

# NaCl 胁迫对芹菜种子萌发和幼苗生长的影响

曹 玲, 刘 溪 静, 李 楠 茜, 李 莹 莹, 王 倩

(中国农业大学 农学与生物技术学院, 设施蔬菜生长发育调控北京市重点实验室, 北京 100193)

**摘 要:**以“京芹一号”、“博克”、“加州王”、“夏芹”、“日本小香芹”5个芹菜品种为试材,研究了0、30、60、90、120 mmol/L的NaCl溶液胁迫对芹菜种子萌发及幼苗生长的影响。结果表明:随着NaCl浓度的升高,盐胁迫对芹菜种子萌发和幼苗生长具有抑制、促进/抑制双重作用,30 mmol/L NaCl浓度对部分品种的种子萌发和幼苗生长均具有促进作用;各指标的相对盐害率表现出较大差异,活力指数、根长、鲜重、干重对盐胁迫反应敏感,发芽率、发芽势、发芽指数不敏感;根据综合盐害率,在种子萌发和幼苗生长初期,“博克”和“夏芹”的耐盐性最强,“京芹一号”、“日本小香芹”耐盐性最弱。

**关键词:**NaCl胁迫;耐盐性;芹菜;种子萌发;幼苗生长

**中图分类号:**S 636.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)15-0020-04

近年来,淡水资源短缺已成为我国农业发展的突出问题,使得微咸水资源成为研究重点。在我国,微咸水一般是指含盐量在2~5 g/L范围内的水资源。据统计,我国地下微咸水资源约200亿 $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,其中可开采量为130亿 $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ,绝大部分存在于地下10~100 m处,宜于开采利用并且分布广泛<sup>[1]</sup>。此外,由于化肥使用过量和栽培管理不合理使得盐渍化土壤面积逐年扩大,特别是保护地土壤次生盐渍化发生面积大、范围广、危害蔬菜生长和产量,成为设施蔬菜连作障碍因素之一<sup>[2-4]</sup>。因此利用微咸水的关键是筛选和培育能够在盐胁迫下正常生长并保证经济产量的作物品种,这被认为是降低盐害影响的较长久、补偿性的解决方法<sup>[5]</sup>。芹菜是一种重要的世界性蔬菜,栽培广泛。该试验对芹菜不同品种在不同浓度NaCl胁迫下萌发及幼苗生长的变化进行了研究,以期筛选出耐盐性指标,为耐盐芹菜的选育和微咸水资源的利用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试芹菜品种选用西芹类的“京芹一号”、“博克”、“加州王”,本芹类的“夏芹”和“日本小香芹”,“京芹一

号”、“博克”、“日本小香芹”由北京京研益农科技发展中心选育,“加州王”、“夏芹”由中国农业科学院蔬菜花卉研究所选育。

### 1.2 试验方法

种子发芽试验采用12 cm×18 cm×15 cm发芽盒,每盒放3层滤纸,设置浓度为0、30、60、90、120 mmol/L的5种NaCl溶液,分别加入20 mL。5个芹菜品种选取大小均匀一致的种子,每处理100粒,3次重复。发芽盒放于(20±1)℃的光照培养箱中恒温培养。以胚根长0.2 cm作为萌发标志,每天记录发芽的种子数,10 d后计算种子的发芽势,15 d后计算种子的发芽率、发芽指数。幼苗生长试验采用平板玻璃法。种子催芽6 d后挑选胚根长为0.2 cm的种子,胚根向下、间隔1 cm布置在18 cm×20 cm玻璃板的2/3处,放入20 cm×30 cm×40 cm聚乙烯箱中,箱内加入750 mL上述浓度盐溶液。每处理30粒种子,3次重复。聚乙烯箱放入(20±1)℃的光照培养箱中12 h光照恒温培养。布于玻璃板上的种子生长10 d后测定种子的下胚轴长、根长、鲜重、干重,计算种子的活力指数、各指标的相对盐害率<sup>[6]</sup>、综合相对盐害率。

