

刘金龙, 辛寒晓, 范学明, 等. 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 69–72.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.017

# 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响

刘金龙<sup>1</sup>, 辛寒晓<sup>2</sup>, 范学明<sup>2</sup>, 刘丽英<sup>1</sup>, 孙中涛<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学生命科学学院, 山东泰安 271018; 2. 山东佐田氏生物科技有限公司, 山东济南 250000)

**摘要:**为研究鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米的缓解作用,以京科糯 2010 为试材,在 150 mmol/L NaCl 胁迫下,探讨不同浓度(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%)的鱼蛋白多肽溶液对甜糯玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响。结果表明:盐胁迫下,不同浓度的鱼蛋白多肽对甜糯玉米浸种处理,其发芽率、发芽势、发芽指数及幼苗生物量均有不同程度的提高,幼苗叶面喷施不同浓度的鱼蛋白多肽溶液后,叶片叶绿素含量(叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b)、抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性显著提高,丙二醛(MDA)含量明显降低,其中均以 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液处理效果最佳。试验结果表明,适宜浓度的鱼蛋白多肽预处理可促进盐胁迫下甜糯玉米种子萌发和幼苗生长,减缓盐胁迫伤害。

**关键词:**甜糯玉米;鱼蛋白多肽;盐胁迫;种子萌发;幼苗生理特性

**中图分类号:** S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0069-04

甜糯玉米,又称水果玉米,是我国玉米产业中的特色品种之一<sup>[1]</sup>,因其具有籽粒香甜、口味鲜美及营养价值较高等优点而备受大众青睐<sup>[2]</sup>,并在食品加工、工业及饲料生产等领域中广泛应用<sup>[3]</sup>。近年来,随着我国农业产业结构不断调整,甜糯玉米种植面积不断扩大,但由于人为及自然环境等因素的影响,我国耕地次生盐渍化日趋严重,盐碱地面积呈现逐年增加的趋势<sup>[4]</sup>,盐胁迫是影响甜糯玉米种子萌发、幼苗生

长及产量提高的主要非生物胁迫因素之一。有研究表明,种子在萌发阶段对盐胁迫比较敏感,施用外源物质能有效缓解盐胁迫对作物生长的抑制<sup>[5-8]</sup>。因此,探讨甜糯玉米耐盐性机理具有重要意义。

鱼蛋白多肽是鱼蛋白的水解产物,主要是从带鱼、罗非鱼等海洋生物中提取的高分子化合物。周兆禧等研究表明,多肽是一类植物生长调节物质,在植物生长、发育过程中发挥着重要的调节作用<sup>[9]</sup>。近年来,国内外对于鱼蛋白多肽的研究十分活跃,但大多集中于食品开发、饲料生产和医疗保健研发等领域<sup>[10-12]</sup>,而对其缓解盐胁迫方面的研究未见报道。

为研究鱼蛋白多肽对盐胁迫条件下甜糯玉米种子萌发及幼苗生长的影响,选用京科糯 2010 为试验材料,以鱼蛋白多肽溶液进行浸种预处理,初步探讨其在盐胁迫下对甜糯玉米

收稿日期:2016-09-18

基金项目:山东省科技重大专项(编号:2015ZDXX0502B04)。

作者简介:刘金龙(1990—),男,天津蓟县人,硕士研究生,主要从事微生物工程与酶工程研究。E-mail:1254702404@qq.com。

通信作者:孙中涛,博士,副教授,主要从事微生物工程与酶工程研究。E-mail:zhitsun@sda.u.edu.cn。

[6] 顾慰连,沈秀瑛,戴俊英,等. 玉米不同品种各生育时期对干旱的生理反应[J]. 沈阳农业大学学报,1990,21(3):186-190.

[7] 胡荣海. 农作物抗旱鉴定方法和指标[J]. 作物品种资源,1986(4):36-39.

[8] 黎裕,王天宇,刘成,等. 玉米抗旱品种的筛选指标研究[J]. 植物遗传资源学报,2004,5(3):210-215.

[9] Bruce W B, Edmeades G O, Barker T C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(366):13-25.

