

不同引发温度对番茄砧木种子萌发及幼苗耐冷性的影响

吴帼秀¹, 徐有权¹, 石 聪², 李 阳¹, 李严曼¹, 崔丹丹¹, 李胜利¹

(1. 河南农业大学园艺学院 郑州 450046; 2. 河南省农产品质量安全和绿色食品发展中心 郑州 450002)

摘要: 以番茄砧木种子为材料, 以蛭石为引发基质, 研究了不同温度引发对种子发芽特性、幼苗生长及耐冷性的影响, 以筛选出适合番茄砧木种子引发的温度。结果表明, 与未进行引发处理的 CK 相比, 10、15、25、5 °C/20 °C 种子引发可不同程度地促进种子萌发、增大壮苗指数, 降低幼苗低温逆境下的冷害指数和电解质渗漏率, 并通过增加可溶性糖和可溶性蛋白质含量, 提高超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性及根系活力增强耐冷性; 低温 10、15 °C 和变温 5 °C/20 °C 引发效果优于常温 25 °C 引发, 其中 5 °C/20 °C 引发的发芽率、发芽指数、壮苗指数分别是 CK 的 1.58 倍、5.90 倍和 2.43 倍, 低温胁迫下可溶性糖和可溶性蛋白质含量分别是 CK 的 4.0 倍和 1.5 倍, 且冷害指数最低。综上及耐冷指标的隶属函数值可知, 变温 5 °C/20 °C 引发效果最好, 其次为 10 °C 和 15 °C 恒温引发。

关键词: 番茄砧木; 引发温度; 种子萌发; 低温胁迫; 耐冷性

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)11-078-08

Effects of different priming temperature on seed germination and cold resistance of seedlings in tomato rootstock

WU Guoxiu¹, XU Youquan¹, SHI Cong², LI Yang¹, LI Yanman¹, CUI Dandan¹, LI Shengli¹

(1. College of Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, Henan, China; 2. Henan Agricultural Product Quality Safety and Green Food Development Center, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: To screen out the suitable seed priming temperature, we studied the effects of different priming temperature on seed germination, seedling growth and cold resistance of tomato rootstock using vermiculite as the priming substrate. The results showed that compared with CK without priming treatment, seed priming at 10 °C, 15 °C, 25 °C and 5 °C/20 °C could promote seed germination, increase seedling strength index, reduce chilling injury index and electrolyte leakage of seedlings under chilling stress, and improve cold tolerance by increasing soluble sugar and soluble protein content, the activities of superoxide dismutase, peroxidase and catalase, and root activity. The priming effect at low temperatures of 10 °C, 15 °C and variable temperatures of 5 °C/20 °C were better than that at room temperature of 25 °C. Among them, the germination rate, germination index and seedlings strength index after priming at 5 °C/20 °C were 1.58 times, 5.90 times and 2.43 times that of CK, respectively. Under low temperature stress, the soluble sugar and soluble protein content were 4.0 times and 1.5 times that of CK, respectively, and the cold damage index of 5 °C/20 °C treatment was the lowest. According to the above indexes and the membership function values of the cold resistance, it can be seen that the priming effect at changing temperature of 5 °C/20 °C was the best, followed by the constant temperature priming at 10 °C and 15 °C.

Key words: Tomato rootstock; Priming temperature; Seed germination; Chilling stress; Cold tolerance

种子引发(seed priming)又称渗透调节,最早是由 Heydecker 教授在 1973 年提出的,通过控制供水条件,使种子慢慢吸收水分,并逐步恢复干燥的种子预处理技术^[1]。目前常见的引发技术有渗透引

发、固体基质引发、水引发、膜引发和生物引发等^[2]。其中固体基质引发作为一项高效、简易、低成本的引发技术,在生产上具有重要的意义,常用的基质有蛭石、珍珠岩、沙等。方萍萍等^[3]利用蛭石、

收稿日期: 2023-03-27; 修回日期: 2023-08-29

基金项目: 河南省大宗蔬菜产业技术体系项目(HARS-22-07-S)

作者简介: 吴帼秀,女,副教授,主要从事设施蔬菜栽培生理与分子生物学研究。E-mail: guoxiu87@sina.com

通信作者: 李胜利,男,教授,主要从事设施栽培和工厂化育苗研究。E-mail: lslhc@yeah.net

珍珠岩、椰糠对老化的黄瓜种子进行引发,发现蛭石和珍珠岩引发处理均可不同程度地提高老化种子的萌发率和萌发速度,而椰糠处理的种子萌发特性与对照差异不显著。为了缩短胚根突破种皮的时间,不同作物的种子引发均需要适宜的温度和时间,引发温度和时间控制不当会造成种子吸胀伤害^[4]。经过引发处理后的种子,能够加快种子的发芽速率,促进幼苗健壮生长,同时还能够调节种子内的水解酶、呼吸酶活性等,进一步强化种子的发芽能力和幼苗的抗逆性^[5-6]。Cao等^[7]采用褪黑素对糯玉米种子进行引发处理,发现其可以通过调节抗氧化系统及淀粉代谢促进低温下的种子萌发,同时褪黑素对甜菜种子、黄瓜种子也具有一定的引发作用^[8-9]。