### 1.3 项目测定

发芽率(GP)= $\sum GT/N \times 100\%$ ;发芽势(GE)= $G_n/N \times 100\%$ ;发芽指数(GI)= $\sum (G_t/D_t)$ ;活力指数(VI)= $S \times GI$ ;相对盐害率(RS)=(CK-T)/CK×100%;综合盐害率= $\sum RS/n$ 。GT:发芽开始后第t日内的发芽数;Gn:n日内种子发芽总数;N:种子总数;Gt:第t日的发芽数;Dt:相应的发芽日数;S:幼苗胚根长;CK:对照值;T:处理值;n:该处理各指标数据RS的总个数。

**第一作者简介:**曹玲(1989-),女,硕士研究生,研究方向为蔬菜种植与栽培生理。E-mail:caoling4sheng@126.com.

**责任作者:**王倩(1964-),女,博士,教授,博士生导师,现主要从事蔬菜种植与栽培生理研究工作。E-mail:wangq@cau.edu.cn.

**基金项目:**国家公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203003);现代农业产业技术体系北京市叶类蔬菜创新资助项目(2069999)。

**收稿日期:**2013-04-08

当盐害率 $<0$ 时表示促进作用,盐害率 $>0$ 时表示抑制作用,盐害率 $=0$ 时表示没有作用。盐害率大小表示盐作用程度的强弱。按照综合相对盐害率来确定供试材料的耐盐等级:强 $\leq 20\%$ ,中 $\leq 40\%$ ,弱 $\leq 60\%$ ,不抗盐 $>60\%$ <sup>[7]</sup>。

#### 1.4 数据分析

数据处理采用 Excel 2003 和 SPAS 19.0 软件, LSD 显著性在 0.05 水平上检测。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对芹菜种子萌发的影响

由表 1 可知,随 NaCl 浓度的升高,5 个芹菜品种的种子萌发情况总体为下降趋势,各品种对 NaCl 胁迫的响应存在一定的差异,并且低浓度 NaCl 胁迫对个别品种种子萌发指标具有促进作用。发芽率受 NaCl 胁迫的影响较小,但“加州王”和“夏芹”均在 NaCl 浓度为 120 mmol/L 时显著低于对照;发芽势随着 NaCl 浓度的升高表现为先升高后降低的趋势,“加州王”和“夏芹”为逐渐降低的趋势,均在 NaCl 浓度为 120 mmol/L 时显著低于对照;5 个芹菜品种的种子发芽指数均受到 NaCl 胁迫的抑制,随着 NaCl 浓度升高而逐渐降低,分别在 NaCl

表 1 NaCl 胁迫对芹菜种子萌发的影响

Table 1 Effects of NaCl stress on seed germination of celery

品种 Varieties	NaCl 浓度 Concentration of NaCl/mmole · L <sup>-1</sup>	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination energy/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index
“京芹一号” ‘Jingqinyihao’	0	84.10a	74.38a	12.36a	30.52a
	30	84.09a	75.12a	12.00a	25.54b
	60	84.30a	67.88a	11.25b	17.93c
	90	82.82a	66.71a	11.15b	11.71d
	120	75.88a	46.79b	10.03c	4.61e
“博克” ‘Boke’	0	83.75a	80.78a	15.34a	31.23b
	30	88.44a	84.99a	14.76b	44.10a
	60	90.38a	86.07a	14.46b	33.66b
	90	88.54a	82.28a	13.70c	25.38bc
	120	87.00a	77.08a	12.50d	18.62c
“加州王” ‘Jiazhawang’	0	88.82a	79.53a	12.78a	33.83a
	30	86.51a	72.99ab	12.28a	34.06a
	60	85.53a	65.96bc	11.56b	21.07b
	90	85.39a	60.18cd	11.05b	19.90b
	120	77.88b	53.28d	11.01b	11.09c
“日本小香芹” ‘Ribenziaoxiangqin’	0	87.42a	86.12ab	14.97a	44.25a
	30	88.84a	86.92ab	7.50b	22.45bc
	60	91.46a	89.64a	12.24ab	29.46ab
	90	86.74a	84.92b	10.96ab	6.03c
	120	88.85a	87.52ab	11.96ab	2.39c
“夏芹” ‘Xiaqin’	0	87.17a	82.41a	14.64a	29.78ab
	30	85.54ab	81.34a	14.18ab	33.05a
	60	80.48c	74.21b	13.82b	30.33ab
	90	82.08bc	73.86b	12.59c	21.35bc
	120	79.46c	67.44c	12.04d	15.59c