[10] 付凤玲,周树峰,潘光堂,等. 玉米耐旱系数的多元回归分析[J]. 作物学报,2003,29(3):468-472.

[11] 张振平,齐华,李威,等. 玉米品种抗旱性筛选指标研究[J]. 玉米科学,2007,15(5):65-68.

[12] Grzesiak M T, Grzesiak S, Skoczowski A. Changes of leaf water potential and gas exchange during and after drought in triticale and maize genotypes differing in drought tolerance[J]. Photosynthesis, 2006, 44(4):561-568.

[13] Betran F J, Beck D, Banziger M, et al. Genetic analysis of inbred and

hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize[J]. Crop Science, 2003, 43(3):807-817.

[14] 兰巨生,胡福顺,张景瑞. 作物抗旱指数的概念和统计方法[J]. 华北农学报,1990,5(2):20-25.

[15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[16] 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.

[17] Bates L S, Waldren R P, Teare I D. Rapid determination of free proline for water-stress studies[J]. Plant and Soil, 1973, 39(1):205-207.

[18] Strain H H, Svec W A. Extraction, separation, estimation and isolation of the chlorophylls[M]//Vernon L P, Seely G R. The chlorophylls. New York: Academic Press, 1966:21-66.

[19] 张倩,张洪生,刘淑梅,等. 不同高产玉米品种抗旱性的比较研究[J]. 中国农学通报,2012,28(30):125-130.

[20] 李运朝,王元东,崔彦宏,等. 玉米抗旱性鉴定研究进展[J]. 玉米科学,2004,12(1):63-68.

种子萌发及幼苗生理特性的影响,旨在为盐碱地区推广种植甜糯玉米以及鱼蛋白多肽应用于农业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为京科糯 2010,购自泰安市泰山区农大种业;鱼蛋白多肽(纯度>86.57%)由山东佐田氏生物科技有限公司提供;NaCl(分析纯)购自天津市凯通化学试剂有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 甜糯玉米种子的萌发试验 根据前期甜糯玉米耐盐性预试验的结果,本研究在中度(150 mmol/L)NaCl 胁迫下进行种子萌发试验。精选饱满一致的甜糯玉米种子,用 0.1% HgCl<sub>2</sub> 溶液处理 15 min,蒸馏水冲洗干净,自然晾干,分别用不同浓度的鱼蛋白多肽溶液浸种 48 h,浸种结束后用蒸馏水冲洗干净,备用,将种子分别播种于 2% 水琼脂上<sup>[13]</sup>,并置于 25℃ 人工气候箱内培养。共设 6 个处理,试验组:以不同浓度的鱼蛋白多肽溶液(浓度设置为 S<sub>0</sub>:T<sub>1</sub>:0.2%;T<sub>2</sub>:0.4%;T<sub>3</sub>:0.6%;T<sub>4</sub>:0.8%)浸种处理,并将种子置于含 150 mmol/L NaCl 的水琼脂上;对照组(CK):以等量蒸馏水浸种处理,并将种子置于不含 NaCl 的水琼脂上。每处理 6 次重复,每皿放置 50 粒种子。每天记录各处理种子的发芽数,并计算种子的发芽率、发芽势和发芽指数。培养 8 d 后测其芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量和根干质量等相关指标。

1.2.2 甜糯玉米幼苗的盆栽试验 精选饱满一致的甜糯玉米种子,经表面消毒后,于 25℃ 黑暗催芽,待幼苗培养至 2 叶 1 心,取长势一致的幼苗移栽至装有蛭石的塑料花盆(上直径 25 cm、下直径 15 cm、高 20 cm)。培养条件为:(25±2)℃/(20±2)℃(黑暗/光照),光—暗周期为 12 h—12 h,光照度 1 000 μmol/(m<sup>2</sup>·s),相对湿度(60±5)%。设置 6 个处理:对照组(CK),Hoagland 营养液处理幼苗;试验组:(S<sub>1</sub>) NaCl 处理幼苗(含有 150 mmol/L NaCl 的 Hoagland 营养液);(S<sub>2</sub>) 150 mmol/L NaCl 的 Hoagland 营养液+叶面喷施 0.2% 鱼蛋白多肽处理幼苗;(S<sub>3</sub>) 150 mmol/L NaCl 的 Hoagland 营养液+叶面喷施 0.4% 鱼蛋白多肽处理幼苗;(S<sub>4</sub>) 150 mmol/L NaCl 的 Hoagland 营养液+叶面喷施 0.6% 鱼蛋白多肽处理幼苗;(S<sub>5</sub>) 150 mmol/L NaCl 的 Hoagland 营养液+叶面喷施 0.8% 鱼蛋白多肽处理幼苗。每盆移栽 4 株幼苗,每个处理重复 6 次,在盐胁迫第 6 天分别测定幼苗的相关生理指标。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 种子萌发的各项指标测定<sup>[14]</sup>