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)由于口感佳、营养价值丰富,深受人们的喜爱。作为主要的设施栽培作物之一,番茄已实现了周年生产供应,因此造成重茬现象逐年增多,导致连作障碍严重,土壤退化,疫病、枯萎病等土传病害和土壤栽培生理问题频发。目前嫁接是克服连作障碍、提高植株抗病性、防止土传病害的最有效措施^[10],但番茄砧木种子本身存在发芽率低、出苗不整齐等问题。因此,提高番茄砧木种子的发芽率和发芽势对降低嫁接成本、提高生产效率具有重要意义。种子引发作为一种有效手段,通过渗透调节作用于种子内部并发生各种生理和生化变化,从而修复和保护细胞结构免受破坏,使细胞维持其正常的生理活性,有效提升植物的抗逆性。但目前的引发技术较为杂乱,缺乏针对性,且影响引发的因素复杂多样,因此,笔者旨在研究不同温度下蛭石引发对砧木种子发芽、幼苗生长与耐冷性的影响,为番茄砧木开发低成本的引发介质、探索最适的引发条件,从而达到促进砧木种子萌发,提高嫁接苗抗逆性的效果。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2020年3—6月在河南农业大学园艺学院工厂化育苗实验室完成。供试砧木品种为杂交种金棚砧木一号(JZM-1)番茄,根系发达,耐寒性强,由西安金鹏种苗有限公司培育与提供。固体基质引发材料为蛭石,粒径为0.4~1.0 mm,蛭石容重为0.23 g·cm⁻³,在试验前对蛭石进行充分干燥与消毒处理。

1.2 试验设计

1.2.1 引发处理 引发基质含水量及引发时间由预试验确定。引发处理按照种子干质量:蛭石干质量为1:10的比例,引发时调整基质含水量为40%。将蛭石、水和种子均匀混合后放于培养皿中,然后随机置于不同温度的培养箱中进行引发试验,温度设置如表1所示(恒温处理包括5、10、15、20、25℃,变温处理包括5℃/20℃、10℃/20℃、15℃/20℃,时间设定为12 h/12 h)。每天测定培养皿质量,按照首次质量确定加水量,保持蛭石含水量40%。引发9 d后,将各处理的种子和固体基质全部倒出,使用分样筛将番茄砧木种子筛出。在室温且通风的环境条件下回干至种子原始含水量,即测定质量为恒质量时停止,将种子保存起来备用。

1.2.2 发芽试验 以未进行引发处理、常温保存的种子为对照(CK),将各处理的种子先用50~55℃热水进行温汤浸种,然后在蒸馏水中浸泡8 h。浸种后取2层滤纸平放在直径为9 cm的一次性塑料培养皿中,用水喷湿滤纸,将种子均匀置于滤纸上,在MGC-250智能光照培养箱内25℃黑暗条件下培养,每天观察种子的发芽个数(以胚芽突破种皮1 mm作为发芽标准),按照《农作物种子检验规程》^[11]的检验方法,在发芽试验第2天统计发芽势,第7天统计发芽率。每个处理3次重复,每个重复100粒番茄砧木种子。

表1 蛭石引发温度设置

Table 1 Vermiculite priming temperature setting

°C

处理	引发温度
T(5)	5
T(10)	10
T(15)	15
T(20)	20
T(25)	25
T(5/20)	5/20
T(10/20)	10/20
T(15/20)	15/20

1.2.3 幼苗耐冷性试验 通过上一步试验,筛选出T(10)、T(15)、T(25)和T(5/20)4个处理和CK进行对比试验。试验使用72孔育苗穴盘,每个处理育2盘,3次重复。当3叶1心时,移入MGC-250型智能光照培养箱内进行低温处理(昼/夜温度为10℃/5℃,光周期为昼/夜=12 h/12 h)。

1.3 项目测定方法

1.3.1 种子发芽特性 发芽势/%=2 d内发芽种子总数/供试种子总数×100; (1)

发芽率/%=7 d 内总发芽数/供试种子总数×100;
(2)

发芽指数(GI)=Σ(Gt/Dt)(Gt:在时间 t 日内发芽的种子数;Dt:发芽日数)。(3)

1.3.2 幼苗生长量 当幼苗 3 叶 1 心时,分别选取不同处理幼苗 10 棵,3 次重复,用直尺测定株高,游标卡尺测定茎粗,电子天平测定干鲜质量,并计算壮苗指数^[12]。

壮苗指数=(茎粗/株高+根干质量/地上部干质量)×全株干质量。(4)

