

引发对低温胁迫下不同类型玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响

李洁, 徐军桂, 林程, 关亚静, 胡晋*

浙江大学农业与生物技术学院种子科学中心, 杭州310029

摘要: 选用‘农大108’ (普通玉米)、‘美玉3号’ (糯玉米)和‘香甜1号’ (甜玉米)种子为材料, 分别采用水引发、砂引发、KNO₃和KH₂PO₄混和溶液引发对种子进行处理。引发后, 分别进行种子低温发芽试验和幼苗低温生长试验, 研究不同引发处理对低温胁迫(5°C)下种子萌发和幼苗生长(3个阶段: 5°C低温处理前、5°C低温处理3 d后和25°C恢复生长3 d后)的影响。结果表明: 三种引发方法均对三种类型玉米的发芽率没有显著影响, 但均显著提高了三种类型玉米种子的发芽势、发芽指数、地上部苗高及苗干鲜重, 缩短了平均发芽时间。水引发和砂引发处理均显著降低了三种类型玉米种子的相对电导率, 而溶液引发仅显著降低了甜玉米的相对电导率。三种引发处理增加了普通玉米各处理阶段、甜玉米低温处理前和恢复生长3 d后幼苗叶绿素含量以及糯玉米恢复生长3 d后的幼苗叶绿素含量。低温处理前和处理后, 水引发增强了三种类型玉米的过氧化物酶(POD)活性; 低温处理后, 砂引发显著提高了三种玉米的过氧化氢酶(CAT)活性; 恢复生长3 d后, 砂引发提高了三种类型玉米的POD、CAT和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性, 溶液引发均增加了三种玉米的APX活性。三种引发均显著降低了低温处理后糯玉米和甜玉米的丙二醛(MDA)含量。三种引发均提高了普通玉米、糯玉米和甜玉米种子的活力和抗寒性。砂引发更能提高糯玉米种子的活力, 水引发更能提高甜玉米种子的活力, 对于普通玉米种子三种引发方法差异不明显。

关键词: 玉米; 种子引发; 低温胁迫; 种子萌发; 幼苗生长

国内外学者一直关注和研究植物抗逆问题, 期望解密植物如何抵御各种逆境及其机制, 培育出产量高、品质好、抗逆强的农作物品种, 满足日益增加的人口对粮食的需求(张建华和章文华2015)。玉米是粮饲兼用型的主要粮食作物, 在早春播种时常会遇到低温逆境, 引起种子出苗率降低、出苗延缓、成苗率低, 甚至使种子完全失去发芽力, 造成大面积缺苗, 从而造成严重的经济损失。种子引发是提高种子活力的一种方法(胡晋2014), 又称渗透调节, 通过控制种子缓慢吸水使其停留在吸胀吸水的第2阶段, 让种子进行预发芽的生理生化代谢和修复作用, 使之处于发芽的准备状态。目前常用的引发方法有水引发、溶液引发和砂引发, 然而, 引发方法之间的比较以及低温逆境下不同引发方法对不同类型玉米种子萌发及幼苗生长的效果尚未见报道。本研究旨在系统探讨上述三种常用引发方法对低温胁迫下三种玉米类型(普通玉米、糯玉米和甜玉米)种子萌发以及幼苗(3个阶段: 5°C低温处理前、5°C低温处理3 d后和25°C恢复生长3 d后)生长的影响, 探讨不同类型玉米种子最适合的引发方法, 为玉米种子引发技术的研究与应用提供参考。

材料与方 法

1 材料

三种类型玉米种子: 普通玉米(*Zea mays* L.)

‘农大108’、糯玉米(*Zea mays* L. *sinensis* Kulesh) ‘美玉3号’和甜玉米(*Zea mays* L. *saccharata* Sturt.) ‘香甜1号’。

2 方法

2.1 种子引发处理

2.1.1 水引发

按照1:20 (m/V)的配比把三种玉米种子浸泡在自来水中, 用充气泵持续充氧, 20°C黑暗条件下引发12 h, 引发结束后取出种子, 于自来水下快速冲洗, 用吸水纸吸干种子表面浮水, 室温下回干至种子原始水分。

2.1.2 砂引发

将砂子洗净, 130°C烘干至恒重。普通玉米和糯玉米种子与干砂的配比为1:10 (m/m), 甜玉米种子与干砂的配比为1:20 (m/m)。加水将混和物配成8%含水量的砂子, 置床。20°C黑暗条件下引发24 h, 结束后取出种子, 于自来水下快速冲洗, 用吸水纸吸干种子表面浮水, 室温下回干至种子原始水分。

收稿 2015-11-01 修定 2015-12-23

资助 国家公益性行业(农业)科研专项(201203052)、浙江省自然科学基金(LY15C130002)、浙江省科技厅项目(2012C12902-6-5)、国家自然科学基金(31371708和31201279)、中央高校基本科研业务费专项资金(2015QNA6019)和江苏省现代作物生产协同创新中心(JCIC-MCP)项目。

* 通讯作者(E-mail: jhu@zju.edu.cn)。

2.1.3 溶液引发

KNO_3 和 KH_2PO_4 按1:1 (m/m)配制成1%和2% (m/m)的混和水溶液。将玉米种子按1:20 (m/V)的配比浸泡在混和溶液中,其中普通玉米浸泡于2%混和溶液,甜玉米和糯玉米浸泡于1%混和溶液。用充气泵持续通气,20°C黑暗条件下引发12 h,引发结束后取出种子,于自来水下快速冲洗,用吸水纸吸干种子表面浮水,室温下回干至种子原始水分。

2.2 电导率测定

将引发和未引发的玉米种子随机取50粒,3次重复。用去离子水快速冲洗后,用滤纸吸去种子表面水分,将种子放入洁净的100 mL烧杯中,加入80 mL去离子水,以去离子水做空白对照,于20°C恒温条件下浸泡24 h,用电导仪(DDS-307)测定溶液电导率。再将种子及浸泡液置于沸水浴中10 min,冷却后测定绝对电导率,并计算相对电导率(=浸泡液电导率/绝对电导率)。

