

开花期低温胁迫对辣椒生长和生理特性的影响

裴红霞, 高晶霞, 颜秀娟, 冯海萍, 赵云霞, 桑婷, 王学梅* (宁夏农林科学院种质资源研究所, 宁夏银川 750002)

摘要 [目的]分析低温胁迫下耐冷辣椒品系 1522 和冷敏感品系 1561 幼苗的生长及生理响应差异, 为获得辣椒耐低温指标及创制辣椒种质资源提供理论依据。[方法]以耐冷辣椒品系 1522、冷敏感辣椒品系 1561 为试验材料, 对花期低温胁迫过程中辣椒的株高、茎粗、叶片的叶绿素含量、渗透调节物质及抗氧化酶活性进行了测定。[结果]在辣椒花期低温胁迫期间, 1522 的株高、茎粗的变化量及叶绿素含量均高于 1561; 可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸含量先升后降, 1522 的积累量高于 1561; SOD、POD、CAT 活性均呈下降趋势, 且在同一低温胁迫下, 1522 各抗氧化酶活性均高于 1561。[结论]较高的抗氧化能力以及渗透调节能力可能是 1522 在开花期抗冷性较强的主要原因。

关键词 辣椒; 开花期; 低温胁迫; 生理特性

中图分类号 S641.3 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)17-0059-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.018



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Cold Stress on Growth and Physiological Characteristics of Pepper at Flowering Stage

PEI Hong-xia, GAO Jing-xia, YAN Xiu-juan et al (Institute of Germplasm Resources, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Science, Yinchuan, Ningxia 750002)

Abstract [Objective] The difference of growth and physiological response between chilling-tolerant strain 1522 and chilling-sensitive strain 1561 seedlings under low temperature stress was analyzed to provide theoretical basis for obtaining the index of chilling-tolerant and establishing germplasm resources of chilli. [Method] With chilling-tolerant strain 1522 and chilling-sensitive strain 1561 as test materials, the plant height, stem diameter, chlorophyll content, osmotic regulation substance and antioxidant enzyme activity of chilli pepper under low temperature stress during flowering were determined. [Result] The result shows that the plant height variation, the stem diameter variation and the chlorophyll II content of 1522 was higher than that of 1561. The contents of soluble sugar, the soluble protein and the proline content increased firstly and then decreased, and the accumulation of 1522 was more than that of 1561. During cold stress, the activity of SOD, POD and CAT reduced and the activity of each antioxidantase of 1522 was higher than that of 1561. [Conclusion] The indicators of 1522 was better than 1561, thus higher osmotic adjustment ability and antioxidant capacity might be the reasons of strong high resistance.

Key words Pepper; Flowering stage; Cold stress; Physiological characteristics

辣椒(*Capsicum* spp.)为茄科一年生或多年生作物,最早起源于中南美洲热带地区,属喜温性蔬菜,不耐低温,是我国栽培面积最大的蔬菜种类之一^[1-2],也是宁夏蔬菜产业的主要种类之一,占宁夏蔬菜栽培面积的 15% 以上,对宁夏农业增效、农民增收作用十分突出。但早春和秋冬季节的低温冷害常造成辣椒大面积落花落果,给辣椒造成了极大损失。因此,研究花期辣椒的耐低温机理,对筛选出耐低温的辣椒种质资源、指导辣椒耐低温育种及积极预防低温冷害具有重要意义。目前,关于低温胁迫对辣椒细胞保护酶类活性、渗透调节物质影响的研究已有相关报道。颜建明等^[3]研究了低温弱光下辣椒 3 种渗透调节物质含量的变化与品种耐性的关系;常静等^[4]以乐都长辣椒为材料,研究了在低温弱光和低温胁迫下叶绿素含量、光合作用、叶绿素荧光参数及部分生理特性的变化规律;王慧等^[5]研究了保椒在低温胁迫后,辣椒幼苗叶绿素含量、可溶性糖及脯氨酸含量、SOD、POD 的变化特性。但这些研究集中于对辣椒幼苗期短期耐冷性的研究^[3-5],而对于辣椒花期低温胁迫的生理响应的研究不多。笔者以开花期耐冷性差异显著的 2 个辣椒品系 1522(低温下结果率高、耐冷性强)和 1561(低温下单性结实、耐冷性弱)

