

贺卓,姚东伟,李明,等.不同引发处理对花椰菜种子活力和幼苗生理指标的影响[J].上海农业学报,2021,37(4):42-46.

不同引发处理对花椰菜种子活力和幼苗生理指标的影响

贺卓^{1,2},姚东伟^{1*},李明¹,吴凌云^{1**}

(¹上海市农业科学院设施园艺研究所,上海市设施园艺技术重点实验室,上海201403;²安顺学院,安顺561000)

摘要:以杂交一代花椰菜‘白阳’种子为试材,研究了固体基质引发、硝酸钾引发和亚精胺引发对花椰菜种子活力和幼苗生理指标的影响。结果表明:与对照相比,3种引发处理均显著提高了花椰菜种子的萌发和出苗特性,以及花椰菜幼苗超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)、谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)的活性和可溶性蛋白(SP)含量,显著降低了丙二醛(MDA)含量。可见,3种引发处理均显著提高了花椰菜幼苗的抗氧化酶活性,增强了抗氧化酶系统的防御能力,降低了膜脂过氧化水平,增加了渗透调节物质积累,增强了种子活力。固体基质引发对花椰菜种子活力和幼苗生理指标的有益影响较硝酸钾引发和亚精胺引发大。

关键词:固体基质引发;硝酸钾引发;亚精胺引发;花椰菜;生理指标

中图分类号:S635.3.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3924(2021)04-042-05

Effects of different priming treatments on seed vigor and seedling physiological indexes of cauliflower

HE Zhuo^{1,2}, YAO Dongwei^{1*}, LI Ming¹, WU Lingyun^{1**}

(¹ Protected Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences; Shanghai Key Lab of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201403, China; ² Anshun University, Anshun 561000, China)

Abstract: Taking the seeds of hybrid cauliflower ‘Baiyang’ as materials, the effects of solid matrix priming, KNO₃ priming and spermidine priming on the seed vigor and seedling physiological indexes of cauliflower were studied. The results showed that compared with the control, the germination and emergence characteristics of cauliflower seeds, the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR), glutathione peroxidase (GPX) and soluble protein (SP) content of cauliflower seedlings were significantly improved by 3 priming treatments, and the malondialdehyde (MDA) content decreased significantly. It could be seen that the 3 priming treatments significantly improved the antioxidant enzyme activity of cauliflower seedlings, enhanced the defense ability of antioxidant enzyme system, reduced the level of membrane lipid peroxidation, increased the accumulation of osmotic adjustment substances, and enhanced the seed vigor. The beneficial effects of solid matrix priming on the seed vigor and seedling physiological indexes of cauliflower were higher than those of KNO₃ priming and spermine priming.

Key words: Solid matrix priming; KNO₃ priming; Spermidine priming; Cauliflower; Physiological indexes

花椰菜(*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) 又称花菜,风味鲜美,含有丰富的生物活性成分,如类胡萝卜素、黄酮类、酚酸类化合物等,这些生物活性成分具有较高的抗氧化活性^[1]。近年来,花椰菜栽培面积迅速增加。2019年联合国粮食及农业组织报告显示,我国花椰菜种植面积为54.67万hm²,约占世界总栽培面积的40%,已成为世界上种植面积最大的国家^[2]。在实际生产中,花椰菜种植存在种子萌发所需时间长、出苗不

收稿日期:2019-03-23

基金项目:上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2016)第6-1-5号]

