

# NaCl胁迫对白菜型冬油菜种子萌发的影响

马学才<sup>1,2</sup>, 孙丽霞<sup>1,2</sup>, 方彦<sup>1,2</sup>, 曾瑞<sup>1,2</sup>, 朱明川<sup>1,2</sup>, 刘丽君<sup>1,2</sup>, 马骥<sup>1,2</sup>,  
武军艳<sup>1,2</sup>, 李爱国<sup>3</sup>

(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省油菜工程技术研究中心, 甘肃  
兰州 730070; 3. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 以 8 个白菜型冬油菜品种(系)为材料, 研究 NaCl 胁迫对耐盐性不同白菜型冬油菜种子发芽势、发芽率、胚根、胚芽长度以及干鲜重的影响。结果表明, 盐胁迫对白菜型冬油菜种子萌发具有显著的抑制作用, 盐浓度越高, 对种子萌发的抑制作用越大, 种子的发芽指数、活力指数、胚根长和干鲜重等均呈不断下降的趋势, 且处理盐浓度越高, 下降的速率越快。胚根、胚芽长度对于不同盐浓度处理十分敏感, 较低盐浓度处理时, 胚根、胚芽长度显著低于空白对照组; 盐浓度较高时, 胚根、胚芽无法正常生长, 种子萌发受到严重抑制。180、240 mmol/L NaCl 处理对参试品种均有很强的抑制作用, 相关指标下降幅度明显, 各品种在相同盐浓度处理下的差异较大, 表明各品种(系)的耐盐性存在差异。以耐盐半致死浓度作为评价指标, 参试品种的耐盐性由强到弱依次为 18R-X、MYW、BHH、DQW-1、GSY-1、WYW-1、TY7、JD8。

**关键词:** NaCl; 盐胁迫; 白菜型冬油菜; 种子萌发; 耐盐性

**中图分类号:** S565.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)11-0030-07

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2020.11.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2020.11.008)

## Effects of NaCl Stress on Seed Germination of Winter Rapeseed (*Brassica rapa* L.)

MA Xuecai<sup>1,2</sup>, SUN Lixia<sup>1,2</sup>, FANG Yan<sup>1,2</sup>, ZENG Rui<sup>1,2</sup>, ZHU Mingchuan<sup>1,2</sup>, LIU Lijun<sup>1,2</sup>,  
MA Li<sup>1,2</sup>, WU Junyan<sup>1,2</sup>, LI Aiguo<sup>3</sup>

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Research Center of Rapeseed Engineering and Technology, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** In this experiment, eight different winter rapeseeds (*Brassica rapa* L.) were used as materials to study the effects of NaCl stress on the germination potential, germination rate, radicle, length of germ and dry fresh weight of winter rapeseed seed with different salt tolerance. The results showed that salt stress had significant inhibitory effect on seed germination of winter rapeseed. The higher the salt concentration, the greater the inhibition of salt stress on seed, vigor index, vigor index, radicle length and dry fresh weight of winter rapeseed seed all showed a decreasing trend, the higher the salt concentration, the faster the rate of decrease. The radicle and germ lengths were very sensitive to different salt concentration, and the radicle and germ lengths were significantly lower than those of the blank control group; when the salt concentration was high, the radicle and germ could not grow normally, and the seed germination was seriously inhibited. The NaCl treatment

收稿日期: 2019-12-23; 修订日期: 2020-07-16

基金项目: 甘肃农业大学 SRTP 项目(201901002), 国家现代农业产业技术体系(CARS-13); 甘肃省重大专项(17ZD2NA016-4); 甘肃省农业产业技术体系(GARS-TSZ-1)。

作者简介: 马学才(1995—), 男(回族), 甘肃临夏人, 硕士, 研究方向为油菜的遗传育种。Email: 1950604933@qq.com。

通信作者: 武军艳(1981—), 女, 甘肃白银人, 副教授, 博士, 主要从事油菜的遗传育种工作。Email: wujuny@gsau.edu.cn。

of 180 mmol/L and 240 mmol/L had a strong inhibitory effect on the tested cultivars, and the decrease range of related indexes was obvious. The differences of various cultivars under the same salt concentration treatment were large, indicating that the salt tolerance of various cultivars (lines) was different. With the salt tolerance semi-lethal concentration as the evaluation index, the salt tolerance of the tested cultivars from strong to weak was 18R-X, MYW, BHH, DQW-1, GSY-1, WYW-1, TY7, JD8.