2.3 种子低温发芽实验

玉米种子采用纸卷直立发芽,3次重复,每个重复有2个亚重复,每个亚重复25粒种子。放入25°C培养箱中培养1 d后,5°C低温处理3 d,然后在25°C下恢复正常发芽条件。每天统计发芽数,第4天和第7天的发芽数分别用于计算发芽势和发芽率,7 d后计算发芽指数、平均发芽时间和活力指数。继续生长至第10天,随机选取10株幼苗,测定根长、苗高、胚芽鞘长,及根、苗的鲜重,于80°C烘箱中烘24 h后测定根、苗的干重。

发芽指数= $\sum(G_i/D_i)$; 平均发芽时间(d)= $\sum(G_i D_i)/\sum G_i$; 式中, G_i 为逐日发芽种子数, D_i 为相应发芽日数。活力指数=发芽指数 \times 10株苗的干重。

2.4 幼苗低温生长实验

玉米种子采用基质床培养生长,3个重复,每个重复50粒种子。放入25°C培养箱中培养5 d至幼苗长至两叶一心后,给予5°C低温处理3 d,然后再25°C恢复生长3 d。分别于5°C低温处理前、5°C低温处理处理后、25°C恢复生长3 d后取适量叶片样品参照李合生(2000)的方法测定叶绿素和脯氨酸的含量,并测定抗氧化酶类活性和丙二醛(MDA)的含量(Guan等2009),以每分钟吸光度值变化0.01为1个酶活性单位(U)。

2.5 数据分析

数据用SAS软件进行方差分析,百分比数据在分析前进行反正弦转换 $[y=\arcsin(x/100)^{1/2}]$ 。多重比较采用LSD ($\alpha=0.05$)。

实验结果

1 引发对低温逆境下玉米发芽指标及幼苗生长的影响

3 d、5°C的低温处理明显延缓种子发芽,恢复25°C后,经引发处理的种子能够快速发芽,如表1所示,三种引发处理对于普通玉米的效果差别不大,但其活力指数都显著高于未引发的种子,发芽时间显著短于未引发的种子。对于甜玉米,引发后平均发芽时间均显著短于对照,但三种引发间无显著差异。对于糯玉米,经砂引发的种子出苗最快,发芽时间最短,但与水引发和溶液引发的差异不显著。各引发方法对三种类型玉米种子最终发芽率没有很大影响,主要是使种子发芽时间缩短,促进出苗整齐。

引发除能够一定程度上促进玉米幼苗主根生长外,对玉米幼苗地下部分影响不大(表2),各引发方法均能明显促进三种类型玉米幼苗地上部分的生长。低温逆境下,各引发处理的幼苗苗高、胚芽鞘长及苗干鲜重均明显高于对照。

三种引发方法在一定程度上均能促进三种类型玉米的生长,但是不同玉米类型引发方法间有一定差异:砂引发和溶液引发能够显著增加普通玉米的根长,而水引发没有显著的促进作用,砂引发较水引发和溶液引发能够显著增加普通玉米胚芽鞘长;溶液引发较水引发和砂引发能够显著促进糯玉米根长和胚芽鞘长;水引发和溶液引发能够显著增加甜玉米根干重和苗干重,砂引发也有一定的促进作用但没有达到显著水平,水引发较砂引发和溶液引发能够显著促进甜玉米苗高和胚芽鞘长。

2 引发对玉米种子电导率的影响

水引发和砂引发均能显著降低三种类型玉米种子的相对电导率(图1),溶液引发能显著降低甜玉米的相对电导率,对普通玉米和糯玉米没有影响。

3 引发对低温逆境下玉米幼苗叶绿素含量的影响

对于普通玉米,低温处理后对照的幼苗叶绿

表1 引发对低温逆境下玉米种子萌发的影响

Table 1 Effect of priming on seed germination of corn under low-temperature stress

种子类型	处理方法	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	平均发芽时间/d	活力指数
普通玉米	对照	0 ^b	87 ^a	18.53 ^b	6.17 ^a	6.96 ^b
	水引发	1.3 ^a	91 ^a	21.06 ^a	6.08 ^b	9.82 ^a
	砂引发	1.3 ^a	89 ^a	21.05 ^a	6.05 ^b	10.69 ^a
	溶液引发	0.6 ^{ab}	89 ^a	20.58 ^{ab}	6.07 ^b	10.93 ^a
糯玉米	对照	0 ^b	98 ^a	19.51 ^b	6.23 ^a	7.41 ^b
	水引发	0 ^b	96 ^a	20.32 ^{ab}	6.17 ^{ab}	9.50 ^a
	砂引发	1.3 ^a	99 ^a	22.07 ^a	6.11 ^b	9.87 ^a
	溶液引发	0 ^b	95 ^a	20.46 ^{ab}	6.15 ^b	10.11 ^a
甜玉米	对照	2.7 ^b	73 ^a	17.98 ^b	6.02 ^a	4.94 ^b
	水引发	22.7 ^a	78 ^a	21.55 ^a	5.85 ^b	7.34 ^a
	砂引发	18 ^a	74 ^a	19.71 ^{ab}	5.89 ^b	6.11 ^{ab}
	溶液引发	16.7 ^a	75 ^a	20.06 ^{ab}	5.90 ^b	6.81 ^a

同一指标下同种玉米不同处理方法的数据间用不同小写字母标识表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

表2 引发对低温逆境下玉米幼苗生长的影响

Table 2 Effect of priming on seedling growth of corn under low-temperature stress

