

# 茄子及近缘野生资源耐冷性鉴定研究

刘飞 邓明晟 徐锐 成玉富 杨旭\*

(扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009)

**摘要:** 分别对 16 份茄子材料进行芽期和苗期低温处理, 采用隶属函数值分析茄子芽期和苗期的耐冷性指标, 并对茄子材料的耐冷性进行综合评价。结果表明: 3 份野生茄均属于强耐冷型, 栽培茄中 14c-5、14c-6 和甘肃长茄属于强耐冷型, 荷包茄、快圆茄和徐州睢宁紫长茄属于冷敏感型。野生茄适合选用冷害指数、丙二醛增减率等苗期指标进行耐冷性鉴定, 栽培茄可以选用相对发芽率、相对发芽势等芽期指标以及冷害指数、丙二醛增减率等苗期指标进行耐冷性鉴定。

**关键词:** 茄子; 隶属函数值; 耐冷性

茄子 (*Solanum melongena* L.) 为茄科茄属植物, 喜高温, 当温度低于 15 °C 时植株生长迟缓, 低于 5 °C 茎叶会受到伤害, 0 °C 下就会冻死, 低温环境严重影响茄子的产量与品质。

茄子耐冷性与芽期和苗期的生理指标具有相关性。耿广东等 (2006) 研究表明, 茄子幼苗细胞膜透性与种子发芽的综合隶属函数值呈显著正相关, 认为低温发芽是鉴定茄子幼苗耐冷性的一种既简便又科学的方法。阎世江等 (2016) 认为低温条件下的种子发芽率可以作为茄子耐冷性的鉴定指标。吴雪霞等 (2008) 研究表明, 低温胁迫使茄子植株生长受到抑制, 而耐冷性强的材料在低温胁迫下实际光化学效率下降幅度较低。

野生茄具有多种抗性 (刘富中等, 2005), 可以应对气候变化所带来的挑战 (Kaushik et al., 2016)。而综合评价野生茄与栽培茄的优良抗性鲜有报道, 有关茄子耐冷性鉴定的简便和准确方法还有待进一步完善, 野生茄和栽培茄在特性上的差异需要寻找一种合理的鉴定方法。本试验分别在芽期

和苗期鉴定茄子耐冷特性, 结合耐冷平均隶属函数值, 分析野生茄与栽培茄在芽期与苗期耐冷特性差异, 综合测定芽期和苗期的相关指标, 探讨茄子种质资源耐冷性鉴定方法, 以为茄子耐寒育种提供技术、材料和理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

参考杨旭等 (2016) 对茄子种质资源遗传多样性的研究, 筛选 16 份茄子作为试验材料 (含 3 份野生材料) (表 1), 材料由扬州大学园艺与植物保护学院蔬菜育种实验室提供。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 茄子种子发芽力测定** 试验于 2017 年 3 月开始, 在扬州大学园艺与植物保护学院蔬菜育种实验室进行。选取饱满一致的茄子种子, 每份 40 粒, 3 次重复。温汤 (55 °C) 浸种 2 h 后常温 (30 °C) 浸泡 24 h, 随后分别在 18 °C (低温处理) 和 25 °C (常温对照) 的黑暗条件下培养, 每天记录种子发芽情况。在第 7 天计算发芽势, 第 14 天计算发芽率 (野生茄在第 14 天计算发芽势, 第 28 天计算发芽率), 并计算相对发芽势和相对发芽率。

$$\text{相对发芽势} = 18\text{ }^{\circ}\text{C 发芽势} / 25\text{ }^{\circ}\text{C 发芽势} \times 100\%$$

$$\text{相对发芽率} = 18\text{ }^{\circ}\text{C 发芽率} / 25\text{ }^{\circ}\text{C 发芽率} \times 100\%$$

**1.2.2 茄子幼苗冷害指数测定** 每份材料选取 100 粒种子浸种催芽, 用 50 孔穴盘进行育苗 (每孔播种 2 粒), 1 个月后茄子长至 3~4 片真叶, 挑选长

刘飞, 男, 硕士研究生, 主要从事蔬菜分子育种研究, E-mail: 1425501241@qq.com

\*通讯作者 (Corresponding author): 杨旭, 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事蔬菜遗传育种与生物技术研究, E-mail: yangxu@yzu.edu.cn