**Key words:** NaCl; Salt stress; Winter rapeseed (*Brassica rapa* L.); Germination; Salt tolerance

随着土壤荒漠化和土壤盐渍化的不断加剧,造成有效耕地面积减少和气候生态失调,严重影响了农作物的种植和推广。我国人口基数大,随着经济的飞速增长和城市化规模推进的不断加快,人民对于日常生活需求和生活质量要求在不断提高,对于植物食用油需求和植物食用油品质要求也在不断提升。然而由于不合理施肥和灌溉不当等所造成的土壤盐渍化规模仍在持续增加<sup>[1]</sup>,这对于保障植物食用油正常供给提出了巨大的挑战。据有关资料显示,目前我国国产植物食用油供给量约占总供给量的 35%左右<sup>[2]</sup>,并且自给率呈连年下降趋势,过度依赖于国际市场不利于我国粮食安全和农业农村的发展。

现阶段我国有各类盐渍化土地约为 3 466.7 万  $\text{hm}^2$ ,已合理开发用于农业种植的约占 16.64%,盐渍化土地具有广阔的开发利用前景<sup>[3]</sup>。研究植物的耐盐性机制、选育耐盐高产品种对合理的利用盐渍化土地、提高作物产量和品质等具有重要的意义。我国盐渍化土地在时空分布上存在差异,主要分布于北方地区<sup>[4]</sup>,北方部分寒旱区冬油菜种植和推广所面临的主要问题是无法适应冬季严寒,而超强抗寒冬油菜的成功选育则克服了冬油菜在寒旱区推广所面临的这一问题,冬油菜在北方寒旱区和高纬寒冷区的成功推广,使油菜的适宜种植区成功北移了 5~13 度<sup>[5]</sup>,较大规模地增加了我国冬油菜的种植区域,对于合理利用盐碱土、提升我国食用油品质和产量、保障我国食用油供给具有重要意义。越来越多的研究表明,盐胁迫是造成作物减产和品质下降的主要原因,有研究认为盐胁迫对种子萌发和幼苗生长等具有直

接且显著的影响<sup>[6-7]</sup>,植物能否在盐胁迫下生存主要取决于萌发期和幼苗期种子的生长情况<sup>[8-11]</sup>。盐胁迫主要通过抑制光合色素(如叶绿素等)的合成而影响光合作用,从而对植物的生长发育造成影响并最终致使作物减产。盐胁迫造成的生理干旱和离子毒害作用严重影响植物的正常生长,植物长时间处于高盐胁迫下会导致气孔开度下降、光合电子传递受阻、碳同化关键酶活性下降等,并导致部分相应的生理生化过程受到不可逆伤害<sup>[12-15]</sup>。我们采用 6 个浓度梯度的盐溶液,对白菜型冬油菜的 8 个不同品种在盐胁迫下的种子萌发和幼苗生长情况进行了研究,进而比较了白菜型油菜不同品种间的耐盐性,分析了各品种间的耐盐临界值,以期后续耐盐性品种的选育和耐盐机制的相关研究提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试白菜型冬油菜品种(系)有 8 个,分别为 TY7、BHH、MYW、GSY-1、WYW-1、DQW-1、JD8、18R-X,均为 2018 年 8 月收获于甘肃省兰州市秦王川油菜育种基地。

### 1.2 试验方法

2018 年选用直径为 9 cm 的无菌培养皿,在培养皿底部铺放 2 层无菌滤纸。挑选籽粒充盈饱满、大小均匀一致的油菜种子,先用 3% 的 NaClO 对其进行表面消毒,然后用无菌蒸馏水冲洗数次,再用无菌滤纸吸干种子外附的水分,使其保持干燥待用。将 NaCl 配制成 0(CK)、45、90、135、180、240 mmol/L 6 个梯度浓度,随机选取 30 粒大小均匀一致、籽粒充盈饱满的油菜种子,于培养皿上均匀排列,再向培养皿中加入相对