类型	处理方法	根鲜重/g	苗鲜重/g	根干重/g	苗干重/g	根长/cm	苗高/cm	胚芽长/cm
普通玉米	对照	4.28 ^b	4.35 ^c	0.47 ^a	0.38 ^c	14.71 ^b	9.10 ^b	4.46 ^b
	水引发	5.44 ^a	5.37 ^b	0.61 ^a	0.47 ^b	16.36 ^a	10.97 ^a	4.73 ^{ab}
	砂引发	5.11 ^a	5.73 ^{ab}	0.60 ^a	0.51 ^a	17.38 ^b	11.73 ^a	4.79 ^a
	溶液引发	5.09 ^a	5.86 ^a	0.59 ^a	0.53 ^a	16.87 ^a	11.62 ^a	4.73 ^{ab}
糯玉米	对照	3.07 ^a	4.31 ^b	0.33 ^a	0.38 ^b	14.14 ^b	9.62 ^b	4.02 ^b
	水引发	3.18 ^a	5.41 ^a	0.37 ^a	0.47 ^a	15.01 ^{ab}	11.75 ^a	4.37 ^{ab}
	砂引发	3.24 ^a	5.30 ^a	0.37 ^a	0.45 ^a	14.98 ^{ab}	11.71 ^a	4.31 ^{ab}
	溶液引发	3.22 ^a	5.68 ^a	0.37 ^a	0.49 ^a	15.16 ^a	12.07 ^a	4.42 ^a
甜玉米	对照	3.14 ^a	4.05 ^a	0.28 ^b	0.28 ^b	15.39 ^b	10.05 ^b	3.85 ^b
	水引发	3.44 ^a	4.68 ^a	0.32 ^a	0.34 ^a	16.01 ^{ab}	11.49 ^a	4.20 ^a
	砂引发	3.12 ^a	4.30 ^a	0.29 ^b	0.31 ^{ab}	15.69 ^{ab}	11.00 ^{ab}	3.97 ^{ab}
	溶液引发	3.53 ^a	4.73 ^a	0.33 ^a	0.34 ^a	16.45 ^a	11.12 ^{ab}	3.84 ^b

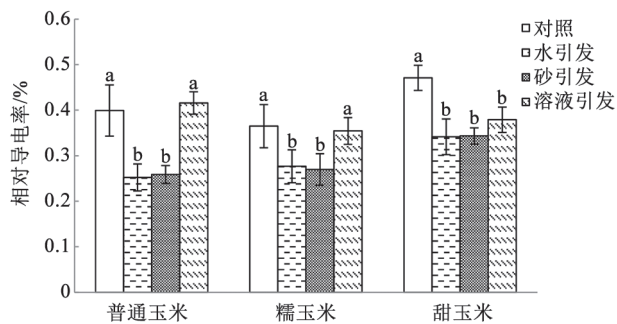


图1 不同引发处理对不同类型玉米种子电导率的影响

Fig.1 Effects of different priming treatments on the electrical conductivity of three types of corn

素含量明显减少, 而经引发处理的幼苗叶绿素含量与低温处理前差异不大, 恢复生长3 d后, 对照和

引发处理后的幼苗叶绿素含量较低温处理后均大幅度增加(图2-A)。低温处理前、低温处理后和恢复生长后, 经引发处理的普通玉米叶绿素含量均高于对照, 除低温处理前水引发处理外均达到显著水平, 处理间无显著差异。

对于糯玉米, 低温对幼苗叶片叶绿素的含量影响不大, 恢复生长后, 各处理幼苗叶片叶绿素含量略高于低温处理前和低温处理后(图2-B)。低温处理前, 引发与未引发的玉米幼苗叶片叶绿素含量无显著性差异; 低温处理后, 溶液引发处理的叶片叶绿素含量显著高于对照, 水引发和砂引发处理与对照无显著性差异; 恢复生长后, 经引发处理的叶片叶绿素含量均显著高于对照, 此外, 溶液引发处理显著高于水引发处理。

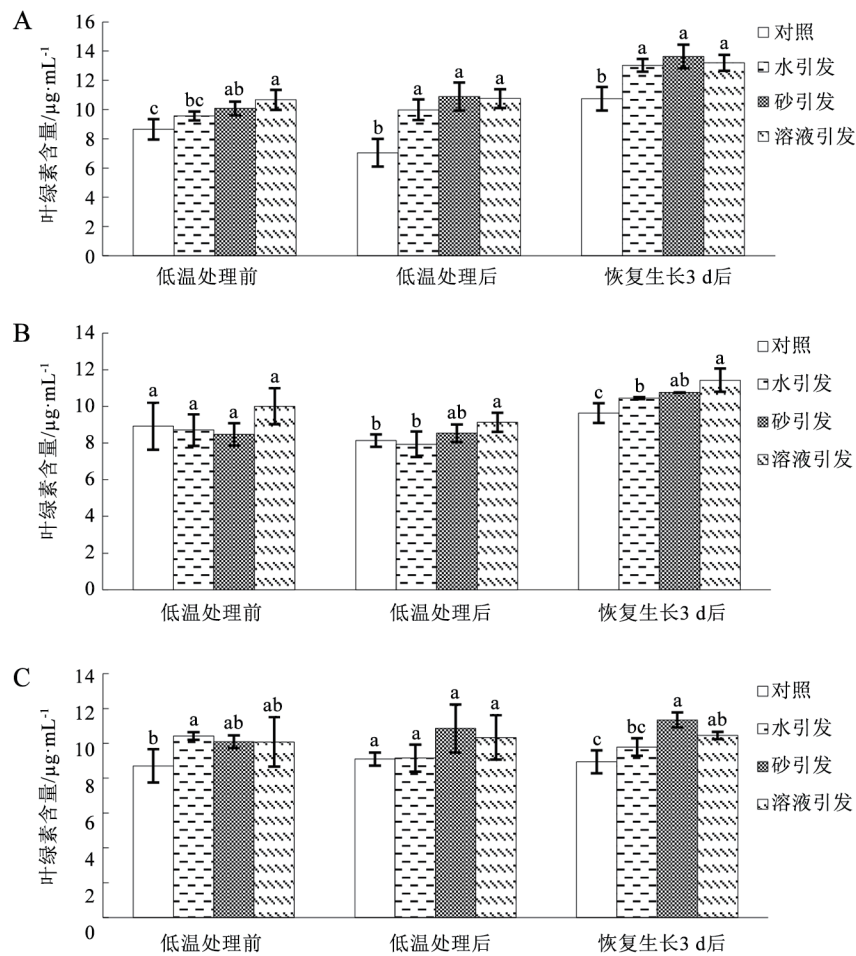


图2 引发对低温处理前、低温处理后和恢复生长后玉米幼苗叶绿素含量的影响
Fig.2 Effect of priming on chlorophyll content of corn seedling at three stages (before low-temperature stress, after low-temperature stress, and after recovering growth)