收稿日期: 2018-11-08; 接受日期: 2019-02-26

基金项目: 扬州大学大学生学术科技创新基金项目 (x2015670), 江苏省研究生科研创新计划项目 (XKYCX18\_090), 江苏省“六大人才高峰”高层次人才选拔培养资助项目 (2015-NY-020)

表 1 供试茄子材料及来源

材料	来源	果形	果皮色	材料	来源	果形	果皮色
14c-5	本实验室	弯长条	紫黑	荷包茄	云南大理	荷包	紫红
14c-6	本实验室	弯长条	紫黑	徐州睢宁紫长茄	江苏徐州	弯长条	紫黑
日本长茄	日本	弯长条	紫黑	快圆茄	天津	近圆	深紫
甘肃长茄	甘肃	弯长条	紫黑	三月茄	四川	长卵	紫红
贵州铜仁紫长茄	贵州	长卵	紫红	观赏茄	北京海淀	圆球	黄
盐城青长茄	江苏	长卵	绿	赤茄 ( <i>Solanum integrifolium</i> Poir.)	日本	扁圆	橙红
黑又亮	河北沧州	长棒	紫黑	喀西茄 ( <i>Solanum aculeatissimum</i> Jacq.)	云南	圆球	白绿
特大紫罐茄	陕西西安	卵圆	深紫红	蒜芥茄 ( <i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam.)	云南	近圆	朱红

势一致的幼苗 40 株，每份材料各 20 株分别置于 25 °C 和 1 °C 的光照培养箱，3 次重复，处理 10 d 后对低温处理下的植株进行冷害级别的调查。冷害分级标准（表 2）和冷害指数的计算参照《茄子种质资源数据质量控制规范》（李锡香和朱德蔚，2006）。

表 2 茄子冷害等级评价标准

级别	冷害情况
0	植株生长正常，无任何受冻症状
1	1~2 片叶边缘有轻度的皱缩萎焉，面积约 20%~30%
2	2~4 片叶受冻，其中 1~2 片叶受冻面积 > 50%
3	3~4 片叶受冻，其中 2~3 片叶受冻面积 > 50%
4	植株各叶片普遍受冻，其中 3~4 片叶受冻面积 > 50%
5	全株受冻死亡或接近死亡

$$\text{冷害指数 (CI)} = \frac{\sum (\text{代表级数} \times \text{株数})}{\text{最高级数} \times \text{总株数}} \times 100\%$$

1.2.3 茄子幼苗脯氨酸和丙二醛含量测定 选取各茄子材料低温处理 (1 °C, 10 d) 和对照 (25 °C, 10 d) 幼苗第 2~3 片真叶为检测样品，每个品种测定 3 株，3 次重复。参照《植物生理生化实验原理和技术》（王学奎，2006）进行脯氨酸和丙二醛含量的测定。其中脯氨酸含量标准曲线为： $y=0.473x+0.217$  ( $R^2=0.9939$ )，式中  $x$  为溶液中脯氨酸含量， $y$  为 OD 值。

$$\text{增减率} = (\text{低温处理} - \text{对照}) / \text{对照} \times 100\%$$

### 1.3 统计方法

耐冷隶属函数值  $\hat{X}_j$  用模糊数学隶属函数值方法计算： $\hat{X}_j = \frac{X_j - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$ ；冷害指数、丙二醛增减率与耐冷性呈负相关，隶属函数值公式： $\hat{X}_j = 1 - \frac{X_j - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$ 。

其中  $\hat{X}_j$  表示第  $i$  种的第  $j$  指标的耐冷隶属值， $X_j$  表示第  $i$  种的第  $j$  指标的测定值， $X_{j\max}$  表示  $j$  指标的最大值， $X_{j\min}$  表示  $j$  指标的最小值。

参照齐晓花等（2011）和杨莎等（2014）的研

究方法，按照平均隶属度将耐冷性分为 5 个等级。强耐冷（high resistance, HR），平均隶属度 0.6~1.0；耐冷（resistance, R），平均隶属度 0.4~0.6；中等耐冷（middle resistance, MR），平均隶属度 0.3~0.4；不耐冷（low resistance, LR），平均隶属度 0.2~0.3；冷敏感（sensitive, S），平均隶属度 0~0.2。

