

# 盐胁迫对荠菜种子萌发的影响

李进<sup>1</sup>, 顾绘<sup>1\*</sup>, 殷琳毅<sup>1</sup>, 袁春新<sup>2</sup>

(1. 南通科技职业学院, 江苏 南通 226007; 2. 南通市农副产品加工技术协会, 江苏 南通 226000)

**摘要:**为研究 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3种盐胁迫对荠菜种子萌发的影响, 3种盐采用10、20、30、40 mmol/L溶液处理荠菜种子, 测定发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、胚芽长、胚根长等指标, 建立函数方程预测荠菜种子对3种盐的耐受值。试验结果表明, 10 mmol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 促进荠菜种子发芽, 其余所有处理均抑制发芽, 所有处理胚芽和胚根生长受抑制。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 的胚根生长耐受阈值为51.36、28.90、20.33 mmol/L。荠菜种子萌发对3种盐胁迫均具有一定的耐受性, 耐受性依次为 $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

**关键词:**荠菜种子; 盐胁迫; 发芽; 胚芽; 胚根; 耐受性

中图分类号: S647

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)03-0091-05

## Effects of Salt Stress on Seed Germination of Shepherd's Purse

LI Jin<sup>1</sup>, GU Hui<sup>1\*</sup>, YIN Linyi<sup>1</sup>, YUAN Chunxin<sup>2</sup>

(1. Nantong Science and Technology Vocational College, Nantong 226007; 2. Nantong Agricultural and By-products Processing Technology Association, Nantong 226000, China)

**Abstract:** To study the effects of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$ , and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  salt stress on the germination of shepherd's purse seeds, the three salts were treated with 10, 20, 30, 40, 50, 60 mmol/L solutions. The germination rate, germination potential, germination index, vigor index, shoot length, and radicle length were determined, and functional equations were established to predict the tolerance values of shepherd's purse seeds to the three salts. The results showed that 10 mmol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  promoted the germination of shepherd's purse seeds, while all other treatments inhibited germination. The growth of shoots and radicles was suppressed under all treatments. The tolerance thresholds for radicle growth under  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$ , and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  stress were 51.36, 28.90, 20.33 mmol/L, respectively. Shepherd's purse seed germination exhibited a certain degree of tolerance to all three salt stresses, with the tolerance order being  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**Key words:** Shepherd's purse seed; Salt stress; Sporouting; Germ; Radicle; Tolerance

荠菜 (*Capsella brusa-pastoris*) 又称地菜、护生草、地米菜、菱角菜等, 以其嫩茎叶作蔬菜食用。荠菜富含谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸等呈味氨基酸呈现出独特的鲜美味道, 是餐桌上美味的绿色蔬菜。目前, 荠菜不仅鲜食市场需求不断增长, 速冻加工量也越来越大, 荠菜栽培具有极高的市场开发潜力<sup>[1]</sup>。

有关荠菜的栽培技术、栽培模式、栽培方式等已有报道, 但有关其盐胁迫方面的研究甚少<sup>[2-4]</sup>。江苏沿海滩涂湿地幅员辽阔且不断增长, 沿海滩

涂围垦区是我国东部沿海最具潜力的后备土地资源。但沿海滩涂围垦区是陆海过渡带, 土壤中中性盐 ( $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )、碱性盐 ( $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 大量存在, 是胁迫植物生长的主要因素<sup>[5]</sup>。目前研究多涉及  $\text{NaCl}$  胁迫对荠菜种子发芽及幼苗生长的影响, 有关荠菜种子萌发对  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  耐受性研究无系统报道<sup>[6]</sup>。本研究以荠菜种子为试验材料, 研究  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3种盐胁迫对荠菜种子萌发的影响, 以为荠菜在沿海滩涂围垦区的栽培及围垦区的科学利用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

2019年5月中旬, 在南通科技职业学院薛窑基地采集的荠菜种子。

收稿日期: 2020-06-04

基金项目: 科技部星火计划重大项目(2014GA69004); 南通市农业科技 创新项目(MS2018016)