为材料,通过人工气候箱模拟冬季日光温室低温环境,研究长期低温胁迫和适温下 2 个品系辣椒生长指标、叶片保护酶活性和渗透调节物质的变化及差异,分析了 2 个辣椒品系对低温胁迫响应的生理生化基础,探讨了辣椒耐冷的生理机理,旨在为辣椒耐冷新品种的选育及积极预防低温冷害提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为 1522、1561 2 个辣椒品系,种子由宁夏农林科学院种质资源研究所提供。

1.2 试验方法 于 2018 年 9 月催芽后,在宁夏农林科学院园林场基地温室内播种育苗,育苗基质为中青专用育苗基质,育苗期间按照常规管理。2 个品系的蕾期基本一致,待辣椒处于花蕾期(花蕾直径约 2 mm)时,放入人工气候箱,光照强度均为 1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右,光照时间为 6 h (09:00—10:00),湿度保持在 60% 左右,采用人工控制环境的方法,分别进行适温和低温处理。适温处理(CK): 09:00—10:00, 22 $^{\circ}\text{C}$; 10:00—12:00, 25 $^{\circ}\text{C}$; 12:00—15:00, 28 $^{\circ}\text{C}$; 15:00—16:00, 25 $^{\circ}\text{C}$; 16:00—24:00, 22 $^{\circ}\text{C}$; 24:00—09:00, 18 $^{\circ}\text{C}$; 低温处理(DW): 09:00—10:00, 15 $^{\circ}\text{C}$; 10:00—12:00, 22 $^{\circ}\text{C}$; 12:00—15:00, 25 $^{\circ}\text{C}$; 15:00—16:00, 22 $^{\circ}\text{C}$; 16:00—24:00, 15 $^{\circ}\text{C}$; 24:00—09:00, 8 $^{\circ}\text{C}$; 每个处理 30 株,选取长势一致的健壮幼苗 15 株进行试验,重复 3 次,分别于 0、4、8、12、16 d 取样进行相关指标的测定。

1.3 测定项目与方法 选定时期的处理结束后,立即测定

基金项目 宁夏农林科学院农业自主科技创新项目(NKYJ-19-04);宁夏自然科学基金项目(2018AAC03196);国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-23-G24)。

作者简介 裴红霞(1980—),女,山西运城人,助理研究员,硕士,从事蔬菜栽培和育种研究。*通信作者,研究员,从事蔬菜育种研究。

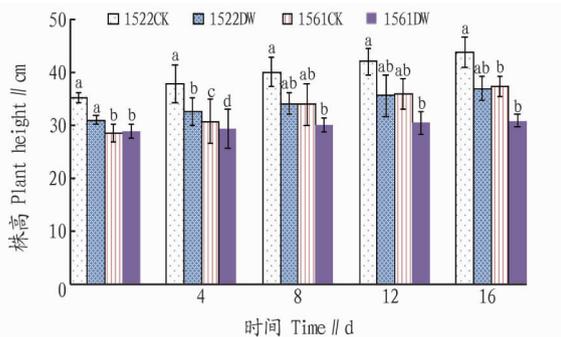
收稿日期 2019-12-09

相关指标:用卷尺、游标卡尺测量植株的株高及茎粗;用叶绿素仪 SPAD-502Plus 于 09:00—12:00 测定辣椒幼苗叶片(自生长点第 3 片功能叶)SPAD 值;采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(MDA)含量;采用氮蓝四唑法测定 SOD 活性;采用愈创木酚法测定 POD 活性;采用酸性茚三酮法测定脯氨酸含量(Pro);采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量。

1.4 数据分析 用 SPSS 20.0 统计软件对试验结果进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 开花期低温胁迫对辣椒生长指标的影响 从图 1~4 可以看出,低温胁迫下 2 个品系的辣椒幼苗株高、茎粗生长量均小于对照,其中 1522 在低温处理 4、8、12、16 d 的株高变化量分别为 2.00、1.40、1.30、1.20 cm,分别较对照下降了 13.04%、30.00%、27.78%、14.29%,茎粗的变化量分别为 0.37、0.06、0.10、0.23 cm,分别比对照下降了 36.21%、45.45%、28.57%、51.06%;1561 在低温处理 4、8、12、16 d 株高的变化量分别为 2.00、1.40、1.27、0.5 cm,分别较对照下降了 71.43%、78.21%、77.78%、69.23%,茎粗的变化量为 0.35、0.03、0.06、0.08 cm,分别较对照下降了 40.68%、90.63%、62.50%、70.37%。由此可知,2 个品系辣椒在受到低温胁迫后,株高、茎粗生长均受到了抑制,而且,在整个低温胁迫过程中,1561 生长受到的抑制程度均显著高于 1522。