作者简介:贺卓(1995—),女,本科,研究方向为种子处理技术。E-mail:932271102@qq.com, Tel:021-52210383

* 共同第一作者, E-mail: yaodongwei@saas.sh.cn

** 通信作者, E-mail: wulingyun@saas.sh.cn

整齐、出苗率低的问题,在低温和盐胁迫等逆境条件下更为突出,严重影响其采收的一致性和产量。

种子引发是控制种子缓慢吸收水分使其停留在吸胀的第二阶段,让种子进行预发芽的生理生化代谢和修复作用,促进细胞膜、细胞器、DNA 的修复和酶的活化^[3]。经过引发的种子具有较高的活力和较强的抗性,耐低温、萌发迅速、出苗整齐、成活率高^[4]。目前常用的种子引发方法有固体基质引发、渗透调节引发、水引发、激素引发和生物引发等^[5]。如 KNO_3 引发提高了水稻种子的发芽率、发芽速度和整齐度^[6]; NaCl 引发可以显著提高盐胁迫下葫芦巴种子的活力^[7];亚精胺引发可以显著提高水稻种子在水分胁迫条件下的活力,促进幼苗生长^[8];PEG 引发可以促进水份亏缺下高粱种子的萌发,增强种子活力和促进出苗,提高芽苗期的抗旱能力^[9];固体基质引发能够显著提高番茄种子的活力,增强种子吸胀期间的耐盐性^[10],提高辣椒和茄子种子在不同温度下的萌发和出苗特性^[11],提高小白菜的耐低温特性^[12];水引发处理可以显著提高菠菜种子的活力^[13];水杨酸引发能够显著提高玉米种子的发芽率,增强其对低温胁迫的抵抗能力^[14];应用荧光假单胞菌引发珍珠粟种子,可以促进植株生长并诱导其对霜霉病的抗性^[15]。诸多研究表明,种子引发处理可有效提高种子活力与田间生产性能。国内关于花椰菜种子不同引发处理的研究鲜有报道,本试验拟采取蛭石、硝酸钾和亚精胺对花椰菜种子进行引发处理,研究花椰菜幼苗对 3 种引发处理的生理响应,以期在花椰菜生产者提供增产理论基础,提高经济效益,以及为花椰菜种子的引发技术推广应用提供理论支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验所用花椰菜‘白阳’种子由上海瑞奇种子有限公司提供。硝酸钾由国药集团化学试剂有限公司提供,亚精胺由源叶生物科技有限公司提供。

1.2 种子引发处理

固体基质(SM)引发:将种子与蛭石按 1:1.5 的质量比混合,再加入两者总质量 50% 的蒸馏水搅拌均匀,置于烧杯中,于 20 ℃ 恒温箱中黑暗条件下引发 45 h,引发结束后,用筛子筛除蛭石后,将种子置于 25 ℃ 烘箱内回干 2 d。

亚精胺(Spd)引发:使用 2.4 mmol/L 的亚精胺溶液进行引发,溶液完全淹没种子,放在培养皿内于 20 ℃ 恒温箱中黑暗条件下引发 24 h,引发结束后,用流水冲洗后均匀摊开,用吸水纸吸干表面水分后移入 25 ℃ 烘箱回干 2 d。

硝酸钾(KNO_3)引发:使用质量分数为 1% 的硝酸钾溶液引发花椰菜种子,溶液完全淹没种子,放在培养皿内于 20 ℃ 恒温箱中黑暗条件下引发 24 h,引发结束后,流水冲洗均匀摊开,用吸水纸吸干表面水分后移入 25 ℃ 烘箱回干 2 d。

最佳引发时间、温度和引发剂浓度由预实验筛选得到^[6,12,16]。

1.3 种子萌发试验

以未引发处理的种子为对照(CK),把引发的种子和对照种子分别放入装有双层发芽纸的发芽盒(13 cm × 19 cm × 16 cm)内,加入 7 mL 蒸馏水,置于 20 ℃ 培养箱内进行发芽。每个处理重复 3 次,每个重复 50 粒,发芽期内每天两次计数,以胚根伸出 1 mm 为标准。计算第 2 天发芽势、第 6 天发芽率、发芽指数以及平均发芽时间。

发芽势(GV) = $(n_i/N) \times 100\%$; n_i 为第 2 天正常发芽的种子数, N 为供试种子数。

发芽率(FGR) = $(n/N) \times 100\%$; n 为第 6 天正常发芽的种子数。

发芽指数(GI) = $\sum(Gt/Tt)$; Gt 为第 t 日的发芽种子数, Tt 为 Gt 相对应的发芽时间(d)。

平均发芽时间(MGT) = $\sum(Gt \times Tt) / \sum Gt$ 。

1.4 幼苗生长测定

将对照和引发的种子分别播种于 32 孔穴盘中,置于 20 ℃ 人工气候室进行育苗,每处理重复 3 次,每个重复 32 粒,每天记录出苗数,第 9 天每盘随机挑选 10 株幼苗测量其根长、苗高和鲜重,计算出苗率、出苗指数和平均出苗时间。

