

朱德宁,刘素娜,赵绮薇,等. 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.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.09.024

有棱丝瓜耐热性种质资源筛选与耐热生理响应

朱德宁¹, 刘素娜², 赵绮薇², 曹翠文¹, 李莲芳¹

(1. 广州市农业科学研究院, 广东广州 510308; 2. 仲恺农业工程学院, 广东广州 510225)

摘要:开展有棱丝瓜耐热性材料筛选与鉴定试验,通过对 30 个品种高温处理并进行耐热性资源评价与耐热性品种筛选,再从中选出 3 个不同耐热性材料研究有棱丝瓜在高温胁迫下的生理响应机制。30 个有棱丝瓜品种中,泰国丝瓜 2 等 4 个品种是耐热品种;2017 肉资-13 等 9 个品种为较耐热品种;泰国丝瓜 1 等 6 个品种是不耐热品种;2018RZ-20 等 11 个品种为热敏品种。通过对耐热品种 2018RZ-19、较耐热品种 2017 肉资-13 和热敏品种 2018CL-8 进行高温胁迫,分别测定叶片细胞中相对电导率等生理指标。测定结果显示,叶片的细胞膜透性、丙二醛(MDA)含量、可溶性糖含量均随着高温胁迫时间的延长而有不同程度增加。保护酶活性对植物高温胁迫有一定影响,叶绿体色素含量随着高温胁迫时间的延长有所下降。对丝瓜耐热性品种进行筛选及综合评价分析,对有棱丝瓜种质资源的收集与遗传育种具有指导性意义。

关键词:有棱丝瓜;耐热性;生理响应;高温胁迫;种质资源;综合评价

中图分类号:S642.401 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)09-0132-06

丝瓜分为普通丝瓜 [*Luffa cylindrical* (L.) Roem. Violales] 和有棱丝瓜 [*Luffa acutangula* (L.) Roxb.] 2 个栽培种,主要分布于热带、亚热带的亚洲各地,在我国南北均有栽培,是我国主要的瓜类蔬菜,广东省等南方地区以栽培有棱丝瓜为主。有棱丝瓜别称广东丝瓜,在华南简称为丝瓜,是葫芦科丝瓜属一年生攀缘草本植物,也是华南地区特产蔬菜之一^[1-2]。有棱丝瓜为短日照植物,生物学特性喜温耐湿,适宜其生长的环境温度为 20~30℃^[3]。植物在长时间高温条件下会破坏细胞膜结构,致使细胞内溶物外渗,细胞膜内外渗透平衡将受到影响,甚至导致细胞膜结构破坏,从而引起植株损伤甚至死亡^[4-5]。在生产上温度过高会导致丝瓜生长缓慢、产量下降、畸形瓜增多、品种下降等问题。

在我国南方地区,夏季炎热,高温高湿,大棚内温度更是高达 42℃ 以上,对植物的生长发育甚至夏季蔬菜的市场供应影响极大^[6]。植物高温胁迫反应往往与植物种类、植物生长发育阶段、植物器官

部位与发育阶段等有关^[7]。丝瓜作为华南地区特色蔬菜之一,夏秋 2 季温度偏高,田间温度甚至高至 40℃ 左右,对丝瓜的生长发育及品种选育产生较大的影响。因此,开展丝瓜耐热性种质资源综合评价及高温胁迫的生理响应,对提高丝瓜品质质量与遗传育种有重大意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究试验材料为 30 份有棱丝瓜核心种质资源,由广州市农业科学研究院及国内外引进的有棱丝瓜品种(表 1)。

1.2 试验方法

1.2.1 有棱丝瓜苗期耐热性筛选与鉴定 试验于 2019 年 7—11 月在广州市农业科学研究院南沙试验基地进行。每个品种取种子 20 g,温汤浸种后,用纱布或棉布吸干水分,然后放置恒温箱 32℃ 左右下催芽,露白后即可播种^[8]。采取穴盘育苗,将种子播于装有基质(草炭:蛭石=3:1)的 32 孔穴盘中,于光/暗周期 14 h/10 h、温度 25℃ 条件下育苗。当出苗率达到 50%~60% 后,揭去黑纱。1~2 d 之后,移至田间,便于通风补光以促使幼苗健壮生长。15 d 左右,当植株幼苗生长至 1~2 张真叶时,选取健壮幼苗 20 株,移至光照培养箱(宁波江南仪器厂生产)中培养。开始先在光照培养箱中适应 1 d,然

