POD)、过氧化氢酶活性 (CAT)、超氧化物歧化酶活性 (SOD)、丙二醛含量 (MDA)、脯氨酸含量 (Pro) 和可溶性糖含量 (SS) 等生理指标; 主成分分析上述 12 个指标的耐热系数 (α), 综合评价 6 个自交系材料的耐热性; 利用逐步回归分析法建立耐热性评价数学模型获得苦瓜耐热性鉴定指标体系。结果表明: 以 TDG 为依据, 27 个苦瓜自交系中有耐热型 3 个, 中等耐热型 18 个, 热敏型 6 个; 6 个不同耐热性材料的综合评价结果与热害指数鉴定结果基本一致; 耐热性的评价数学模型为: $Y = -0.426 + 0.049X_1 - 0.011X_2 - 0.009X_3 - 0.018X_4$, 利用建立的最优回归方程预测供试材料的耐热性, 预测值与 Y 值基本一致。说明 SFW (X_1)、POD 活性 (X_2)、CAT 活性 (X_3) 和 SS 含量 (X_4) 这 4 个指标的耐热系数可以快速准确地评价苦瓜耐热性差异, 可用作苦瓜耐热性鉴定指标。本研究筛选出苦瓜耐热种质并构建苦瓜耐热性评价体系, 为海南夏季耐热苦瓜新品种选育提供依据。

关键词: 苦瓜; 耐热性; 主成分分析; 逐步回归法

中图分类号: S642.5 文献标识码: A

Evaluation of Heat Tolerance of Bitter Gourd Germplasm Resources and Screening of Identification Indexes

LIN Chunmei^{1,2}, LIAO Daolong^{1,2*}, LIU Zifan², FU Houlong², CHEN Yisong¹

1. Institute of Vegetables, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571100, China; 2. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

Abstract: In this paper, the seedlings of 27 inbred lines of bitter gourd with four leaves and one heart were used as materials. After pre-cultivated one day, the seedlings were subjected to 39 °C temperature stress. And the 27 germplasm resources were divided into three types: high heat resistance, medium heat resistance and heat sensitivity screened by the heat damage index (TDG) after 72 hours of high temperature stress. Among them, six inbred lines with different heat tolerance were selected to measure 12 morphological and physiological indexes subjected to 39 °C stress for 0 h and 48 h, respectively, including plant height (PH), stem diameter (SD), plant fresh matter (SFW) and dry matter (SDW) and leaf relative chlorophyll content (SPAD), electrical conductivity (REL), peroxidase activity (POD), catalase activity (CAT), superoxide dismutase activity (SOD), malondialdehyde content (MDA), proline content (Pro) and soluble sugar content (SS). The comprehensive evaluation values were obtained by the principal component analysis of heat resistance coefficients (α) of 12 morphological and physiological indexes to evaluate heat resistance of the seedlings. The mathematical model of heat resistance evaluation was established by the stepwise regression analysis to obtain the heat resistance evaluation index system of bitter gourd. According to TDG, among the 27 bitter gourd inbred lines, three were

收稿日期 2022-08-22; 修回日期 2022-10-28

基金项目 省属科研院所技术创新专项 (No. KYYS-2021-07); 三亚中国农业科学院国家南繁研究院南繁专项 (No. YDLH05)。

作者简介 林春妹 (1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 热带作物高效栽培。*通信作者 (Corresponding author): 廖道龙 (LIAO Daolong), E-mail: ldlshc@sina.com。

heat-resistant, 18 were medium-heat-resistant and six were heat-sensitive. A mathematical evaluation model of heat tolerance of bitter melon was established using the stepwise regression equation, which is $Y = -0.426 + 0.049X_1 - 0.011X_2 - 0.009X_3 - 0.018X_4$. The established optimal regression equation was used to predict the heat resistance of the tested materials, and the predictive values were basically consistent with the comprehensive heat tolerance value. Therefore, the heat resistance coefficients of SFW(X_1), POD activity (X_2), CAT activity (X_3) and SS content (X_4) could rapidly and accurately estimate bitter melon heat resistance and were suggested to be used as evaluation indexes for heat resistance of bitter melon. In order to provide a basis for the breeding of new heat-resistant bitter melon varieties in Hainan in summer season, the heat-resistant bitter melon germplasm were screened and a heat-resistant evaluation system was constructed.