发芽率 = (n<sub>7</sub>/N) × 100%;

发芽势 = (n<sub>4</sub>/N) × 100%;

发芽指数 = Σ G<sub>t</sub>/D<sub>t</sub>。

式中:n<sub>4</sub> 为第 4 天发芽的种子数;n<sub>7</sub> 为第 7 天发芽的种子数;N 为供试种子总数;G<sub>t</sub> 为第 t 天发芽势;D<sub>t</sub> 为相应发芽天数。

在盐胁迫第 8 天后,从每个处理随机选取 10 株玉米幼苗,测定其芽长、根长,称取玉米芽鲜质量与根鲜质量,再将鲜样品材料置于 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘至恒质量后分别测定芽与根干质量。

1.3.2 幼苗叶片叶绿素含量的测定 盐胁迫幼苗第 6 天后,取盆栽幼苗功能叶片中部 0.1 g,加入 10 mL 96% 乙醇,黑

暗处放置 40 h 后,测定 D<sub>665 nm</sub>、D<sub>649 nm</sub> 和 D<sub>470 nm</sub> 值。

1.3.3 幼苗叶片生理指标的测定 粗酶液的制备参考赵莹等的方法<sup>[15]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性测定参照王学奎的方法<sup>[16]</sup>;丙二醛(MDA)的测定参照邹琦的方法<sup>[17]</sup>。

1.3.4 数据处理与分析 试验采用 Excel 2010 和 Origin 8.5 软件进行数据处理与绘图,采用 SPSS 19.0 软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米种子萌发的影响

由表 1 可知,在盐胁迫下,甜糯玉米种子的发芽率、发芽势及发芽指数显著降低,分别比对照组降低 39.08%、49.41%、43.01%。不同浓度的鱼蛋白多肽溶液对甜糯玉米种子处理,种子的发芽率、发芽势和发芽指数呈现先升高后降低趋势,其中以 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液预处理效果最佳,其发芽率、发芽势和发芽指数比盐处理组分别提高 47.17%、51.16%、64.15%。

表 1 不同浓度鱼蛋白多肽对盐胁迫下的甜糯玉米种子萌发的影响

| 处理             | 发芽率 (%)    | 发芽势 (%)    | 发芽指数         |
|----------------|------------|------------|--------------|
| CK             | 87 ± 4.71a | 85 ± 6.76a | 0.93 ± 0.31a |
| S              | 53 ± 1.43d | 43 ± 3.27d | 0.53 ± 0.12e |
| T <sub>1</sub> | 62 ± 3.17c | 52 ± 2.11c | 0.62 ± 0.24d |
| T <sub>2</sub> | 66 ± 2.82c | 55 ± 2.70c | 0.71 ± 0.12c |
| T <sub>3</sub> | 78 ± 3.74b | 65 ± 5.97b | 0.87 ± 0.14b |
| T <sub>4</sub> | 65 ± 2.85c | 54 ± 2.86c | 0.69 ± 0.17d |

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05),下表同。

2.2 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米幼苗芽长、根长及生物量的影响

由表 2 可知,在盐胁迫下,甜糯玉米幼苗的芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量和根干质量显著降低,分别比对照组降低 66.52%、61.58%、70.34%、47.22%、58.06%、61.84%。甜糯玉米种子经不同浓度的鱼蛋白多肽浸种处理后,表现出不同的萌发效应,且不同处理间差异显著,其中以 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液缓解效果最佳,其幼苗的芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量和根干质量分别比盐处理组增加 77.29%、81.37%、88.66%、36.40%、61.54%、113.79%。