作者简介: 李进(1975-), 男, 高级农艺师, 主要从事设施蔬菜 教学研究工作。

通讯作者: 顾绘, 女, 硕士, 教授, E-mail: 986790403@qq.com

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 试验设计

2019年12月1日,以 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 共3种盐为胁迫因子,处理浓度设置为10、20、30、40、50、60 mmol/L,以蒸馏水为对照(CK),每个处理浓度3次重复。挑选大小一致、颗粒饱满、无病虫害、结构完整的荠菜种子,用75%酒精消毒30 s,蒸馏水清洗5次。直径10 cm的培养皿内铺两层滤纸,加入各处理浓度盐溶液10 mL和蒸馏水,荠菜种子90粒均匀放在滤纸上,培养皿在20℃光照培养箱中常规催芽。

### 1.2.2 指标测定

胚根长达种子1/2时为发芽,每天观察记录种子发芽数。试验7 d结束时,每个处理随机取10粒种子,测胚芽长、胚根长、鲜重。计算公式如下<sup>[7]</sup>:

$$\text{发芽率} = (\text{发芽种子数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$$

$$\text{相对发芽率} = (\text{处理发芽率} / \text{对照发芽率}) \times 100\%$$

$$\text{发芽势} = (\text{第3天发芽种子数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽指数} = \sum Gt/Dt$$

Gt为不同培养时间的发芽种子数,Dt为相应

的培养时间。

$$\text{活力指数} = \text{发芽指数} \times \text{幼苗鲜重}(\text{g})$$

$$\text{相对盐害率} = [(\text{对照发芽率} - \text{处理发芽率}) / \text{对照发芽率}] \times 100\%$$

$$\text{相对胚根长} = \text{处理胚根长} / \text{对照胚根长}$$

$$\text{根冠比} = \text{胚根长} / \text{胚芽长}$$

### 1.2.3 耐盐性评价

以 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 处理相对发芽率为因变量(Y),以盐浓度为自变量(X)建立函数方程,相对发芽率下降75%、50%、10%时盐的浓度为荠菜种子耐盐适宜浓度、半致死浓度(耐盐阈值)、极限浓度。以 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 处理相对胚根长为因变量(Y)、以盐浓度为自变量(X)建立函数方程,相对胚根长下降50%时盐的浓度为荠菜种子胚根的耐盐阈值<sup>[8]</sup>。

## 1.3 数据处理

采用Eexcel 2010统计数据,采用SPSS 9.50对数据进行方差分析及曲线回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对荠菜种子发芽的影响

由表1可知,低浓度中性盐 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 对荠菜种

表1 盐胁迫对荠菜种子发芽的影响

处理	盐浓度	发芽率(%)	发芽势(%)	发芽指数	活力指数
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0	77.78bAB	55.93bAB	34.41abA	2.19aA
	10	83.70aA	60.00aA	35.42aA	2.21aA
	20	74.81bB	54.44bB	33.07bA	2.08bA
	30	51.85cC	23.33cC	17.28cB	0.11cB
	40	36.30dD	17.78dD	5.16dC	0.95dC
	50	27.78eE	8.52eE	3.10eC	0.04eFD
	60	9.26fF	3.70fE	2.85eC	0.02fD
$\text{NaHCO}_3$	0	77.78aA	55.93aA	34.41aA	2.19aA
	10	76.30aA	53.33aA	29.82bB	1.92bB
	20	54.07bB	20.74bB	9.55cC	0.34cC
	30	43.33cC	10.00cC	6.40dD	0.10dD
	40	31.48dD	8.89cCD	3.24eE	0.06dDE
	50	22.59eE	5.18dDE	2.23eE	0.01eE
	60	7.41fF	2.59dE	1.82eE	0.01eE
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0	77.78aA	55.93aA	34.41aA	2.19aA
	10	35.56bB	22.59bB	11.99bB	0.25bB
	20	29.63cB	10.37cC	6.38cC	0.16cC
	30	18.89dC	2.59dD	3.84dD	0.05dD
	40	14.07eC	0.37deD	1.17eE	0.01dD
	50	7.04fD	0.00eD	0.53eE	0.00dD
	60	3.70fD	0.00eD	0.38eE	0.00dD

