

程亚雄,武佩琪,曹晓雪,等. 生菜和菜薹耐盐性鉴定方法建立及耐盐种质初期筛选[J]. 江苏农业科学,2020,48(9):164-173.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.09.032

# 生菜和菜薹耐盐性鉴定方法建立及耐盐种质初期筛选

程亚雄,武佩琪,曹晓雪,陈红,李斌,李梅兰,许小勇

(山西农业大学园艺学院/山西省设施蔬菜提质增效协同创新中心,山西太谷 030801)

**摘要:**为建立生菜、菜薹发芽期和幼苗期耐盐性鉴定方法,筛选耐盐性材料,以生菜、菜薹种子为材料,通过无菌培养的方法研究不同浓度盐胁迫处理对生菜、菜薹材料种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明,生菜、菜薹均表现出一定的盐胁迫耐受性,且随着盐胁迫浓度升高,生菜的种子萌发和幼苗生长呈下降趋势。低浓度盐胁迫(小于 100 mmol/L)可促进菜薹种子的萌发,而高浓度盐胁迫表现出抑制现象;菜薹幼苗生长随着盐胁迫浓度升高呈下降趋势;菜薹比生菜耐盐性强。最终筛选出的耐盐性较强的 2 个生菜材料为 LG13、LP14,较敏感的材料为 LG1、LP24;菜薹耐盐性较强的材料为 CP38、CG40、CG42,较敏感的材料为 CG34。此外,紫菜薹的耐盐性总体强于绿菜薹,而紫生菜与绿生菜的盐胁迫耐受性差异不明显。研究结果为耐盐种质筛选及耐盐品种选育奠定了基础。

**关键词:**盐胁迫;生菜;菜薹;种子萌发;幼苗生长;种质筛选

**中图分类号:** S630.34 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)09-0164-10

土壤盐碱化是目前世界各国面临的共同问题,土壤盐碱化会使土壤板结、肥力下降,不利于农作物的生长,已成为设施农业生产中须要克服的重要难题。我国是盐碱地大国,盐碱化的土地面积约有 0.27 亿  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>,主要分布于华北平原、东北平原、西北内陆及滨海地区。当植物暴露于盐渍土壤时,渗透胁迫是其经历的第一个胁迫,会立即影响植物的生长<sup>[2]</sup>。当盐离子浓度达到某个阈值时,离子毒性会随后发生;超过该阈值,植物将无法维持离子稳态和生长<sup>[3]</sup>。渗透胁迫和离子毒性可引起氧化应激及一系列次级应激反应,盐胁迫还可导致光合作用降低<sup>[4]</sup>,产量大幅降低<sup>[3]</sup>。

用降低<sup>[4]</sup>,产量大幅降低<sup>[3]</sup>。

目前,用于克服土壤盐渍化的 2 种主要技术分别是用化学或物理方法改造土壤,以及培育耐盐作物品种<sup>[5]</sup>。化学或物理方法改造土壤成本高昂,且不可避免带来次生盐渍化,从而增加土壤中的化学物质。因而耐盐作物材料的选育非常重要。相关研究表明,钠离子和氯离子在盐渍化土壤中占有较高的比例,常采用 NaCl 处理模拟盐胁迫进行植物耐盐性评价,在植物生长发育过程中,最脆弱的时期是萌发期和幼苗期,植物在盐胁迫环境下能否顺利萌发以及幼苗期能否顺利生长,在一定程度上能反映其耐盐性的强弱<sup>[6]</sup>。因此,本试验通过无菌培养的方法测定不同浓度的 NaCl 胁迫对生菜、菜薹种子萌发及幼苗生长的影响,筛选出生菜、菜薹的盐胁迫致死浓度,进一步扩大种质筛选范围以获得耐盐性较强的生菜、菜薹材料,以期抗逆育种研究奠定基础。

收稿日期:2019-10-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:31401885、31501806);山西省自然科学基金(编号:201801D121248);山西省重点研发专题(编号:201703D211001-04-01)。

作者简介:程亚雄(1994—),女,山西临猗人,硕士研究生,主要从事蔬菜种质创新研究。E-mail:1305327861@qq.com。

通信作者:许小勇,博士,副教授,主要从事蔬菜种质创新及遗传改良。E-mail:xuxy7926@163.com。

酸在农业中的应用[J]. 中国土壤与肥料,2008(1):6-11.

[23]袁伟,董元华,王辉. 植物氨基酸多元素肥料生物效应的研究进展[J]. 土壤,2009,41(1):16-20.

[24]张树生,杨兴明,黄启为,等. 施用氨基酸肥料对连作条件下黄瓜的生物效应及土壤生物性状的影响[J]. 土壤学报,2007,44(4):689-694.

[25]王琳,钱玉婷,周影,等. 高温放线菌 YT06 降解羽毛的研

究[J]. 生物加工过程,2018,16(4):49-56.

[26]莫良玉,吴良欢,陶勤南. 无菌条件下小麦氨基酸态氮及铵态氮营养效应研究[J]. 应用生态学报,2003,14(2):184-186.

[27]徐淑班,李广涛,袁凤英,等. 浅述蛋白废弃物生产氨基酸肥料[J]. 广东化工,2014,41(17):103-104.

[28]张连秋,杨玉岭,朱哲,等. 氨基酸肥料在生产中的应用进展[J]. 农业灾害研究,2014,4(6):48-49,55.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验于 2018 年 7—11 月,在山西农业大学园艺学院蔬菜种质资源创新与生物技术实验室进行。

供试材料有绿色、紫色 2 种类型材料,绿生菜材料编号为 LG1、LG2、LG9、LG13、LG23,紫生菜编号为 LP14、LP15、LP16、LP18、LP24;绿菜薹编号为 CG32、CG34、CG35、CG36、CG40、CG42、CG43,紫菜薹编号为 CP37、CP38、CP49,生菜、菜薹各 10 份材料,均由笔者所在实验室保存。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 种子处理** 挑选健康饱满、大小一致的种子,先用 75% 的乙醇消毒 30~60 s 后用无菌水冲洗 2 次,再用 7% NaClO 消毒 10 min,无菌水冲洗 5 次以上,期间不断振荡混匀,保证消毒效果。无菌条件下接种于带有不同浓度 NaCl 的 1/2 MS (pH 值为 5.8) 培养基上。置于智能光照培养箱内进行培养。培养环境条件设置为温度 25 ℃ 左右,光照强度 2 000 lx,16/8 h 的光/暗周期,湿度保持在 70% 左右。