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$)

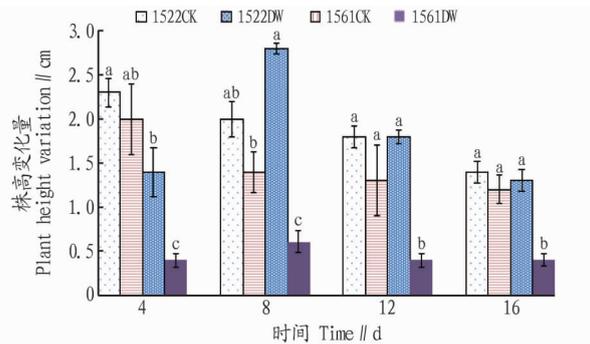
Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 1 不同处理对辣椒株高的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on plant height of pepper

2.2 开花期低温胁迫对辣椒叶片叶绿素含量的影响 叶绿素是植物叶片参与光合作用的重要色素,许多作物都采用 SPAD 值直观反映植物叶片叶绿素相对含量^[6-7]。由图 5 可知,在低温胁迫条件下,2 个辣椒品系的叶绿素 SPAD 值均随低温处理时间的延长大体呈降低趋势。到第 16 天时,1561 叶绿素与对照相比降低了 41.86%,而 1522 则比对照降低了 25.80%。低温胁迫 12 d 后,1561 的叶绿素含量降低幅度显著高于 1522,由此可见,低温胁迫下,1522 的叶绿素含量比 1561 稳定,能够保证辣椒植株叶片具有更高的光合能力。

2.3 开花期低温胁迫对辣椒叶片 MDA 含量的影响 由图 6 可知,随着低温胁迫时间的延长,2 个品系辣椒叶片中的

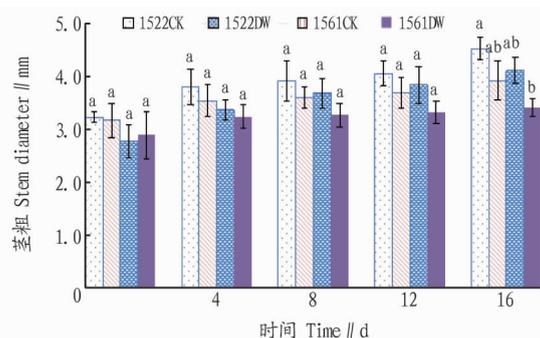


注:不同小写字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 2 不同处理对辣椒株高变化量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on plant height variation of pepper

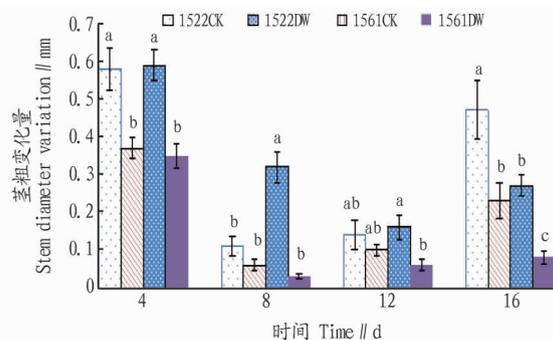


注:不同小写字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 3 不同处理对辣椒茎粗的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on stem diameter of pepper



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$)

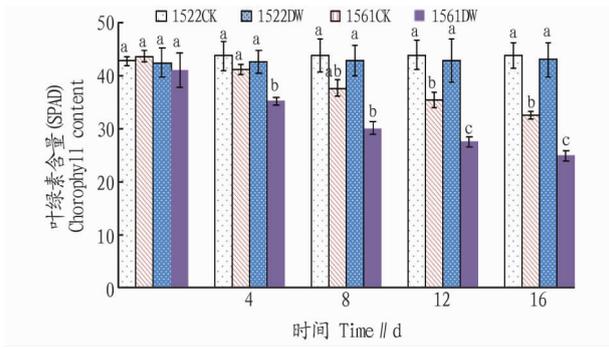
Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 4 不同处理对辣椒茎粗变化量的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on stem diameter variation of pepper