出苗率(ER) = $(n/N) \times 100\%$; n 为正常出苗的总出苗数, N 为供试种子数。

出苗指数(EI) = $\sum(Et/Tt)$; E_t 为第 t 日的出苗种子数, T_t 为 E_t 相对应的出苗天数。

平均出苗时间(MET) = $\sum(Et \times Tt) / \sum Et$ 。

1.5 生理指标的测定

未引发和引发的种子在 1.3 条件下萌发后 6 d(6DAG), 取幼苗加入液氮磨成粉末。未引发和引发的种子在 1.4 条件下穴盘播后 9 d(9DAP), 取幼苗加入液氮磨成粉末。取上述液氮磨好的幼苗样品, 测定以下生理指标: 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)和谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)活性、丙二醛(MDA)和可溶性蛋白(SP)含量, 均采用试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司)测定, 试验重复 3 次。

1.6 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 21.0 软件对试验数据进行处理和显著性分析(Duncan's 多重极差检验, $\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同引发处理对‘白阳’种子萌发和出苗的影响

与对照(未引发种子)相比, 固体基质引发、硝酸钾引发、亚精胺引发的花椰菜‘白阳’种子的发芽势分别提高了 46.3%、29.0% 和 18.2%, 发芽率分别提高了 9.1%、2.3% 和 8.5%, 发芽指数分别提高了 103.1%、28.0% 和 17.8%, 平均发芽时间分别提前了 0.8 d、0.4 d 和 0.2 d(表 1)。可见, 3 种引发处理均不同程度提高了花椰菜种子的活力, 缩短了平均发芽时间。其中固体基质引发效果最好, 与对照相比, 发芽势、发芽率、发芽指数显著提高, 所需平均发芽时间显著减少, 其次为硝酸钾引发。

表 1 不同引发处理对‘白阳’种子萌发的影响
Table 1 Effects of different priming treatments on seed germination of ‘baiyang’

处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	平均发芽时间/d
对照	62.0 ± 2.8 c	88.0 ± 1.6 b	22.5 ± 0.8 c	2.1 ± 0.1 a
固体基质引发	90.7 ± 6.2 a	96.0 ± 2.8 a	45.7 ± 4.6 a	1.3 ± 0.1 c
硝酸钾引发	80.0 ± 1.6 b	90.0 ± 3.3 ab	28.8 ± 0.3 b	1.7 ± 0.1 b
亚精胺引发	73.3 ± 2.5 b	94.0 ± 3.3 ab	26.5 ± 1.5 bc	1.9 ± 0.1 ab