1.3.3 生理指标测定 将 3 叶 1 心幼苗的根系洗净擦干,剪成 1 cm 的均匀小段并称取 0.2 g 至试管中,采用 TTC 法测定根系活力^[13]。参考 Zhao 等^[14]的方法在低温处理 1、3、5 d 时取样测定幼苗冷害指数。在低温 0、5 d 时,取 3 株幼苗的第 2 片叶,参照赵世杰等^[15]的方法进行电解质渗漏率(electrolyte leakage, EL)的测定和计算;参照王爱国等^[16]的方法测定超氧阴离子 O₂⁻含量。采用葱酮比色法测定可溶性糖含量^[13];采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白质含量^[14]。采用氮蓝四唑(NBT)还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,以反应被抑制 50%时的酶液用量作为 1 个酶活性单位^[17];采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性^[18];采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性^[19];参照 Nakano^[20]方法测定抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性,以 1 min 内 290 nm 吸光度值的变化值表示酶活性。采用丙酮和乙醇 1:1 (体积比)浸泡法提取叶绿素,用紫外分光光度计 U-5100 测定叶绿素含量^[21]。

1.3.4 隶属函数值 利用模糊数学中隶属函数的方法,计算参试材料耐冷性指标的隶属函数值,对各项指标进行间接的耐冷性评价,并累加比较不同品种的耐冷性^[22]。

1.4 数据分析

采用 SPSS 统计软件进行方差分析,采用 LSD 法进行差异显著性分析;采用 Microsoft Office 2016 作图。

2 结果与分析

2.1 不同引发温度对番茄砧木种子发芽特性的影响

由表 2 可知,8 个引发处理的发芽指标均显著高于 CK,其中在恒温引发各处理中,T(15)处理发芽情况最好,发芽势和发芽指数最高,发芽率仅低于 T(10)处理,二者差异不显著,发芽率和发芽指数分别是 CK 的 1.62 倍和 4.35 倍。在变温引发各处理中,T(5/20)的发芽势和发芽指数最高;T(10/20)处理的发芽率最高,是 CK 的 1.77 倍。

表 2 不同引发温度对番茄砧木种子发芽的影响

Table 2 Effects of different priming temperatures on seed germination of tomato rootstock

处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数
CK	0.0±0.00 h	44.0±3.06 f	3.92±0.29 g
T(5)	4.0±1.15 g	56.0±3.02 e	7.42±1.18 f
T(10)	28.0±3.05 e	72.0±2.31 b	12.79±1.01 e
T(15)	38.7±2.91 c	71.3±5.21 bc	17.07±1.65 c
T(20)	27.3±4.37 ef	58.7±3.53 e	13.60±1.56 e
T(25)	35.3±2.40 cd	64.0±5.03 d	16.36±0.66 cd
T(5/20)	59.3±0.67 a	69.3±4.67 c	23.11±1.22 a
T(10/20)	50.7±2.40 b	78.0±3.06 a	20.96±0.70 b
T(15/20)	24.0±3.06 f	55.3±2.40 e	11.57±0.83 e

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

2.2 不同引发温度对番茄砧木幼苗形态指标的影响

在上一步试验研究的基础上,选 T(10)、T(15)、T(25)和 T(5/20)4 个处理,进行后续研究。

由表 3 可看出,不同温度的种子引发对幼苗的生长量具有一定的影响。T(10)、T(15)、T(25)和 T(5/20)的茎粗、地下部鲜质量、壮苗指数均显著高于 CK;地上部鲜质量除 T(15)处理显著高于 CK 外,其他处理与 CK 差异不显著;T(15)处理的地上部及地下部鲜质量均显著高于其他处理,且比 CK 分别高了 48.36%和 78.12%;T(5/20)处理的株高显著低于 CK 和其他处理,但壮苗指数显著高于 CK 和

表 3 不同引发温度处理对番茄砧木幼苗形态指标的影响

Table 3 Effects of different priming temperatures on morphological indexes of tomato rootstock seedlings

处理	株高/mm	茎粗/mm	地上部鲜质量/g	地下部鲜质量/g	壮苗指数
CK	137.67±2.96 a	2.76±0.07 b	3.04±0.22 b	0.32±0.06 d	0.07±0.003 d
T(10)	131.00±18.73 a	2.92±0.35 a	3.25±0.55 b	0.38±0.08 c	0.10±0.020 c
T(15)	138.00±28.73 a	2.83±0.41 a	4.51±1.17 a	0.57±0.14 a	0.15±0.030 b
T(25)	147.70±13.57 a	2.89±0.23 a	3.61±0.54 b	0.49±0.13 b	0.14±0.020 b
T(5/20)	103.67±1.76 b	2.94±0.07 a	3.06±0.05 b	0.47±0.04 b	0.17±0.003 a

其他处理,是CK的2.43倍;其次为T(15)和T(25)处理,壮苗指数分别是CK的2.14倍和2.00倍。

2.3 不同引发温度对番茄砧木幼苗耐冷性的影响

2.3.1 不同引发温度对低温胁迫下番茄幼苗根系活力的影响 嫁接生产中主要保留的是砧木苗的根系与茎段部分,因此砧木根系活力与幼苗嫁接之后的植株生长情况密切相关。由图1可知,各处理的幼苗在低温胁迫下根系活力均显著高于CK,其中T(5/20)处理的根系活力最高,是CK的5.19倍,其次是T(10)处理,是CK的4.97倍,T(15)、T(25)处理的根系活力分别是CK的4.13倍和2.10倍。