A: 普通玉米; B: 糯玉米; C: 甜玉米。图6同。

对于甜玉米, 低温胁迫对幼苗叶片叶绿素含量的影响不大(图2-C)。低温处理前, 三种引发处理均提高了甜玉米叶片叶绿素含量, 其中水引发处理达到显著差异; 低温处理后, 砂引发和溶液引发处理的叶绿素含量均高于对照, 但三种引发处理与对照均无显著差异; 恢复生长后, 引发处理均提高了叶片叶绿素含量, 其中, 砂引发和溶液引发处理与对照差异显著。

4 引发对低温逆境下玉米幼苗抗氧化酶类活性的影响

对于普通玉米, 低温处理后引发处理和对照的幼苗叶片过氧化物酶(POD)活性均上升, 恢复生长后, 引发处理和对照的幼苗叶片POD活性较低温处理后均大幅度下降(图3)。低温处理前, 三种

引发方式均显著促进普通玉米幼苗POD活性, 水引发处理显著高于砂引发处理。低温处理后, 各引发处理与对照无显著差异。恢复生长3 d后, 砂引发处理后的玉米幼苗POD活性高于对照, 水引发和溶液引发处理与对照无显著差异, 砂引发处理显著高于水引发和溶液引发处理。

低温处理后, 普通玉米幼苗引发处理和对照的过氧化氢酶(CAT)活性较低温处理前大幅度下降; 恢复生长后, 引发处理和对照的CAT活性均一定程度上上升(图3)。低温处理前, 三种引发处理后的普通玉米幼苗叶片CAT活性均显著高于对照, 其中, 溶液引发处理显著高于水引发和砂引发处理。低温处理后, 水引发处理的玉米幼苗CAT活性与对照无显著性差异, 砂引发和溶液引发处理后

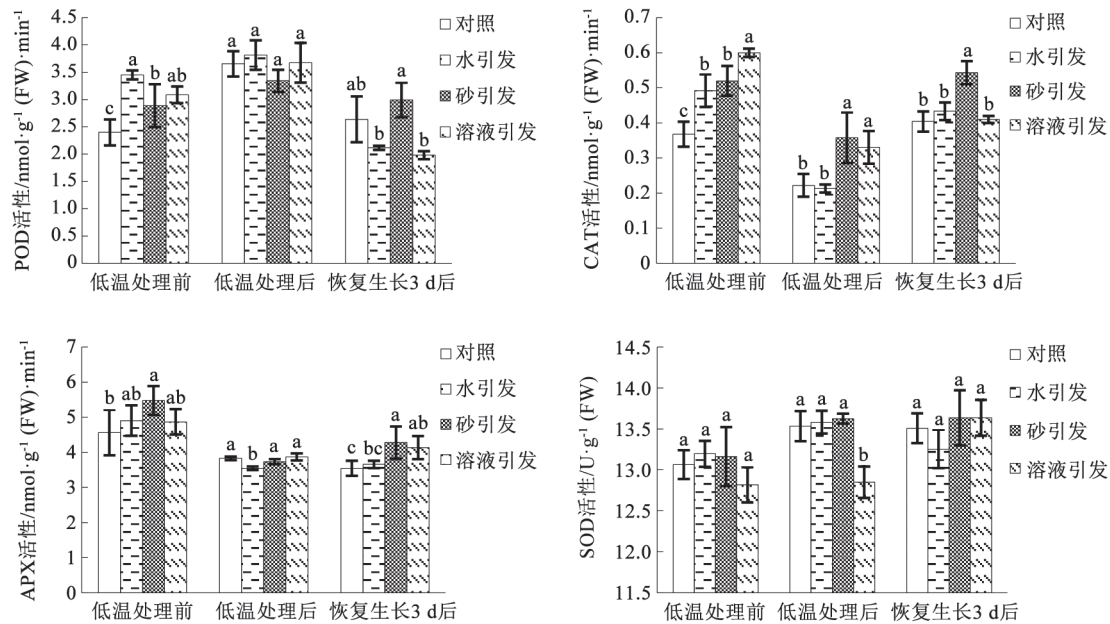


图3 引发对低温处理前、低温处理后和恢复生长后普通玉米幼苗POD、CAT、APX和SOD活性的影响

Fig.3 Effect of priming on POD, CAT, APX and SOD activities of normal corn seedling at three stages (before low-temperature stress, after low-temperature stress, and after recovering growth)

的叶片CAT活性均显著高于对照和水引发处理。恢复生长3 d后, 砂引发处理后的叶片CAT活性显著高于对照, 水引发和溶液引发处理与对照无显著性差异。

低温处理前, 三种引发处理后的普通玉米幼苗叶片抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性均高于对照, 其中, 砂引发达显著水平(图3)。低温处理后, 水引发处理的普通玉米幼苗叶片APX活性显著低于对照, 砂引发和溶液引发处理与对照无显著差异。此外, 恢复生长3 d后, 三种引发处理后的普通玉米幼苗叶片APX活性均高于对照, 砂引发和溶液引发处理与对照差异显著。

水引发和溶液引发处理对普通玉米低温处理前、低温处理后、及恢复生长3 d后三个阶段幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性影响都不大(图3)。溶液引发处理后叶片SOD活性在低温处理前、低温处理后低于对照, 并在低温处理后与对照差异显著, 恢复生长后与对照无显著性差异。

对于糯玉米, 水引发在低温处理前, 低温处理后及恢复生长3 d后均提高了幼苗叶片POD活性, 并在恢复生长后达显著性差异(图4)。而溶液引发与砂引发处理的叶片POD活性, 在低温处理前和低温