Keywords: bitter melon (*Momordica charantia* L.); heat resistance; principal component analysis; stepwise regression method

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.02.008

苦瓜 (*Momordica charantia* L.) 是葫芦科苦瓜属 1 年生攀缘性草本植物, 天然食药两用植物^[1], 为夏季主要的消暑蔬菜之一^[2], 具有很高的营养和药用价值^[3-5]。苦瓜生长最适温度为 20~30 ℃, 海南岛年平均温度为 22.8~25.5 ℃, 夏季气温基本在 30 ℃ 以上^[6], 短期温度可达 35 ℃ 以上。2021 年《中国气候变化蓝皮书》指出: 20 世纪 90 年代中期以来, 中国极端高温事件明显增多^[7]。持续高温造成苦瓜生长发育缓慢, 产量下降, 严重时植株死亡, 使瓜农损失惨重^[8], 同时影响市场供应, 出现“菜贵伤民”的现象。因此, 选育出耐热苦瓜种质资源是解决苦瓜安全越夏的重要措施。

构建耐热性评价体系是选育耐热新种质的重要前提, 而构建耐热性评价体系的关键是筛选出可鉴定评价指标。通过热害指数等表型特征能够直观便捷地反映不同材料之间耐热性的差异^[9]; 作物遭受热害时, 体内必然发生着相应的生理生化变化, 因此也可选择生理指标来间接评价鉴定植物耐热性强弱^[10]。但是不同作物耐热性鉴定的指标有所差异, 其耐热性鉴定指标也有所不同。研究发现: 热害指数、膜相对电导率和可溶性糖含量可用来鉴定茄子耐热性^[11]; 热害指数、叶面积、相对电导率、丙二醛 (MDA) 含量、过氧化物酶 (POD) 活性、过氧化氢酶 (CAT) 活性和脯氨酸 (Pro) 含量可用来鉴定西瓜苗期耐热性^[12]; 节间长、相对电导率、叶绿素 a 含量、叶绿素 a/叶绿素 b、 P_n 和 F_v/F_m 可用来鉴定黄瓜耐热性^[13]。

前人对苦瓜耐热性鉴定指标有一些报道, 包括叶形、初花期、开花天数、果肉横径、果肉厚、果形、果数和产量等形态特征鉴定指标^[14-15]和电解质外渗率、丙二醛和脯氨酸、叶绿素含量及叶绿素荧光参数等生理评价指标^[16]。但是, 不同生

态地区、不同苦瓜品种及其不同生育期的耐热机制和耐热表现不同, 耐热评价指标的稳定性和可靠性也必然存在差异。因此, 本研究通过人工模拟高温, 从 27 份苦瓜种质资源中筛选出耐热性不同的种质资源; 从中选取耐热型、中等耐热型及热敏型各 2 个苦瓜自交系, 测定高温胁迫后的形态学与生理指标, 运用主成分分析法, 以上述各项指标的耐热系数对幼苗耐热性进行综合评价, 最后采用逐步回归分析建立最优方程, 筛选出苦瓜幼苗耐热性的评价指标, 为苦瓜耐热种质的选育及其在海南的推广应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 27 份苦瓜种质资源, 供试自交系的名称及来源见表 1。

1.2 方法

1.2.1 苦瓜苗期耐热性种质资源的筛选 55 ℃ 温水浸种 15 min, 再 30 ℃ 水中浸种 8 h, 催芽后播种至 60 孔穴盘。待幼苗长至 4 叶 1 心时, 选取健壮、生长一致的幼苗置于 28 ℃、光强 5000 Lx, 光周期 12 h/12 h 的光照培养箱中预培养 1 d。预培养结束后, 将温度设为 39 ℃, 光照强度和光周期保持不变。每个处理设 3 个重复, 每个重复 20 株, 处理 48 h 后浇 1 次透水, 其他管理按照常规进行, 每天观察幼苗热害症状。

1.2.2 苦瓜苗期耐热指标筛选 根据苦瓜苗期耐热性种质资源筛选结果, 选取耐热型、中等耐热型及热敏型各 2 个自交系为材料, 39 ℃ 高温胁迫, 测定胁迫前和胁迫 48 h 后幼苗的形态与生理指标。育苗及高温胁迫方法同 1.2.1。

1.2.3 指标测定 (1) 热害指数的测定。参照《苦

表 1 供试苦瓜自交系来源
Tab. 1 Source of inbred lines of bitter gourd tested

编号 No.	名称 Name	来源 Source	编号 No.	名称 Name	来源 Source	编号 No.	名称 Name	来源 Source	编号 No.	名称 Name	来源 Source
1	KG14-4	海南	8	KG01-4-3	海南	15	BG021	广东	22	LD46-1	广东
2	KG14-2	海南	9	KGd201-2	海南	16	KG04-3-1	广东	23	KGdz05	海南
3	LD40-1	福建	10	KG10-1	海南	17	LD49	广东	24	KG1810	海南
4	KG18-2	江西	11	KG01-2	海南	18	KG34-2	江西	25	KGdz01-1	海南
5	25-15	广东	12	KG22	海南	19	KG06	广东	26	KG26-1	山东
6	BG10-2	广东	13	LD50	海南	20	LD38-1	广西	27	KG26-2	山东
7	04-17-4	斯里兰卡	14	KG37	海南	21	KG13	海南			