**1.2.2 种子萌发试验** 首先,进行 NaCl 胁迫致死浓度筛选。其中,生菜种子选用 LG1、LP24,NaCl 浓度设置为 0、20、40、60、80、100 mmol/L 等 6 个浓度;菜薹种子选用 CG36、CP49,NaCl 浓度设置为 0、50、100、150、200、250、300 mmol/L 等 7 个浓度。然后,再进行 10 个生菜、10 个菜薹材料耐盐性比较,氯化钠浓度分别设置为 0、50、100 mmol/L 等 3 个浓度;0、200、250、300 mmol/L 等 4 个浓度,每个处理 100 粒种子,重复 3 次。

### 1.3 测定内容与方法

**1.3.1 种子萌发指标的测定** 种子发芽以胚根突破种皮 2 mm 为标准<sup>[7]</sup>,从接种后 1 d 开始至 7 d 结束,每天记录生菜、菜薹种子的发芽数。

种子发芽势 (GE) = 前 3 d 发芽种子数/种子总数 × 100%;

种子发芽率 (GP) = 7 d 内种子发芽数/种子总数 × 100%;

发芽指数 (GI) =  $\sum (G_i/D_i)$ 。

式中: $G_i$  指发芽天数内总的发芽数, $D_i$  指种子的发芽天数。

活力指数 = 发芽指数 × 主根长;

盐害指数<sup>[8]</sup> = (对照组发芽率 - NaCl 处理组发

芽率)/对照组发芽率 × 100%。

**1.3.2 幼苗上胚轴和主根长的测定** 于种子萌发后 7 d,取出幼苗,用刻度尺测定其上胚轴长、主根长,每个处理随机测定 30 株。

### 1.4 数据分析

利用 Microsoft Excel 及 SAS 软件进行数据处理并作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫浓度筛选

#### 2.1.1 不同浓度盐胁迫对生菜种子萌发的影响

从图 1 可以看出,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,生菜的发芽率 (图 1-A)、发芽势 (图 1-B)、发芽指数 (图 1-C) 总体呈现下降的趋势,除 20 mmol/L NaCl

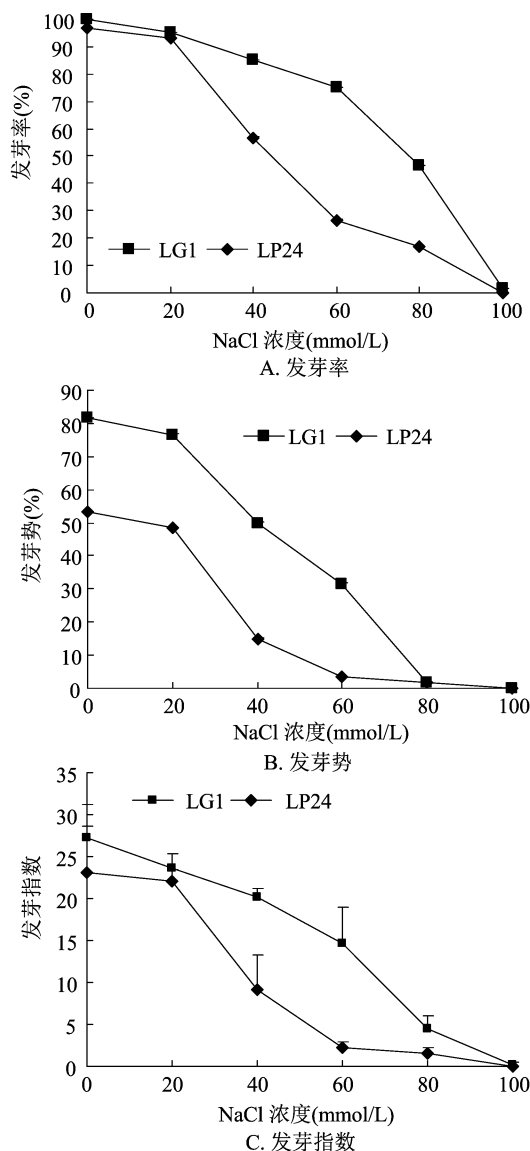


图1 不同浓度盐胁迫对生菜种子萌发的影响

胁迫处理组之外,其他浓度处理组均与对照差异明显。其中,100 mmol/L NaCl 处理下生菜种子几乎完全不萌发或者萌发率极低(图 1 - A);40 mmol/L NaCl 处理时,种子萌发率为 70% 左右,与对照差异不明显;而 60 mmol/L NaCl 处理时种子萌发率为 45% 左右,明显低于对照组(97% ~ 100%),且发芽势、发芽指数在 60 mmol/L NaCl 处理时明显下降。LG1 种子的发芽势、发芽指数整体要好于 LP24。

### 2.1.2 不同浓度盐胁迫对菜薹种子萌发的影响

从图 2 可以看出,与生菜表现不同,菜薹种子的发芽率(图 2 - A)、发芽势(图 2 - B)、发芽指数(图 2 - C)随着 NaCl 处理浓度的升高,总体呈现出先升高后下降的变化趋势。低浓度的 NaCl ( $\leq 100$  mmol/L) 处理对菜薹种子萌发具有一定的促进作用,但差异不明显;而高浓度 NaCl 处理会抑制种子萌发。200 mmol/L NaCl 处理时,种子萌发率为 60% 左右,与对照差异不明显;而 250 mmol/L NaCl 浓度处理时种子萌发率仅为 40% 左右,明显低于对照的 78% ~ 80%,发芽势、发芽指数在 250 mmol/L NaCl 处理时也明显下降;300 mmol/L NaCl 处理可以明显抑制种子萌发。CG36 种子的发芽率、发芽势、发芽指数整体要好于 CP49,且差异明显。

### 2.1.3 不同浓度盐胁迫对生菜幼苗生长的影响

随着 NaCl 处理浓度的升高,生菜的主根长、上胚轴长、活力指数等均呈现下降的趋势,且各处理与对照存在明显差异(图 3)。其中,40 mmol/L NaCl 处理时,主根长为对照的 65% 左右;60 mmol/L NaCl 处理时,主根长为对照的 45% 左右,明显低于对照;100 mmol/L NaCl 处理下生菜幼苗根系几乎完全不生长或者生长量极低(图 3 - A)。此外,上胚轴长(图 3 - B)、活力指数(图 3 - C)等在  $\geq 60$  mmol/L NaCl 处理时也下降明显。LG1 的主根长、活力指数在低浓度处理时低于 LP24,但当浓度高于 60 mmol/L 时反而相对有利于紫生菜幼苗生长,但品种间差异不明显;LG1 的幼苗上胚轴长整体要好于 LP24,但差异不明显。