收稿日期:2020-06-23

基金项目:民生科技项目(编号:202002020086);广州市农业财政资金(编号:2020)。

作者简介:朱德宁(1990—),男,广东茂名,硕士,农艺师,从事丝瓜的遗传育种及示范推广。E-mail:835086490@qq.com。

通信作者:李莲芳,研究员,主要从事丝瓜的遗传育种及示范推广。E-mail:1966511855@qq.com。

表 1 供试有棱丝瓜品种来源

编号	品种	来源	生长势
1	泰国丝瓜 2	泰国	强
2	2018RZ-19	广东	强
3	绿胜 3 号	广东	强
4	2018RZ-7	广东	中
5	2017 肉资-13	广东	较强
6	2019DS-11	广东	强
7	夏胜 4 号	广东	强
8	2015 资 CTL-1	广东	中
9	夏绿 3 号	广东	强
10	2018RZ-26	广东	较强
11	2018CL-1	广东	中
12	2018RZ-14	广东	强
13	2018RZ-22	广东	强
14	泰国丝瓜 1	泰国	强
15	2013 示范-长资-6-2	广东	强
16	2014NSCT-32	广东	较强
17	2018RZ-8	广东	强
18	2013FL-分离-D-4-选	广东	强
19	2017 肉资-40	广东	强
20	2018RZ-20	广东	强
21	2012-分离-长-32-2	广东	强
22	2018RZ-37	广东	中
23	2014NSCT-36	广东	强
24	2016 南沙-D-1-C-1	广东	较强
25	2018RZ-17	广东	强
26	2011ABC-1-24	广东	强
27	2017 肉资-22	广东	强
28	2018CL-8	广东	中
29	2018RZ-27	广东	强
30	2013FL-分离-D-4-次	广东	强

后将光培箱温度设置为白天 45 ℃、夜间 30 ℃,相对湿度设置为 75% 光照度设置为全光照 171.4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光—暗周期 12 h—12 h,高温处理 5 d。

1.2.2 热害指数与热害等级分级 将上述 30 个核心种育苗期移至光培箱进行高温处理,每天记录并统计幼苗的热害情况,热害程度包括子叶、真叶、心叶以及下胚轴及整株生长状况,并进行拍照记录。通过隶属函数法与聚类分析法对 30 个品种的耐热性进行综合评价分析,初步筛选出有棱丝瓜耐热性品种。根据不同品种在高温胁迫下产生不同的热害症状,将热害症状进行分级处理。结合前人的研究经验,将热害根据症状的轻重程度划为 0 级、1

级、2 级、3 级和 4 级。0 级,即植株幼苗生长正常,无热害;1 级,植株幼苗 1~2 张叶稍微黄化,症状轻微;2 级,植株幼苗 1~2 张叶片或真叶开始发黄,生长缓慢;3 级,植株幼苗失水较多,2~3 张叶或真叶萎蔫,心叶不正常;4 级,整株叶片萎蔫或者枯死,下胚轴失水严重,心叶萎缩,植株倒伏严重(图 1)。

1.3 高温胁迫下有棱丝瓜生理指标测定

根据丝瓜苗期耐热性品种的筛选,开展丝瓜对高温胁迫的生理响应,选取 3 个品种,分别为耐热品种 2018RZ-19、较耐热品种 2017 肉资-13、热敏品种 2018CL-8。将以上 3 个品种苗期移至光培箱,并进行高温胁迫处理,条件设置为 45 ℃(白天),30 ℃(夜间),相对湿度为 75%,全光照 171.4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光暗周期设置为 12 h/12 h。在高温处理 0、1、2、3 d 条件下通过测定其相对电导率、丙二醛含量、可溶性糖含量、保护酶活性及叶绿素含量等生理指标,探索不同耐热性丝瓜对高温胁迫的生理响应。