MDA 含量均表现为升高趋势,1561 的 MDA 含量升高幅度显著高于 1522。处理 12、16 d 时,1561 叶片中 MDA 含量分别比对照高 42.68%、51.20%,显著高于同一处理时期的 1522。

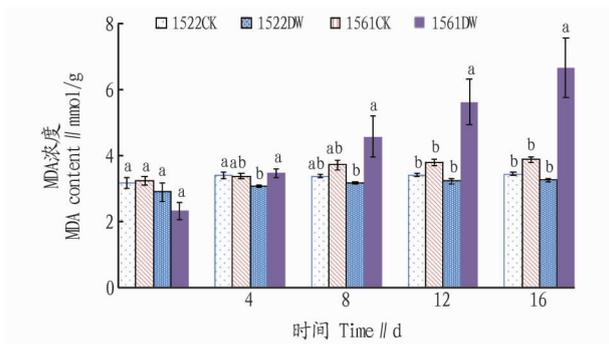
2.4 开花期低温胁迫对辣椒叶片抗氧化酶活性的影响 由图 7 可知,1561 的 SOD 活性随低温处理时间的延长显著下



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著 ($P < 0.05$)
 Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 5 不同处理对辣椒叶片叶绿素含量的影响

Fig. 5 Effects of different treatments on chlorophyll content of pepper leaves



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著 ($P < 0.05$)
 Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 6 不同处理对辣椒叶片 MDA 含量的影响

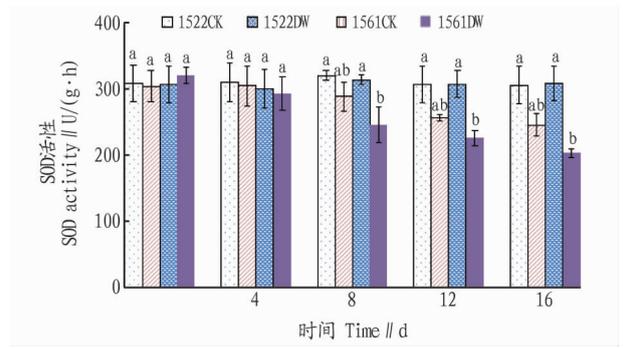
Fig. 6 Effects of different treatments on MDA content of pepper leaves

降,而 1522 的 SOD 活性在低温处理前 8 d 的变化均较为平缓,低温处理 12 d 时开始出现明显的下降。1561 在低温处理 16 d 时,比对照下降了 33.98%,1522 在低温处理 16 d 时,比对照下降了 19.67%。低温处理 4 d 后,相同胁迫处理的 1522 SOD 活性一直高于 1561。

从图 8 可以看出,2 个品系辣椒低温处理后,POD 活性的变化与 SOD 活性的变化较为相似。1522 在低温处理后,POD 活性呈缓缓下降趋势,1561 在低温处理后,POD 活性的下降程度明显高于 1522。1561 在低温处理 16 d 时,比对照下降了 33.98%,1522 在低温处理 16 d 时,比对照下降了 19.67%。

CAT 在活性氧清除系统中也具有重要作用^[8-9]。从图 9 可以看出,1522 的 CAT 活性在低温处理后基本趋于稳定,而 1561 在低温处理第 8 天时显著降低,与对照相比降低了 35.41%。低温处理 16 d 时,1522 的 CAT 活性显著高于 1561。

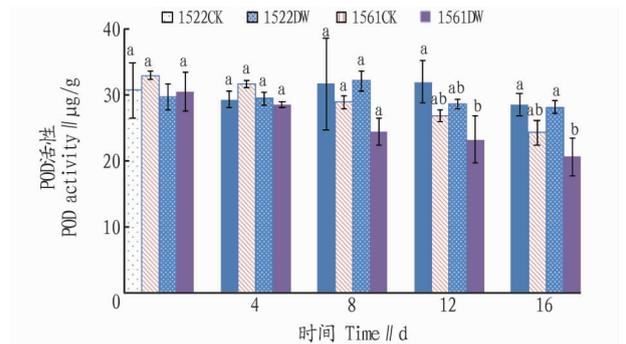
2.5 开花期低温胁迫对辣椒叶片中渗透调节物质的影响 从图 10 可以看出,1522 的脯氨酸含量在低温胁迫过程中先升高后降低,处理第 8 天时达到峰值,为对照的 1.38 倍,而 1561 在低温处理 4 d 时达到最大值,为对照的 1.78