### 2.1.4 不同浓度盐胁迫对菜薹幼苗生长的影响

由图 4 可知,菜薹在 50 mmol/L NaCl 浓度时,主根长为对照的 50% 左右,与对照差异明显;当 NaCl 浓度升高至 200、250 mmol/L 时,主根长仅为对照的 6% 左右;当 NaCl 浓度高达 300 mmol/L 时处理,幼苗根系几乎不生长或者生长量极低(图 4 - A)。250 mmol/L 以上浓度的 NaCl 处理的菜薹上胚轴

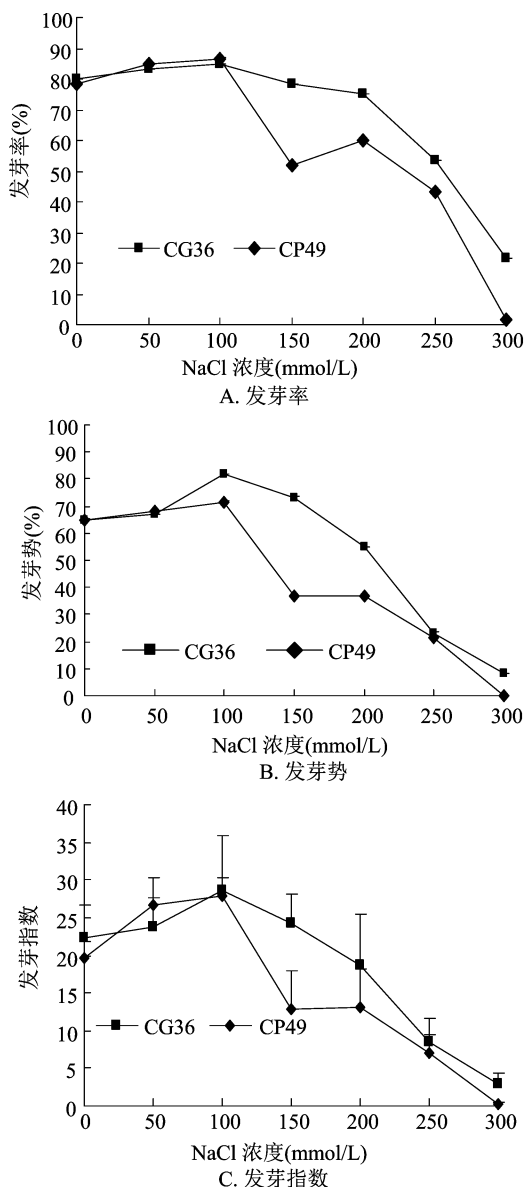


图2 不同浓度盐胁迫对菜薹种子萌发的影响

长、活力指数等也明显下降(图 4 - B、图 4 - C)。CG36 幼苗的主根长、上胚轴长、活力指数整体要好于 CP49。

综上所述,100 mmol/L NaCl 处理可以明显抑制生菜种子萌发及幼苗生长,该浓度可能处于生菜盐胁迫的致死浓度范围;40 mmol/L NaCl 处理时生菜种子的萌发和幼苗生长整体与对照差异不明显,而 60 mmol/L NaCl 处理时各项指标与对照差异明显;因此将 0、50、100 mmol/L NaCl 作为生菜不同材料抗性筛选的浓度梯度范围。菜薹在 300 mmol/L NaCl 处理下种子萌发及幼苗生长被明显抑制,种子几乎未萌发,可能是菜薹 NaCl 处理的致死浓度范围;而在 200、250 mmol/L NaCl 浓度下,菜薹各项指