## 2 结果与分析

### 2.1 茄子种子发芽力测定

从表 3 可以看出，大部分茄子种子在 18 °C 下发芽受到影响。14c-5、14c-6 和甘肃长茄的相对发芽率均达到 100.00%，相对发芽势均高于 95%，表明这 3 份材料在低温下保持较高的活力；而 18 °C 低温主要影响贵州铜仁紫长茄和特大紫罐茄的发芽时间，对其发芽率影响较小；其他材料在低温下的发芽势和发芽率均受到明显限制。

### 2.2 茄子幼苗的冷害指数

耐冷性不同的茄子表现出明显的冷害差异，耐冷性强的材料冷害指数小，耐冷性弱的冷害指数大（姚明华和徐跃进，2001）。本试验中，特大紫罐茄、荷包茄、徐州睢宁紫长茄和快圆茄的冷害指数较大，表现出冷敏感性；14c-5、14c-6、喀西茄和蒜芥茄的冷害指数较小，表现出一定的耐冷性（表 3）。

### 2.3 茄子幼苗的脯氨酸含量

低温处理后幼苗叶片脯氨酸的增减率可以反映脯氨酸对茄子幼苗在低温下维持细胞结构、细胞运输和调节渗透压的能力（王荣富，1987）。从表 3 可以看出，14c-5、14c-6、日本长茄、贵州铜仁紫长茄、观赏茄、赤茄、喀西茄和蒜芥茄受到低温胁迫后，脯氨酸含量有所增加，表现出对冷胁迫的适应能力；其他材料在低温胁迫后脯氨酸含量下降，表明对低温较敏感。

## 2.4 茄子幼苗的丙二醛含量

低温下发生的膜脂过氧化会导致膜系统的破坏,膜脂氧化的最终产物丙二醛会使生物膜发生严重损伤(孙玉宏,2002)。试验材料在低温下都表现出丙二醛含量的增加,但是增加幅度不同。其中,观赏茄、赤茄、喀西茄和蒜芥茄的丙二醛增加幅度较小,14c-5、14c-6、甘肃长茄、黑又亮和特大紫罐茄的丙二醛增加幅度中等,表明这些材料有一定的耐冷性(表3)。

## 2.5 茄子材料耐冷性综合评价

从茄子耐冷性指标间的相关性可以看出(表

4、5),茄子品种耐冷性与相对发芽率、相对发芽势、冷害指数、丙二醛增减率呈极显著相关。栽培茄和野生茄中与耐冷性相关系数最高的为相对发芽势(0.726),最低的为脯氨酸增减率(0.424);栽培茄中与耐冷性相关系数最高的为相对发芽率(0.801),而耐冷性与脯氨酸增减率的相关性较低(0.405),表明脯氨酸增减率在茄子耐冷性鉴定上可能具备不适应性。因此,野生茄适合选用苗期指标(冷害指数、丙二醛增减率)进行耐冷性鉴定;栽培茄可以选用相对发芽率、相对发芽势、冷害指数和丙二醛增减率等指标进行耐冷性鉴定。