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著 ($P < 0.05$)
 Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 7 不同处理对辣椒叶片 SOD 活性的影响

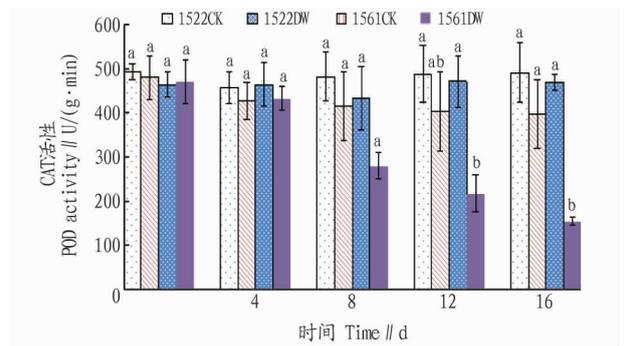
Fig. 7 Effects of different treatments on SOD activity of pepper leaves



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著 $P < 0.05$
 Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 8 不同处理对辣椒叶片 POD 活性的影响

Fig. 8 Effects of different treatments on POD activity of pepper leaves



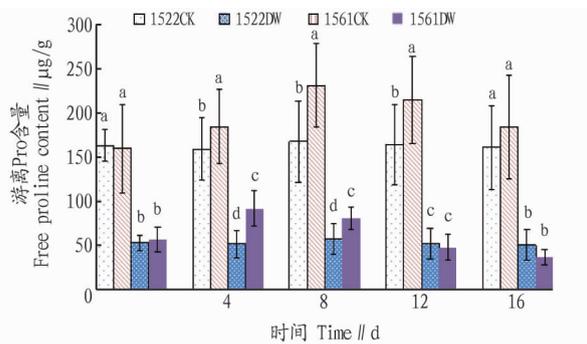
注:不同小写字母表示不同品系间差异显著 ($P < 0.05$)
 Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 9 不同处理对辣椒叶片 CAT 活性的影响

Fig. 9 Effects of different treatments on CAT activity of pepper leaves

倍。1522 叶片中的脯氨酸含量未经低温处理时显著高于 1561,这可能是 1522 持续抗低温能力较强的原因之一。

从图 11 可以看出,1522、1561 的可溶性蛋白含量在低温胁迫过程中均呈先升高后降低的趋势,1522 在低温处理第



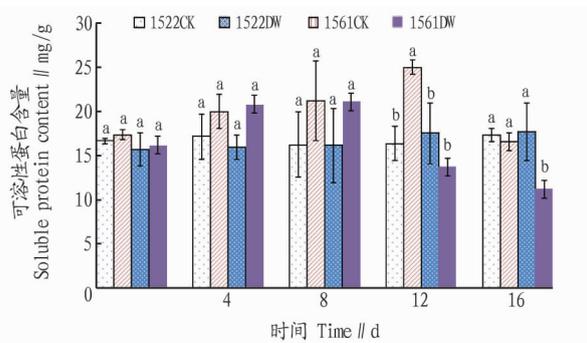
注:不同小写字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 10 不同处理对辣椒叶片游离 Pro 含量的影响

Fig. 10 Effects of different treatments on free proline content in pepper leaves

12 天达到最大值,为对照的 1.52 倍;而 1561 则在低温处理第 4 天时,可溶性蛋白含量达到最高,为对照的 1.52 倍,处理第 8 天时可溶性蛋白含量与第 4 天差异不大,第 12 天开始明显下降。可见 1522 持续耐低温的能力较强。