瓜种质资源描述规范和数据标准》热害等级分级标准并稍加改进，将热害程度分为 5 个等级（表 2）。由公式（1）计算苦瓜苗期热害指数（TDG）。

$$TDG = \frac{\sum \text{各株级数}}{(\text{最高级数} \times \text{总株数})} \times 100\% \quad (1)$$

表 2 苦瓜幼苗热害等级的评价标准
Tab. 2 Evaluation criteria for thermal damage grade of balsam pear seedlings

热害等级 Thermal damage levels	热害症状 Thermal damage symptoms
0 级	无热害症状
1 级	1 片叶片出现 1/3 以上面积变黄或萎蔫
2 级	2 片叶片出现 1/3 以上面积变黄或萎蔫
3 级	3 片叶片出现 1/3 以上面积变黄或萎蔫
4 级	整株枯死

据 TDG 的大小对幼苗耐热性进行分级，TDG<35%，耐热性强；35%≤TDG<65%，耐热性中等；TDG≥65%，耐热性弱^[17]。

（2）形态与生理指标测定。形态指标测定：卷尺测量植株茎基部到最高叶片尖端的距离作为株高（PH）；用游标卡尺测量茎基部作为茎粗（SD）；用天平测定整株鲜物质量（SFW）；鲜样 105℃杀青 30 min 后，80℃烘箱烘干至恒重，称重，得整株干物质量（SDW）。生理指标的测定：用 SPAD-502 叶绿素仪测定相对叶绿素含量（SPAD 值）；选取第 2~3 片叶，剪下，一部分当天用电导率仪测定相对电导率（REL）^[18]；另一部分液氮冷冻后于-80℃冷藏，用于测定 POD 活性、CAT 活性、SOD 活性、MDA 含量、Pro 含量和可溶性糖（SS）含量，均采用苏州科铭试剂盒法。按公式（2）计算各形态与生理指标的耐热系数（α）。

$$\alpha = \frac{\text{处理指标测定值}}{\text{对照指标测定值}} \times 100\% \quad (2)$$

1.2.4 主成分分析 按特征值大于 1 的标准确定主成分，以获得的特征值、贡献率和累计贡献率计算综合得分（F），见公式（3）和（4）。

$$F = \sum_{j=1}^n (F_j \times w_j) \quad (3)$$

$$w_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (4)$$

式中，j=1，2，…，n，F_j表示第 j 个主成分，P_j表示第 j 个主成分的贡献率^[19]。逐步回归是选用综合得分值作为因变量 Y，形态与生理指标耐热系数（α）作为自变量，建立最优回归方程。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据整理和计算，采用 DPS 9.01 软件进行相关性分析、主成分分析和逐步回归分析，采用 Origin 2021 软件制作相关分析图。

2 结果与分析

2.1 27 个苦瓜自交系幼苗耐热性差异

据幼苗热害指数的大小将 27 个苦瓜自交系划分为耐热型、中等耐热型和热敏型。其中 KG14-4、KG14-2、LD40-1 为耐热型；KG18-2、25-15、BG10-2、04-17-4、KG01-4-3、KGd201-2、KG10-1、KG01-2 等 18 个自交系中等耐热型；LD46-1、KGDz05、KG1810、KGdz01-1、KG26-1、KG26-2 为热敏型（表 3）。部分自交系热害症状详见图 1。

2.2 苦瓜苗期形态、生理指标的相关分析

分别选取 2 个耐热型 KG14-4、KG14-2 和 2 个中等耐热型 KG10-1、KG13 以及 2 个热敏型 KG26-1、KG26-2 共 6 个自交系材料，对 12 个形态与生理指标的耐热系数进行相关性分析。由图 2 可知，高温胁迫下 12 个性状指标间均存在不同

表 3 27 个苦瓜自交系的热害指数及耐热性评价

Tab. 3 Heat damage index and heat resistance evaluation of 27 inbred lines of bitter gourd

自交系名称 Inbred lines name	TDG	耐热类型 Heat resistant type	自交系名称 Inbred lines	TDG	耐热类型 Heat resistant type
KG14-4	13.89	耐热型	BG021	54.76	中等耐热型
KG14-2	29.41	耐热型	KG04-3-1	54.76	中等耐热型
LD40-1	31.67	耐热型	LD49	56.94	中等耐热型
KG18-2	41.67	中等耐热型	KG34-2	62.50	中等耐热型
25-15	43.06	中等耐热型	KG06	63.10	中等耐热型
BG10-2	46.88	中等耐热型	LD38-1	63.10	中等耐热型
04-17-4	47.62	中等耐热型	KG13	64.06	中等耐热型
KG01-4-3	47.92	中等耐热型	LD46-1	65.00	热敏型
KGd201-2	48.81	中等耐热型	KGdz05	68.06	热敏型
KG10-1	50.00	中等耐热型	KG1810	68.06	热敏型
KG01-2	51.19	中等耐热型	KGdz01-1	69.05	热敏型
KG22	53.33	中等耐热型	KG26-1	71.43	热敏型
LD50	53.57	中等耐热型	KG26-2	79.49	热敏型
KG37	53.57	中等耐热型			