1.3.1 相对电导率测定 在丝瓜幼苗经高温处理后的 0、1、2、3 d 分别采集叶片,每个品种的每一叶位各取 1 张完全展开叶,1 个品种采 3 株,共 3 个重复。将叶片在超纯水中洗净并擦干。采用 1.0 cm 的打孔器提取植株小叶片 10 张,放进试管中,加入 15 mL 蒸馏水。设置 3 个不同温度条件,分别为室温、50、100 ℃。首先,室温下把小叶片和蒸馏水一起大力摇晃 30 min 后测量水溶液传导电流的能力(EC_0);再放进 50 ℃水浴中加热 30 min 后,拿出来待温度降至室温后测量水溶液传导电流的能力(EC_1);之后置于 100 ℃水浴煮沸 5 min 后,拿出来待温度降至室温后测量水溶液传导电流的能力(EC_2),重复 3 次,取平均值。相对电导率的计算公式: $RC = (EC_1 - EC_0) / (EC_2 - EC_0) \times 100\%$ [9-10]。

1.3.2 丙二醛含量与可溶性糖含量测定 采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定丙二醛含量和可溶性糖含量 [11-12]。在丝瓜幼苗经高温处理后 0、1、2、3 d 条件下分别采集叶片,在同一叶位各取 1 张完全展开叶,重复 3 次。将叶片清洗干净并擦干。用电子天平称取 0.1 g 叶片,放入研钵中,加入 1.8 mL 10% 三氯乙酸(TCA)和少量石英砂研磨至匀浆,然后再加入 4 mL 10% 三氯乙酸(TCA)进一步充分研磨,将匀浆转移到离心管中,4 000 r/min 离心 10 min;取上清液 1 mL,加入 1 mL 0.6% 硫代巴比