2.3 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米幼苗叶绿素含量的影响

由表 3 可知,在盐胁迫下,甜糯玉米幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量都显著降低,分别比对照降低 48.20%、72.05%、57.05%。而在盐胁迫同时,叶面喷施不同浓度的鱼蛋白多肽,甜糯玉米幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量均有不同程度提高,其中叶面喷施 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液预处理效果最佳,甜糯玉米幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量分别比盐处理组提高 31.84%、84.38%、52.08%。

2.4 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米幼苗叶片 MDA 含量的影响

由图 1 可知,在盐胁迫下,甜糯玉米幼苗叶片中 MDA 含

表 2 不同浓度鱼蛋白多肽对盐胁迫下的甜糯玉米幼苗生长的影响

| 处理 | 芽长<br>(cm)   | 根长<br>(cm)    | 鲜质量<br>(g)    | 根鲜质量<br>(g)   | 芽干质量<br>(g)   | 根干质量<br>(g)   |
|----|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| CK | 8.81 ± 0.40a | 12.57 ± 0.66a | 3.27 ± 0.22a  | 4.32 ± 0.94a  | 0.31 ± 0.05a  | 0.76 ± 0.02a  |
| S  | 2.95 ± 0.72e | 4.83 ± 0.37e  | 0.97 ± 0.12d  | 2.28 ± 0.33d  | 0.13 ± 0.03d  | 0.29 ± 0.02d  |
| T1 | 3.77 ± 0.47d | 6.85 ± 0.71d  | 1.44 ± 0.17c  | 2.55 ± 0.21c  | 0.15 ± 0.01bc | 0.48 ± 0.03c  |
| T2 | 4.53 ± 0.62c | 7.19 ± 0.87c  | 1.56 ± 0.23bc | 2.65 ± 0.35bc | 0.18 ± 0.07c  | 0.56 ± 0.02bc |
| T3 | 5.23 ± 0.22b | 8.76 ± 0.58b  | 1.83 ± 0.31b  | 3.11 ± 0.13b  | 0.21 ± 0.03b  | 0.62 ± 0.06b  |
| T4 | 3.21 ± 0.58d | 7.06 ± 0.44c  | 1.31 ± 0.19cd | 2.52 ± 0.61c  | 0.16 ± 0.03bc | 0.52 ± 0.08bc |

表 3 不同浓度的鱼蛋白多肽对盐胁迫下幼苗叶片叶绿素含量的影响

| 处理 | 叶绿素 a<br>(mg/g FW) | 叶绿素 b<br>(mg/g FW) | 叶绿素 a + b<br>(mg/g FW) |
|----|--------------------|--------------------|------------------------|
| CK | 3.88 ± 0.07a       | 2.29 ± 0.06a       | 6.17 ± 0.08a           |
| S1 | 2.01 ± 0.03e       | 0.64 ± 0.04e       | 2.65 ± 0.05e           |
| S2 | 2.21 ± 0.06d       | 0.89 ± 0.03d       | 3.10 ± 0.07d           |
| S3 | 2.45 ± 0.08bc      | 0.97 ± 0.08c       | 3.42 ± 0.05c           |
| S4 | 2.65 ± 0.02b       | 1.18 ± 0.04b       | 4.03 ± 0.10b           |
| S5 | 2.39 ± 0.04c       | 0.92 ± 0.03c       | 3.18 ± 0.04d           |

量明显提高,且与对照组差异显著。不同浓度的鱼蛋白多肽对幼苗喷施处理,幼苗叶片中 MDA 含量均有不同程度降低,除 S3 和 S5 处理间差异不显著外,其余处理间差异显著,且 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液叶片喷施效果最佳,比盐处理组降低 38.10%。