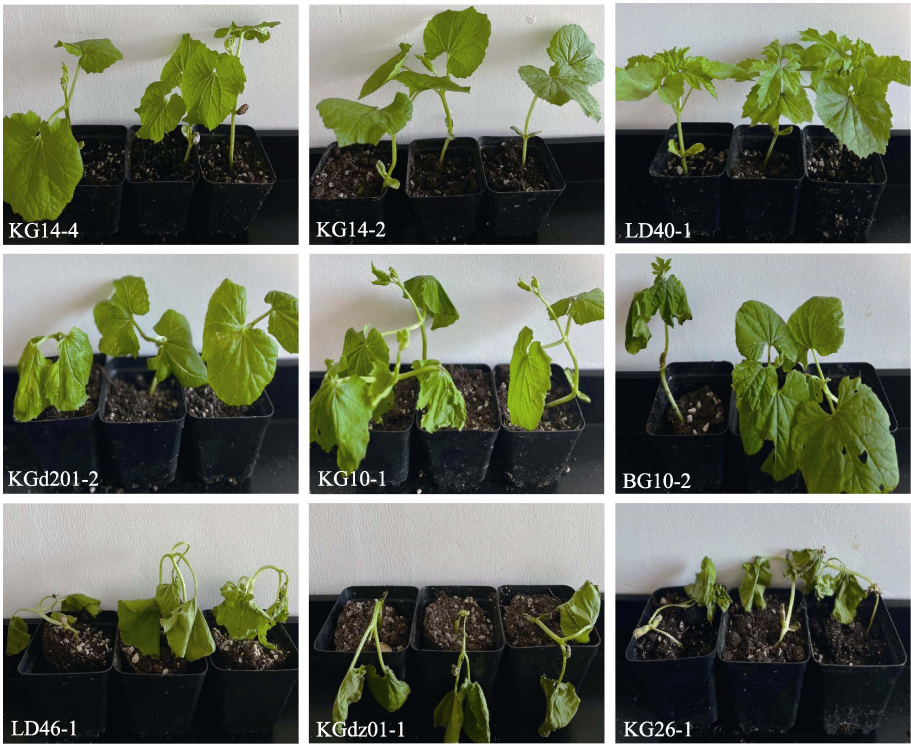


图 1 高温胁迫下苦瓜幼苗的热害症状

Fig. 1 Heat-injury symptoms of bitter gourd seedlings under high stress

程度的相关性,其中 PH 与 SD 的耐热系数呈极显著负相关,PH 与 SDW 的耐热系数呈极显著正相关;SFW 与 SDW 的耐热系数呈极显著正相关;REL 与 SS 含量的耐热系数呈极显著负相关;POD 活性与 SOD 活性的耐热系数呈极显著正相关,POD 活性与 MDA 含量的耐热系数呈极显著负相关;SOD 活性与 MDA 含量的耐热系数呈极显著负相关,SOD 活性与 SPAD 值的耐热系数呈极显著负相关;MDA 含量与 SPAD 值的耐热系数呈极显著正相关。各性状耐热系数间存在一定程度的信息重叠现象,表明苦瓜耐热性是一个复杂的综合性状,直接利用各单项指标难以准确、直观地