注:同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著性,下同。

Note: Data followed by different small letters in the same column are significantly different (LSD) at 0.05 level and the same below.

浓度为 120、120、90、30、120 mmol/L 显著低于对照;活力指数总体随 NaCl 浓度升高而降低,而“博克”和“夏芹”的种子活力指数表现为先升高后降低的趋势。

### 2.2 NaCl 胁迫对芹菜幼苗生长的影响

由表 2 可知,NaCl 胁迫对芹菜幼苗生长表现为低浓度 NaCl 对其具有促进作用,高浓度 NaCl 具有抑制作用,且各品种间存在一定的差异。盐胁迫下根直接与盐溶液接触,因此根为最重要的一个生长特性,试验中根长随着 NaCl 浓度的升高表现为先升高后降低的趋势,仅“京芹一号”品种的根长随着 NaCl 浓度升高逐渐降低,在 NaCl 浓度为 60 mmol/L 时显著低于对照;除“夏芹”幼苗的下胚轴长在 NaCl 浓度 30~120 mmol/L 时高于对照,其它品种幼苗的下胚轴长随着 NaCl 浓度的升高均表现为先升高后降低的趋势;鲜重干重均随着 NaCl 浓度的升高表现为先升高后降低的趋势,而“博克”的干重在 NaCl 浓度 30~120 mmol/L 时均高于对照,表明 NaCl 胁迫可以促进其干重的增加。

表 2 NaCl 胁迫对芹菜幼苗生长的影响

Table 2 Effects of NaCl stress on seedling growth of celery

品种 Varieties	NaCl 浓度 Concentration of NaCl /mmole · L <sup>-1</sup>	根长 Root length /mm	下胚轴长 Hypocotyl length /mm	单株鲜重 Fresh weight per plant /mg	单株干重 Dry weight per plant /mg
“京芹一号” ‘Jingqinyihao’	0	24.73a	28.20a	5.14a	0.33ab
	30	21.29a	29.67a	6.25a	0.42a
	60	15.92b	23.15ab	5.32a	0.36ab
	90	10.51c	18.24bc	3.58b	0.28bc
	120	4.60d	12.40c	3.24b	0.21c
“博克” ‘Boke’	0	20.40bc	14.74b	3.89b	0.28c
	30	29.89a	13.44c	5.50a	0.51a
	60	23.27ab	15.48a	5.62a	0.43ab
	90	20.20bc	13.05c	5.33a	0.39b
	120	11.07c	10.89d	3.53b	0.35bc
“加州王” ‘Jiazhawang’	0	26.47a	17.96b	5.73b	0.39ab
	30	27.66a	19.98a	7.56a	0.51a
	60	18.19b	14.52c	5.61b	0.52a
	90	17.98b	15.05c	5.52b	0.40ab
	120	10.11c	11.99d	4.00c	0.33b
“日本小香芹” ‘Ribenziaoxiangqin’	0	29.56a	18.61a	3.84b	0.22b
	30	29.75a	19.33a	5.24a	0.35a
	60	23.70b	21.01a	5.18a	0.34a
	90	5.50c	10.90b	2.97b	0.23b
	120	2.00c	0.00c	1.20c	0.09c
“夏芹” ‘Xiaqin’	0	20.31ab	10.61c	4.41c	0.25b
	30	23.32a	13.69a	6.74a	0.33ab
	60	22.03a	14.52a	5.46b	0.38a
	90	16.99ab	13.21ab	5.94ab	0.36ab
	120	12.98b	11.65b	4.15c	0.24b