处理后均低于对照, 恢复生长3 d后显著高于对照。

低温处理后, 糯玉米幼苗引发处理和对照的CAT活性均大幅度下降, 恢复生长后, 引发处理和对照的幼苗CAT活性明显上升(图4)。经引发处理的糯玉米幼苗叶片CAT活性在低温处理前及恢复生长3 d后均显著高于对照。在低温处理后, 引发处理与对照无显著性差异。

糯玉米幼苗叶片APX活性对水引发处理反应最敏感, 在低温处理前水引发处理的叶片APX活性显著性高于对照, 而低温处理后显著性低于对照, 恢复生长3 d后又显著高于对照。砂引发与溶液引发处理的叶片APX活性在低温处理前与低温处理后与对照无显著性差异, 恢复生长3 d后, 显著高于对照(图4)。

整体来说, 三种引发处理对糯玉米幼苗叶片SOD活性的影响表现一致(图4)。低温处理前, 溶液引发处理的叶片SOD活性显著低于对照, 水引发与砂引发与对照无显著性差异。低温处理后, 引发处理均显著性高于对照。恢复生长3 d后, 引发处理与对照无显著性差异。

对于甜玉米, 低温处理后引发处理和对照幼苗的叶片POD活性均大幅度提高, 恢复生长后较

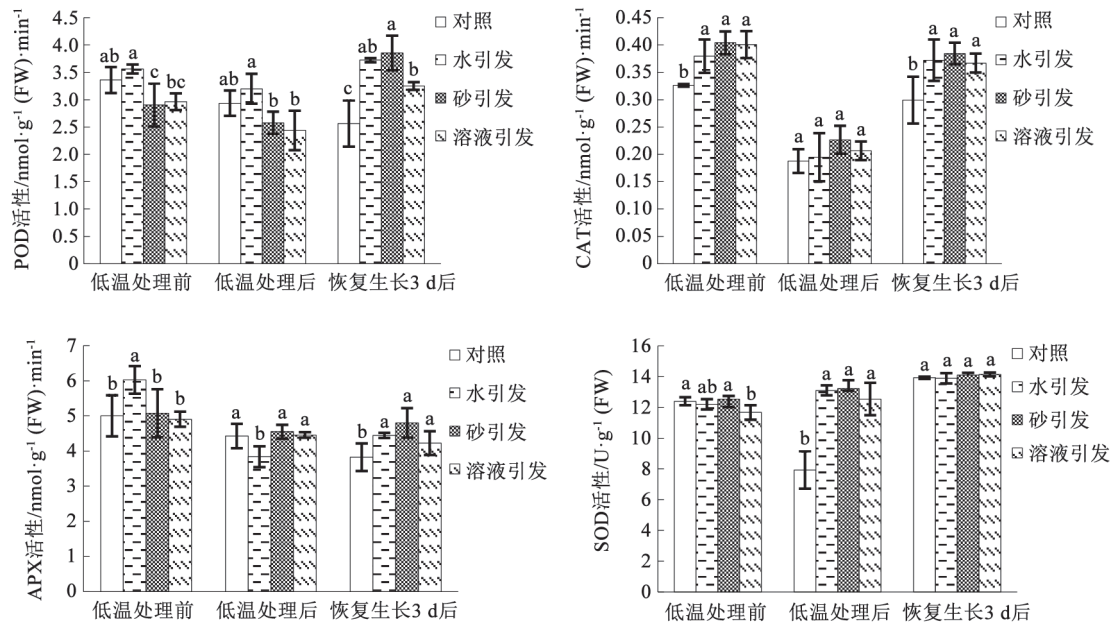


图4 引发对低温处理前、低温处理后和恢复生长后糯玉米幼苗POD、CAT、APX和SOD活性的影响
Fig.4 Effect of priming on POD, CAT, APX and SOD activities of waxy corn seedling at three stages (before low-temperature stress, after low-temperature stress, and after recovering growth)

低温处理后变化不大(图5)。低温处理前,水引发与溶液引发处理的甜玉米幼苗叶片POD活性显著高于对照,砂引发处理与对照无显著性差异;此外,溶液引发处理显著高于砂引发处理。低温处理后,各引发处理与对照无显著差异。恢复生长3 d后,与对照相比,溶液引发显著提高了叶片POD活性,其余处理与对照无显著性差异。

低温处理后甜玉米对照的幼苗CAT活性明显降低,而经引发处理的幼苗CAT活性较低温处理前有所升高,恢复生长后,对照和引发处理的幼苗CAT活性较低温处理后均大幅度增加(图5)。低温处理前,水引发处理CAT活性与对照无显著差异,砂引发与溶液引发显著低于对照;此外,水引发处理显著高于溶液引发处理,溶液引发处理显著高于砂引发处理。低温处理后,水引发与砂引发处理显著高于对照,溶液引发与对照无显著差异。恢复生长3 d后,各引发处理与对照间无显著差异,而水引发与砂引发处理显著高于溶液引发处理。

低温处理前,引发处理一定程度上提高了甜玉米幼苗叶片APX活性,其中,溶液引发处理的APX活性高于其他处理(图5)。低温处理后,与对照相比,各引发处理均显著提高了叶片APX活

性。恢复生长3 d后,水引发处理与对照无显著性差异,砂引发与溶液引发处理后的叶片APX活性显著高于对照。

低温处理前,水引发与溶液引发处理后的甜玉米幼苗叶片SOD活性与对照无显著性差异,砂引发处理显著性降低了叶片SOD活性(图5),此外,水引发处理SOD活性最高,显著性高于溶液引发处理,溶液引发处理又显著性高于砂引发处理。低温处理后,水引发处理与对照无显著差异,砂引发与溶液引发处理后的叶片SOD活性显著高于对照。恢复生长3 d后,各处理间无显著差异。

5 引发对低温逆境下玉米幼苗MDA含量的影响

低温处理前、低温处理后和恢复生长3 d后普通玉米各处理MDA含量均逐渐降低(图6-A)。溶液引发在低温处理前、低温处理后和恢复生长3 d后与对照均无差异,水引发和砂引发在各处理阶段一定程度上减少了幼苗MDA含量,且水引发在低温处理前达显著差异。