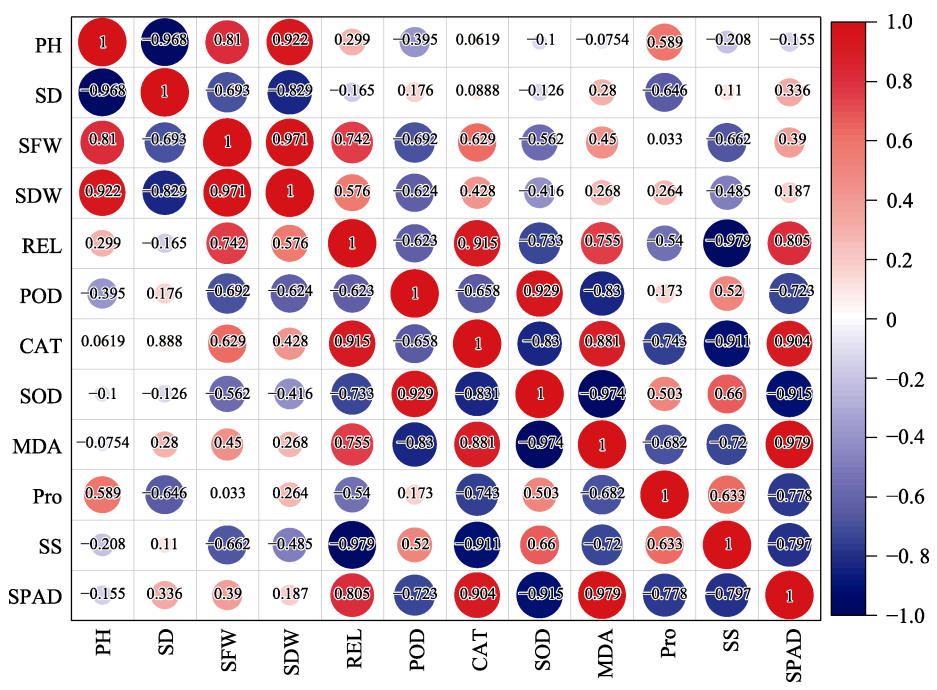


图 2 苦瓜耐热性各指标之间的相关分析

Fig. 2 Correlation analysis of various indexes of heat resistance of bitter gourd

评价苦瓜耐热性，其对高温胁迫响应的异质性需要进一步采用多元分析法。

2.3 苦瓜苗期形态、生理指标的主成分分析

通过对高温胁迫下苦瓜自交系的各项指标的耐热系数进行主成分分析，按特征值大于 1 为纳入主成分标准，把原来 12 个单项指标转换为 3 个新的相互独立的综合指标获得 3 个主成分，3 个主成分累计贡献率 90.58%，。其中，第一主成分贡献率为 44.41%，主要包括 REL、CAT 活性、SOD 活性、MDA 含量、SPAD 值与 SS 含量这 6 个指标耐热系数的原始数据信息，特征矢量值较高的是 MDA 含量和 REL 的耐热系数，因此可概况为生物膜结构稳定因子；第二主成分贡献率为 31.25%，主要包括 PH、SD、SFW、SDW 和 Pro 含量的耐热系数，特征矢量值较高的是 PH、SD、SFW、SDW 的耐热系数，可概括为形态因子；第三主成分贡献率为 14.91%，主要包括 REL、POD 活性、SOD 活性、Pro 和 SS 含量的耐热系数，特征矢量值较高的

是 POD 活性、CAT 活性和 SOD 活性 3 个指标的耐热系数，可概括为活性氧清除系统(表 4、表 5)。

由第一主成分得分 (F_1)、第二主成分得分 (F_2) 和第三主成分得分 (F_3) 和相对应的贡献率获得耐热系数综合得分 (F)，综合得分越大表明耐热性越强，反之越弱。由表 6 可知，KG14-4 的综合得分最大，为 2.037，表明其幼苗的耐热性最强；KG26-1 的综合得分最小，为 -1.578，表明其幼苗的耐热性最弱。

表 4 主成分的公因子特征值及贡献率

Tab. 4 Common factor eigenvalues and contribution rates of principal components

主成分 Main Component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	5.330	44.41	44.41
2	3.750	31.25	75.67
3	1.789	14.91	90.58

表 5 苦瓜苗期 12 个指标主成分分析

Tab. 5 Principal component analysis of 12 indexes at seedling stage of bitter gourd

主成分 Main component	PH	SD	SFW	SDW	REL	POD	CAT	SOD	MDA	Pro	SS	SPAD
1	0.121	-0.045	0.299	0.241	0.334	-0.294	0.362	-0.354	0.363	-0.163	-0.312	0.355
2	0.490	-0.468	0.330	0.410	0.026	-0.063	-0.101	0.099	-0.211	0.357	0.021	-0.257
3	-0.035	-0.104	0.084	-0.001	0.335	0.527	0.237	0.397	-0.263	-0.319	-0.449	-0.069

表 6 各自交系耐热系数综合得分、预测值及排名
Tab. 6 Comprehensive score, predicted value and ranking of heat resistance coefficient of each inbred lines

品种 Variety	F ₁	F ₂	F ₃	F	排名 Rank
KG10-1	-0.646	4.088	-0.397	0.932	2
KG13	0.335	-0.883	-2.632	-0.519	4
KG14-2	1.487	-1.714	-0.121	0.107	3
KG14-4	3.982	0.219	1.342	2.037	1
KG26-1	-2.773	-1.386	0.584	-1.578	6
KG26-2	-2.386	-0.323	1.224	-0.978	5

2.4 回归模型的建立和耐热性指标的筛选

为进一步筛选苦瓜苗期耐热性鉴定指标，以综合得分为因变量，12 项形态与生理指标的耐热系数作为自变量，采用逐步回归分析法获最优回归方程（5）。

$$Y=-0.426+0.049X_1-0.011X_2-0.009X_3-0.018X_4$$
$$(R^2=0.9995, P=0.033) \tag{5}$$