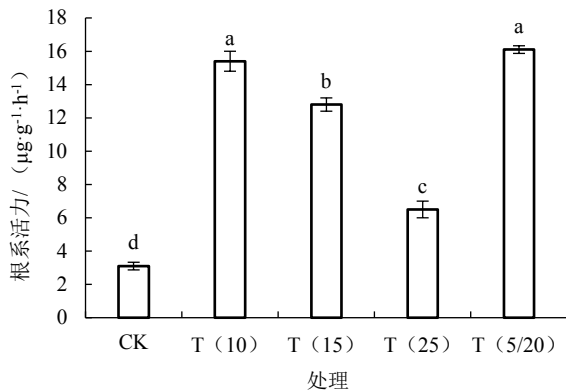


图1 不同引发温度对低温胁迫下番茄砧木幼苗根系活力的影响

Fig. 1 Effects of different priming temperatures on root activity of tomato rootstock seedlings under chilling stress

2.3.2 不同引发温度对低温胁迫下番茄幼苗冷害指数的影响 冷害指数能够从植物外部形态上直观反映出植株受冷害程度。由表4可以看出,随着低温胁迫时间的延长,各处理的冷害指数逐渐增大,说明受冷害程度加重。在低温第1天时,CK就表现出一定的冷害症状,T(5/20)和T(25)处理的冷害症状极轻,T(10)和T(15)处理无任何症状。在

表4 不同引发温度对低温胁迫下番茄砧木幼苗冷害指数的影响

Table 4 Effects of different priming temperatures on chilling injury index of tomato rootstock seedlings under chilling stress

处理	低温胁迫时间/d		
	1	3	5
CK	0.13 a	0.46 a	0.66 a
T(10)	0.00 c	0.07 d	0.33 c
T(15)	0.00 c	0.00 e	0.26 d
T(25)	0.07 b	0.33 b	0.53 b
T(5/20)	0.07 b	0.13 c	0.20 e

低温第3天时,CK受冷害程度显著高于其他处理,T(5/20)和T(10)处理有轻微症状,T(15)处理无冷害症状。胁迫5d后,CK的幼苗冷害程度最为严重,其次是T(25)处理,T(10)、T(15)和T(5/20)处理的幼苗耐冷性均较强,受害程度较轻,其中T(5/20)处理的冷害指数最小,显著低于其他处理。

2.3.3 不同引发温度对低温胁迫下番茄幼苗电解质渗漏率及超氧阴离子含量的影响 由图2-A可知,低温胁迫后CK、T(15)和T(5/20)处理的电解质渗漏率均呈现不同程度的升高,其中CK较低温前升高了29.76%,T(15)和T(5/20)处理分别升高23.21%和5.52%,而T(10)和T(25)2个处理与低温前相比,电解质渗漏率分别下降13.55%和9.78%。低温后各处理的电解质渗漏率均显著低于CK,在引发处理中,T(15)处理的电解质渗漏率高于其他3个处理,与T(25)和T(5/20)处理呈显著差异。

从图2-B可看出,低温前各处理的超氧阴离子含量均处于较低水平,且T(10)处理的超氧阴离子

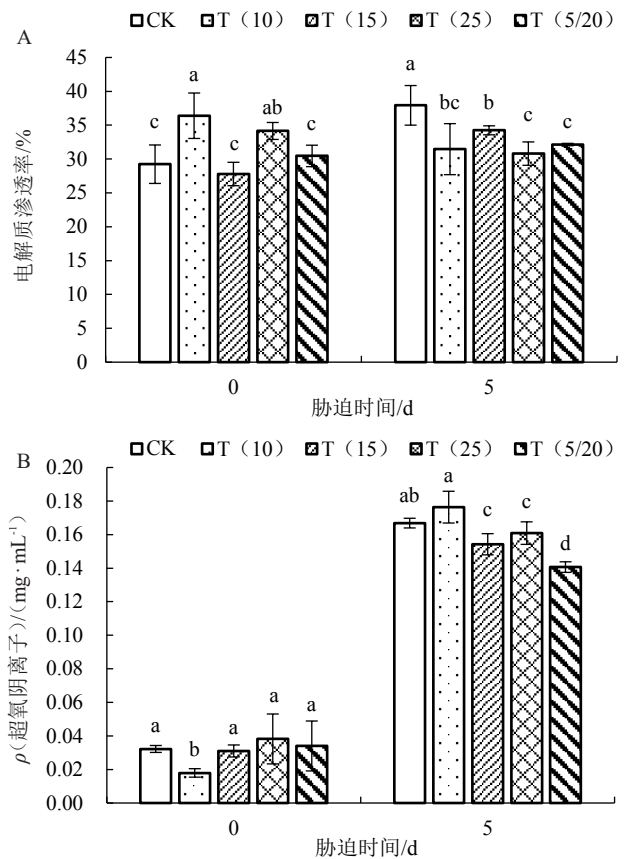


图2 不同引发温度对低温胁迫下番茄砧木幼苗电解质渗漏率及超氧阴离子含量的影响

Fig. 2 Effects of different priming temperatures on electrolyte leakage rate and superoxide anion content of tomato rootstock seedlings under chilling stress