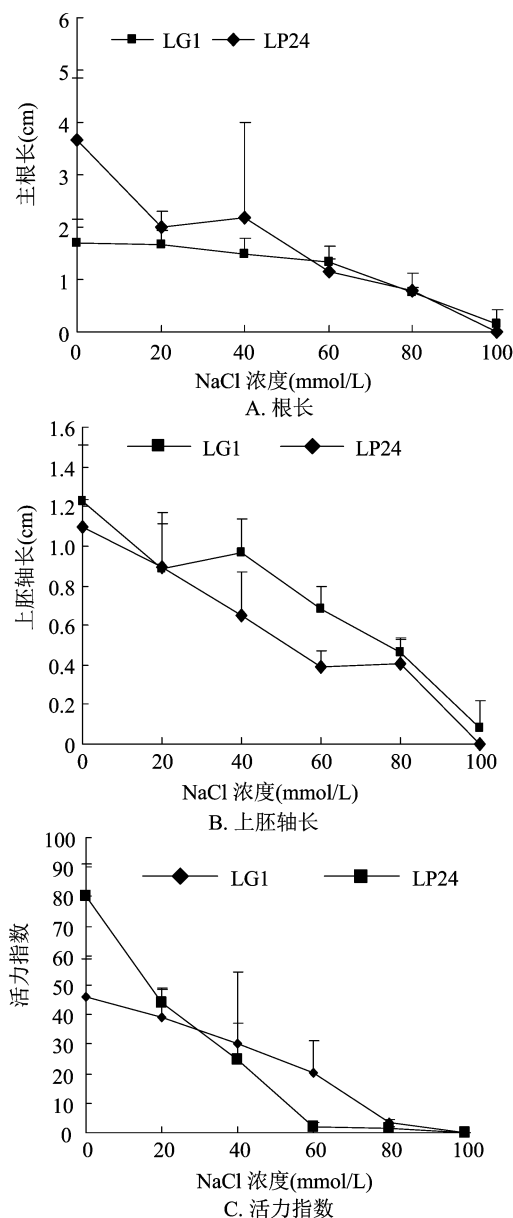


图3 不同浓度盐胁迫对生菜幼苗生长的影响

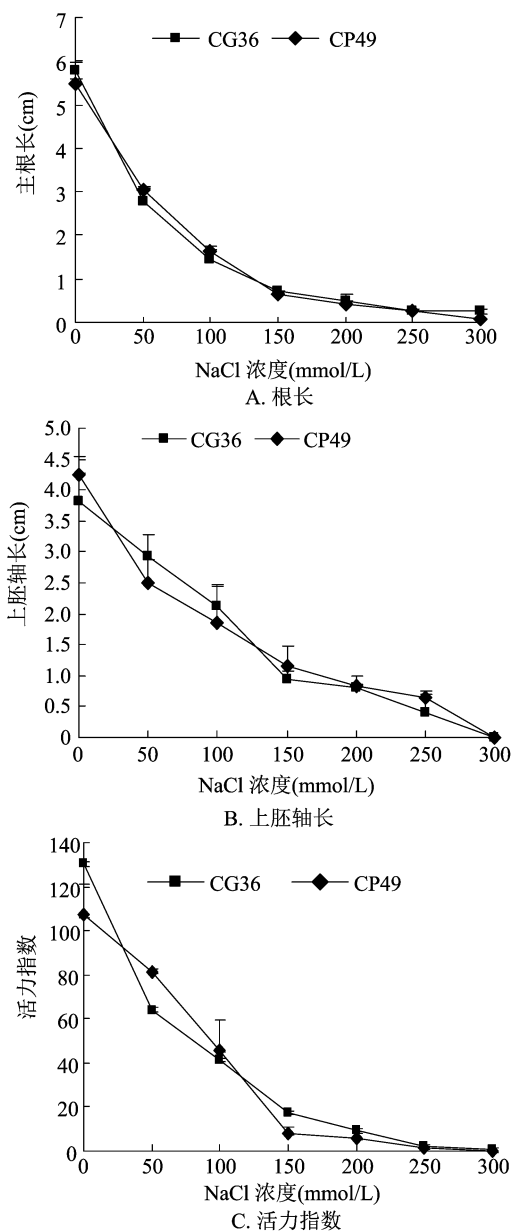


图4 不同浓度盐胁迫对菜薹幼苗生长的影响

标明明显低于对照,因此将 0、200、250、300 mmol/L NaCl 作为菜薹不同材料抗性筛选的浓度梯度。

## 2.2 盐胁迫对生菜、菜薹抗性的影响

### 2.2.1 不同浓度盐胁迫下对不同材料生菜种子萌发的影响

试验进一步在 0、50、100 mmol/L 等 3 个 NaCl 浓度处理下分别对 10 个生菜材料种子萌发进行比较。从表 1 可以看出,随着 NaCl 胁迫浓度的升高,不同生菜材料的发芽率、发芽势、发芽指数均呈现下降的趋势,且不同材料间差异明显。NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,绿生菜中 LG13 的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 100.00%、91.67%、39.58,均明显高于其他生菜材料;紫生菜中 LP14 生菜的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 91.67%、85.00%、

33.11,与其他生菜材料也存在明显差异。当 NaCl 浓度升高为 100 mmol/L 时, LG1、LP24 的各项发芽指标均降为 0,而 LG13 的发芽率、发芽势、发芽指数分别高达 81.67%、70.00%、25.20, LP14 的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 58.33%、33.33%、11.80,与其他材料间差异显著。结果表明,盐胁迫下抗性较强的生菜材料为 LG13、LP14,较敏感的材料为 LG1、LP24。

### 2.2.2 不同浓度盐胁迫下对不同材料菜薹种子萌发的影响

不同浓度 (0、200、250、300 mmol/L) 的 NaCl 处理对 10 个菜薹材料的种子萌发试验结果 (表 2) 表明,不同菜薹材料的发芽率、发芽势、发芽

表 1 不同浓度 NaCl 胁迫下对不同生菜材料种子萌发的影响

生菜材料	NaCl 处理浓度 (mmol/L)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数
LG1	0	95.00 ± 0.00ab	81.67 ± 0.10ab	33.69 ± 3.50ab
	50	68.33 ± 0.21cde	50.00 ± 0.20d	17.09 ± 7.88de
	100	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d
LG2	0	65.00 ± 0.18c	48.33 ± 0.23e	17.40 ± 5.86c
	50	50.00 ± 0.05e	38.33 ± 0.08d	11.46 ± 1.97ef
	100	1.67 ± 0.03c	0.00 ± 0.00c	0.33 ± 0.58d
LG9	0	91.67 ± 0.08ab	78.33 ± 0.08abc	30.37 ± 1.47b
	50	83.33 ± 0.06abcd	70.00 ± 0.05bc	19.07 ± 0.74cd
	100	5.00 ± 0.09c	1.67 ± 0.03c	0.46 ± 0.80d
LG13	0	96.67 ± 0.05ab	90.00 ± 0.05ab	41.12 ± 3.46a
	50	100.00 ± 0.00a	91.67 ± 0.06a	39.58 ± 1.19a
	100	81.67 ± 0.15a	70.00 ± 0.10a	25.20 ± 2.73a
LG23	0	95.00 ± 0.05ab	90.00 ± 0.05ab	38.70 ± 4.35ab
	50	78.33 ± 0.06bcd	66.67 ± 0.06c	24.81 ± 2.50c
	100	3.33 ± 0.06c	0.00 ± 0.00c	0.36 ± 0.62d
LP14	0	100.00 ± 0.00a	90.00 ± 0.05ab	41.36 ± 4.14a
	50	91.67 ± 0.77ab	85.00 ± 0.13ab	33.11 ± 6.84b
	100	58.33 ± 0.16b	33.33 ± 0.03b	11.80 ± 1.82b
LP15	0	81.67 ± 0.15b	51.67 ± 0.16de	21.78 ± 5.84c
	50	65.00 ± 0.05de	18.33 ± 0.08e	9.77 ± 1.33f
	100	6.67 ± 0.07c	0.00 ± 0.00c	0.24 ± 0.22d
LP16	0	98.33 ± 0.03a	58.33 ± 0.06cde	20.68 ± 1.47c
	50	78.33 ± 0.25bcd	8.33 ± 0.03e	9.03 ± 2.32f
	100	5.00 ± 0.05c	0.00 ± 0.00c	0.32 ± 0.33d
LP18	0	95.00 ± 0.09ab	93.33 ± 0.12a	42.32 ± 5.79a
	50	88.33 ± 0.03abc	78.33 ± 0.06abc	24.83 ± 1.23c
	100	45.00 ± 0.22b	5.00 ± 0.05c	3.71 ± 1.35c
LP24	0	95.00 ± 0.05ab	70.00 ± 0.13bcd	30.62 ± 6.76b
	50	48.33 ± 0.03e	8.33 ± 0.08e	5.50 ± 2.54e
	100	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d

注:表中数据为 3 次重复的(平均值 ± 标准差);同列数值后不同小写字母表示同一处理浓度不同材料间差异显著( $P < 0.05$ )。表 2 至表 6 同。

指数随着 NaCl 胁迫浓度的升高均呈现下降的趋势,且不同材料间差异明显。NaCl 浓度为 200 mmol/L 时,绿菜薹中 CG40 的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 86.67%、78.33%、30.38,明显高于其他材料;紫菜薹中 CP38 的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 85.00%、76.67%、22.94,明显高于其他材料。NaCl 浓度为 250 mmol/L 时,绿菜薹中 CG34 的发芽率、发芽势、发芽指数均降为 0,明显低于其他材料;CG40 的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 76.67%、68.33%、14.69,显著高于其他材料;紫菜薹中 CP38