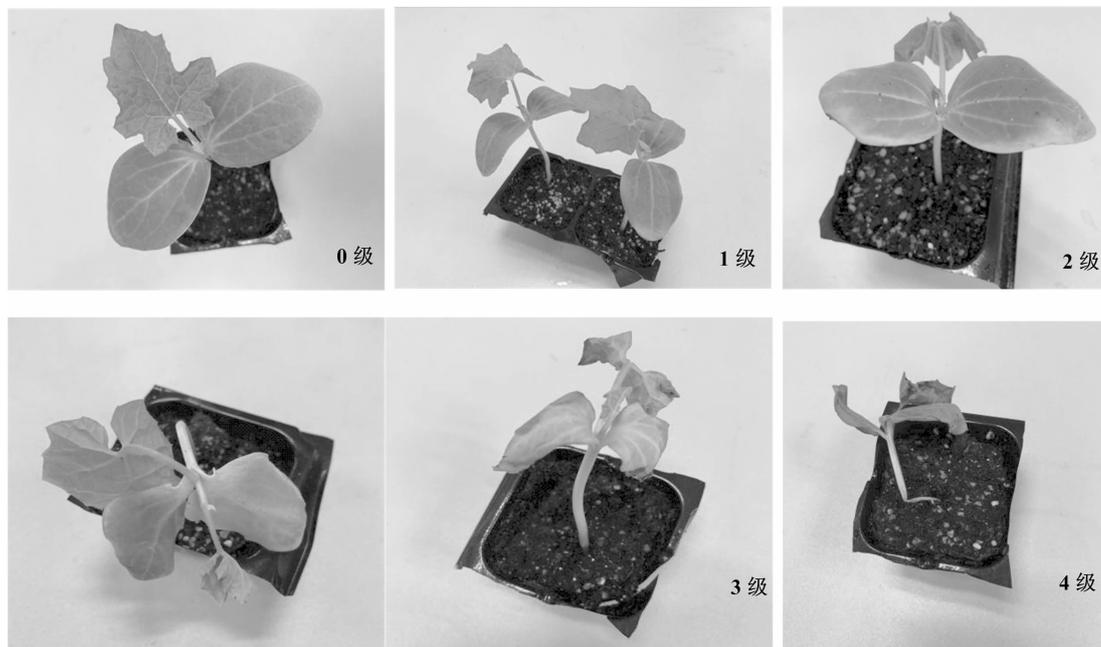


图1 有棱丝瓜幼苗热害症状分级

妥酸(TBA)溶液,混匀后在沸水浴上煮 15 min,待冷却再离心 1 次,取上清液在波长 450、532、600 nm 下的分别测定上清液吸光度,之后根据丙二醛(MDA)与可溶性糖含量显色反应测定叶片中 MDA 含量与可溶性糖含量。

1.3.3 叶绿素含量测定 叶绿素含量采用李合生的方法^[13]测定。在丝瓜幼苗经高温处理后 0、1、2、3 d 条件下分别采集叶片,用清水清洗干净并擦干,然后将叶片剪碎;称取叶片 0.2 g,转至研钵中,加入适量乙醇,少量碳酸钙粉和石英砂,研磨成匀浆,再加入乙醇 10 mL,继续充分研磨至组织转白色,净置。待静置完之后,将其倒入 25 mL 棕色容量瓶中,用乙醇清洗干净研钵表面,最后定容至 25 mL,上下摇匀充分;用 1 cm 比色皿测量其在 665、649、470 nm 的吸光度,数据处理与统计。

1.3.4 保护酶活性的测定 在丝瓜幼苗经高温处理后的 0、1、2、3 d 采集叶片,在同一叶位各取 1 张完全展开叶,在超纯水中洗净并擦干。采用愈创木酚法测定 POD 活性,氨基四唑(NBT)法测定 SOD 活性^[2],南京建成生物工程研究所试剂盒测 CAT 活性。

2 结果与分析

2.1 有棱丝瓜耐热性品种筛选与热害分级

通过对 30 个有棱丝瓜试验品种进行高温处理,结合耐热指数统计分析,对有棱丝瓜耐热性进行综

合评价分析,确定耐热症状分级。然后利用聚类分析法对 30 个丝瓜品种进行聚类分析,将 30 个有棱丝瓜品种划分成耐热品种、较耐热品种、不耐热品种和热敏品种 4 个类型。其中,耐热品种包括泰国丝瓜 2、2018RZ-19、绿胜 3 号、2018RZ-7 4 个品种;较耐热品种包括 2017 肉资-13、2019DS-11、夏胜 4 号等 9 个品种,不耐热品种包括泰国丝瓜 1、2013 示范-长资-6-2、2014NSCT-32 等 6 个品种;热敏品种有 2018RZ-20、2012-分离-长-32-2、2018RZ-37 等 11 个品种(表 2)。

2.2 细胞膜透性的变化

高温胁迫后,有棱丝瓜的细胞膜相对电导率呈增加趋势。高温胁迫之前,不同耐热性有棱丝瓜品种的细胞膜透性差异不明显(图 2)。高温处理 1 d 后,不同耐热性品种的细胞膜透性差异变化也不大。而在高温胁迫处理 3 d 后,3 个品种的相对电导率明显增大,热敏品种 2018CL-8 和较耐热品种 2017 肉资-13 的相对电导率明显高于耐热品种 2018RZ-19,其中热敏品种 2018CL-8 的相对电导率变化最大,增加了 126.08%,较耐热品种 2017 肉资-13 的相对电导率上升了 58.91%,而耐热品种 2018RZ-19 的相对电导率仅上升了 6.14%。由此可见,受到高温胁迫之后,耐热性品种细胞膜可能会保持比较稳定,透性变化不大;而热敏品种在高温胁迫下,细胞膜受损比较严重,通透性加大,从而导致电导率快速上升。