注:不同小写字母表示在0.05水平差异显著,不同大写字母表示在0.01水平差异极显著,下同

子发芽有一定促进作用,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  在 10 mmol/L 时, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数分别比 CK 增加 7.61%、7.28%、2.94%、0.91%, 与 CK 差异不显著。  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  在 20 mmol/L 时, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数分别比 CK 小幅下降 3.82%、2.66%、3.89%、5.02%, 发芽率、发芽势、发芽指数与 CK 差异不显著, 活力指数与 CK 差异显著。  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  在 30、40、50、60 mmol/L 时, 各指标均极显著低于 CK, 盐浓度越大降幅越大。  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度为 30 mmol/L 时, 发芽率、发芽势、发芽指数降幅为 33.34%、58.29%、99.13%, 但活力指数急剧下降 94.98%。当  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度为 60 mmol/L 时, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数比 CK 下降 88.09%、93.38%、91.72%、99.09%。

碱性盐  $\text{NaHCO}_3$  对芥菜种子发芽有抑制作用, 随盐浓度增加抑制程度越强。  $\text{NaHCO}_3$  在 10 mmol/L 时, 发芽率、发芽势比 CK 下降 1.9%、4.6%, 与 CK 差异不显著; 发芽指数、活力指数比 CK 下降 13.3%、12.3%, 与 CK 差异极显著。  $\text{NaHCO}_3$  在 20、30、40、50、60 mmol/L 时, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均比 CK 极显著下降。  $\text{NaHCO}_3$  在 30 mmol/L 时发芽率比 CK 下降 44.29%, 但发芽势、发芽指数比 CK 下降 82.12%、81.40%, 活力指数比 CK 下降 95.43%。  $\text{NaHCO}_3$  在 60 mmol/L 时, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均处于低水平, 比 CK 下降 90.47%、95.37%、94.71%、99.54%。

碱性盐  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  对芥菜种子发芽有明显的抑制作用,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  所有处理, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均极显著低于 CK。  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  在 10 mmol/L 时, 就对芥菜种子发芽有较强的抑制, 发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数比 CK 下降 54.28%、59.61%、65.16%、88.58%。在 50、60 mmol/L 时发芽率降到 7.04%、3.70%, 发芽指数降到 0.53、0.38; 发芽势、活力指数均为 0。

## 2.2 盐胁迫对芥菜种子胚芽、胚根生长的影响

由表 2 可知, 中性盐  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  在 10 mmol/L 时, 对种子胚芽、胚根生长有微弱抑制作用, 胚芽长、胚根长分别比 CK 减少 1.95%、4.26%, 胚芽长与 CK 差异显著, 胚根长与 CK 差异不显著。  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  在 20、30、40、50、60 mmol/L 时, 胚芽长、胚根长极显著低于 CK, 胚芽长比 CK 降低 11.04%、16.88%、27.27%、43.51%、65.58%, 胚根长比 CK 降低 19.15%、21.28%、31.91%、44.68%、68.09%。  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  各处理根冠比分别为 0.30、0.28、0.29、0.28、0.30、0.28, 所有处理根冠比小幅低于 CK (0.31), 与 CK