### 2.3 芹菜品种耐盐性比较

相对盐害率反映了盐溶液对芹菜各指标的影响程度,相对盐害率值越大,说明芹菜种子受到 NaCl 胁迫的影响越大,对芹菜种子萌发和幼苗生长越不利。由表 3 可知,NaCl 胁迫下,各指标的相对盐害率表现出较大差

异,其中根长、活力指数、鲜重、干重对盐胁迫反应敏感,下胚轴生长居中,发芽率、发芽势、发芽指数不敏感。由于不同指标对于盐胁迫的响应存在差异,可综合各指标的相对盐害率来评价各品种的耐盐性。“京芹一号”、“博克”、“加州王”、“日本小香芹”、“夏芹”在 120 mmol/L

NaCl 胁迫下的综合相对盐害率分别为 45.17%、14.46%、33.38%、42.52%、16.08%。5 个芹菜品种中“博克”和“夏芹”耐盐性强,“加州王”耐盐性中等,“京芹一号”、“日本小香芹”耐盐性弱,其中“博克”的耐盐性最强,“京芹一号”最弱。

表 3

NaCl 胁迫下芹菜种子各指标的相对盐害率

Table 3

The comprehensive salt damage rate of celery seed under NaCl stress

品种 Varieties	NaCl 浓度 Concentration of NaCl /mmol · L <sup>-1</sup>	盐害率/%								
		发芽率 Germination rate	发芽势 Germination energy	发芽指数 Germination index	活力指数 Vital index	下胚轴长 Hypocotyl lengths	根长 Root length	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight	综合相对盐害率 Comprehensive salt damage rate/%
“京芹一号” ‘Jingqinyihao’	30	0.01	-0.99	2.91	16.32	-5.21	13.91	-21.60	-27.27	-2.74
	60	-0.24	8.74	8.98	41.25	17.91	35.62	-3.50	-9.09	12.46
	90	1.52	10.31	9.79	61.63	35.32	57.50	30.35	15.15	27.70
	120	9.77	37.09	18.85	84.90	56.03	81.40	36.96	36.36	45.17
“博克” ‘Boke’	30	-5.60	-5.21	3.78	-41.21	8.82	-46.52	-41.39	-82.14	-26.18
	60	-7.92	-6.55	5.72	-7.78	-5.02	-14.07	-44.47	-53.57	-16.71
	90	-5.72	-1.86	10.69	18.73	11.47	0.98	-37.02	-39.29	-5.25
	120	-3.88	4.58	18.51	40.38	26.12	45.74	9.25	-25.00	14.46
“加州王” ‘Jiazhawang’	30	2.60	8.22	3.91	-0.68	-11.25	-4.50	-31.94	-30.77	-8.05
	60	3.70	17.06	9.55	37.72	19.15	31.28	2.09	-33.33	10.90
	90	3.86	24.33	13.54	41.18	16.20	32.07	3.66	-2.56	16.54
	120	12.32	33.01	13.85	67.22	33.24	61.81	30.19	15.38	33.38
“日本小香芹” ‘Ribenziaoxiangqin’	30	-1.59	-0.93	49.90	49.27	-3.87	-0.64	-36.46	-59.09	-0.43
	60	-4.52	-4.09	18.24	33.42	-12.90	19.82	-34.90	-54.55	-4.93
	90	0.76	1.39	26.79	86.37	41.43	81.39	22.66	-4.55	32.03
	120	-1.60	-1.63	20.11	94.60	100.00	93.23	68.75	59.09	42.52
“夏芹” ‘Xiaqin’	30	1.87	1.30	3.14	-10.98	-29.03	-14.82	-52.83	-32.00	-16.67
	60	7.67	9.95	5.60	-1.85	-36.85	-8.47	-23.81	-52.00	-12.47
	90	5.84	10.37	14.00	28.31	-24.51	16.35	-34.69	-44.00	-3.54
	120	8.84	18.17	17.76	47.65	-9.80	36.09	5.90	4.00	16.08