含量显著低于CK及其他处理;低温5 d后,各处理的超氧阴离子含量急剧上升,其中T(10)处理的超氧阴离子含量与CK差异不显著,T(15)、T(25)、T(5/20)处理的超氧阴离子含量则均显著低于CK和T(10)处理,且各处理中以T(5/20)的超氧阴离子含量最低,显著低于其他处理。

2.3.4 不同引发温度对低温胁迫下番茄幼苗叶绿素、可溶性蛋白质和可溶性糖含量的影响 由图3-A可看出,低温胁迫前,T(10)、T(15)、T(25)处理的叶绿素含量均显著高于CK,其中T(10)处理叶绿素含量最高,T(5/20)处理与CK差异不显著;低

温胁迫5 d后,仅T(5/20)处理的叶绿素含量升高,其他处理均不同程度下降,且T(5/20)处理比CK显著提高32.03%,但其他3个处理与CK差异不显著。由图3-B可知,低温前后,T(10)的可溶性蛋白质含量均显著高于CK及其他处理;低温5 d后,T(10)、T(15)、T(25)、T(5/20)的可溶性蛋白质含量分别是CK的1.84倍、1.26倍、1.65倍、1.47倍,与CK呈显著差异。由图3-C可看出,低温前,T(25)处理的可溶性糖含量显著高于CK及其他处理,而T(10)处理的可溶性糖含量则显著低于CK及其他处理;低温胁迫后,T(10)和T(5/20)处理的可溶性糖含量急剧增加,分别是低温前的3.09倍和1.46倍;而CK和T(25)处理分别比低温前降低了69.18%和71.13%;低温胁迫后,T(10)、T(15)、T(5/20)处理的可溶性糖含量均显著高于CK,分别是CK的2.14倍、3.18倍、4.04倍。

2.3.5 不同引发温度对低温胁迫下番茄幼苗抗氧化酶活性的影响 由图4-A可知,低温胁迫前,T(25)处理的SOD活性最高,显著高于CK和其他处理;低温5 d后,除CK外,各处理的SOD活性均升高,T(10)、T(15)、T(25)、T(5/20)处理分别比低温前升高了74.41%、50.52%、8.43%、33.33%,且低温后的SOD活性分别是CK的1.95倍、1.93倍、1.80倍和1.52倍,均显著高于CK。由图3-B可看出,低温前T(25)和T(5/20)处理的POD活性较高,与CK和其他2个处理呈显著差异;低温胁迫后,除T(15)处理的POD活性升高外,其他各处理的均不同程度降低,其中CK的降低幅度最大,较低温前降低75.44%,T(10)、T(25)与T(5/20)处理的POD活性则分别较低温前降低17.69%、10.97%、44.48%,且均显著高于CK。由图3-C可知,低温后各处理CAT活性均有所升高,其中低温前T(25)处理的活性较高;低温胁迫后,T(10)处理的CAT活性较低温前提高80.86%,且活性是CK的2.00倍,T(25)、T(5/20)处理的CAT活性也均显著高于CK。由图3-D可看出,低温前CK和T(25)处理的APX活性显著高于其他处理;低温胁迫后,T(15)处理的APX活性升高,其他处理的APX活性均降低,T(10)、T(25)、T(5/20)和CK的APX活性较低温前分别降低了17.33%、45.98%、55.88%和20.43%,T(15)处理的APX活性是CK的1.16倍,显著高于CK,而其他处理均显著低于CK。