式中， X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_4 分别代表 SFW、POD、CAT 和 SS 四个指标的耐热系数（ α ）。将 6 个自交系的上述 4 个指标的 α 代入方程，获得 KG10-1、KG13、KG14-2、KG14-4、KG26-1 和 KG26-2 自交系的耐热性预测值，分别为 0.959、-0.505、0.146、1.981、-1.596 和 -0.948，排序与主成分分析一致。将预测值与主成分分析的综合得分 F 进行相关性分析，可得出二者的相关系数 $R^2=1.000$ ，呈极显著相关（ $P<0.01$ ），说明回归方程（5）对苦瓜苗期耐热性预测具有较好的可靠性。

3 讨论

热害指数是耐热性鉴定的重要表型指标，在不结球白菜^[20]、丝瓜^[21]、番茄^[22]等多种作物上已广泛应用。本研究以幼苗热害指数为鉴定指标，对 27 个苦瓜自交系材料进行了耐热性鉴定，筛选出耐热型 3 个，中等耐热型 18 个，热敏型 6 个；其评价结果与苦瓜成株期在田间生产表现具有较高的一致性，如 KG14-4 是从海南夏秋季种植的地方品种选育的自交系，在生产上表现出抗热性强、产量高，果肉厚实；而 KG26-1 是从冬春季种植的苦瓜品种中自交选育出的品系，在海南夏秋季种植生产中表现出不耐高温，且坐果率低、畸形果多。因此采用苗期热害指数能够明显鉴别出苦瓜种质资源的耐热性，该方法相对于大田成株期鉴定能大大缩短筛选周期，简便易行。

本研究同时发现选用热害指数评价结果与主

成分分析的结果基本一致，但存在细微差异，热害指数评价 KG10-1 和 KG14-2 分别属中等耐热和耐热型种质，主成分分析综合得分的结果是 KG10-1 排名高于耐热的 KG14-2，这可能与热害表型记录具有一定的主观性和经验性有关。所以，选用高温胁迫下与植物耐热性相关且敏感、无主观因素的形态与生理指标是快速评判耐热性的最佳有效方式^[23]。

热胁迫下生理生化指标或形态学指标与真实反映植株耐热性。持续高温引起植物体内酶代谢失活，或叶片细胞含水量降低^[24]，导致叶绿素合成减少，叶片变黄、萎蔫甚至枯萎。

SOD、POD、CAT 是植物细胞内活性氧清除系统，能消除高温胁迫下植株细胞中积累的活性氧自由基，使植物免受氧化性损伤^[25-27]，保护细胞膜稳定性，提高植株耐热性。张永平等^[28]研究表明，受高温胁迫后，不同甜瓜品种的 SOD 活性均显著升高；姜春明等^[29]研究表明，对小麦进行高温处理，不同品种的小麦 POD 活性均降低；耐热品种的 CAT 活性大于不耐热品种；SS 作为一种渗透调节物质，在逆境条件下具有维持细胞结构和功能的作用，可作为鉴定植物抗性的一个生理指标^[30]。本研究发现高温胁迫后 6 个苦瓜自交系的鲜重均降低，但不耐热自交系表现更明显，这与马宝鹏等^[31]在其他作物上的研究结果一致。

但作物耐热机制受自身基因型和外界环境因素的影响，仅通过某一方面性状的测定，很难准确反映出不同种质间的耐热性差异^[12]。主成分分析法可将多个单项指标变换成几个新的且彼此独立的综合指标，弥补单项指标评价耐热性的缺陷，提高评价的准确性。本研究通过测定高温胁迫 0 h 和 48 h 后的 12 个指标，以这些指标的耐热系数进行主成分分析，并利用逐步回归法模拟出以鲜重、过氧化物酶活性、过氧化氢酶活性和可溶性糖含量这 4 个指标耐热系数为自变量的最佳模拟方程，从而建立了苦瓜耐热性鉴定技术标准，为苦瓜种质资源耐热性评价提供了准确、简便的方法。随着生物技术的快速发展，近年来苦瓜全基因组已完成了测序工作，这为从分子水平开展苦瓜耐热性研究提供坚实的基础。因此，本课题组下一步将开展苦瓜耐热性相关的基因定位，并开发紧密连锁分子标记，从而快速高效选育优良耐热苦瓜新品种。