应的处理液 8 mL 至滤纸充分湿润, 处理液以不完全覆盖种子为宜, 3 次重复。在发芽试验进行的第 3 天统计发芽势, 第 7 天统计发芽率、相对发芽率并测定胚根长、胚芽长、鲜重、干重等指标, 对相应指标进行线性回归分析, 求出各品种的耐盐致死浓度、耐盐半致死浓度和耐盐适宜浓度等。

### 1.3 测定指标

1.3.1 发芽势(*GE*) 正常发芽 3 d 的种子数占供试种子数的百分率。

1.3.2 发芽率(*GR*) 正常发芽 7 d 的种子数占供试种子数的百分率。

1.3.3 胚根长、胚芽长和干重、鲜重 每个培养皿分别取 3 株长势基本一致的胚苗, 蒸馏水冲洗数次, 用无菌滤纸吸干其外附水分, 用分析天平称量其鲜重。将称重后的样品置于 120 °C 烘箱中杀青 15 min, 置于 80 °C 烘箱内烘至重量不再发生变化时为止, 称量其干重。测量不同处理下幼苗的胚根长和胚芽长, 取其平均值。

1.3.4 发芽指数(*GI*)  $GI = \sum(Gt/Dt)$ , 式中, *Gt* 为发芽试验过程中每天萌发的种子数, *Dt* 为发芽天数,  $\sum$  为总和。

1.3.5 活力指数(*VI*)  $VI = S \times GI$ , 式中, *S* 为一定时期内正常幼苗胚根长度 (cm), *GI* 为发芽指数。

1.3.6 相对发芽率 相应盐浓度处理后的发芽率与空白对照发芽率比值的百分率。

1.3.7 耐盐半致死浓度 相对发芽率为 50% 时所对应处理的盐浓度。

1.3.8 耐盐适宜浓度 相对发芽率大于 75% 时所对应处理的盐浓度。

1.3.9 耐盐致死浓度 相对发芽率低于 10% 时所对应处理的盐浓度。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 21.0、Excel 2010 软件对数据进行单因素方差分析和线性回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 发芽势

从表 1 可知, 在 45 mmol/L NaCl 处理下, 除 WYW-1 上升外, 其余品种均有所下降, 其中 GSY-1 下降幅度较为明显。在 90 mmol/L NaCl 处理之后, 各品种随着盐浓度的增高, 发芽势逐渐下降。在 135 mmol/L NaCl 处理下, 各品种发芽势的降幅与空白对照相比十分明显, 其中以 TY7 下降幅度最大, 比空白对照下降 20.00 百分点; WYW-1 下降幅度最小, 仅为 1.11 百分点。在 180 mmol/L NaCl 处理下, 18R-X、BHH 发芽势较高, 分别为 83.33%、81.11%; 最低的是 TY7, 仅为 60.00%; 下降幅度最大的为 JD8, 较空白对照下降 26.67 百分点。盐浓度大于 180 mmol/L 处理的油菜发芽势呈断崖式下降。盐浓度为 240 mmol/L 时各品种的发芽势均较低, 说明该浓度对种子的萌发有很强的抑制作用, 其中 18R-X 和 MYW 在高盐胁迫下仍有较高的发芽势, 分别为 28.89% 和 23.33%, 显著高于其他品种。

### 2.2 发芽率

参试品种(系)对盐浓度的耐受性存在明显的差异(表 2), 说明品种间的耐盐性差异较大。除 18R-X 在 45.90 mmol/L 时略有上升外, 其余各品种均表现为随着盐浓度的升高发芽率逐渐下降, 并且盐浓度越高, 发芽

表 1 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜种子发芽势<sup>①</sup>

NaCl 浓度 (mmol/L)	发芽势/%								
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X	
0(CK)	93.33±5.09a	93.33±1.92a	92.22±1.11a	100a	95.56±2.22a	84.44±1.11a	91.11±4.84a	98.89±1.11a	
45	85.56±4.44a	82.22±1.11ab	96.67±0.00a	96.67±1.92a	92.22±4.44a	82.22±4.44a	87.78±2.22ab	95.56±2.94ab	
90	87.78±2.94a	85.56±6.19ab	97.78±1.11a	91.11±2.94ab	90.00±1.92ab	78.89±2.22ab	87.78±1.11ab	97.78±1.11ab	
135	82.22±4.44a	75.56±7.29b	91.11±4.44a	83.33±5.77bc	85.56±2.22ab	64.44±4.01bc	78.89±2.22b	90.00±0.00bc	
180	78.89±5.56a	73.33±3.85b	67.78±4.44b	77.78±4.84c	81.11±2.94b	60.00±8.39c	64.44±2.94c	83.33±3.33c	
240	23.33±3.33b	13.33±5.09c	6.67±1.92c	12.22±7.70d	8.88±4.01c	11.11±7.78d	8.89±2.22d	28.89±6.01d	