2.3.6 不同引发温度对低温胁迫下番茄幼苗耐冷性影响的综合评价 由表5可见,各处理耐冷指标

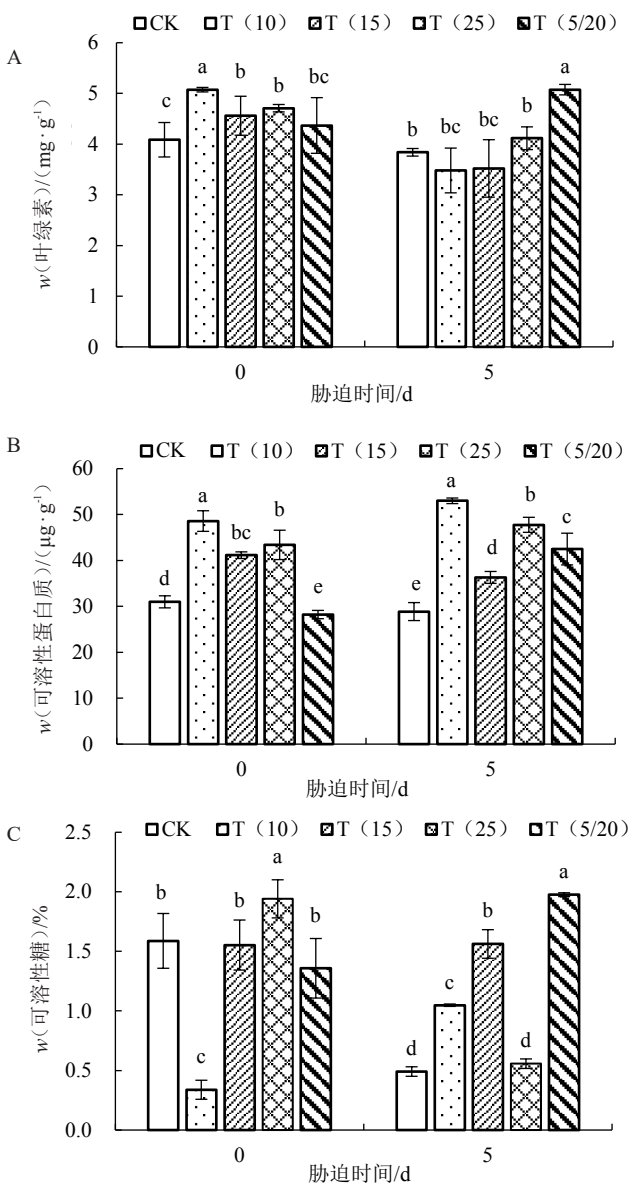


图3 不同引发温度对低温胁迫下番茄砧木幼苗叶绿素、可溶性蛋白质和可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effects of different priming temperatures on chlorophyll, soluble protein and soluble sugar content of tomato rootstock seedlings under chilling stress

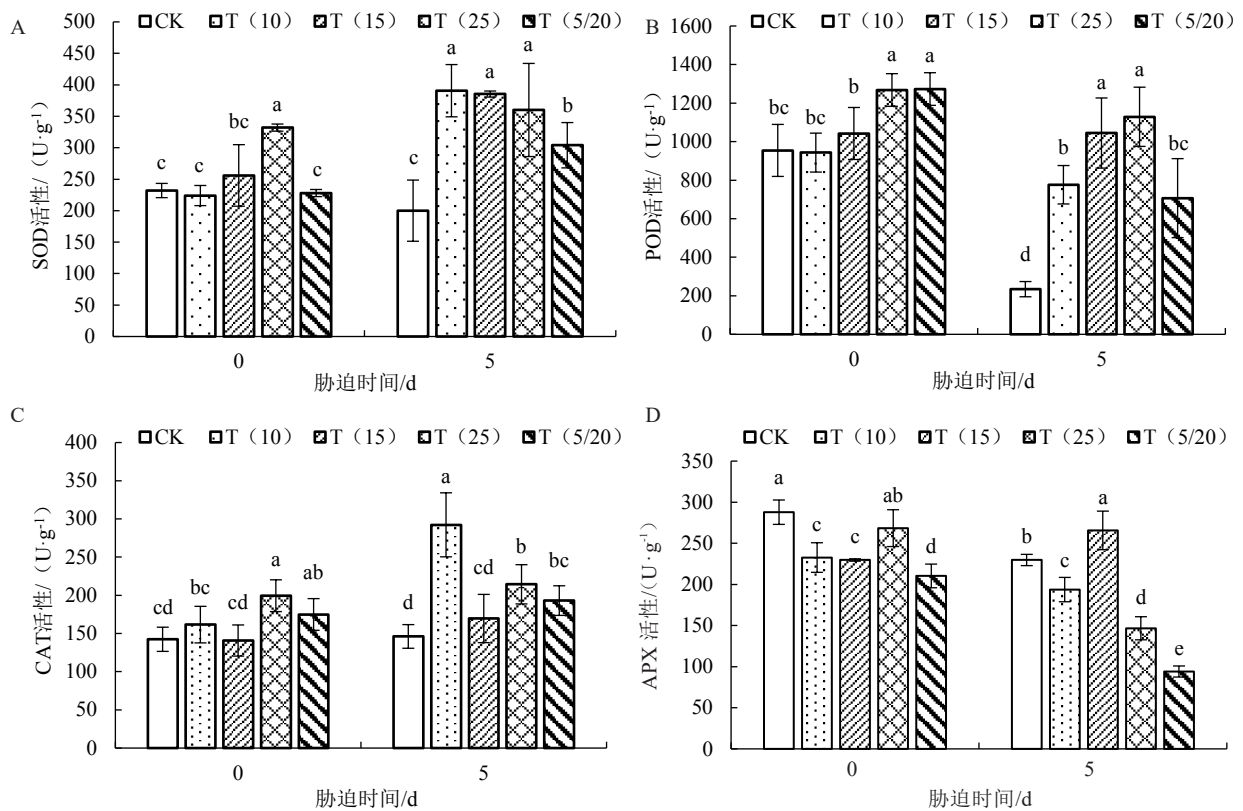


图4 不同引发温度对低温胁迫下番茄砧木幼苗抗氧化酶活性的影响

Fig. 4 Effects of different priming temperatures on antioxidant enzyme activities of tomato rootstock seedlings under chilling stress

表5 不同温度引发对低温胁迫后番茄砧木幼苗耐冷性指标影响的综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of cold tolerance indexes of tomato rootstock seedlings under chilling stress induced by different priming temperatures