糯玉米幼苗叶片MDA的含量随低温处理前、低温处理后、恢复生长3 d后这三个阶段的进行逐渐减少(图6-B)。低温处理前,引发处理后的糯玉米幼苗叶片MDA的含量与对照无显著差异;

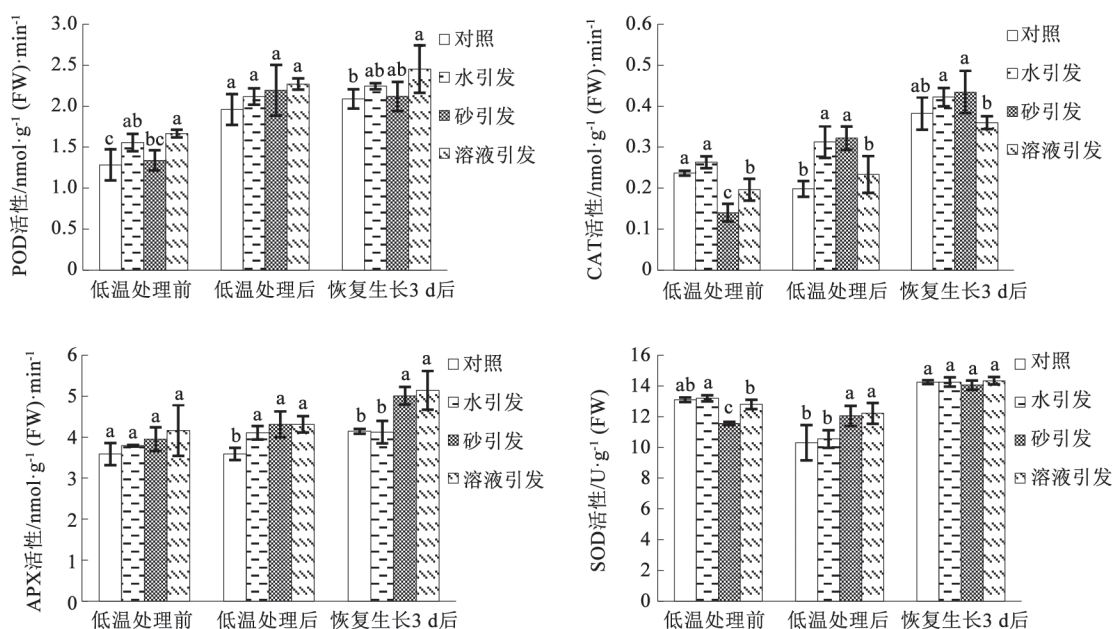


图5 引发对低温处理前、低温处理后和恢复生长后甜玉米幼苗POD、CAT、APX和SOD活性的影响
Fig.5 Effect of priming on POD, CAT, APX and SOD activities of sweet corn seedling at three stages (before low-temperature stress, after low-temperature stress, and after recovering growth)

低温处理后,与对照比,引发处理显著降低了糯玉米幼苗叶片MDA含量,并且,溶液引发处理显著低于水引发处理;恢复生长后,各引发处理也一定程度上减少了糯玉米幼苗叶片MDA的含量,且溶液引发达显著水平。

水引发与溶液引发处理均显著性降低了甜玉米在低温处理前、低温处理后及恢复生长3 d后幼苗叶片MDA含量(图6-C),两引发处理间无显著性差异。而砂引发处理后的叶片MDA含量在低温处理前及低温处理后均显著性低于对照,恢复生长3 d后与对照无显著性差异。

讨 论

张海燕(2013)研究表明,随温度的降低,糯玉米和甜玉米种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、发芽速度指数以及幼苗的苗高、根长、苗和根生物量均显著降低。大量研究表明,引发能够提高种子活力、幼苗素质以及抗逆性(Purya等2010;白占兵等2009;杨小环等2009)。本试验结果表明三种引发方式均能促进三种玉米低温下种子活力,促进幼苗生长,增加其根长、苗高、胚芽鞘长和根苗干鲜重,增加叶绿素、脯氨

酸含量及抗氧化酶类活性,降低细胞膜透性及MDA含量。最终,水引发、砂引发和溶液引发均提高了普通玉米、糯玉米和甜玉米的抗寒性。并且普通玉米以砂引发效果最好;糯玉米和甜玉米以溶液引发效果最好。

Chen和Arora (2013)认为引发是先一步的“发芽状态”,是发芽前的预准备。本试验结果表明三种引发方式均能提高低温处理下三种玉米发芽势和发芽指数,缩短平均发芽时间,可能是因为引发往往延长种子吸水的第2阶段,从而种子能够为发芽做更多准备,如能量代谢、胚胎增大、胚乳弱化和启动DNA的修复与复制等(Chen和Arora 2013; Sung等2008)。然而,关于引发促进发芽的分子机理还不是特别清楚。

本试验结果表明引发除能够一定程度上促进玉米幼苗主根长度外,对玉米幼苗地下部分影响不大,各引发方法均明显促进三种类型玉米幼苗地上部分的生长。低温处理下,各引发处理的幼苗苗高、胚芽鞘长及苗干鲜重均明显高于对照,可能是由于引发促进了玉米幼苗叶绿素含量的原因,叶绿素含量的高低直接影响植物光合作用水平,引发后改善玉米叶片的光合性能,对玉米苗期