率的下降速率越快,说明盐处理对种子萌发具有抑制作用,且这种抑制作用会随着盐浓度的上升而不断加强。盐浓度为 45、90 mmol/L 时对参试品种(系)的抑制作用较小,发芽率下降幅度不大,盐浓度为 135、180 mmol/L 时各品种(系)的发芽率下降速率不断加快。在盐浓度为 240 mmol/L 时各品种(系)的发芽率显著下降,其中 18R-X 和 MYW 下降幅度最小、发芽率较高,说明 18R-X 和 MYW 较其他品种耐盐性好,在高浓度盐胁迫下仍能保持较高的发芽势,具有较强的抵御逆境盐胁迫的能力。

### 2.3 发芽指数

由表 3 可知,不同盐浓度处理下,参试品种(系)的发芽指数均表现为随着盐浓度的增大,相应的发芽指数呈不断下降趋势。当 NaCl 浓度为 135、180、240 mmol/L 时,发

芽指数与空白对照的差异均达显著水平。进一步说明盐胁迫对种子萌发有较强的抑制作用,当盐浓度较低时抑制作用可能并不明显,但随着盐浓度的增加,抑制作用的增强,种子的萌发明显受到影响。

### 2.4 活力指数

参试品种(系)的活力指数变化情况均表现为随盐浓度的增大而不断降低(表 4),在盐浓度为 45~240 mmol/L 时,8 个参试品种(系)的活力指数与空白对照的差异均达显著水平。活力指数对相应的盐浓度十分敏感,盐浓度越大差异性也越显著。从上述分析可知,盐浓度较低时,发芽势、发芽率的变化情况不大,说明胚根生长对盐浓度十分敏感,即使是较为微量的盐浓度处理也能显著抑制胚根生长。当盐浓度为 240 mmol/L 时,各品种的活力指数几乎为 0,说明高盐胁迫

表 2 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜种子发芽率

NaCl 浓度 /(mmol/L)	发芽率/%							
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X
0(CK)	100a	95.56±2.22a	98.89±1.11a	100a	97.78±1.11a	91.11±2.94a	96.67±3.33a	97.78±2.22ab
45	92.22±1.11a	93.33±1.92a	97.78±1.11a	100a	96.67±1.92a	87.78±2.94a	92.22±2.94a	100a
90	91.11±5.88a	85.56±1.11a	96.67±3.33a	94.44±1.11ab	93.33±1.92ab	84.44±2.22ab	91.11±2.22a	100a
135	87.78±4.01b	83.33±3.33ab	94.44±1.11a	88.89±2.22bc	88.89±2.94ab	76.67±1.92b	87.78±4.01a	92.22±2.22b
180	82.22±4.01b	75.56±2.94b	75.56±2.94b	83.33±3.33c	84.44±2.94b	63.33±8.39b	65.56±2.94b	88.89±2.94b
240	24.44±2.94c	17.78±7.78c	11.11±1.11c	15.56±4.44d	13.33±5.77c	17.78±11.11c	10.00±1.92c	38.89±5.88c

表 3 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜种子发芽指数

NaCl 浓度 /(mmol/L)	发芽指数							
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X
0(CK)	69.22±3.81a	71.86±0.71a	70.44±0.88a	76.79±0.58a	72.41±2.66a	62.04±2.13a	67.59±3.32a	76.34±0.82a
45	62.22±2.78a	61.77±3.44b	69.24±1.12a	75.05±1.49ab	67.35±2.63ab	60.24±2.16a	65.06±0.79ab	75.81±0.61a
90	60.37±5.64ab	60.05±2.21b	69.73±1.64a	68.34±2.90b	63.83±1.24b	54.38±1.90a	60.54±1.87b	73.00±1.75a
135	50.34±4.35bc	45.10±5.22c	47.80±2.69b	53.69±2.52c	53.79±1.61c	36.15±1.75b	47.47±1.35c	65.81±1.71b
180	47.25±2.64c	50.05±1.86c	42.45±1.61c	53.43±3.04c	47.81±2.34c	36.11±5.30b	41.56±1.83d	50.41±1.39c
240	9.57±0.89d	6.18±2.69d	3.22±0.49d	7.09±1.92d	4.06±1.54d	5.38±3.45c	3.50±0.67e	13.00±1.92d