表2 有棱丝瓜热害分级及耐热性评价

品种	株数 (株)	分级					鉴定级别	热害指数	耐热性评价
		0	1	2	3	4			
泰国丝瓜2	15	3	8	1	2	1	1	33.34	耐热
2018RZ-19	20	10	4	6	4	0	1	35.00	耐热
绿胜3号	20	8	3	4	3	2	1	35.00	耐热
2018RZ-7	20	4	9	3	1	3	1	37.50	耐热
2017肉资-13	20	2	6	8	4	0	2	42.50	较耐热
2019DS-11	20	4	5	6	2	3	2	43.75	较耐热
夏胜4号	20	6	2	6	1	5	2	46.25	较耐热
2015资CTL-1	20	2	4	6	6	2	2	47.50	较耐热
夏绿3号	20	0	8	6	4	2	2	50.00	较耐热
2018RZ-26	20	2	6	5	3	4	2	51.25	较耐热
2018CL-1	14	0	2	5	5	2	2	51.78	较耐热
2018RZ-14	20	3	6	2	4	5	2	52.50	较耐热
2018RZ-22	20	3	2	2	5	3	2	55.00	较耐热
泰国丝瓜1	18	0	7	5	3	3	3	59.37	不耐热
2013示范-长资-6-2	20	1	2	8	6	3	3	60.00	不耐热
2014NSCT-32	20	0	1	9	8	2	3	63.75	不耐热
2018RZ-8	20	0	5	5	4	6	3	63.75	不耐热
2013FL-分离-D-4-选	12	0	2	2	7	1	3	64.58	不耐热
2017肉资-40	20	1	3	2	9	5	3	67.50	不耐热
2018RZ-20	20	0	3	2	7	8	4	75.00	热敏
2012-分离-长-32-2	20	0	0	1	16	3	4	77.50	热敏
2018RZ-37	20	0	3	2	4	11	4	78.75	热敏
2014NSCT-36	18	0	1	3	3	11	4	83.34	热敏
2016南沙-D-1-C-1	20	0	0	3	5	12	4	86.25	热敏
2018RZ-17	14	0	0	0	7	7	4	87.50	热敏
2011ABC-1-24	20	0	0	2	5	13	4	88.76	热敏
2017肉资-22	20	0	1	0	5	14	4	90.00	热敏
2018CL-8	20	0	0	0	7	13	4	91.25	热敏
2018RZ-27	20	0	0	0	7	13	4	91.25	热敏
2013FL-分离-D-4-次	20	0	0	3	8	11	4	92.50	热敏

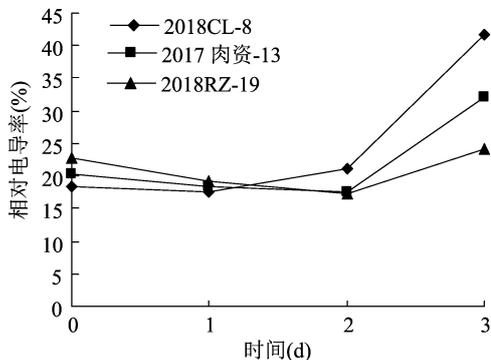


图2 高温胁迫下有棱丝瓜相对电导率的变化

2.3 丙二醛含量的变化

不同高温处理时间对有棱丝瓜丙二醛含量有

比较大的影响。正常情况下,3个品种丙二醛的含量差异不明显,基本在 $0.01 \mu\text{mol/g}$ 。经过高温处理2 d后,3个品种的丙二醛含量明显上升,其中热敏品种2018CL-8的丙二醛含量变化最大。而在持续高温胁迫处理3 d后,不同耐热性品种的丙二醛含量均增加至最大值(图3),其中热敏品种2018CL-8的丙二醛含量增大了179.67%,较耐热品种2017肉资-13的丙二醛含量增大至135.58%,耐热品种2018RZ-19变化最小,为51.02%。结果表明,高温胁迫对有棱丝瓜丙二醛含量有影响,在一定程度上,随着高温处理时间延长会导致丙二醛含量增大,说明丙二醛含量与耐热性有一定关系。因此,