2.5 鱼蛋白多肽对盐胁迫下甜糯玉米幼苗抗氧化酶活性的影响

由图2可知,在盐胁迫下,甜糯玉米幼苗叶片的SOD、

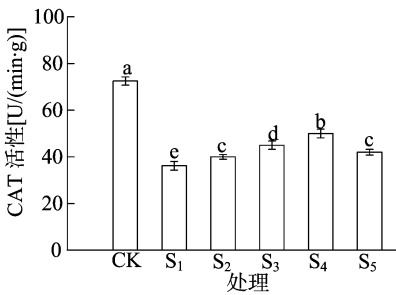
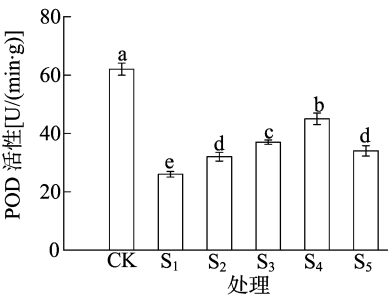
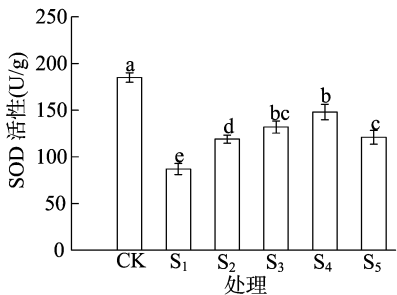


图2 不同浓度的鱼蛋白多肽对盐胁迫下的甜糯玉米幼苗 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

3 结论与讨论

土壤盐渍化是制约农业发展的关键因素,如何在盐胁迫下缓解种子萌发及促进幼苗生长是当前农业发展面临的关键问题。有研究表明,多肽是一类新型植物生长调节物质,可以增强作物对非生物逆境的适应性,减轻逆境对作物造成的伤害<sup>[18-19]</sup>。本研究结果表明,在 150 mmol/L NaCl 胁迫下,甜糯玉米种子的发芽率、发芽势、发芽指数及幼苗生物量明显低于对照,表明盐胁迫对甜糯玉米种子的萌发和幼苗的生长有明显抑制作用,这与王玉芳等<sup>[20]</sup>、王芳等<sup>[21]</sup>的研究结果相似。不同浓度的鱼蛋白多肽溶液对甜糯玉米种子预处理后,其发芽率、发芽势、发芽指数及幼苗生物量均呈现先升高后下降趋势,其中 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液处理效果最佳,说明 0.6% 的鱼蛋白多肽能有效减轻盐胁迫对甜糯玉米种子萌发

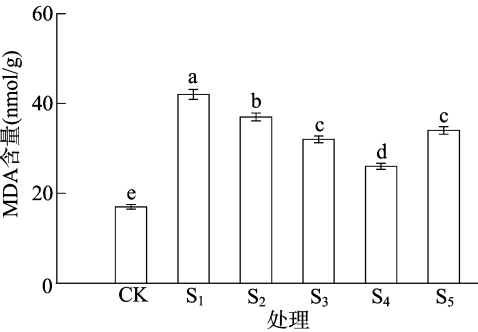


图1 不同浓度的鱼蛋白多肽对盐胁迫下的甜糯玉米幼苗叶片MDA含量的影响

POD、CAT 活性显著降低,与对照组相比分别降低 52.97%、58.06%、50.07%。不同浓度的鱼蛋白多肽对甜糯玉米幼苗叶片喷施处理后,幼苗叶片的 SOD、POD、CAT 活性与盐处理组相比均有不同程度的提高,其中叶片喷施 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液处理效果最佳,其幼苗叶片的 SOD、POD、CAT 活性与盐处理组相比分别提高 70.11%、73.08%、38.12%。

及幼苗生物量积累造成的抑制作用,可提高种子萌发率,促进幼苗生长,该研究结果与 5-磺基水杨酸<sup>[22]</sup>、γ-氨基丁酸<sup>[23]</sup>等在玉米上的缓解效果类似。