的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 75.00%、56.67%、15.50,显著高于其他材料。当 NaCl 浓度升高为 300 mmol/L 时,绿菜薹中 CG42 的发芽率、发芽指数较高,分别为 30.00%、4.17,CG40 的发芽势显著高于其他材料;紫菜薹中 CP38 的发芽率、发芽势、发芽指数分别为 61.67%、26.67%、10.11,显著高于其他材料。绿菜薹在盐胁迫下抗性较强的材料为 CG40、CG42,较敏感的材料为 CG34;紫菜薹在盐胁迫下抗性较强的材料是 CP38。盐胁迫对紫菜薹的种子萌发影响较小,紫菜薹比绿菜薹的耐盐

表 2 不同浓度 NaCl 胁迫下对不同菜薹材料种子萌发的影响

菜薹材料	NaCl 处理浓度 (mmol/L)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数
CG32	0	85.00 ± 0.05bc	71.50 ± 0.08b	23.77 ± 4.52d
	200	43.33 ± 0.06c	26.50 ± 0.15e	9.01 ± 0.88def
	250	20.00 ± 0.18cd	6.50 ± 0.03de	3.07 ± 0.37bc
	300	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d
CG34	0	66.67 ± 0.20d	20.00 ± 0.05c	14.01 ± 5.16e
	200	16.67 ± 0.03d	1.50 ± 0.02f	3.12 ± 0.36f
	250	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00c
	300	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d
CG35	0	98.33 ± 0.03ab	95.00 ± 0.09a	44.62 ± 5.50ab
	200	71.67 ± 0.06ab	56.50 ± 0.08bc	17.63 ± 4.91bc
	250	38.33 ± 0.06b	18.00 ± 0.03d	6.83 ± 1.73b
	300	11.67 ± 0.08bcd	6.50 ± 0.03bc	2.05 ± 0.84bcd
CG36	0	85.00 ± 0.00bc	73.00 ± 0.11b	31.30 ± 5.55cd
	200	60.00 ± 0.18b	50.00 ± 2.64cd	16.43 ± 3.88bcd
	250	33.33 ± 0.13bc	11.50 ± 0.06de	5.56 ± 0.97b
	300	11.67 ± 0.10bcd	6.50 ± 0.01bc	2.09 ± 0.70bcd
CG40	0	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	45.80 ± 6.56a
	200	86.67 ± 0.10a	78.33 ± 0.08a	30.38 ± 6.25a
	250	76.67 ± 0.10a	68.33 ± 0.06a	14.69 ± 3.07a
	300	21.67 ± 0.03bc	21.67 ± 0.03a	3.98 ± 0.51b
CG42	0	96.67 ± 0.03ab	91.67 ± 0.10a	42.48 ± 3.86ab
	200	68.33 ± 0.03b	61.67 ± 0.08abc	26.01 ± 5.42a
	250	46.67 ± 0.06b	38.33 ± 0.10c	11.26 ± 2.29a
	300	30.00 ± 0.05b	11.50 ± 0.08b	4.17 ± 1.19b
CG43	0	98.33 ± 0.03ab	91.67 ± 0.08a	42.55 ± 4.07ab
	200	73.33 ± 0.03ab	68.33 ± 0.12ab	28.46 ± 4.20a
	250	48.33 ± 0.08b	45.00 ± 0.09b	12.28 ± 5.44a
	300	23.33 ± 0.14bc	11.50 ± 1.52b	2.36 ± 0.72bc
CP37	0	76.67 ± 0.03cd	71.67 ± 0.08b	23.57 ± 3.16d
	200	61.67 ± 0.12b	38.33 ± 0.10de	11.45 ± 2.30cde
	250	33.33 ± 0.08bc	6.50 ± 0.03de	4.48 ± 2.07bc
	300	11.67 ± 0.08bcd	0.00 ± 0.00c	0.73 ± 0.31cd
CP38	0	98.33 ± 0.03ab	88.33 ± 0.03a	35.70 ± 6.85bc
	200	85.00 ± 0.10a	76.67 ± 0.08a	22.94 ± 3.80ab
	250	75.00 ± 0.09a	56.67 ± 0.12b	15.50 ± 2.83a
	300	61.67 ± 0.21a	26.67 ± 0.08a	10.11 ± 2.73a
CP49	0	81.67 ± 0.10c	71.67 ± 0.10b	24.12 ± 3.29d
	200	40.00 ± 0.05c	23.33 ± 0.06e	7.73 ± 5.60ef
	250	13.33 ± 1.15de	3.00 ± 0.03e	2.63 ± 0.19bc
	300	5.00 ± 0.05cd	3.00 ± 0.02bc	0.98 ± 1.06cd

性相对较强。

2.2.3 不同浓度盐胁迫对不同生菜材料幼苗生长的影响 不同生菜材料的主根长在 NaCl 胁迫下变化趋势有所差异(表 3),绿生菜的 LG9、LG13 和紫生菜的 LP14、LP18 在低盐浓度下,可以促进主根生长,随着盐浓度的升高,主根生长表现出被抑制的

现象,而其他几个材料的主根长在盐胁迫下均呈现下降的趋势。NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,绿生菜中 LG13 主根长较对照增长 23%,显著高于其他材料;紫生菜中 LP14 主根长较对照增长 22%。NaCl 浓度为 100 mmol/L 时,LG1、LP24 的主根长已降为 0,而绿生菜中 LG13 主根长为 1.86 cm,显著高于其他材

料;紫生菜中 LP14 主根长高达 1.33 cm,与其他材料差异明显。

随着 NaCl 浓度的升高,生菜的上胚轴长、活力指数整体呈现下降的趋势(表 3)。50 mmol/L NaCl 处理时,绿生菜中 LG13 的上胚轴长较对照仅下降 2.2%,活力指数较对照升高 19.0%,且与其他材料间差异显著;紫生菜中 LP14 的上胚轴长较对照升高 37.5%,活力指数较对照下降 4.4%,与其他材料间差异显著。NaCl 浓度为 100 mmol/L 时, LG1、LP24 的上胚轴长、活力指数已降为 0,而 LG13 的上胚轴长、活力指数分别较对照下降 42.0%、71.3%, LP14 的上胚轴长、活力指数分别较对照下降

40.0%、82.6%,其他材料的上胚轴长、活力指数几乎都降为 0。

试验结果表明,就幼苗生长情况而言, LG13、LP14 的耐盐性较强, LG1、LP24 较为敏感;整体而言,绿生菜与紫生菜的幼苗对盐胁迫的耐受性差异不明显。

2.2.4 不同浓度盐胁迫对不同菜薹材料幼苗生长的影响 从表 4 可以看出,菜薹的主根长、上胚轴长、活力指数随着 NaCl 胁迫浓度的升高均呈现下降的趋势。NaCl 浓度为 0 mmol/L 时,绿菜薹中 CG40 主根长、上胚轴长、活力指数均明显高于其他材料。NaCl 浓度为 200 mmol/L 时,绿菜薹中 CG40 主根