表 2 盐胁迫对芥菜种子胚芽、胚根生长的影响

处理	盐浓度	胚芽长(cm)	胚根长(cm)	根冠比
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0	1.54aA	0.47aA	0.31aA
	10	1.51bA	0.45aA	0.30aA
	20	1.37cB	0.38bB	0.28aA
	30	1.28dC	0.37bB	0.29aA
	40	1.12eD	0.32cC	0.28aA
	50	0.87fE	0.26dD	0.30aA
$\text{NaHCO}_3$	60	0.53gF	0.15eE	0.28aA
	0	1.54aA	0.47aA	0.31dB
	10	1.27bB	0.41bB	0.32cdB
	20	0.99cC	0.32cC	0.33cdB
	30	0.57dD	0.23dD	0.40bcB
	40	0.23eE	0.09eE	0.41bB
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	50	0.11fF	0.06fF	0.55aA
	60	0.08gF	0.05fF	0.62aA
	0	1.54aA	0.47aA	0.31cD
	10	0.94bB	0.33bB	0.35cD
	20	0.59cC	0.21cC	0.36cD
	30	0.46dD	0.19cC	0.41cD
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	40	0.20eE	0.10dD	0.50bBC
	50	0.10fF	0.05eE	0.54bB
	60	0.08fF	0.06eE	0.70aA

差异不显著且各处理之间差异也不显著。

碱性盐  $\text{NaHCO}_3$  所有处理都较明显抑制芥菜种子胚芽、胚根生长,  $\text{NaHCO}_3$  浓度在 10、20、30、40、50、60 mmol/L 时, 胚芽长、胚根长极显著低于 CK, 胚芽长比 CK 下降 17.53%、35.71%、62.99%、85.06%、92.86%、94.81%, 胚根长比 CK 下降 12.77%、31.91%、51.06%、80.85%、87.23%、89.36%。  $\text{NaHCO}_3$  浓度在 10、20 mmol/L 时根冠比为 0.32、0.33, 与 CK (0.31) 差异不显著。在 30、40 mmol/L 时根冠比上升到 0.40、0.41, 与 CK 差异显著。在 50、60 mmol/L 时根冠比大幅上升到 0.55、0.62, 与 CK 差异极显著。

碱性盐  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  明显抑制芥菜种子胚芽、胚根生长, 6 个处理胚芽长、胚根长极显著低于 CK, 胚芽长比 CK 下降 38.96%、61.69%、70.13%、87.01%、93.51%、94.81%, 胚根长比 CK 下降 29.79%、55.32%、59.57%、78.72%、89.36%、87.23%。  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理浓度在 10、20、30 mmol/L 时, 根冠比 0.35、0.36、0.41 小幅高于 CK (0.31), 与 CK 差异不显著且处理之间差异也不显著。  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理浓度在 40、50、60 mmol/L 时, 根冠比大幅提高到 0.50、0.54、0.70, 与 CK 差异极显著。

### 2.3 荠菜种子萌发的耐盐性评价

#### 2.3.1 盐胁迫对荠菜种子发芽的相对盐害

在 10 mmol/L 盐浓度时,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  没有盐害;  $\text{NaHCO}_3$  相对盐害只有 1.91%, 与 CK 差异不显著;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  相对盐害高达 54.29%, 与 CK 差异极显著。

3 种盐在 20、30、40、50、60 mmol/L 时, 随盐浓度上升相对盐害率不断上升。  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3 种盐在同一浓度下, 荠菜种子发芽的相对盐害率均表现为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 < \text{NaHCO}_3 < \text{Na}_2\text{CO}_3$  (表 3)。

表 3 盐胁迫对荠菜种子发芽的相对盐害

%

处理	浓度(mmol/L)						
	0	10	20	30	40	50	60
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0eE	0eE	3.81eE	33.34dD	53.33cC	64.29bB	88.10aA
$\text{NaHCO}_3$	0fF	1.91fF	30.48eE	44.29dD	59.52cC	70.95bB	90.48aA
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0fE	54.29eD	61.91dC	75.71cB	81.91bB	90.95aA	95.24aA

#### 2.3.2 盐胁迫对荠菜种子发芽及胚根生长的回归分析

为进一步明确盐胁迫对荠菜种子发芽及胚根生长的影响, 将相对发芽率和相对胚根长与  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3 种盐浓度进行曲线回归分析, 由表 4、表 5 可知函数拟合效果好, 能准确反映相对发芽率、相对胚根长与盐浓度的关系。根据拟合的函数方程计算, 荠菜种子发芽  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、