叶绿素是参与植物光合作用的重要色素,其含量可反映逆境下植物生长发育状况及光合能力强弱,同时也是衡量作物耐盐性的参考指标之一<sup>[24-25]</sup>。本研究表明,在 150 mmol/L NaCl 胁迫下,甜糯玉米幼苗叶绿素含量明显降低,幼苗叶片喷施 0.6% 的鱼蛋白多肽溶液后,幼苗叶绿素含量明显提高,说明盐胁迫明显降低甜糯玉米叶绿素含量,影响光合作用正常进行,而适宜浓度的鱼蛋白多肽溶液对甜糯玉米幼苗处理后,幼苗色素的合成明显提高。这与陈银萍等<sup>[26]</sup>和程丽萍等<sup>[27]</sup>的研究结果相似。

植物在逆境条件下生长,往往会发生膜脂过氧化作用,MDA 作为膜脂过氧化作用的终产物,其含量的多少可作为细

胞膜脂损伤程度的体现,是衡量植物抗逆性强弱的重要生理指标之一<sup>[28]</sup>。本研究结果表明,在 150 mmol/L NaCl 胁迫下,甜糯玉米幼苗叶片 MDA 含量明显上升,叶面喷施 0.6% 的鱼蛋白多肽后,叶片 MDA 显著降低,说明适宜浓度的鱼蛋白多肽可以减轻甜糯玉米盐胁迫下膜脂过氧化程度,从而缓解盐胁迫对细胞膜的伤害,该结果与张嵩等的研究<sup>[29]</sup>相一致。

在逆境胁迫下,植物体内往往会产生大量活性氧,SOD、POD、CAT 是植物机体内抗氧化酶系统的重要组成成分,在清除活性氧等方面发挥着重要作用<sup>[30]</sup>。本研究得出,在 150 mmol/L NaCl 胁迫下,甜糯玉米幼苗叶片的 SOD、POD、CAT 活性显著降低,幼苗叶面喷施 0.6% 的鱼蛋白多肽后,其叶片的 SOD、POD、CAT 活性显著提高,表明适宜浓度的鱼蛋白多肽可以增强盐胁迫下幼苗的抗性,提高盐胁迫下幼苗叶片的 SOD、POD、CAT 活性,有利于及时清除活性氧或其他过氧化物自由基,进而提高幼苗对盐胁迫逆境的抗性,该结果与水杨酸<sup>[31]</sup>、外源维生素<sup>[32]</sup>、腐殖酸<sup>[33]</sup>等在玉米上的缓解效果相似。

综上可知,盐胁迫明显抑制甜糯玉米种子萌发与幼苗生长。鱼蛋白多肽溶液对甜糯玉米种子预处理,能有效提高种子萌发率与幼苗生物量,缓解萌发期盐胁迫对种子造成的抑制作用,叶面喷施鱼蛋白多肽溶液显著提高盐胁迫下幼苗叶片叶绿素含量与抗氧化酶活性,明显降低 MDA 含量,很大程度上提高甜糯玉米幼苗对盐胁迫的适应能力。鱼蛋白多肽浸种和叶面喷施处理的最佳浓度为 0.6%。