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 11 不同处理对辣椒叶片可溶性蛋白含量的影响

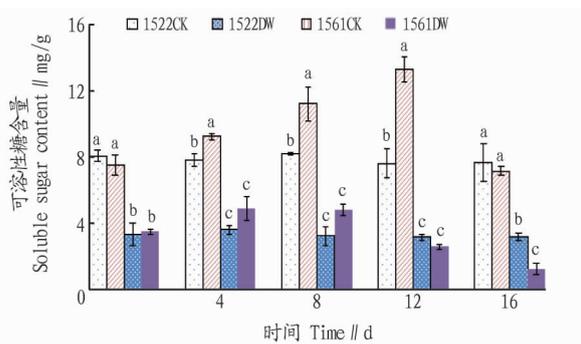
Fig. 11 Effects of different treatments on soluble protein content in pepper leaves

由图 12 可知,1522 叶片中的可溶性糖含量未经低温处理时显著高于 1561,且可溶性糖含量的变化规律与可溶性蛋白含量相似,1522 和 1561 可溶性糖含量随低温处理时间的延长先升高后降低。1522 在低温处理第 12 天时达到最大值,为对照的 1.74 倍,而 1561 在低温处理第 4 天达到最大值,为对照的 1.35 倍。这表明 1522 自身保护机制较 1561 更强,在开花期能较好地抵御冷害,与前期所得的结论相符。

3 结论与讨论

对辣椒开花期生长生理指标的研究认为,低温胁迫抑制了开花期辣椒的生长,随着低温胁迫时间的延长,辣椒的株高、茎粗、叶绿素含量、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性均呈下降趋势,丙二醛含量呈上升趋势,脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量均呈先增加后降低趋势。

丙二醛(MDA)浓度一定程度上反映了细胞膜受伤害的程度^[10-11]。较耐低温品系 1522 在低温处理后 MDA 含量上



注:不同小写字母表示不同品系间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters mean significant difference between different varieties at 0.05 level

图 12 不同处理对辣椒叶片可溶性糖含量的影响

Fig. 12 Effects of different treatments on soluble sugar content in pepper leaves

升幅度低于不耐低温品系 1561,说明耐低温性较强的辣椒品系 1522 其细胞膜受到的低温伤害较小。SOD、POD、CAT 是植物体内主要的 ROS 酶促清除系统,通常也可以用来衡量植物的抗冷性^[12-14]。该研究中,随着低温胁迫时间的延长,2 个品系辣椒叶片的 SOD、POD、CAT 活性均表现为下降趋势,这与前人的研究结果较为相似^[15]。但在同一低温胁迫下,1522 的 3 种酶活性均高于 1561,表明低温胁迫下 1522 叶片的抗氧化能力较强,其叶片内 MDA 含量显著低于 1561,是 1522 耐寒性强于 1561 的生理原因之一。

通常作物抗逆性越强,脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白等一些渗透调节物质含量越高^[16-18]。该研究中,正常条件下耐低温品系 1522 的可溶性糖、脯氨酸含量均高于不耐低温品系 1561,且在同一低温胁迫下,1522 的脯氨酸、可溶性糖积累量远高于 1561,表明低温胁迫下,1522 进行了脯氨酸、可溶性糖合成的过程,用于抵御低温逆境。因此,较强的生长势、抗氧化力以及渗透调节能力可能是 1522 较 1561 抗寒性的主要生理原因。

参考文献

- [1] 邹学校. 中国辣椒[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [2] 王立浩,张正海,曹亚从,等.“十二五”我国辣椒遗传育种研究进展及其展望[J]. 中国蔬菜,2016(1):1-7.
- [3] 颜建明,郁继华,颜敏华,等. 低温弱光下辣椒 3 种渗透调节物质含量变化及其与品种耐性的关系[J]. 西北植物学报,2009,29(1):105-110.
- [4] 常静,郭磊,现在武. 低温弱光胁迫对辣椒叶片生理特性和光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(10):113-116.
- [5] 王慧,周小梅. 低温胁迫对辣椒相关生理生化指标的影响[J]. 山西农业科学,2015,43(2):152-154.
- [6] 裴红霞,崔静英,赵云霞,等. 五种不同防渗承载模式对沙摆樱桃番茄生长生理指标的影响[J]. 北方园艺,2014(22):32-35.
- [7] 杨德光,孙玉瑀,ALI RAZA IRFAN,等. 低温胁迫对玉米发芽及幼苗生理特性的影响[J]. 东北农业大学学报,2018,49(5):1-8.
- [8] 邓化冰,史建成,肖应辉,等. 开花期低温胁迫对水稻剑叶保护酶活性和膜透性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2011,37(6):581-585.
- [9] 杨再强,张波,张继波,等. 低温胁迫对番茄光合特性及抗氧化酶活性的影响[J]. 自然灾害学报,2012,21(4):168-174.
- [10] 吴燕,陈杰,高青海. 不同基因型黄瓜幼苗对低温胁迫恢复过程的生理响应[J]. 分子植物育种,2018,16(9):2948-2954.
- [11] 吉雪花,钱渝. 三种盐胁迫对线辣椒生理特性的影响[J]. 北方园艺,2017(20):1-6.