高温处理下耐热品种的丙二醛变化比热敏品种小。

2.4 可溶性糖含量的变化

可溶性糖含量的变化与丙二醛含量有点类似。在高温处理 0、1 d, 不同耐热性品种的可溶性糖含量的变化差异不明显(图 4)。但 3 个品种可溶性糖含量随着高温胁迫时间的延长都有一定的上升, 在高温处理 2 d 后, 可溶性糖含量变化明显, 其中, 热敏品种 2018CL-8 的可溶性糖含量变化最大, 耐热品种 2018RZ-19 的可溶性糖含量影响比较小。高温胁迫 3 d 后, 热敏品种 2018CL-8 的可溶性糖含量是高温处理之前的 4.57 倍, 较耐热品种 2017 肉资-13、耐热品种 2018RZ-19 分别是高温处理之前的 2.56 倍、2.03 倍。表明高温胁迫下耐热性强的品种新陈代谢运动可能比耐热性弱的品种小, 植物在高温胁迫下通过增加可溶性糖含量来提高细胞的渗透浓度, 保持细胞内外渗透的平衡, 从而提

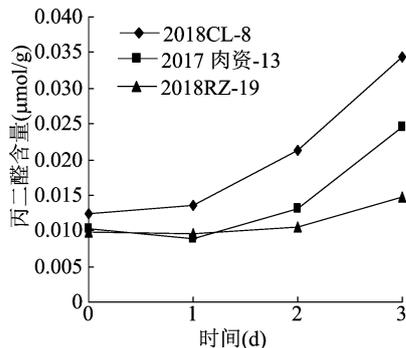


图3 高温胁迫下有棱丝瓜丙二醛含量的变化

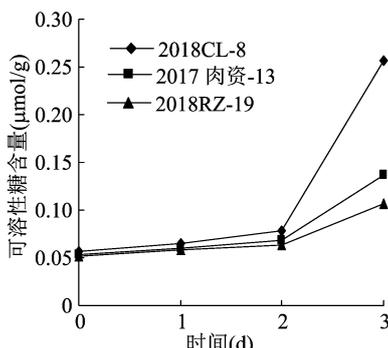


图4 高温胁迫下有棱丝瓜可溶性糖含量的变化

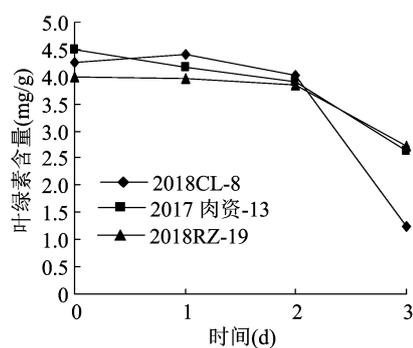


图5 高温胁迫下有棱丝瓜叶绿素含量的变化

2.6 高温胁迫下 SOD 活性变化

从图 6 可以看出, 高温处理后, SOD 活性呈现上升趋势或先上升、后下降趋势。在高温处理前, 不同耐热性品种 SOD 活性差异并不明显。高温处理 1 d 后, 3 个品种 SOD 活性出现了微小差异, 而且不同耐热性品种的 SOD 活性均呈小幅度上升趋势。其中, 耐热品种 2018RZ-19 的上升幅度比热敏品种 2018CL-8 和较耐热品种 2017 肉资-13 大。在高温处理 2 d, 热敏品种 2018CL-8 上升幅度最大, SOD 活性上升了 478%, 耐热品种 2018RZ-19 和较耐热品种 2017 肉资-13 分别上升了 154%、318%。高温处理 3 d 后, 热敏品种 2018CL-8 与耐热品种 2018RZ-19 SOD 活性开始呈下降趋势。