#### 参考文献:

- [1] 陆大雷,孙世贤,陆卫平. 国家鲜食甜玉米区域试验品种产量和品质性状分析[J]. 中国农学通报,2016,32(13):164-171.
- [2] 邓兰生,涂攀峰,叶倩倩,等. 滴施液体肥对甜玉米生长、产量及品质的影响[J]. 玉米科学,2012,20(1):119-122.
- [3] 孙 卿,王文亮,弓志青,等. 糯玉米的食用加工与产品开发[J]. 农产品加工(创新版),2013(10):70-71.
- [4] 周海林,王庆祥. NaCl 胁迫对甜、爆、糯玉米幼苗有机渗透调节物质的影响[J]. 作物杂志,2011(4):43-46.
- [5] 王海艳. 外源物质对玉米芽苗期盐胁迫的缓解作用[D]. 齐齐哈尔:齐齐哈尔大学,2014.
- [6] 王玉萍,常 宏,李 成,等.  $\text{Ca}^{2+}$  对镉胁迫下玉米幼苗生长、光合特征和 PS II 功能的影响[J]. 草业学报,2016,25(5):40-48.
- [7] 马存金,任士伟,胡兆平,等. 盐胁迫下喷施不同浓度甘露醇对辣椒生长发育的影响[J]. 北方园艺,2016(9):11-15.
- [8] 王占军,王 静,焦小雨,等. 盐胁迫及外源钙处理对盐林木种子萌发的影响[J]. 基因组学与应用生物学,2016,35(3):706-714.
- [9] 周兆禧,杜中军,陈业渊,等. 多肽在农作物生长发育中的作用研究进展[J]. 广东农业科学,2008(11):145-147.
- [10] 陈瑜珠,陶红丽,曾庆孝,等. 利用罗非鱼加工下脚料发酵鱼露的研究[J]. 现代食品科技,2008,24(5):441-443.
- [11] 姚巧粉,计 成,王碧莲. 多肽类饲料(深海鱼肽和肠膜蛋白粉)对强制换羽后肉种鸡生产性能和种蛋品质的影响[J]. 饲料工业,2010,31(11):10-12.
- [12] 周自福,张建华,郑怡婷,等. 海洋生物源抗高血压肽的制备和构效关系研究进展[J]. 安徽农业科学,2015,43(26):336-342.
- [13] 赵 莹,杨克军,李佐同,等. 外源糖浸种缓解盐胁迫下玉米种子萌发[J]. 应用生态学报,2015,26(9):2735-2742.
- [14] 张海艳. 模拟酸雨对不同玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(6):1621-1626.
- [15] 赵 莹,杨克军,赵长江,等. 外源糖调控玉米光合系统和活性氧代谢缓解盐胁迫[J]. 中国农业科学,2014,47(20):3962-3972.
- [16] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2011.
- [17] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 邓海燕,曾小岑,刘 萍,等. 多肽及不同施肥配方对巨峰葡萄产量、品质和主要矿质元素吸收的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(6):3400-3404.
- [19] 陶 亮. 外源多肽对 NaCl 胁迫下巴西蕉幼苗生理特性的影响[D]. 海口:海南大学,2010.
- [20] 王玉芳,张 兰. 盐胁迫对糯玉米种子萌发的影响[J]. 山东农业科学,2014,46(3):37-39.
- [21] 王 芳,常盼盼,陈永平,等. 外源 NO 对镉胁迫下玉米幼苗生长和生理特性的影响[J]. 草业学报,2013,22(2):178-186.
- [22] 郑世英,李 妍,张秀玲. 5-磺基水杨酸对盐胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子,2010,29(9):82-84.
- [23] 王泳超.  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)调控盐胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的机制[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2016.
- [24] 周 建,杨立峰,郝峰鸽,等. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(1):136-142.
- [25] 付长方,张海艳. 盐胁迫对玉米种子萌发、幼苗叶绿素含量和渗透势的影响[J]. 山东农业科学,2015,47(5):27-30.
- [26] 陈银萍,王晓梅,杨宗娟,等. NO 对低温胁迫下玉米种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报,2012,31(2):270-277.
- [27] 程丽萍,刘晋秀,胡青平. 外源 NO 对盐胁迫下小麦幼苗叶片丙二醛、叶绿素及氧化酶的影响[J]. 麦类作物学报,2013,33(6):1222-1225.
- [28] 杜 娟,孙艳香. 氨基酸对盐胁迫下棉花幼苗生长及丙二醛和过氧化酶的影响[J]. 种子,2015,34(2):8-12.
- [29] 张 嵩,顾万荣,王泳超,等. DCPTA 对盐胁迫下玉米苗期根系生长、渗透调节及膜透性的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(9):2474-2481.
- [30] 徐莉莉,李 萍,王玉林,等. 细胞分裂素类物质对镉胁迫下玉米幼苗生长和抗氧化酶活性及脯氨酸含量的影响[J]. 环境科学学报,2010,30(11):2256-2263.
- [31] 张彩芳. 水杨酸和沙引发对糯玉米种子在盐逆境下发芽及生理特性的影响[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [32] 李振轮,何 凯,石纹豪,等. 外源维生素浸种对甜玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(6):48-54.
- [33] 张小冰,邢 勇,郭 乐,等. 腐植酸钾浸种对干旱胁迫下玉米幼苗保护酶活性及 MDA 含量的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(7):69-72.