表 3 不同浓度 NaCl 胁迫对不同生菜材料幼苗生长的影响

生菜材料	处理浓度 (mmol/L)	主根长 (cm)	上胚轴长 (cm)	活力指数
LG1	0	1.55 ± 0.24c	1.30 ± 0.21b	52.16 ± 10.74cd
	50	1.25 ± 0.30c	0.91 ± 0.14bcd	34.40 ± 23.31cde
	100	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00c
LG2	0	1.96 ± 0.44bc	0.97 ± 0.20bc	34.77 ± 15.08d
	50	1.88 ± 0.86bc	0.65 ± 0.12cd	22.38 ± 11.79de
	100	0.22 ± 0.38c	0.11 ± 0.18cd	0.22 ± 0.38c
LG9	0	2.03 ± 0.97bc	1.24 ± 0.46bc	61.81 ± 29.72bcd
	50	2.62 ± 0.52bc	1.04 ± 0.14bc	49.78 ± 8.43cd
	100	0.13 ± 0.23c	0.09 ± 0.16cd	0.18 ± 0.32c
LG13	0	4.02 ± 0.46a	1.85 ± 0.13a	164.46 ± 9.40a
	50	4.95 ± 0.45a	1.81 ± 0.12a	195.70 ± 11.94a
	100	1.86 ± 0.18a	1.07 ± 0.05a	47.16 ± 8.79a
LG23	0	2.26 ± 0.19bc	1.04 ± 0.09bc	86.94 ± 6.83bc
	50	2.24 ± 0.18bc	0.72 ± 0.05cd	55.30 ± 2.15c
	100	0.32 ± 0.55c	0.13 ± 0.23cd	0.34 ± 0.59c
LP14	0	2.18 ± 0.36bc	0.88 ± 0.14c	89.03 ± 6.64b
	50	2.65 ± 0.73bc	1.21 ± 0.71b	85.13 ± 15.88b
	100	1.33 ± 0.29ab	0.53 ± 0.09b	15.49 ± 2.28b
LP15	0	3.77 ± 0.49a	0.97 ± 0.21bc	80.63 ± 15.81bc
	50	3.28 ± 1.60b	0.51 ± 0.08d	33.04 ± 19.77cde
	100	0.39 ± 0.34c	0.16 ± 0.14cd	0.14 ± 0.12c
LP16	0	3.80 ± 1.00a	0.91 ± 0.18bc	78.15 ± 19.58bc
	50	2.53 ± 1.05bc	0.48 ± 0.06d	24.30 ± 14.66de
	100	0.40 ± 0.69c	0.11 ± 0.18cd	0.26 ± 0.45c
LP18	0	2.27 ± 0.17bc	0.99 ± 0.17bc	95.60 ± 6.35b
	50	2.43 ± 0.89bc	0.65 ± 0.14cd	59.62 ± 19.26c
	100	1.06 ± 0.46b	0.34 ± 0.03bc	3.73 ± 1.36c
LP24	0	3.06 ± 0.56ab	0.92 ± 0.06bc	96.19 ± 39.42b
	50	2.43 ± 0.99bc	0.47 ± 0.11d	15.00 ± 10.56e
	100	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00c

长、上胚轴长较对照分别降低 93.6%、78.0%，各项指标明显高于其他材料；紫菜藁中 CP38 主根长、上胚轴长较对照分别降低 94.0%、81.8%，各项指标明显高于其他材料。NaCl 浓度为 250 mmol/L 时，绿菜藁中 CG40 主根长、上胚轴长最长，分别为 0.28、0.64 cm，但与其他材料间差异不显著，活力指

表 4 不同浓度 NaCl 胁迫对不同菜藁材料幼苗生长的影响

菜藁材料	处理浓度 (mmol/L)	主根长 (cm)	上胚轴长 (cm)	活力指数
CG32	0	5.42 ± 1.03c	4.13 ± 0.17bc	131.49 ± 47.63fg
	200	0.31 ± 0.02b	0.56 ± 0.01b	2.77 ± 0.39efg
	250	0.20 ± 0.00ab	0.35 ± 0.15bc	0.61 ± 0.07cd
	300	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00d
CG34	0	5.22 ± 0.36c	4.05 ± 0.16c	72.13 ± 21.83g
	200	0.31 ± 0.09b	0.55 ± 0.29b	0.96 ± 0.19g
	250	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d
	300	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00d
CG35	0	6.97 ± 0.18b	4.90 ± 0.85ab	311.76 ± 45.54b
	200	0.34 ± 0.05b	0.70 ± 0.06b	6.16 ± 2.72de
	250	0.24 ± 0.01ab	0.43 ± 0.07abc	1.63 ± 0.50c
	300	0.10 ± 0.00b	0.17 ± 0.06cd	0.21 ± 0.08cd
CG36	0	6.04 ± 0.93bc	4.50 ± 0.16ab	191.72 ± 58.88def
	200	0.33 ± 0.13b	0.66 ± 0.25b	5.20 ± 0.29def
	250	0.23 ± 0.03ab	0.41 ± 0.13abc	1.26 ± 0.29c
	300	0.20 ± 0.01a	0.20 ± 0.00c	0.43 ± 0.16bcd
CG40	0	8.75 ± 0.55a	5.33 ± 0.28a	399.21 ± 45.50a
	200	0.56 ± 0.20a	1.17 ± 0.23a	16.38 ± 3.55a
	250	0.28 ± 0.02ab	0.64 ± 0.12ab	4.13 ± 0.64ab
	300	0.20 ± 0.00a	0.22 ± 0.03c	0.82 ± 0.11b
CG42	0	6.16 ± 0.62bc	4.85 ± 0.32ab	261.75 ± 25.14bcd
	200	0.37 ± 0.06b	0.87 ± 0.14ab	9.74 ± 3.64bc
	250	0.27 ± 0.03ab	0.48 ± 0.12abc	2.97 ± 0.35b
	300	0.20 ± 0.00a	0.36 ± 0.04b	0.83 ± 0.38b
CG43	0	6.34 ± 0.88bc	4.85 ± 0.32ab	270.85 ± 45.13bc
	200	0.44 ± 0.05ab	0.93 ± 0.29ab	12.30 ± 0.58b
	250	0.27 ± 0.09ab	0.50 ± 0.04abc	3.28 ± 1.39b
	300	0.20 ± 0.00a	0.21 ± 0.01c	0.47 ± 0.14bc
CP37	0	5.95 ± 1.00bc	4.16 ± 0.65b	138.65 ± 16.61fg
	200	0.32 ± 0.08b	0.60 ± 0.17b	3.65 ± 1.31efg
	250	0.20 ± 0.00ab	0.41 ± 0.10abc	0.90 ± 0.41cd
	300	0.05 ± 0.05bc	0.05 ± 0.05e	0.03 ± 0.02d
CP38	0	6.06 ± 0.69bc	4.51 ± 0.29ab	218.23 ± 60.33cde
	200	0.34 ± 0.05b	0.82 ± 0.30ab	7.80 ± 0.95cd
	250	0.30 ± 0.12a	0.69 ± 0.40a	4.52 ± 1.11a
	300	0.20 ± 0.00a	0.56 ± 0.16a	2.02 ± 0.55a
CP49	0	5.95 ± 0.54bc	4.42 ± 0.31ab	142.63 ± 13.33efg
	200	0.31 ± 0.12b	0.59 ± 0.00b	2.21 ± 1.65fg
	250	0.18 ± 0.08b	0.23 ± 0.03cd	0.49 ± 0.22cd
	300	0.09 ± 0.08b	0.07 ± 0.06de	0.14 ± 0.18cd