(下转第 127 页)

才能进入下一道程序,这是由于事后发现前道程序出现错漏时,无法进行局部修补,只能返工重做。屋顶绿化施工界面小,没有额外的材料堆场或加工场地,因此施工进度必须按计划进行,不能抢工期或搞人海战术。总结屋顶绿化施工限制因素有:①场地限制,卸货处无法吊运,而吊运处不能卸货;②施工时间限制,屋顶绿化只能在周末或晚间施工;③设备使用限制,商务楼屋顶绿化施工时,只能在下班后使用指定货梯。

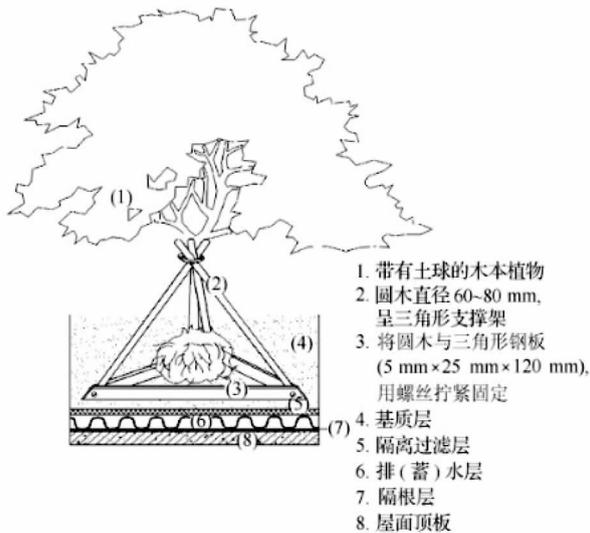


图 5 地上支撑法示意

Fig. 5 Schematic diagram of ground support method

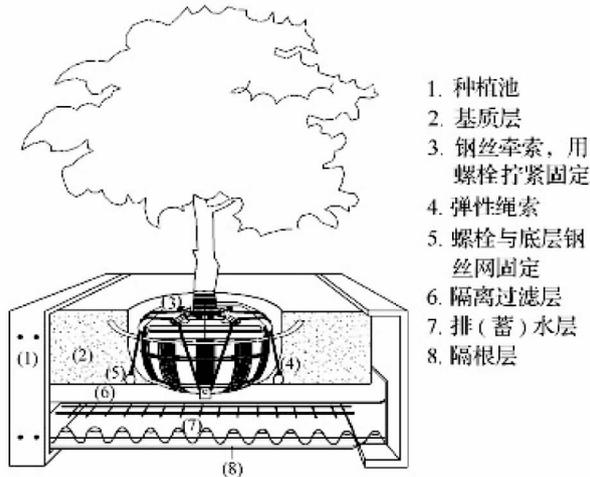


图 6 树木地下固定法示意

Fig. 6 Schematic diagram of underground fixation of trees

提出以下建议对策:①基于场地限制等因素,尽量将成品或半成品运送至屋顶;②现场施工需做好场地保护,避免

任何锋利的物料、工具与阻根层和防水层直接接触,硬质材料的堆放处必须有防护垫,运输通道需铺设防护板,翻斗车前撑脚用橡胶色包裹。除此之外,需禁止施工人员穿带铁钉的皮鞋,禁止在屋顶上使用钉钯、尖锹等锋利的工具;③完善售后服务,使屋顶绿化保持良好状态。众多案例表明,由施工单位负责养护的屋顶绿化景观面貌保存良好,而移交业主养护的屋顶绿化往往被疏于管理,景观面貌逐年下降,甚至出现荒废退化现象。施工单位可建立屋顶绿化项目养护跟踪档案,一方面提高养护水准,另一方面可对业主进行病虫害防治、补水、修剪等知识培训。