处理	隶属函数值							总计
	冷害指数	根系活力	电解质渗漏率	超氧阴离子含量	抗氧化酶活性	可溶性蛋白质含量	可溶性糖含量	
CK	0.00	0.00	0.00	0.25	0.18	0.00	0.00	0.43
T(10)	0.72	0.95	0.91	0.00	0.79	1.00	0.38	4.72
T(15)	0.87	0.75	0.52	0.60	0.74	0.31	0.72	4.50
T(25)	0.28	0.26	1.00	0.42	0.65	0.78	0.04	3.44
T(5/20)	1.00	1.00	0.81	0.98	0.35	0.56	1.00	5.71

的隶属函数值均高于CK。从整体来看,T(5/20)耐冷指标的隶属函数值最高,其次是T(10)。在引发处理中,T(25)处理的隶属函数值最低。说明种子引发可增强幼苗耐冷性,其中5℃/20℃变温引发效果最好,其次是低温10℃恒温引发处理,常温25℃引发幼苗耐冷性最差,但仍高于未引发处理CK。

3 讨论与结论

种子在萌发的过程中,由于吸水过快会造成吸胀伤害,为避免这种现象的发生,需要适当控制种子引发的温度与时间^[4]。前人研究表明,发芽温度

为25℃时,随着引发温度的下降,发芽效果优于对照处理,当引发温度为15℃时,种子发芽效果最优^[23]。在本试验中,笔者分别采用了几种恒温和变温处理进行种子引发,发现不同温度引发均可改善种子发芽效果,在恒温处理中,10℃和15℃引发后,种子的发芽势、发芽率和发芽指数均较高,随着引发温度增高或降低,发芽情况均变差;在变温处理中,5℃/20℃和10℃/20℃引发的效果好于15℃/20℃,说明在一定范围内昼夜温差越大,处理效果越好。以上可能是由于低温预处理引起种子内源激素的变化,从而打破种子休眠,促进其萌发^[24]。同时,笔者研究发现引发可促进幼苗的生长,

提高壮苗指数,这与 Askari 等^[25]的研究结果相似,认为由于引发处理,促进了种子更好地萌发,从而使幼苗能够充分利用周围的环境及营养,能更好更快地生长。林多等^[26]研究发现昼夜交替变温处理对促进种子萌发效果较好,笔者的研究也表明相对于恒温引发,T(5/20)昼夜变温引发更有利于种子萌发及幼苗生长,其次是 T(15)、T(10)低温引发,与武冲等^[27]认为对种子进行适当的低温预处理可增强幼苗生长势具有相似的结论。而这一现象的产生可能与种子引发引起的萌发前代谢有关,从吸胀到根萌发的过程中意味着能量代谢、DNA 和膜修复机制、储存转录物质的周转、转录和翻译、细胞延伸的激活等^[28]。

砧木抗性的强弱直接影响着嫁接苗的抗性。低温胁迫作为番茄设施栽培中经常遭遇的逆境之一,可引起植株活性氧的积累,且细胞膜结构和功能被破坏,胞内电解质外渗,引起植物生理生化紊乱,严重的会导致植物死亡。笔者在本试验中发现,与对照相比,种子蛭石引发处理可适当降低低温胁迫下番茄砧木幼苗的冷害指数、超氧阴离子含量(10℃处理除外)及电解质渗漏率,增大可溶性糖和可溶性蛋白质含量,同时提高 SOD、POD 和 CAT 活性,从而增强幼苗耐冷性。这与霍文雨^[29]关于蛭石引发可诱导番茄幼苗耐盐性研究的结论类似。决定嫁接苗耐冷性强弱的另一个重要因素是砧木的根系^[30]。在笔者的研究中,在低温胁迫下各处理的幼苗根系活力均显著高于 CK,其中 T(5/20)、T(10)处理的最高,其次是 T(15)、T(25)处理。根系活力高则有助于吸收更多的矿物质和水分,从而供给地上部生长发育及干物质的积累,促进壮苗的形成,提高幼苗逆境耐受性。综合来看,T(5/20)处理的幼苗受低温伤害最轻,其次是 T(10)和 T(15)处理,T(25)处理的效果差一些,而在幼苗未遭遇低温逆境时,低温引发的优势则不如常温引发的优势明显。对于高等植物,若在引发或锻炼的过程中事先处于生物或非生物胁迫中,会使植物对未来遭遇的逆境更具有抵抗力^[31]。这可能与种子引发过程中关键信号物质及转录因子表达水平的变化有关,这种刺激可能留下一个表观遗传标记,使该区域处于“允许”状态,促进对后续逆境更快、更有效地反应,因此种子时期适当的低温或变温锻炼可增强植株的耐冷性。