注: 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。下同。

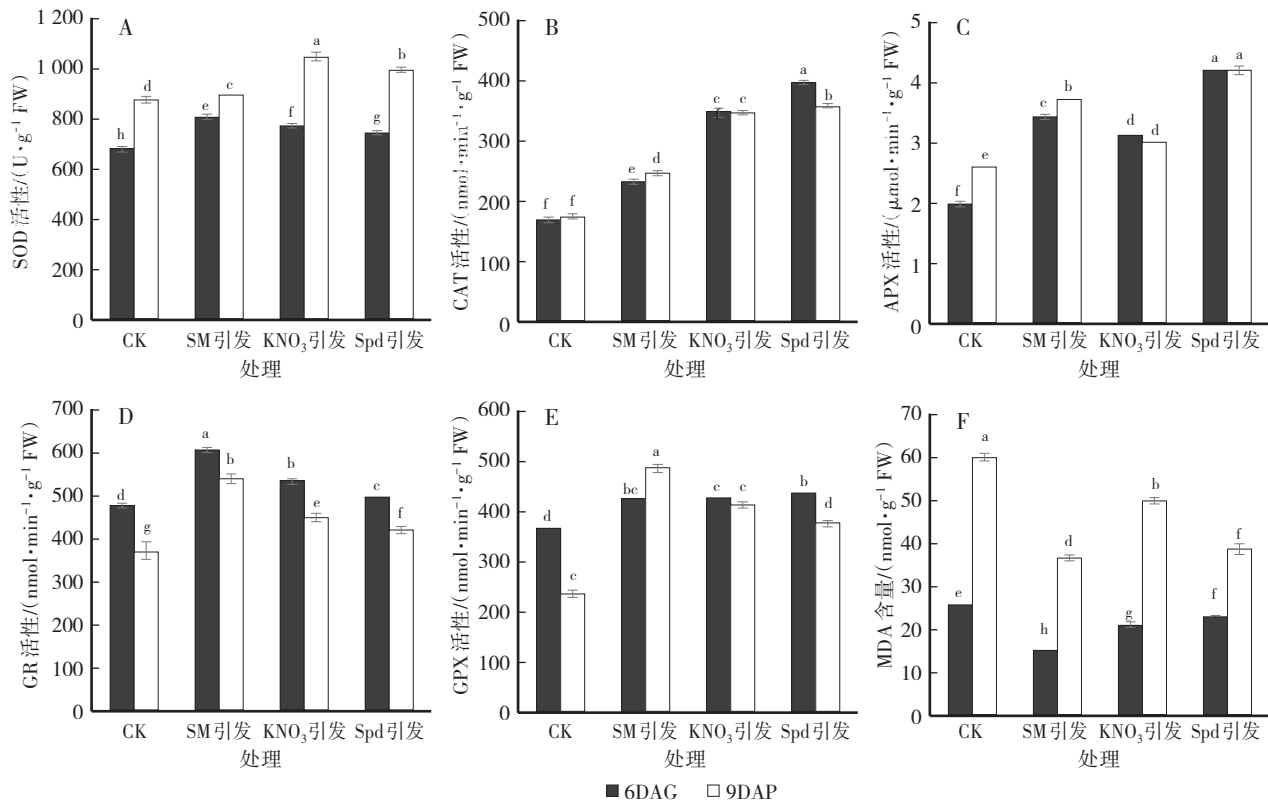
与对照相比, 固体基质引发、硝酸钾引发、亚精胺引发的花椰菜种子出苗率显著增加了 31.7%、20.0%、30.1%, 出苗指数显著增加了 77.5%、30.0%、45.0%, 平均出苗时间分别减少 1.2 d、0.3 d、0.4 d; 与对照的幼苗相比, 固体基质引发、硝酸钾引发、亚精胺引发种子的幼苗根长分别显著提高了 25.8%、45.4%、18.6%, 株高分别提高了 53.8%、7.7%、30.8%, 鲜重分别提高了 75.0%、50.0%、50.0%(表 2)。固体基质引发处理的出苗指数、幼苗株高和鲜重均显著高于硝酸钾引发和亚精胺引发处理。

表 2 不同引发处理对‘白阳’种子出苗的影响
Table 2 Effects of different priming treatments on seedling emergence of ‘baiyang’

处理	出苗率/%	出苗指数	平均出苗时间/d	根长/cm	株高/cm	鲜重/g
对照	62.5 ± 2.6 b	4.0 ± 0.1 c	5.2 ± 0.2 a	9.7 ± 1.6 c	1.3 ± 0.3 c	0.08 ± 0.02 c
固体基质引发	82.3 ± 3.9 a	7.1 ± 0.1 a	4.0 ± 1.5 b	12.2 ± 1.5 b	2.0 ± 0.3 a	0.14 ± 0.02 a
硝酸钾引发	75.0 ± 5.1 a	5.2 ± 0.1 b	4.9 ± 2.1 a	14.1 ± 2.1 a	1.4 ± 0.3 c	0.12 ± 0.03 b
亚精胺引发	81.3 ± 4.4 a	5.8 ± 0.5 b	4.8 ± 1.4 a	11.5 ± 1.4 b	1.7 ± 0.4 b	0.12 ± 0.12 b

2.2 不同引发处理对‘白阳’幼苗抗氧化酶活性和脂质过氧化的影响

与对照相比, 固体基质引发、硝酸钾引发、亚精胺引发的‘白阳’种子萌发后 6 d(6DAG) 和穴盘播后 9 d(9DAP) 幼苗的 SOD、CAT、APX、GR、GPX 活性均显著提高, MDA 含量均显著降低。固体基质引发的 6DAG 和 9DAP 幼苗 GR、GPX 活性提高的幅度和 MDA 含量降低的幅度最大, GR 活性分别比对照提高了 26.9% 和 45.9%, GPX 活性分别比对照提高了 15.7% 和 105.4%, MDA 含量分别比对照降低 41.7% 和 38.9%; 亚精胺引发的 6DAG 和 9DAP 幼苗 CAT、APX 活性提高的幅度最大, CAT 活性分别比对照提高了 134.5% 和 102.6%, APX 活性分别比对照提高了 110.0% 和 61.5%; 硝酸钾引发的 9DAP 幼苗 SOD 活性提高的幅度最大, 比对照提高了 19.5%。可见, 种子引发显著提高了‘白阳’幼苗的抗氧化酶活性, 降低了 MDA 含量, 提高了抗氧化酶系统的防御能力, 降低了膜脂过氧化水平。