2.7 高温胁迫下 POD 活性变化

高温处理后, 有棱丝瓜细胞中 POD 活性呈现先上升、后下降、再上升的趋势(图 7)。高温处理 0 d,

高自身的抗逆性。

2.5 叶绿素含量的变化

叶绿素含量随着高温胁迫处理时间的延长有所下降(图 5)。在高温胁迫处理 0、1 d 时, 高温胁迫对不同耐热性品种叶绿素含量基本无影响, 保持比较稳定。随着高温处理 2 d 之后, 叶绿素含量开始下降, 而且下降幅度明显加快, 处理 3 d 后下降至最低。其中, 热敏品种 2018CL-8 的叶绿素含量下降最大, 比高温处理之前下降 67.3%, 较耐热品种 2017 肉资-13、耐热品种 2018RZ-19 的叶绿素含量分别下降 39.7%、26.9%。由此可以看出, 高温胁迫下叶绿素含量会有所下降, 并且高温处理时间越长, 叶绿素含量下降越明显。表明叶绿素含量的变化与植物耐热性或许有关系。高温胁迫会使植物的叶绿素合成减少, 叶片稍微发黄, 叶绿素含量下降。

3 个品种有棱丝瓜细胞中的 POD 活性无明显差异。高温处理 1 d, 3 个品种的 POD 活性均上升明显, 其中, 热敏品种 2018CL-8 上升最快, 达原含量的 2173%; 较耐热品种 2017 肉资-13、耐热品种 2018RZ-19 分别增加了 947%、511%。高温处理 2 d 后, POD 活性减小, 其中, 热敏品种 2018CL-8 下降最明显。高温处理 3 d, 3 个品种的 POD 活性开始上升。表明植物细胞通过调节 POD 酶的活性来抵御高温胁迫导致的机体产生的过量的 H_2O_2 , POD 活性升高, 对 H_2O_2 的清除能力增强。

2.8 高温胁迫下 CAT 活性变化

高温处理后, 有棱丝瓜细胞中, CAT 活性呈下降趋势(图 8)。高温处理 0 d, 3 个品种有棱丝瓜细胞中的 CAT 活性无明显差异。高温处理 1 d, 热敏品种 2018CL-8、较耐热品种 2017 肉资-13 和耐热品种 2018RZ-19 的 CAT 活性均急速下降, 基本下降了 200% 左右, 其中, 热敏品种 2018CL-8 下降最