表3 供试茄子材料种子与幼苗的耐冷性鉴定

材料	冷害指数/%	相对发芽率/%	相对发芽势/%	脯氨酸增减率/%	丙二醛增减率/%
14c-5	24.21	100.00±0.00 a	109.69±7.31 a	57.53±14.74 cd	92.94±44.73 bc
14c-6	26.40	100.00±0.00 a	96.67±4.71 a	27.03±63.30 cd	112.65±20.54 abc
日本长茄	43.48	16.67±7.17 bc	11.11±6.29 bc	372.90±127.88 b	123.11±100.06 abc
甘肃长茄	45.00	100.00±0.00 a	95.83±5.89 a	-4.72±0.46 cd	72.74±57.88 bc
贵州铜仁紫长茄	41.33	75.83±16.62 a	0 c	35.81±70.95 cd	116.29±71.71 abc
盐城青长茄	29.09	33.33±14.85 b	0 c	-64.08±0.77 cd	114.75±8.96 abc
黑又亮	30.26	0 c	0 c	-77.67±2.88 cd	94.84±35.06 abc
特大紫罐茄	56.00	85.00±12.25 a	0 c	-23.97±10.91 cd	72.67±31.77 bc
荷包茄	61.43	0.85±1.21 c	0 c	-211.79±102.86 d	208.50±24.36 a
徐州睢宁紫长茄	58.40	3.33±3.12 bc	0 c	-88.06±9.18 cd	115.25±20.90 abc
快圆茄	63.43	1.04±1.47 c	16.67±6.60 bc	-28.96±6.04 cd	155.45±51.87 ab
三月茄	43.53	0 c	0 c	-59.14±5.41 cd	114.60±19.43 abc
观赏茄	35.56	8.42±3.03 bc	5.56±5.20 bc	738.79±148.88 a	12.94±43.05 c
赤茄	38.52	0 c	0 c	67.51±16.84 cd	55.37±57.50 bc
喀西茄	25.00	7.23±5.83 bc	33.33±9.20 bc	409.78±398.49 b	9.47±18.98 c
蒜芥茄	11.11	4.20±3.01 bc	0 c	83.47±47.79 c	20.79±25.91 c

表4 栽培茄和野生茄耐冷性指标间相关性分析

	相对发芽率	相对发芽势	冷害指数	丙二醛增减率	脯氨酸增减率	耐冷性强弱
相对发芽率	1.000					
相对发芽势	0.762**	1.000				
冷害指数	0.102	0.224	1.000			
丙二醛增减率	-0.019	-0.025	0.623**	1.000		
脯氨酸增减率	-0.145	-0.068	0.325*	0.644**	1.000	
耐冷性强弱	0.688**	0.726**	0.654**	0.583**	0.424*	1.000

注: \*表示显著相关( $P < 0.05$ ), \*\*表示极显著相关( $P < 0.01$ ), 下表同。

表5 栽培茄耐冷性指标间相关性分析

	相对发芽率	相对发芽势	冷害指数	丙二醛增减率	脯氨酸增减率	耐冷性强弱
相对发芽率	1.000					
相对发芽势	0.742**	1.000				
冷害指数	0.384*	0.448*	1.000			
丙二醛增减率	0.300*	0.180	0.458*	1.000		
脯氨酸增减率	-0.067	-0.009	0.280	0.653**	1.000	
耐冷性强弱	0.801**	0.794**	0.709**	0.652**	0.405*	1.000

运用平均隶属函数值对几个指标进行耐冷性的综合评定,使单个指标的局限性得以弥补,从而使评定结果更加准确(张红梅等,2011)。本试验利用相对发芽率、相对发芽势、冷害指数、丙二醛增

减率等4个指标对茄子耐冷性进行综合评价。如表6所示,14c-5、14c-6、甘肃长茄、赤茄、喀西茄、蒜芥茄均为强耐冷型;荷包茄、快圆茄和徐州睢宁紫长茄属于冷敏感型(表6)。

表6 低温胁迫下茄子耐冷性隶属函数值分析

茄子材料	隶属函数值				平均隶属函数值	耐冷性
	相对发芽率	相对发芽势	冷害指数	丙二醛增减率		
14c-5	1.000	1.000	0.750	0.581	0.833	HR
14c-6	1.000	0.881	0.708	0.482	0.768	HR
日本长茄	0.167	0.101	0.381	0.429	0.270	LR
甘肃长茄	1.000	0.874	0.352	0.682	0.727	HR
贵州铜仁紫长茄	0.758	0	0.422	0.463	0.411	R
盐城青长茄	0.333	0	0.656	0.471	0.365	MR
黑又亮	0	0	0.634	0.571	0.301	MR
特大紫罐茄	0.850	0	0.142	0.682	0.419	R
荷包茄	0.009	0	0.038	0	0.012	S
徐州睢宁紫长茄	0.033	0	0.096	0.469	0.149	S
快圆茄	0.010	0.152	0	0.267	0.107	S
三月茄	0	0	0.380	0.472	0.213	LR
观赏茄	0.084	0.051	0.533	0.983	0.412	R
赤茄	—	—	0.476	0.769	0.623	HR
喀西茄	—	—	0.735	1.000	0.868	HR
蒜芥茄	—	—	1.000	0.943	0.972	HR