$\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  适宜盐浓度分别为 29.10、19.73、4.53 mmol/L, 半致死盐浓度分别为 39.84、34.46、11.66 mmol/L, 极限盐浓度分别为 64.99、60.92、32.12 mmol/L。荠菜种子胚根生长  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  耐盐阈值分别为 51.36、28.90、20.33 mmol/L。函数方程计算结果表明, 荠菜种子发芽及胚根生长相对盐害率均表现为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 < \text{NaHCO}_3 < \text{Na}_2\text{CO}_3$  (表 4、表 5)。

表 4 盐胁迫荠菜种子发芽耐盐性的回归分析

mmol/L

处理	回归方程	决定系数	适宜盐浓度	半致死盐浓度	极限盐浓度
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$Y=101.79167+1.18527X-0.09942X^2+0.00093X^3$	0.9834**	29.10	39.84	64.99
$\text{NaHCO}_3$	$Y=102.86214-1.10549X-0.01967X^2+0.00021X^3$	0.9823**	19.73	34.46	60.92
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$Y=96.66262-5.33817X+0.12710X^2-0.00107X^3$	0.9745**	4.53	11.66	32.12

注: “\*\*”表示在 0.01 水平差异极显著, 下同

表 5 盐胁迫荠菜胚根生长耐盐性的回归分析

mmol/L

处理	回归方程	决定系数	耐盐阈值
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$Y=0.99929-0.00407X-0.00011X^2$	0.9738**	51.36
$\text{NaHCO}_3$	$Y=1.00405-0.00556X-0.00070X^2+0.00001X^3$	0.9959**	28.90
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$Y=0.99000-0.02939X+0.00026X^2$	0.9862**	20.33

## 3 讨论

植物种子发芽时, 生命力弱、抵抗力差, 极易受到环境胁迫<sup>[9]</sup>。盐胁迫破坏种子内部激素合成及渗透势, 抑制种子正常发芽<sup>[10]</sup>。一般盐浓度越高抑制种子发芽越明显, 也有研究发现低浓度盐可促进种子发芽, 高浓度则会抑制种子发芽<sup>[11]</sup>。在本试验中, 中性盐  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  低浓度 (10 mmol/L) 的胁迫条件下, 荠菜种子各发芽指标高于 CK。  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ( $\geq 20$  mmol/L) 其他处理和  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  所有处理, 荠菜种子各发芽指标均低于 CK, 且随各处理盐浓度上升各指标均呈不断下降趋势。土壤盐化与碱化往往相伴发生, 往往碱性盐较中性

盐更抑制种子发芽<sup>[10, 12]</sup>, 这一观点在本试验中得到验证。碱性盐  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  在低浓度 (10 mmol/L) 时就抑制荠菜种子发芽, 荠菜种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等发芽指标均低于 CK, 随浓度上升发芽指标不断下降。在相同盐浓度条件下, 对荠菜种子发芽各指标均表现为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ , 碱性越强对荠菜种子的发芽抑制越明显。盐胁迫对荠菜种子发芽的相对盐害和回归分析进一步证实了这一观点。相对盐害  $\text{Na}_2\text{SO}_4 < \text{NaHCO}_3 < \text{Na}_2\text{CO}_3$ , 适宜盐浓度、半致死盐浓度、极限盐浓度均表现为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{NaHCO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

胚芽、胚根生长受抑制是种子萌发阶段对盐

胁迫最直接的响应特征<sup>[11-13]</sup>,本试验中盐胁迫处理胚芽长、胚根长及回归分析都表明,Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>均抑制芥菜种子胚芽、胚根生长。根冠比表明,芥菜种子胚芽、胚根对3种盐胁迫的响应不同。研究认为,植物的根系易受到盐碱胁迫<sup>[14]</sup>。也有研究表明,植物地上部分更易受到盐碱胁迫<sup>[15]</sup>。但在本试验中,中性盐Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>随盐浓度的升高,根冠比都在0.30上下,表明芥菜种子胚根、胚芽对Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>胁迫条件的变化敏感性几乎一致。碱性盐NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>随盐浓度的升高,根冠比不断提高,且Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>根冠比提高幅度大于NaHCO<sub>3</sub>,说明芥菜种子胚芽对于碱性盐胁迫的变化更敏感。