目前我国对屋顶绿化的重视逐渐加强,2010 年住房和城乡建设部发布新版《国家园林城市标准》,将“立体绿化推广”纳入园林城市指标体系^[11];2017 年 3 月,国务院参事、住房和城乡建设部原副部长、中国城市科学研究会理事长仇兴阐述了立体化的城市功能和空间将成为解决面临的问题和保持城市紧凑发展的有效途径。北京、上海等城市也相继推出鼓励措施,如上海市在市绿委办的组织推动下,屋顶绿化可折算成地面绿化面积,以鼓励业主建设屋顶绿化。根据近几年的施工经验发现,屋顶绿化施工技术还存在较多问题,如乔木未得到合理固定支撑、屋顶绿化泥土流失、植物根系穿透阻根防水层甚至穿透屋面、缺乏养护导致植物死亡等。因此,国内屋顶绿化的发展需总结多年经验教训,规范设计、施工、检查验收和养护管理,加强国内外屋顶绿化技术的学习交流,积极引进国外屋顶绿化先进技术,以全方位支持国内屋顶绿化的发展。

参考文献

- [1] ZIRKELBACH D, MEHRA S R, SEDLBAUER K P, et al. A hygrothermal green roof model to simulate moisture and energy performance of building components[J]. *Energy and buildings*, 2017, 145: 79-91.
- [2] 董楠楠, 吴静, 石鸿, 等. 基于环境效能的屋顶绿化研究性设计: 以同济大学屋顶花园为例[J]. *风景园林*, 2019, 26(7): 107-112.
- [3] 张小静. 广西绿色建筑节地与节能关键技术增量成本研究[J]. *绿色建筑*, 2017(4): 23-25.
- [4] 周军民. 屋顶绿化相关概念的辨析及生态建筑的构想[J]. *现代园艺*, 2016(17): 97-99.
- [5] 韩丽莉. 屋顶绿化系统技术[J]. *建设科技*, 2005(10): 42-43.
- [6] 吴海燕, 吴锦华. 花园式种植屋面设计: 以银城屋顶花园为例[J]. *园林*, 2015(4): 46-51.
- [7] 王月宾, 单进, 韩丽莉. 国内屋顶绿化施工技术解析[J]. *中国园林*, 2015, 31(11): 18-21.
- [8] Centre for Urban Greenery&Ecology. Guidelines on design loads for rooftop greenery[M]. Singapore: Centre for Urban Greenery&Ecology, 2010: 9-10.
- [9] Centre for Urban Greenery&Ecology. Guidelines on substrate layer for rooftop greenery[M]. Singapore: Centre for Urban Greenery&Ecology, 2010: 9-10.
- [10] 郭柳. 屋顶绿化施工技术要点分析[J]. *河北林业科技*, 2016(6): 70-72.
- [11] 马思云. 城市立体绿化初探[J]. *中外建筑*, 2014(7): 118-120.
- [12] 郝平安, 梁芳, 张燕, 等. 低温胁迫对蝴蝶兰光合及生理特性的影响[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(10): 1955-1962.
- [13] 杨萍, 李杰. 2,4-表油菜素内酯对低温胁迫下辣椒幼苗抗氧化系统的影响[J]. *北方园艺*, 2017(21): 7-12.
- [14] 李彩霞, 林碧英, 申宝营, 等. 低温对茄子幼苗生理特性的影响及耐冷性指标的筛选[J]. *福建农业学报*, 2018, 33(9): 930-936.
- [15] 邹志荣, 陆帼一. 低温对辣椒幼苗膜脂过氧化和保护酶系统变化的影响[J]. *西北农业学报*, 1994, 3(3): 51-56.
- [16] THEOCHARIS A, CLÉMENT C, BARKA E A. Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures[J]. *Planta*, 2012, 235(6): 1091-1105.
- [17] FEDOTOVA M V, DMITRIEVA O A. Proline hydration at low temperatures: Its role in the protection of cell from freeze-induced stress[J]. *Amino acids*, 2016, 48(7): 1685-1694.
- [18] 李猛, 吕亭辉, 邢巧娟, 等. 瓜类蔬菜耐低温性评价与调控研究进展[J]. *园艺学报*, 2018, 45(9): 1761-1777.

(上接第 62 页)