注:HR,强耐冷;R,耐冷;MR,中等耐冷;LR,不耐冷;S,冷敏感。由于野生茄发芽的适宜温度与低温胁迫温度相差较大,故综合隶属函数值分析时未采用相对发芽率、相对发芽势的数据。

### 3 讨论

植物的抗寒性是由多种特异的数量性抗寒基因调控(简令成,1992),因此需要从多方面对耐冷性进行评价。由于单一化的指标在反映植物耐冷性方面具有局限性,应根据不同植物材料面对冷胁迫的反应机制,采取相互关联分析的方法,对多个指标采用隶属函数值综合评定植物的耐冷性,这不仅可以弥补单个指标的局限性,还可以使评定结果更加准确可靠(Park et al., 2010; Yang et al., 2012; Chen et al., 2014)。阎世江等(2013)针对形态学指标和生理指标的相关性,运用逐步回归分析的方法,建立回归方程 $Y = -0.554 + 1.138 4X_1 + 0.038 X_2$ (Y,耐低温性; $X_1$ ,茎粗; $X_2$ ,SOD活性),此体系不仅充分考虑苗期形态及生理指标这一宏观表现,又考虑了内在生理生化特性的变化。本试验的材料具有不同的耐冷特性,单个指标间也可能存在一些差异,而平均隶属函数值可以平衡鉴定结果,利用芽期和苗期多个指标对茄子材料耐冷性进行综合评价。野生茄的发芽能力较弱,且发芽适宜温度在

30~35℃,低温会影响野生茄的发芽能力(莫健文,2012)。本试验结果也表明低温下的发芽情况不适合野生茄的耐冷性鉴定,应该采用苗期生理特性进行野生茄的耐冷性鉴定。同时发现栽培茄的相对发芽率、相对发芽势与幼苗的冷害指数、丙二醛含量具有一定的相关性,种子的相对发芽率和相对发芽势可以作为栽培茄耐冷性鉴定的正相关指标,茄子幼苗的冷害指数和丙二醛增减率可以作为茄子耐冷性鉴定的负相关指标。

根据平均隶属函数值的评价结果,甘肃长茄属于强耐冷型,贵州铜仁紫长茄和观赏茄均为耐冷型;荷包茄、快圆茄和徐州睢宁紫长茄属于冷敏感型;野生材料赤茄、喀西茄和蒜芥茄都为强耐冷材料;实验室纯合材料14c-5和14c-6都为强耐冷型。这些耐冷材料为今后茄子耐冷性遗传机制及茄子耐冷育种研究提供了良好的材料支撑,可以通过分子手段从基因层面研究低温冷害分子机制,有助于了解作物的生长发育规律及响应低温胁迫机理,也有助于运用分子手段调节作物耐冷能力,从而为培育耐低温茄子品种提供理论依据和指导方法。

## 4 结论

经鉴定, 14c-5、14c-6、甘肃长茄和3份野生茄具有较强的耐冷性, 荷包茄、快圆茄和徐州睢宁紫长茄耐冷性都较差。栽培茄可以用相对发芽率、相对发芽势等芽期指标以及冷害指数、丙二醛增减率等苗期指标进行耐冷性鉴定; 而野生茄适合选用苗期指标, 即冷害指数和丙二醛增减率进行耐冷性鉴定。因此, 选择准确的指标可以鉴定出不同抗性的茄子材料, 为茄子抗性遗传研究和育种工作提供良好的材料保障。