### 3 讨论与结论

有关 NaCl 胁迫对黄瓜、番茄等蔬菜种子发芽特性及幼苗生长影响的研究比较多,已有研究得出种子萌发期是作物整个生育期对于盐胁迫比较敏感的时期之一<sup>[8-11]</sup>。发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数是评价种子发芽常用的指标,反映了种子发芽速度,发芽整齐度和幼苗健壮的潜力。一些研究通过分析这些指标表明,盐胁迫抑制种子的萌发<sup>[12-13]</sup>,该试验研究得出低浓度的 NaCl 胁迫促进芹菜种子萌发,高浓度抑制的双重作用。顾闽峰等<sup>[14]</sup>研究表明,盐胁迫下,一些辣椒品种表现出低浓度促进种子萌发的现象;另外在番茄<sup>[15-16]</sup>和黄瓜<sup>[17-18]</sup>的研究中也发现这一现象。至于低浓度促进种子萌发的原因可能是与低盐促进细胞膜渗透调节有关,也有可能是微量的无机离子(如 Na<sup>+</sup>)对呼吸酶有一定的激活作用<sup>[19]</sup>。

不同器官对于盐胁迫的敏感性不同。林宝刚等<sup>[20]</sup>在对甘蓝型油菜种子耐盐性研究中得出,甘蓝型油菜种子对于盐害的敏感程度为根>苗>发芽指数。在该试验中盐胁迫对根、下胚轴生长的影响程度不同,根的生长与盐浓度呈负相关,随着盐浓度提高,根逐渐变短变

粗,侧根数量变少,根的敏感性大于下胚轴,这与阎秀峰等<sup>[21]</sup>的结果研究一致。因此,根长可以作为幼苗前期耐盐性的鉴定指标之一。很多研究表明盐胁迫会降低植物的干鲜重<sup>[22-23]</sup>,该试验却得出适当的盐胁迫会增加幼苗干鲜重的结论。

NaCl 胁迫条件下种子的相对盐害率也是评价发芽期耐盐性的最重要指标。分析各指标的相对盐害率可知,芹菜种子萌发期与幼苗前期的耐盐性不同。这与田伯红等<sup>[24]</sup>对谷子发芽研究结果相一致。该研究还指出这 2 个时期耐盐性不同,芽期耐盐性体现的是种子吸水膨胀的能力,主要机理是生物体抵抗渗透胁迫;而幼苗期耐盐多为拒 Na<sup>+</sup> 机制。该试验仅从芹菜种子萌发期和幼苗前期对耐盐性进行了鉴定,至于盐胁迫对其它时期的影响,还有待于进一步研究。

### 参考文献

- [1] 刘友兆,付光辉. 中国微咸水资源化若干问题研究[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(2):57-60.
- [2] 陈火英,李怀志,刘杨,等. 番茄耐盐性及耐盐育种研究进展[J]. 上海交通大学学报,2007,25(5):507-511.
- [3] Allakhverdiev S I, Sakamoto A, Nishiyama Y, et al. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus* sp[J]. Plant Physiol, 2000, 123: 1047-1056.