参考文献

- [1] 谢璟萍. 玉翠苦瓜秋延后种植表现及高产栽培技术[J]. 上海蔬菜, 2021(4): 24-26.
XIE J P. The planting performance and high-yielding cultivation techniques of Yucui bitter gourd in late autumn[J]. Shanghai Vegetables, 2021(4): 24-26. (in Chinese)
- [2] 张振贤. 蔬菜栽培学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
ZHANG Z X. Vegetable cultivation[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2008. (in Chinese)
- [3] 崔宏伟, 韩汶延, 于蕾, 苏秀兰. 苦瓜化学成分及药理作用研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2021, 23(5): 1712-1719.
CUI H W, HAN W Y, YU L, SU X L. Research progress on chemical constituents and pharmacological functions of *Momordica charantia* L[J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology, 2021, 23(5): 1712-1719. (in Chinese)
- [4] RAO P G, BEHERA T K, GAIKWAD A B, MUNSHI A D, VINOD. Genetic analysis and QTL mapping of yield and fruit traits in bitter gourd (*Momordica charantia* L.)[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 4109.
- [5] KHALID Z, HASSAN S M, MUGHAL S S, HASSAN S K, HASSAN H. A review on biological attributes of *Momordica charantia*[J]. Advances in Bioscience and Bioengineering, 2021, 9(1): 8-12.
- [6] 钟功甫, 陈铭勋, 罗国枫. 海南岛农业地理[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
ZHONG G F, CHEN M X, LUO G F. Agricultural geography of Hainan Island[M]. Beijing: Agricultural Press, 1985. (in Chinese)
- [7] 罗澜. 极端高温与极端低温, 是此消彼长还是共同肆虐?[N]. 中国气象报, 2021-11-19(3).
LUO L. Extreme high temperature and extreme low temperature, are they changing or wreaking havoc together?[N]. China Meteorological News, 2021-11-19(3). (in Chinese)
- [8] 曾晶, 翟英芬, 吴智明, 胡开林. 夏季高温对 15 个苦瓜杂交组合(品系)产量及其构成性状的影响[J]. 热带作物学报, 2011, 32(11): 2025-2028.
ZENG J, ZHAI Y F, WU Z M, HU K L. Effects of high temperature in summer on yield and its components in bitter gourd with 15 cross combinations and strains[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(11): 2025-2028. (in Chinese)
- [9] 凌瑞, 戴中武, 代晓雨, 吴春梅, 翟俊文, 郑泽新, 吴沙沙. 8 个绣球品种耐热性综合评价与耐热指标筛选[J]. 热带作物学报, 2021, 42(8): 2209-2218.
LING R, DAI Z W, DAI X Y, WU C M, ZHAI J W, ZHENG Z X, WU S S. Evaluation of heat tolerance and screening the index for the assessment of heat tolerance in cultivars of hydrangea[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(8): 2209-2218. (in Chinese)
- [10] 郑宇. 西洋杜鹃良种选育与园林应用研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
ZHENG Y. Selection and cultivation improvement of rhododendron hybridum and its inventory survey of gardening application[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012. (in Chinese)
- [11] 张冉, 贾利, 方凌, 张其安, 刘童光, 田红梅, 江海坤, 严丛生. 茄子耐热性苗期指标的筛选及耐热种质鉴定[J]. 长江蔬菜, 2017(12): 36-40.
ZHANG R, JIA L, FANG L, ZHANG Q A, LIU T G, TIAN H M, JIANG H K, YAN C S. Screening of heat-tolerance indexes on eggplant seedling stage and evaluation of heat-tolerance germplasm[J]. Changjiang Vegetables, 2017 (12): 36-40. (in Chinese)
- [12] 张力. 西瓜耐热性指标鉴定及材料筛选研究[J]. 南宁: 广西大学, 2014.
ZHANG L. Studies on indexes for identification of heat tolerance and selection of heat tolerance materials[J]. Nanning: Guangxi University, 2014. (in Chinese)
- [13] 付丽军, 李聪晓, 苏胜宇, 李玉华, 周禹. 黄瓜苗期耐热种质筛选与耐热性评价体系构建[J]. 植物生理学报, 2020, 56(7): 1593-1604.
FU L J, LI C X, SU S Y, LI Y H, ZHOU Y. Screening of cucumber germplasms in seedling stage and construction of evaluation system for heat tolerance[J]. Plant Physiology Journal, 2020, 56(7): 1593-1604. (in Chinese)
- [14] 郑岩松, 李光光, 李向阳, 黄红弟, 郭培国, 张华, 李荣华. 苦瓜耐热性相关农艺性状的筛选[J]. 热带农业科学, 2018, 38(1): 22-27.
ZHENG Y S, LI G G, LI X Y, HUANG H D, GUO P G, ZHANG H, LI R H. Screening of heat-resistance agronomic characters of *Momordica charantia*[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2018, 38(1): 22-27. (in Chinese)
- [15] 李家明, 李洪龙, 黄则栋, 陈露, 许茹, 钟凤林. 夏季高温环境下苦瓜种质资源农艺性状的综合评价[J]. 南方农业学报, 2020, 51(10): 2488-2497.
LI J M, LI H L, HUANG Z D, CHEN L, XU R, ZHONG F L. Comprehensive evaluation of bitter gourd germplasm resources agronomic traits in high temperature environment in summer[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(10): 2488-2497. (in Chinese)
- [16] 郭培国, 李荣华, 夏岩石, 郑岩松, 缪绅裕, 陈健辉, 张华. 高温胁迫对苦瓜生理特性影响的分析[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2013, 12(2): 24-29.
GUO P G, LI R H, XIA Y S, ZHENG Y S, MIAO S Y,