数明显高于其他材料;紫菜薹中 CP38 主根长与其他材料间差异不明显,但上胚轴长、活力指数明显高于其他材料;而 CG34 的主根长、上胚轴长、活力指数均已降为 0。当 NaCl 浓度为 300 mmol/L 时,绿菜薹的 CG40、CG42 的主根长、上胚轴长、活力指数均明显高于其他材料;紫菜薹的 CP38 各项指标显著高于其他材料。试验结果表明,就幼苗生长情况而言,绿菜薹中 CG40、CG42 的耐盐性较强,CG34 较为敏感;紫菜薹中 CP38 的耐盐性较强。整体而言,紫菜薹幼苗的对盐胁迫的耐受性比绿菜薹强。

2.2.5 不同浓度盐胁迫对不同生菜材料耐盐指数的影响 试验结果(表 5、表 6)表明,不同物种对盐胁迫反应差异较大,同一物种不同材料间耐盐性也存在显著性差异。当 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,生菜材料 LG13、LP18 盐害指数明显低于其他材料,LP14 次之,当 NaCl 浓度升高至 100 mmol/L 时,生菜材料 LG13、LP14 的盐害指数分别为 15.52%、41.67%,明显低于其他材料,而 LG1、LP24 的盐害指数高达 100.00%。

表 5 不同浓度盐胁迫对不同生菜材料盐害指数的影响		
生菜材料	盐害指数(%)	
	50 mmol/L	100 mmol/L
LG1	28.07 ± 0.22cd	100.00 ± 0.00a
LG2	23.08 ± 0.08cd	97.44 ± 0.04a
LG9	9.09 ± 0.06de	94.55 ± 0.09a
LG13	-3.45 ± 0.00e	15.52 ± 0.16de
LG23	17.54 ± 0.06d	96.49 ± 0.06a
LP14	8.33 ± 0.08de	41.67 ± 0.12bc
LP15	20.41 ± 0.06d	91.84 ± 0.09a
LP16	20.34 ± 0.25d	94.92 ± 0.05a
LP18	7.02 ± 0.03de	52.63 ± 0.23b
LP24	49.12 ± 0.03b	100.00 ± 0.00a

2.2.6 不同浓度盐胁迫对不同菜薹材料盐害指数的影响 从表 6 可以看出,当 NaCl 浓度为 200、250 mmol/L 时,菜薹材料 CG40、CP38 的盐害指数均明显低于其他材料,而 CG34 在 NaCl 浓度为 250 mmol/L 时盐害指数已达到 100.00%;当 NaCl 浓度升高至 300 mmol/L 时,CP38 的盐害指数最低,为 15.91%,与其他材料间差异显著,CG42 次之,盐害指数为 58.14%,明显低于其他材料。大部分生菜材料在 NaCl 浓度为 100 mmol/L 时,盐害指数大于 90%,而大部分菜薹材料在 NaCl 浓度为 300 mmol/L 时仍有一定的抗盐性,因此,菜薹的整体耐盐程度要明显高于生菜。

表 6 不同浓度盐胁迫对不同菜薹材料盐害指数的影响

菜薹材料	盐害指数(%)		
	200 mmol/L	250 mmol/L	300 mmol/L
CG32	49.02 ± 0.07de	76.47 ± 0.21abc	100.00 ± 0.00a
CG34	67.74 ± 0.06bcd	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
CG35	-10.26 ± 0.09h	41.03 ± 0.09e	82.05 ± 0.12abc
CG36	5.26 ± 0.28gh	47.37 ± 0.20de	81.58 ± 0.16bc
CG40	-18.18 ± 0.14h	-4.55 ± 0.14gh	70.45 ± 0.04bcd
CG42	4.65 ± 0.04gh	34.88 ± 0.08ef	58.14 ± 0.07cde
CG43	0.00 ± 0.04gh	34.09 ± 0.10ef	68.18 ± 0.20bcd
CP37	-12.12 ± 0.21h	39.39 ± 0.14ef	78.79 ± 0.14abc
CP38	-15.91 ± 0.14h	-2.27 ± 0.12gh	15.91 ± 0.28fg
CP49	47.83 ± 0.07de	82.61 ± 0.08abc	93.48 ± 0.07ab

3 讨论与结论

植物生长发育评价指标主要有种子萌发指标,包括发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等以及苗期指标包括根长、苗高等<sup>[9]</sup>,其中,发芽率、发芽势都是反映种子质量和活力的重要指标。发芽率反映种子发芽的数量,而发芽势反映种子发芽的快慢和整齐度<sup>[10-11]</sup>。发芽率在一定程度上能反映植物在发芽初期耐盐性的强弱<sup>[12]</sup>。生长抑制是植物对盐渍响应最敏感的过程<sup>[13]</sup>。上胚轴生长量是植物受害程度的一个常用外在表现指标,根系生长量与植物的抗逆性关系密切,可以衡量植物的生长状况<sup>[14]</sup>。