柱上不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

图1 不同引发处理对‘白阳’幼苗抗氧化酶活性和脂质过氧化的影响

Fig.1 Effects of different priming treatments on the antioxidant enzyme activity and lipid peroxidation in ‘baiyang’ seedlings

2.3 不同引发处理对‘白阳’幼苗可溶性蛋白含量的影响

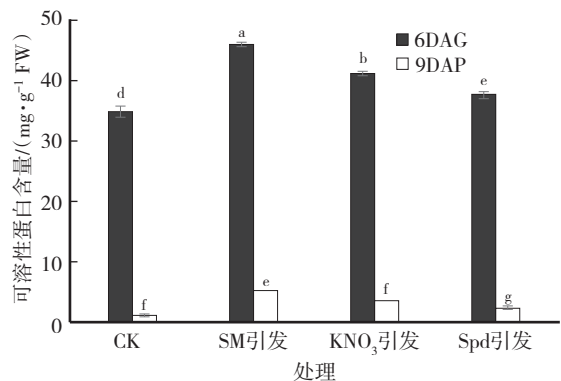
与对照相比,固体基质引发、硝酸钾引发、亚精胺引发的‘白阳’种子萌发后6 d (6DAG)和穴盘播后9 d (9DAP)幼苗的可溶性蛋白含量均显著提高,表明种子引发可促进幼苗可溶性蛋白的积累,从而促进渗透调节,减少氧化胁迫。

3 结论与讨论

种子萌发一般分为吸胀、萌动、发芽、成苗4个阶段^[17]。种子引发是通过控制种子缓慢吸水,让种子停留在吸胀阶段一段时间,使之处于预发芽的状态,从而提高种子活力的一种处理方法^[18]。

本研究表明,固体基质引发、硝酸钾引发和亚精胺引发均能显著提高花椰菜种子的活力,减少平均出苗时间,提高幼苗素质。该结果与固体基质引发能够显著提高番茄、辣椒、茄子、白菜和西瓜种子的萌发和出苗特性^[10-12,19];硝酸钾引发能够减少不同成熟度西瓜种子平均出苗时间,增加西瓜种子出苗率和幼苗质量^[20];亚精胺引发能够促进不同成熟期超甜玉米种子萌发研究结果相似^[21]。

固体基质引发、硝酸钾引发和亚精胺引发均显著提高花椰菜幼苗的抗氧化酶(SOD、CAT、APX、GR、GPX)活性,显著降低MDA含量,增加可溶性蛋白含量,说明3种引发处理均能显著提高花椰菜幼苗抗氧化酶的活性,清除ROS的积累,减少幼苗脂质过氧化,保持较高的细胞膜完整性,提高渗透调节能力,从而提高种子的活力和出苗特性。该结果与蛭石引发能显著提高番茄种子发芽势、发芽率、发芽指数,缩短平均发芽时间,显著降低盐胁迫下种子吸胀期间细胞膜的相对电导率和MDA含量,提高 α -淀粉酶和抗氧化酶活性及可溶性蛋白含量^[10];KNO₃引发能够提高水稻幼苗出苗率,促进幼苗生长,缩短出苗时间,提高



柱上不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

图2 不同引发处理对‘白阳’幼苗可溶性蛋白含量的影响

Fig.2 Effects of different priming treatments on soluble protein content in ‘baiyang’ seedlings

幼苗 CAT、APX、SOD 活性,增加幼苗可溶性蛋白、碳水化合物、可溶性糖和叶绿素含量^[22];亚精胺引发处理的水稻幼苗抗氧化酶 SOD、POD、CAT 活性显著增加,MDA 含量明显下降,可溶性糖和可溶性蛋白含量增加研究结果相一致^[8,16]。

在 3 种引发方法中,固体基质引发的花椰菜种子萌发和出苗特性均优于硝酸钾引发和亚精胺引发。固体基质引发种子的幼苗在 GR、GPX 活性、MDA、可溶性蛋白含量等多项指标方面优于硝酸钾引发和亚精胺引发。