- CHEN J H, ZHANG H. Effects of high temperature stress on several physiological traits in *Momordica charantia*[J]. Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition), 2013, 12(2): 24-29. (in Chinese)
- [17] 陈中钊, 许端祥, 杜文丽, 徐同伟, 林碧英, 高山. 苦瓜苗期耐热性遗传规律研究[J]. 福建农业学报, 2020, 35(7): 731-738.
- CHEN Z S, XU D X, DU W L, XU T W, LIN B Y, GAO S. Inheritability of heat tolerance in bitter gourd at seeding stage[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2020, 35(7): 731-738. (in Chinese)
- [18] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- ZHANG X Z. Crop physiological research method[M]. Beijing: Agricultural Press, 1992. (in Chinese)
- [19] 陈晨, 刘子凡, 黄洁, 魏云霞. 木薯种茎活力的评价指标研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(4): 583-589.
- CHEN C, LIU Z F, HUANG J, WEI Y X. Study on the index of cassava seed stem vigor[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2019, 34(4): 583-589. (in Chinese)
- [20] 刘志新, 李慧, 姚培杰, 许可净, 万正杰. 十三个不结球白菜杂交组合的比较试验及耐热性鉴定[J]. 南方农业, 2021, 15(1): 22-26.
- LIU Z X, LI H, YAO P J, XU K J, WAN Z J. Comparative test and heat tolerance identification of thirteen non-heading Chinese cabbage hybrid combinations[J]. South China Agriculture, 2021, 15(1): 22-26. (in Chinese)
- [21] 朱德宁, 刘素娜, 赵绮薇, 曹翠文, 李莲芳. 有棱丝瓜耐热性种质资源筛选与耐热生理响应[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 132-137.
- ZHU D N, LIU S N, ZHAO Q W, CAO C W, LI L F. Screening of heat-tolerant germplasm resources of *Luffa acutangula*(L.) Roxb. and its physiological response to heat resistance[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2021, 49(9): 132-137. (in Chinese)
- [22] 田茂燕, 向婷颖, 钟川, 王鹏, 阳燕娟, 于文进. 番茄砧木耐热性评价及热胁迫生理响应研究[J]. 中国蔬菜, 2021(5): 39-47.
- TIAN M Y, XIANG T Y, ZHONG C, WANG P, YANG Y J, YU W J. Evaluation of tomato rootstock heat resistance and studies on its physiological response to heat stress[J]. China Vegetables, 2021(5): 39-47. (in Chinese)
- [23] 蒋晶晶, 张建华, 雷建军. 黄瓜耐热的生理、遗传及其分子机制研究进展[J]. 广东农业科学, 2014, 41(13): 29-34.
- JIANG J J, ZHANG J H, LEI J J. Heat stress to cucumber: physiology, genetics and molecular mechanisms[J]. Guangdong Agricultural Science, 2014, 41(13): 29-34. (in Chinese)
- [24] STIRBET A, GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology, 2011, 104(1/2): 236-257.
- [25] GARG N, MANCHANDA G. ROS generation in plants: boon or bane?[J]. Plant Biosystems, 2009, 143(1): 81-96.
- [26] DAS K, ROYCHOUDHURY A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS scavengers during environmental stress in plants[J]. Frontiers in Environmental Science, 2014, 2: 53.
- [27] YOU J, CHAN Z L. ROS regulation during abiotic stress responses in crop plants[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 1092.
- [28] 张永平, 陈幼源, 杨少军. 高温胁迫对不同甜瓜品种幼苗生长和生理特性的影响[J]. 上海农业学报, 2011, 27(2): 71-76.
- ZHANG Y P, CHEN Y Y, YANG S J. Effects of high temperature stress on growth and physiological characteristics of different-variety melon seedlings[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2011, 27(2): 71-76. (in Chinese)
- [29] 姜春明, 尹燕桦, 刘霞, 王振林. 不同耐热性小麦品种旗叶膜脂过氧化和保护酶活性对花后高温胁迫的响应[J]. 作物学报, 2007, 33(1): 143-148.
- JIANG C M, YIN Y P, LIU X, WANG Z L. Response of flag leaf lipid peroxidation and protective enzyme activity of wheat cultivars with different heat tolerance to high temperature stress after anthesis[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(1): 143-148. (in Chinese)
- [30] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- WANG Z. Plant physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. (in Chinese)
- [31] 马宝鹏, 逯明辉, 巩振辉. 辣椒幼苗对高温胁迫的生长生理响应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(10): 112-118.
- MA B P, LU M H, GONG Z H. Responses of growth and physiological of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings to high temperature stress[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2013, 41(10): 112-118. (in Chinese)