综上所述,对种子采取适当的引发处理可促进萌发,并可提高幼苗的耐低温能力。5℃/20℃昼夜

变温引发对种子发芽、幼苗生长及耐冷性的正面影响最为明显,其次为恒温 10℃和 15℃引发,生产中可根据生产条件及需求选择适宜番茄砧木种子引发的温度。

参考文献

- [1] HEYDECKER W, HIGGENS J, GULLIVER R L. Accelerated germination by osmotic seed extract[J]. *Nature*, 1973, 246: 73-88.
- [2] DEMIR I, OZTOKAT C. Effect of salt priming on germination and seedling growth at low temperatures in watermelon seeds during development[J]. *Seed Science and Technology*, 2003, 31(3):765-770.
- [3] 方萍萍,耿牧帆,李晓栋,等. 固体基质引发提高黄瓜种子活力研究[J]. *中国蔬菜*, 2013(18):61-66.
- [4] HARDEGREE S P. Optimization of seed priming treatments to increase low-temperature germination rate[J]. *Journal of Range Management*, 1996, 49(1):87-92.
- [5] SHAH A A, AHMED S, ABBAS M, et al. Seed priming with 3-epibrassinolide alleviates cadmium stress in *Cucumis sativus* through modulation of antioxidative system and gene expression[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 265:109203.
- [6] SINGH A, BANERJEE A, ROYCHOUDHURY A. Seed priming with calcium compounds abrogate fluoride-induced oxidative stress by upregulating defence pathways in an indica rice variety[J]. *Protoplasma*, 2020, 257(3):767-782.
- [7] CAO Q J, LI G, CUI Z G, et al. Seed priming with melatonin improves the seed germination of waxy maize under chilling stress via promoting the antioxidant system and starch metabolism[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9:15044.
- [8] 杨然,兴旺,刘大丽,等. 不同浓度褪黑素对甜菜种子的引发影响[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(27):19-25.
- [9] 银珊珊,周国彦,顾博文,等. 褪黑素引发对干旱胁迫下黄瓜幼苗生理特性的影响[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(19):30-36.
- [10] 杨雪. 番茄砧木劈接茄子育苗嫁接技术[J]. *现代农业科技*, 2018(12):81.
- [11] 中华人民共和国国家标准. 农作物种子检测规程 发芽试验: GB/Y 3543.4—1995[S]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [12] 阮松林,薛庆中. 植物的种子引发[J]. *植物生理学通讯*, 2002, 38(2):198-201.
- [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] ZHAO D Y, SHEN L, FAN B, et al. Physiological and genetic properties of tomato fruits from 2 cultivars differing in chilling tolerance at cold storage[J]. *Journal of Food Science*, 2009, 74(5):348-352.
- [15] 赵世杰,史国安,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002.
- [16] 王爱国,罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. *植物生理学通讯*, 1990(6):55-57.
- [17] BEYER W F J, FRIDOVICH I. Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequences of minor changes in

- conditions[J]. Analytical Biochemistry, 1987, 161(2):559-566.
- [18] OMRAN R G. Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase, and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings[J]. Plant Physiology, 1980, 65(2):407-408.
- [19] BILAL H, HASSAN S A, KHAN I A. Isolation and efficacy of entomopathogenic fungus (*Metarhizium anisopliae*) for the control of aedes albopictus skuse larvae: Suspected dengue vector in Pakistan[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2012, 2(4):298-300.
- [20] NAKANO Y, ASADA K. Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; Its inactivation in ascorbate-depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical[J]. Plant and Cell Physiology, 1987, 28(1):131-140.
- [21] LICHTENTHALER H K, WELLBURN A R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents[J]. Biochemical Society Transactions, 1983, 11(5):591-592.
- [22] 李福德, 付鑫, 毕焕改, 等. 不同黄瓜砧木对低温弱光胁迫的响应及与 ABA 含量的关系[J]. 中国蔬菜, 2019(5):30-37.
- [23] 古吉, 马文广. 不同萌发温度下红花大金元种子引发温度的筛选研究[J]. 种子, 2017, 36(3):16-20.
- [24] 魏娟, 肖亮, 易自力, 等. 低温和植物生长物质对南荻种子萌发的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2015, 41(6):616-620.
- [25] ASKARI A, ARDAKANI M R, PAKNEJAD F, et al. Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 257:108749.
- [26] 林多, 陈宁, 杨延杰. 不同变温处理对长白楸木种子萌发及生理特性的影响[J]. 种子, 2013, 32(6):82-84.
- [27] 武冲, 尹燕雷, 陶吉寒, 等. 盐胁迫对低温预处理石榴种子萌发及幼苗生理生化的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(1):161-167.
- [28] PAGANO A, MACOVEI A, BALESTRAZZI A. Molecular dynamics of seed priming at the crossroads between basic and applied research[J]. Plant Cell Reports, 2023, 42(4):657-688.
- [29] 霍文雨. 蛭石引发对番茄种子发芽及幼苗耐盐性的影响[D]. 南京:南京农业大学, 2018.
- [30] 韩敏, 曹逼力, 刘树森, 等. 番茄嫁接苗根穗互作对其耐冷性的影响[J]. 园艺学报, 2018, 45(2):279-288.
- [31] BRUCE T J A, MATTHES M C, NAPIER J A, et al. Stressful "memories" of plants: Evidence and possible mechanisms[J]. Plant Science, 2007, 173(6):603-608.