### 参考文献

- 耿广东, 程智慧, 张素勤. 2006. 低温发芽鉴定茄子耐冷性的研究. 种子, 25 (6): 43-46.
- 简令成. 1992. 植物抗寒机理研究的新进展. 植物学通报, 9 (3): 17-22.
- 李锡香, 朱德蔚. 2006. 茄子种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社.
- 刘富中, 连勇, 冯东昕, 宋燕, 陈钰辉. 2005. 茄子种质资源抗青枯病的鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 6 (4): 381-385.
- 莫健文. 2012. 野生茄子种子发芽研究. 现代农业科技, (23): 68.
- 齐晓花, 张萍, 徐强, 陈学好. 2011. 黄瓜种子及幼苗期耐冷性鉴定. 中国蔬菜, (16): 34-38.
- 孙玉宏. 2002. 甜瓜耐冷(湿)性鉴定指标及耐冷(湿)性材料的筛选(硕士论文). 武汉: 华中农业大学.
- 王荣富. 1987. 植物抗寒指标的种类及其应用. 植物生理学通讯, (3): 49-55.
- 王学奎. 2006. 植物生理生化实验原理和技术. 2版. 北京: 高等教育出版社.
- 吴雪霞, 陈建林, 查丁石. 2008. 低温胁迫下不同茄子材料耐冷性的筛选. 武汉: 中国茄子大会暨学术研讨会.
- 阎世江, 张继宁, 刘洁. 2013. 不同来源茄子耐低温性的鉴定. 河北师范科技学院学报, 27 (1): 9-12.
- 阎世江, 张继宁, 刘洁. 2016. 低温条件下茄子发芽率及其与耐低温性的关系. 河北师范科技学院学报, 30 (2): 16-19.
- 杨莎, 马艳青, 朱晨曦, 邹学校. 2014. 辣椒耐低温性鉴定技术标准. 辣椒杂志, 12 (2): 11-13.
- 杨旭, 刘飞, 张宇, 成玉富, 薛林宝, 陈学好. 2016. 利用SSR标记研究茄子种质资源遗传多样性. 基因组学与应用生物学, 35 (12): 3450-3457.
- 姚明华, 徐跃进. 2001. 茄子种质资源的耐冷性鉴定. 植物遗传资源科学, (4): 49-52, 63.
- 张红梅, 金海军, 丁小涛, 余纪柱. 2011. 低温弱光下不同苦瓜自交系的生长和生理特性. 上海农业学报, 27 (3): 21-25.
- Chen Y, Jiang J F, Chang Q S, Gu C S, Song A P, Chen S M, Dong B, Chen F D. 2014. Cold acclimation induces freezing tolerance via antioxidative enzymes, proline metabolism and gene expression changes in two chrysanthemum species. Molecular Biology Reports, 41 (2): 815-822.
- Kaushik P, Prohens J, Vilanova S, Gramazio P, Plazas M. 2016. Phenotyping of eggplant wild relatives and interspecific hybrids with conventional and phenomics descriptors provides insight for their potential utilization in breeding. Frontiers in Plant Science, 7: 677.
- Park M R, Yun K Y, Mohanty B, Herath V, Xu F, Wijaya E, Bajic V B, Yun S J, de los Reyes B G. 2010. Supra-optimal expression of the cold-regulated *OsMyb4* transcription factor in transgenic rice changes the complexity of transcriptional network with major effects on stress tolerance and panicle development. Plant Cell & Environment, 33 (12): 2209-2230.
- Yang A, Dai X, Zhang W H. 2012. A R2R3-type MYB gene, *OsMYB2*, is involved in salt, cold, and dehydration tolerance in rice. Journal of Experimental Botany, 63 (7): 2541-2556.

## Studies on Identification of Chilling Tolerance in Eggplant and Its Wild Relative Resources

LIU Fei, DENG Ming-sheng, XU Rui, CHENG Yu-fu, YANG Xu\*

(College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China)

**Abstract:** In this experiments, we treated 16 eggplant materials with low temperature in budding and seedling stages, respectively. We conducted comprehensive evaluation on the cold tolerance of eggplant, and analyzed the cold tolerance index during eggplant budding and seedling stages by membership function value. The results showed that the 3 wild eggplants belonged to strong cold tolerant type; '14c-5', '14c-6' and 'Gansuchangqie' of cultivated ones belonged to strong cold tolerant type. While, 'Hebaoqie', 'Kuaiyuanqie' and 'Xuzhousuiningzichangqie' belonged to cold-sensitive type. The cold tolerance identification of wild eggplant was suitable to be applied by cold injury index and MDA increasing or decreasing rate. While, for the cultivated eggplant, relative germination rate, relative germination potential, cold injury index and MDA increasing or decreasing rate could be used to identify its cold tolerance.

**Key words:** Eggplant; Membership function value; Cold resistance