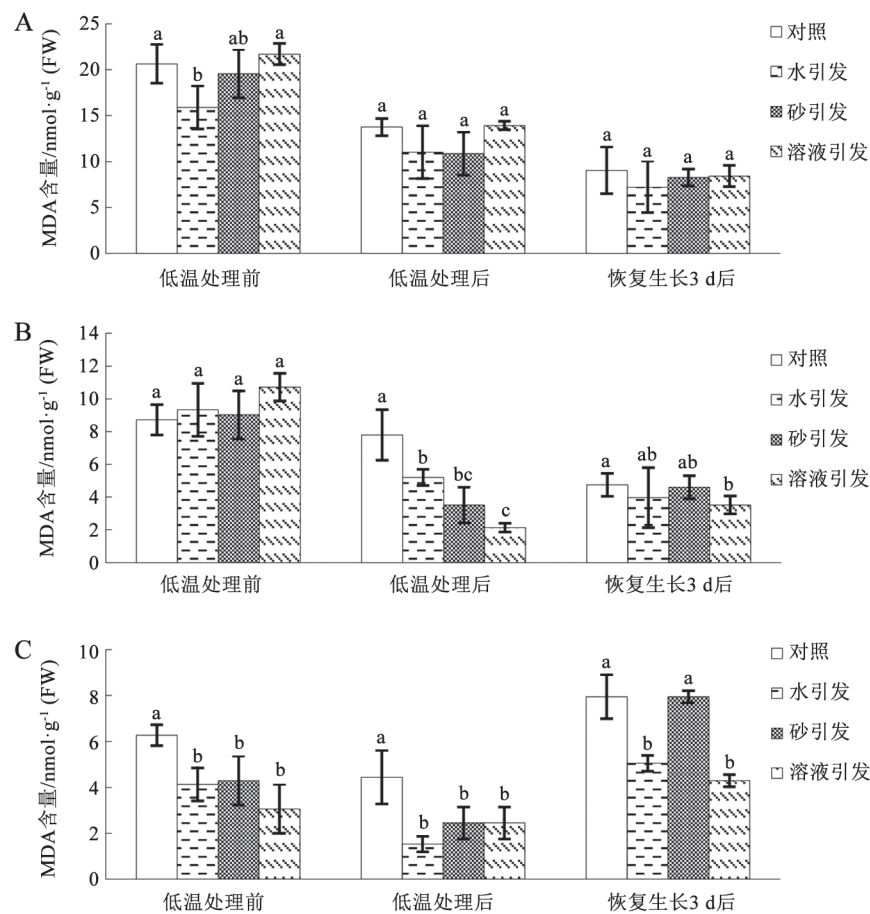


图6 引发对低温处理前、低温处理后和恢复生长后不同类型玉米幼苗MDA含量的影响
Fig.6 Effect of priming on MDA content of different types of corn seedling at three stages (before low-temperature stress, after low-temperature stress, and after recovering growth)

生长及产量形成具有促进作用(由继红等2002)。本试验结果表明,在低温处理前、低温处理后和恢复生长后经水引发、砂引发和溶液引发三种类型玉米幼苗叶绿素含量均一定程度上高于对照,部分差异达显著水平。

POD、CAT、APX和SOD等保护酶可以清除组织中大量活性氧,减轻活性氧造成的脂质过氧化作用(胡晋2006)。Chen和Arora (2013)认为引发本身就是一种适度的胁迫,如水引发,在一些研究中,种子水合作用也可看作是一种胁迫,因为一些种子在吸水过程中会造成吸胀损伤和产生活性氧(Bailly 2004),砂引发控制种子缓慢吸水使种子处于预发芽的过程,溶液引发则是将种子置于低水势的环境中使其缓慢吸水。本试验结果表明三种引发方法均能一定程度上提高低温逆境下三种类型玉米的抗氧化酶类活性,增强幼苗耐寒性,可能

是因为在引发过程中这种适度的胁迫可以刺激保护酶系统,当种子发芽和幼苗生长阶段再次遇到逆境的时候,经引发的种子较未引发的种子具有更强的应激胁迫的能力,从而有更强的胁迫耐性。

MDA含量是植物的一个伤害指标,在低温胁迫下会发生质膜过氧化,从而积累大量MDA,它能强烈的与细胞内各种物质反应,从而引起对酶和膜的严重损伤(陈少裕1991)。本试验结果表明:不同的引发方法对于不同的玉米类型在低温处理下的MDA含量的变化也不同,对于普通玉米,水引发和砂引发主要在低温处理前降低了MDA的含量,低温处理后和恢复生长后与对照无显著差异,而溶液引发始终与对照无显著差异;对于糯玉米,三种引发方法均降低了低温处理后和恢复生长后的MDA含量,且低温处理后各引发处理均达显著差异;对于甜玉米,除砂引发在恢复生长后与对照无

显著差异外, 各引发处理在低温处理前、低温处理后和恢复生长后均显著降低了玉米幼苗MDA的含量。

种子引发是提高种子活力和胁迫耐性的较为有效的方法, 随着种子科学研究的不断深入, 新的引发技术和引发效果不断被发现。种子引发效应在种和品种甚至在种子每批之间均存在差异。正如本试验结果所示, 三种引发方法在不同类型玉米间的引发效果会有差异, 且引发温度、引发时间以及回干条件都会影响引发效果(Chiu等2002; Soeda等2005; 邵晨霞2006)。本研究仅从生理生化的角度研究了不同引发的效应, 对引发的分子机理有待深入的研究。