盐离子对种子萌发的影响分为离子效应及渗透效应,当盐离子浓度较低时,可满足植物自身的离子需求,促进种子萌发,而当盐离子浓度较高时,高浓度的 NaCl 胁迫会破坏细胞的内部系统,使细胞离子失衡、代谢紊乱、水势降低、种子吸水困难,引起种子毒害,种子活力下降<sup>[15]</sup>。相关研究发现,高粱、拟南芥在低浓度盐处理下,对种子的萌发抑制现象不明显,高浓度盐处理抑制现象显著<sup>[10,16]</sup>。而白菜、小白菜、萝卜在低浓度盐处理下,可以促进种子萌发,高浓度盐处理下抑制种子萌发<sup>[17-19]</sup>。本试验结果表明,0~100 mmol/L NaCl 可以促进菜薹的种子萌发,随着盐浓度升高,菜薹的种子萌发呈现出下降的趋势,当浓度达 300 mmol/L 时,菜薹种子基本无生长趋势,这与前人研究结果<sup>[17-19]</sup>基本一致。刘慧颖等研究发现,不同浓度的 NaCl 均能抑制冰菜种子萌发和植株的生长,且浓度越大,抑制效果越显著<sup>[20]</sup>;李天星等的研究表明,花椰菜种

子随着 NaCl 浓度的增大种子萌发率呈下降趋势,且不同浓度的 NaCl 对花椰菜幼苗的苗高、根的生长均具有显著的抑制效应<sup>[21]</sup>。本试验结果表明,随着 NaCl 浓度的不断提高,生菜种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数,幼苗的主根长与上胚轴长均呈下降趋势;菜薹幼苗的主根长、上胚轴长及种子的活力指数也呈下降趋势,这与刘慧颖等关于盐胁迫对种子发芽特性影响的研究结果<sup>[20-21]</sup>基本一致。

盐胁迫会对植物生长发育带来不利影响,植物对过量盐分的反应取决于不同的物种、基因型和暴露时间<sup>[22]</sup>。傅宗正等在盐胁迫下对 5 种紫色生菜进行研究发现,随着 NaCl 浓度的不断提高,不同品种紫色生菜种子对盐胁迫的反应结果有所不同,筛选出紫晶 F<sub>1</sub> 和特红皱 2 个耐盐性品种<sup>[15]</sup>。邱清华等的试验结果表明,供试的 7 个紫菜薹品种均有一定的耐盐性,其中早丰红菜薹及十月红紫菜薹的耐盐性较强,比较适合在新疆这种高盐的环境下引种栽培<sup>[23]</sup>。本试验筛选到耐盐性相对较强的 2 个生菜材料为 LG13、LP14,较敏感的材料为 LG1、LP24;耐盐性较强的菜薹材料有 CP38、CG40、CG42,较敏感的材料为 CG34。且生菜、菜薹对盐离子的耐受性有较大差异,同一物种不同基因型材料耐盐性也存在较大差异。

本研究发现,生菜、菜薹均表现出一定的耐盐性但也有一定差异,生菜在 NaCl 胁迫后,种子萌发、幼苗生长均呈现下降的趋势,耐盐性较弱;菜薹表现出低盐浓度促进生长,随着盐浓度的提高,表现出抑制生长的现象,具有一定的耐盐性。且紫菜薹比绿菜薹抗盐性强一些,紫生菜、绿生菜在盐胁迫下差异不大,本研究结果可以为生菜、菜薹耐盐种质创制和新品种遗传选育提供参考。由于本试验是在实验室采用培养基培养条件下进行的,与田间环境有一定的差异,试验结果仍须要继续进行田间验证。

#### 参考文献:

- [1] 邵金彩,刘玉霞,杨佳鑫,等. 盐胁迫对蜡梅种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 浙江农业学报,2017,29(7):1139-1143.
- [2] Horie T, Kaneko T, Sugimoto G, et al. Mechanisms of water transport mediated by PIP aquaporins and their regulation via phosphorylation

- events under salinity stress in barley roots[J]. Plant and Cell Physiology,2011,52(4):663-675.
- [3] Rengasamy P. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils[J]. Functional Plant Biology,2010,37(7):613-620.
- [4] Munns R, Richard A J, Läuchli A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals[J]. Journal of Experimental Botany,2006,57(5):1025-1043.
- [5] Edward P G, Brown J J, Blumwald E. Salt tolerance and crop potential of halophytes[J]. Critical Reviews in Plant Sciences,1999,18(2):227-255.
- [6] 王 洁,孟秋峰,任锡亮,等. 十字花科作物耐盐种质研究现状及展望[J]. 现代农业科技,2019(12):60-61,63.
- [7] 肖明月,安 婧,纪占华,等. 六种常见抗生素对小白菜种子萌发及生理特性的影响[J]. 生态学杂志,2014,33(10):2775-2781.
- [8] 李娅娜. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜种子萌发的影响研究[J]. 种子科技,2017,35(12):152-153.
- [9] 张相锋,杨晓绒,焦子伟. 植物耐盐性评价研究进展及评价策略[J]. 生物学杂志,2018,35(6):91-94.
- [10] 杨 彬,张一中,柳青山. NaCl 胁迫对高粱种子萌发特性的影响[J]. 山西农业科学,2012,40(7):709-711,715.
- [11] 郭春蕊,王广印,原让花. NaCl 胁迫对辣椒种子发芽特性的影响[J]. 河南农业科学,2010,39(3):86-89.
- [12] 陈小梅,任 巍,马 林. 13 个小麦品种(系)的耐盐性研究[J]. 新疆农业科学,2011,48(12):2211-2216.
- [13] 肖 雯,贾恢先,蒲陆梅. 几种盐生植物抗盐生理指标的研究[J]. 西北植物学报,2000,20(5):818-825.
- [14] 周 琦,祝遵凌,施 曼. 盐胁迫对鹅耳枥生长及生理生化特性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2015,39(6):56-60.
- [15] 傅宗正,张卫华. 盐胁迫对五种紫色生菜种子萌发特性的影响[J]. 黑龙江农业科学,2017(9):64-68.
- [16] 陆玉建,高春明,郑香峰,等. 盐胁迫对拟南芥种子萌发的影响[J]. 湖北农业科学,2012,51(22):5099-5104.
- [17] 杨 飞,郭海波,吴 菊,等. NaCl 胁迫对白菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2014(1):26-29.
- [18] 王爱斌,徐芬芬,刘华伟. NaCl 处理对不同品种小白菜种子萌发和根毛形态的影响[J]. 种子,2019,38(5):107-109.
- [19] 徐芬芬,徐秀芳. NaCl 胁迫对萝卜种子萌发的影响[J]. 吉林农业科学,2012,37(4):48-50.
- [20] 刘慧颖,韩玉燕,蒋润枝,等. NaCl 对冰菜生长发育及重要品质的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(15):184-188.
- [21] 李天星,梁建华. 盐胁迫对花椰菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(3):118-120.
- [22] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology,2008,59:651-681.
- [23] 邱清华,邓绍云. 盐胁迫对七个品种紫菜薹种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2013(18):27-29.