- [4] 魏国强,朱祝军,方学智,等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1754-1759.
- [5] Juan M, Rivere R M, Romero L, et al. Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars[J]. Environmental and Experimental Botany, 2005, 54: 193-210.
- [6] 张振霞,刘萍,杨中艺. 25 个多年生黑麦草品种萌发期对盐胁迫的抗性研究[J]. 草业科学,2007,27(2):14-19.
- [7] 陈亚婷,李彩凤,赵丽影,等. 甜菜耐盐性筛选及其幼苗对盐胁迫的响应[J]. 植物生理学通讯,2010,46(11):1121-1128.
- [8] 米海莉,许兴,马雅琴,等. 小麦品种耐盐性的研究[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(1):134-138.
- [9] 谢德意,王惠萍,王付欣,等. 盐胁迫对棉花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国棉花,2000,27(9):12-13.
- [10] 孙小芳,郑青松,刘友良. NaCl 胁迫对棉花种子萌发和幼苗生长的伤害[J]. 植物资源与环境学报,2000,9(3):12-13.
- [11] 丁顺华,邱念伟,杨洪兵,等. 小麦耐盐性生理指标的选择[J]. 植物生理学通信,2001,37(2):98-120.
- [12] 斯琴巴特尔,吴红英. 盐胁迫对玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 干旱区资源与环境,2000,14(4):76-80.
- [13] 孙震雷,刘鹏,叶柏军,等. 绿豆种子萌发及苗期耐盐性的研究[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2001(1):31-38.
- [14] 顾闽峰,郑佳秋,郭军,等. 盐胁迫对 8 个辣椒品种种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学,2010(6):259-261.
- [15] 陈火英,张才喜,庄天明,等. NaCl 胁迫对不同品种番茄种子发芽特性的影响[J]. 上海农学院学报,1998,16(3):209-212.
- [16] 姜冷若,徐刚,胡永红,等. 不同浓度 NaCl 胁迫对番茄种子发芽特性的影响[J]. 江苏农业科学,2002(5):41-42.
- [17] 何欢乐,蔡润,潘俊松,等. 盐胁迫对黄瓜种子萌发特性的影响[J]. 上海交通大学学报,2005(2):148-152.
- [18] 王广印,周秀梅,张建伟,等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜种子发芽的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):121-124.
- [19] 赵可夫. NaCl 抑制棉花幼苗生长的机理-盐离子效应[J]. 植物生理学报,1989,15(2):173-178.
- [20] 林宝刚,张尧峰,余华胜,等. 氯化钠对甘蓝型油菜种子萌发的胁迫效应[J]. 浙江农业学报,2010,22(5):624-627.
- [21] 阎秀峰,肖玮,孙国荣,等. 盐胁迫下星星草幼苗的生理反应[J]. 黑龙江畜牧兽医,1994(3):1-3.
- [22] AliDinar H M, Ebert G, Ludders P. Growth, chlorophyll content, photosynthesis and water relations in guava (*Psidium guajava* L.) under salinity and different nitrogen supply[J]. Garten-bauwissenschaft, 1999, 64: 54-59.
- [23] Chartzoulakis K, Klapaki G. Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages[J]. Sci Hort, 2000, 86: 247-260.
- [24] 田伯红,王建广,李雅静,等. 谷子发芽期和幼苗前期耐盐性鉴定指标的研究[J]. 河北农业科学,2008,12(7):4-6.

## Effects of NaCl Stress on Seeds Germination and Seedling Growth of Celery Varieties

CAO Ling, LIU Xi-jing, LI Nan-xi, LI Ying-ying, WANG Qian

(Beijing Key Laboratory of Growth and Developmental Regulation for Protected Vegetable Crops, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193)

**Abstract:** Taking ‘Jingqinyihao’, ‘Boke’, ‘Jiazhouwang’, ‘Ribeniaoxiangqin’, ‘Xiaqin’ five celery varieties as materials, the effects of NaCl stress (0, 30, 60, 90, 120 mmol/L NaCl) on germination and seedling growth stage were studied. The results showed that the seed germination and seedling growth were inhibited, promoted/inhibited as the salt concentration increased. Moreover, NaCl stress (30 mmol/L) had beneficial effect on germination and seedling growth. The response of index exhibited significant differences on relative salt damage rate. The most sensitive index were vigor index (VI), radical length (RL), hypocotyl length (HL), fresh weight (FW) and dry weight (DW) and the least sensitive index were seed germination percentage (GP), germination energy (GE) and germination index (GI). According to the comprehensive salt damage rate, ‘Boke’ and ‘Xiaqin’ were the most resistant, and ‘Jingqinyihao’ and ‘Xiaoxiangqin’ were the most sensitive varieties at germination stage and early seedling growth.

**Key words:** salt stress; salt tolerance; celery; seed germination; seedling growth