植物在与环境的协同进化中,植物种子常常能适应一定的盐胁迫<sup>[16]</sup>。本试验中,芥菜种子萌发阶段均对Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>单一盐胁迫具有一定的耐受性。我国东部沿海滩涂面积不断增长,沿海滩涂围垦对促进农业发展保障耕地占补平衡有重大意义,盐胁迫是围垦区农业开发利用的主要障碍。沿海滩涂围垦区栽培芥菜前,应分析土壤的含盐量及盐分组成,根据盐胁迫对种子萌发抑制情况采取相应的措施<sup>[17]</sup>。沿海滩涂围垦区盐分组成复杂多样,土壤中的盐分多为混合盐,且不同地块盐种类、含量和比例不同<sup>[18]</sup>。芥菜能否在不同区域的围垦区栽培,需进一步研究混合盐胁迫对芥菜种子萌发的影响。

#### 参考文献:

- [1] 程玉静,袁春新,唐明霞,等.芥菜烫漂工艺优化[J].浙江农业科学,2019,60(3):421-424.
- [2] 黄冬华,周超华,邓毓华,等.芥菜栽培技术的研究[J].江西农业学报,1999,11(3):40-43.
- [3] 季 军,陈友祥.青蒜-芥菜-甜玉米一年三茬高效栽培模式[J].大麦与谷类科学,2014(4):40-41.
- [4] 袁春新,程玉静,邱晓峰,等.不同栽培方式对芥菜产量的影响[J].热带农业工程,2019,43(6):20-22.
- [5] 仓金顺.沿海滩涂湿地重金属污染控制及盐碱土壤改良研究综述[J].盐城工学院学报(自然科学版),2016,29(3):15-17,45.
- [6] 郭 玲,周慧杰,石磊利,等.盐胁迫下芥菜种子发芽试验[J].安徽农业科学,2007(35):11375,11403.
- [7] 李 莉,韩瑜霞,苏文娟,等.不同预处理方法对连翘种子萌发的影响[J].东北农业科学,2019,44(3):33-36.
- [8] 李玉梅,姜云天,董雪松,等.盐胁迫对东北薄荷种子萌发的影响[J].东北林业大学学报,2018,46(2):22-28,34.
- [9] 陆 婷,李英霜,康 健,等.混合盐碱胁迫对橡胶草种子萌发的影响[J].种子,2019,38(2):12-15,19.
- [10] 严青青,张巨松,李星星,等.盐碱胁迫对海岛棉种子萌发及幼苗根系生长的影响[J].作物学报,2019,45(1):100-110.
- [11] 徐芬芬.盐碱胁迫对西兰花种子萌发的影响[J].吉林农业科学,2012,37(3):42-44.
- [12] 张 磊,侯云鹏,王立春,等.盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J].东北农业科学,2018,43(4):11-16.
- [13] 刘志洋,刘 岩.不同盐碱胁迫对桔梗种子萌发和幼苗生理特征的影响[J].江苏农业科学,2018,46(24):144-147.
- [14] 李 悦,陈忠林,王 杰,等.盐胁迫对翅碱蓬生长和渗透调节物质浓度的影响[J].生态学杂志,2011,30(1):72-76.
- [15] 弋良朋,王祖伟.盐胁迫下3种滨海盐生植物的根系生长和分布[J].生态学报,2011,31(5):1195-1202.
- [16] 李玉梅,田 新,姜云天,等.混合盐胁迫对茶花凤仙种子萌发的影响[J].种子,2019,38(4):36-41,46.
- [17] 李玉梅,姜云天,曲广男,等.盐胁迫对东北藿香种子萌发的影响[J].中药材,2019,43(11):2491-2496.
- [18] 许 艳,濮励杰,张润森,等.江苏沿海滩涂围垦耕地质量演变趋势分析[J].地理学报,2017,72(11):2032-2046.

(责任编辑:王 昱)