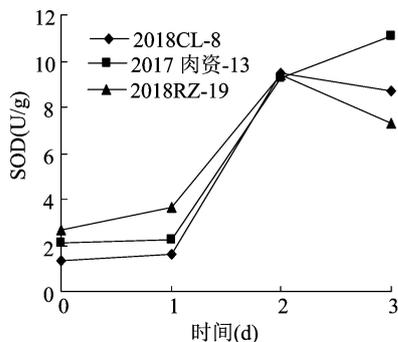


图6 高温胁迫下有棱丝瓜 SOD 活性的变化

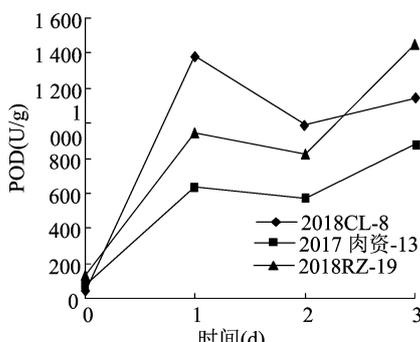


图7 高温胁迫下有棱丝瓜 POD 活性的变化

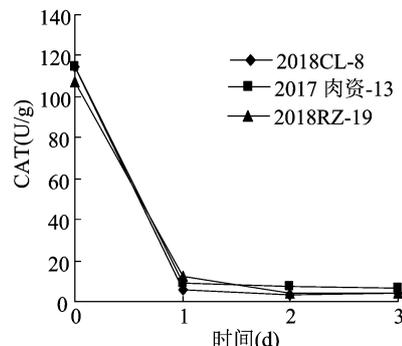


图8 高温胁迫下有棱丝瓜 CAT 活性的变化

多,下降了218%。高温处理2 d,3个品种的CAT活性均下降,但下降不明显。高温处理3 d,3个品种的CAT活性差异不明显。

3 讨论

植物在生长过程中,因外界环境因素往往会受到各种非生物胁迫的影响,高温是影响植物生长因素之一。因此,有棱丝瓜的热害指数、耐热机制的生理调控及耐热材料的筛选对其耐热性鉴定和耐热资源的综合性评价有重要作用。耐热性综合评价涉及植物形态、光合作用、渗透调节、保护酶活性等生理特性及基因表达方面^[14]。本试验通过有棱丝瓜苗期高温胁迫处理,建立有棱丝瓜苗期热害胁迫评价体系,将其进行热害症状分级,统计热害指数,采用隶属函数法和聚类分析法对30个有棱丝瓜品种进行了耐热性鉴定,初步筛选出耐热性品种4个,热敏品种11个。通过试验表明,耐热性强的品种与不耐热品种在高温胁迫下生理反应存在明显差异。高温胁迫会导致植物细胞膜完整性丢失,进而导致细胞膜渗透性增加和电解质分解增大。丙二醛是细胞膜过氧化产物,也是细胞膜被破坏的标志物质。可溶性糖是植物细胞渗透调节物质。叶绿素是植物体内的主要光合色素,受温度影响比较大,其含量变化与植物的生长发育密切相关,又是植物光合作用不可缺少的物质^[15]。在高温胁迫前期,植物体内催化超氧化物歧化和过氧化物氧化的反应速度加快,从而降低体内活性氧的浓度,达到减轻植物体内因高温胁迫产生的氧化反应对植物细胞造成损伤的影响。因此,用相对电导率、丙二醛含量、可溶性糖含量等指标来衡量植物高温胁迫受害程度有理论依据,对提高丝瓜遗传育种与产量、质量有重要现实意义。

参考文献:

- [1]何晓莉,罗剑宁,罗少波,等. 丝瓜主要生理特性研究进展[J]. 广东农业科学,2006(8):114-116.
- [2]张胜. 丝瓜果实、种子性状发育遗传和种子质量的研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [3]周小燕,罗剑宁,李金月,等. 有棱丝瓜苗期耐热性及其对热胁迫的生理响应[J]. 热带亚热带植物学报,2017,25(4):357-369.
- [4]张红梅,金海军,丁小涛,等. 黄瓜幼苗对热胁迫的生理反应及叶绿素荧光特性[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2011,29(5):61-66.
- [5]马永战,邹琦,程炳高. 高温锻炼与解除对冬小麦叶片细胞膜热稳定性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),1988(2):57-60.
- [6]伍红雨,杜尧东. 近49年广东高温的气候特征及其变化规律[J]. 热带气象学报,2011,27(3):427-432.
- [7]任彦. 番茄不同基因型耐热性生理研究及种质改良相关技术的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006:8-27.
- [8]杨寅桂. 黄瓜耐热性及热胁迫响应基因研究[D]. 南京:南京农业大学,2007:22-28.
- [9]刘宁,高玉葆,贾彩霞. 渗透胁迫下多花黑麦草叶内过氧化物酶活性和脯氨酸含量以及质膜相对透性的变化[J]. 植物生理学通讯,2000,36(1):11-13.
- [10]余炳伟,董日月,雷建军,等. 黄瓜耐热材料的筛选与鉴定[J]. 分子植物育种,2017,15(11):4695-4705.
- [11]涂三思. 黄姜 POD 和 EST 同工酶及高温胁迫下脯氨酸可溶性糖和丙二醛含量变化研究[D]. 武汉:华中农业大学,2004:16-24.
- [12]林艳,郭伟珍,徐振华,等. 大叶女贞抗寒性及冬季叶片丙二醛和可溶性糖含量的变化[J]. 中国农学通报,2012,28(25):68-72.
- [13]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.
- [14]徐海,宋波,顾宗福,等. 植物耐热机理研究进展[J]. 江苏农业学报,2020,36(1):243-250.
- [15]李保印,周秀梅,王西波,等. 不同彩叶植物叶片中叶绿体色素含量研究[J]. 河南农业大学学报,2004,38(3):285-288.