参考文献

- Bai ZB, Li XF, Ni XJ, Zhang ZQ, Wang DH (2009). Effects of seed priming on germination of pepper seeds. *Hunan Agr Sci*, (1): 6–7 (in Chinese with English abstract) [白占兵, 李雪峰, 倪向江, 张竹青, 汪端华(2009). 种子引发剂对辣椒种子发芽的影响. *湖南农业科学*, (1): 6–7]
- Bailly C (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Sci Res*, 14: 93–107
- Chen K, Arora R (2013). Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environ Exp Bot*, 94: 33–45.
- Chen SY (1991). Injury of membrane lipid peroxidation to plant cell. *Plant Physiol Commun*, 27 (2): 84–90 (in Chinese) [陈少裕(1991). 膜脂过氧化对植物细胞的伤害. *植物生理学通讯*, 27 (2): 84–90]
- Chiu KY, Chen CL, Sung JM (2002). Effect of priming temperature on storability of primed *sh-2* sweet corn seed. *Crop Sci*, 42: 1996–2003.
- Guan YJ, Hu J, Wang XJ, Shao CX (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *J Zhejiang Univ Sci B*, 10 (6): 427–433.
- Hu J (2006). *Seed Biology*. Beijing: Higher Education Press, 215–220 (in Chinese) [胡晋(2006). *种子生物学*. 北京: 高等教育出版社, 215–220]
- Hu J (2014). *Seed Science*. Beijing: China Agriculture Press, 438–440 (in Chinese) [胡晋(2014). *种子学*. 北京: 中国农业出版社, 438–440]
- Li HS (2000). *Principle and Technology of Plant Physiological and Biochemical Experiments*. Beijing: Higher Education Press, 134–260 (in Chinese) [李合生(2000). *植物生理生化实验原理和技术*. 北京: 高等教育出版社, 134–260]
- Masoudi P, Gazanchian A, Azizi M (2010). Improving emergence and early seedling growth of two cool season grasses affected by seed priming under saline conditions. *Afr J Agr Res*, 5 (11): 1288–1296
- Shao CX (2006). Effect of chitosan and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ priming on physiological characteristics of germination and seedling under low-temperature stress in maize (master's thesis). Hangzhou: Zhejiang University, 6–7 (in Chinese with English abstract) [邵晨霞(2006). 壳聚糖和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 引发对玉米种子低温胁迫下发芽及幼苗生理特性的影响(硕士论文). 杭州: 浙江大学, 6–7]
- Soeda Y, Konings MCJM, Vorst O, van Houwelingen AMML, Stoopen GM, Maliepaard CA, Kodde J, Bino RJ, Groot SPC, van der Geest AHM (2005). Gene expression programs during *Brassica oleracea* seed maturation, osmopriming, and germination are indicators of progression of the germination process and the stress tolerance level. *Plant Physiol*, 137: 354–368
- Sung Y, Cantliffe DJ, Nagata RT, Nascimento WM (2008). Structural changes in lettuce seed during germination at high temperature altered by genotype, seed maturation temperature, and seed priming. *J Am Soc Hortic Sci*, 133: 300–311
- Yang XH, Yang WX, Ma JH, Li JH (2009). Effect of seed priming on germination and physiological characteristics of seedling in soybean. *J Shanxi Agr Univ-Nat Sci*, 29 (6): 537–541 (in Chinese with English abstract) [杨小环, 杨文秀, 马金虎, 李君慧(2009). 种子引发对大豆发芽和幼苗生理特性的影响. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 29 (6): 537–541]
- You JH, Lu JM, Yang WJ (2002). Effects of Ca^{2+} on photosynthesis and related physiological indexes of wheat seedlings under low temperature stress. *Acta Agron Sin*, 28 (5): 693–696 (in Chinese with English abstract) [由继红, 陆静梅, 杨文杰(2002). 钙对低温胁迫下小麦幼苗光合作用及相关生理指标的影响. *作物学报*, 28 (5): 693–696]
- Zhang HY (2013). Effects of low temperature on seed germination and seedling growth of fresh corn. *Plant Physiol J*, 49 (4): 347–350 (in Chinese with English abstract) [张海燕(2013). 低温对鲜食玉米种子萌发及幼苗生长的影响. *植物生理学报*, 49 (4): 347–350]
- Zhang JH, Zhang WH (2015). Research on stress tolerance and agriculture in future. *Plant Physiol J*, 51 (10): 1529–1530 (in Chinese) [张建华, 章文华(2015). 逆境研究与未来农业. *植物生理学报*, 51 (10): 1529–1530]

Effect of priming on germination and physiological characteristics of different types of corn seeds under low-temperature stress

LI Jie, XU Jun-Gui, LIN Cheng, GUAN Ya-Jing, HU Jin

Seed Science Center, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

Abstract: Effects of three priming methods (hydropriming, sand priming, and $\text{KNO}_3+\text{KH}_2\text{PO}_4$ solution priming) on the germination and seedling growth of normal corn ('Nongda 108'), waxy corn ('Meiyu 3') and sweet corn ('Xiangtian 1') under 5°C low-temperature stress were studied at three stages (before low-temperature stress, after low-temperature stress for 3 d, and after recovering growth at 25°C for 3 d). The results show that the three priming methods had no significant effect on germination percentage, however, significantly improved germination energy, germination index, shoot height and shoot dry and fresh weights, and shortened mean germination time in the three types of corns. The relative conductivity of three types of corns was decreased by hydropriming and sand priming, and the relative conductivity of sweet corn was significantly declined by solution priming. The three priming methods increased chlorophyll content of normal corn in 3 stages and sweet corn before low-temperature stress and after recovering growth at 25°C for 3 d, while chlorophyll content of waxy corn was improved only after recovering growth at 25°C for 3 d. Before low-temperature stress and after low-temperature stress, hydropriming enhanced the peroxidase (POD) activity of three types of corn. After low-temperature stress for 3 d, sand priming promoted the catalase (CAT) activity of three types of corn. After recovering growth at 25°C for 3 d, sand priming raised the POD, CAT and ascorbate peroxidase (APX) activities of three types of corns, and solution priming increased APX activity of three types of corn. Three priming methods significantly reduced the malondialdehyde (MDA) content of waxy maize and sweet corn after low-temperature stress for 3 d. It suggests that three priming methods could increase seed vigor and improve the chilling tolerant of normal, waxy and sweet corns. Sand priming had advantage in improving seed vigor of waxy corn, and hydropriming showed better improvement for sweet corn. However, there was no significant difference among the three priming methods for normal corn.

Key words: corn; seed priming; low-temperature stress; seed germination; seedling growth

Received 2015-11-01 Accepted 2015-12-23

This work was supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (Grant No. 201203052), Zhejiang Provincial Natural Science Foundation (Grant No. LY15C130002), the Project of Science and Technology Department of Zhejiang Province (Grant No. 2012C12902-6-5), the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 31371708 and 31201279), the Fundamental Research Funds for the Central Universities (Grant No. 2015QNA6019), and Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production (JCIC-MCP) program.

*Corresponding author (E-mail: jhu@zju.edu.cn).