综上所述,固体基质引发、硝酸钾引发和亚精胺引发均能显著增加花椰菜幼苗抗氧化酶活性,提高抗氧化酶系统的防御能力,降低膜脂过氧化水平,增加渗透调节物质积累,提高种子活力。固体基质引发对花椰菜种子活力和幼苗生理指标的有益影响较硝酸钾引发和亚精胺引发大。

参 考 文 献

- [1] LIN C H, CHANG C Y. Textural change and antioxidant properties of broccoli under different cooking treatments[J]. Food Chemistry, 2005, 90(1/2):9-15.
- [2] 肖瑜, 姚星伟, 孙德岭, 等. 京津冀地区紫色花椰菜春保护地高效栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2021(8):64-65.
- [3] 颜启传, 成灿土. 种子加工原理和技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001.
- [4] 颜启传. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [5] PAPARELLA S, ARAÚJO S S, ROSSI G, et al. Seed priming: state of the art and new perspectives[J]. Plant Cell Reports, 2015, 34(8):1281-1293.
- [6] RUTTANARUANGBOWORN A, CHANPRASERT W, TOBUNLUEPOP P, et al. Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(3):605-613.
- [7] SOUGUIR M, HASSIBA F, HANNACHI C. Effect of NaCl priming on seed germination of tunisian fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) under salinity conditions[J]. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 2013, 9(2):86-96.
- [8] 周小梅, 赵运林, 文彤, 等. 亚精胺引发对水分胁迫下水稻种子活力及幼苗生理特性的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(2):247-252.
- [9] LIU J H, DONG K. Study on PEG6000 treatment on budding percentage and germination rate of *Allium tuberosum* roxb. seeds[J]. Agricultural Science and Technology, 2010, 11(4):106-109.
- [10] 霍文雨, 吴凌云, 姚东伟, 等. 蛭石引发对 NaCl 胁迫下番茄种子活力及生理生化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(8):63-70.
- [11] 吴凌云, 李明, 姚东伟. 种子引发对辣椒和茄子种子在不同温度下萌发和出苗的影响[J]. 上海农业学报, 2017, 33(3):37-40.
- [12] 常瑶, 李明, 姚东伟. 种子引发处理对白菜幼苗生理的影响[C]//中国园艺学会 2012 年学术年会论文集. 咸阳: 中国园艺学会, 2012.
- [13] 江绪文, 任长华, 胡江漫, 等. 水引发处理对菠菜种子萌发及活力的影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2):43-51.
- [14] 高巧红, 丁希政, 牛志浩, 等. 水杨酸引发处理对低温吸胀期间玉米种子生理指标的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(3):41-46.
- [15] NIRANJAN R S, SHETTY N P, SHETTY H S. Seed bio-priming with *Pseudomonas fluorescens* isolates enhances growth of pearl millet plants and induces resistance against downy mildew[J]. International Journal of Pest Management, 2004, 50(1):41-48.
- [16] SHETEIWY M, SHEN H Q, XU J G, et al. Seed polyamines metabolism induced by seed priming with spermidine and 5-aminolevulinic acid for chilling tolerance improvement in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings[J]. Environmental and Experimental Botany, 2017, 137:58-72.
- [17] RAJJOU L, DUVAL M, GALLARDO K, et al. Seed germination and vigor[J]. Annual Review of Plant Biology, 2012, 63:507-533.
- [18] 胡晋. 种子引发及其效应[J]. 种子, 1998(2):33-35.
- [19] 吴凌云, 李明, 姚东伟. 种子处理对西瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 上海农业学报, 2011, 27(2):102-105.
- [20] DEMIR I, MAVI K. The effect of priming on seedling emergence of differentially matured watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai) seeds[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 102(4):467-473.
- [21] 曹栋栋, 黄玉韬, 秦叶波, 等. 精胺和亚精胺引发对超甜玉米不同成熟度种子萌发质量的影响[J]. 植物生理学报, 2018, 54(12):1829-1838.
- [22] LAWAN G A, ROSIMAH N, MOHD H I, et al. Efficacy of KNO₃, SiO₂ and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*) under drought[J]. Scientific reports, 2021, 11(1):3864-3874.

(责任编辑: 闫其涛)