表 4 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜种子活力指数

NaCl 浓度 /(mmol/L)	活力指数							
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X
0(CK)	418.55±22.73a	516.38±2.68a	591.04±7.38a	555.16±4.17a	610.19±23.85a	476.45±16.36a	446.08±21.89a	520.50±12.49a
45	286.85±12.82b	322.47±11.86b	363.43±39.72b	341.71±14.52b	441.73±16.22b	412.04±14.76b	414.42±4.99b	429.86±3.43b
90	109.28±10.21c	141.46±7.88c	136.67±3.20c	270.97±5.37c	183.71±3.71c	168.05±5.86c	144.69±4.47c	212.23±2.27c
135	53.39±2.98d	41.49±4.81d	53.06±2.99d	122.94±5.77d	67.89±3.33d	28.92±1.41d	46.52±1.33d	70.09±1.93d
180	16.61±1.44e	5.97±0.18e	7.64±0.29d	7.48±0.42e	16.89±0.52e	8.67±1.27d	7.90±0.35e	12.50±0.32e
240	0e	0.14±0.06e	0d	0e	0.05±0.02e	0.18±0.12d	0e	0.26±0.04e

下种子的胚根无法正常生长, 种子萌发受到严重抑制。

### 2.5 胚根及胚芽

从表 5、表 6 可知, 各品种(系)在空白对照与不同浓度盐处理间存在较大差异。在盐浓度为 45 mmol/L 时, MYW、GSY-1、WYW-1、DQW-1、BHH、18R-X 的胚根长度均与空白对照存在显著差异; DQW-1、JD8、18R-X 的胚芽长度与对照存在显著差异。除 BHH、TYT 外, 随着盐浓度的增加, 胚根、胚芽的长度均呈显著下降趋势。盐浓度 180 mmol/L 的处理对各品种(系)种子的正常萌发和胚根、胚芽的生长造成了严重影响, 在盐浓度 240 mmol/L 的处理下, 各品种(系)的胚根、胚芽长度几乎为 0, 胚根、胚芽无法正常生长(在试验过程中, 部分种子胚根、胚芽过短存在统计困难), 说明高盐胁迫对种子萌发和胚根、胚芽的生长具有

极强的抑制作用。

### 2.6 幼苗鲜重和干重

由表 7 和表 8 可知, 盐胁迫下各品种(系)的鲜重和干重均明显低于空白对照, 且最大值均出现在空白对照组, 大体趋势表现为随着盐浓度的增高, 鲜、干重逐渐下降。在 45 mmol/L 的盐浓度处理下, WYW-1、BHH、TY7 和 18R-X 的鲜重均与空白对照存在显著差异; 除 WYW 和 DQW-1 外, 其余品种的干重均与空白对照差异显著。在 135 mmol/L 的盐浓度处理下, 各品种(系)的鲜重和干重均与空白对照组存在显著差异(部分品种在 180 mmol/L 和 240 mmol/L 下的胚根和胚芽过短, 统计困难, 因而在数值上可能存在差异)。

### 2.7 耐盐性

以相应处理的盐浓度为横坐标, 以各品种(系)在相应的盐浓度处理下的相对发芽率

表 5 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜胚根长度

NaCl 浓度 /(mmol/L)	胚根长度/cm							
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X
0(CK)	6.19±0.73a	7.19±1.13a	8.38±0.66a	7.23±0.20a	9.06±0.30a	7.68±0.58a	6.60±1.74a	7.14±0.20a
45	4.76±0.38b	5.37±0.50b	5.73±0.33b	5.00±0.32b	6.07±0.29b	6.84±0.17a	6.36±0.41a	5.67±0.61b
90	1.81±0.21c	2.29±0.44c	1.96±0.87c	3.61±0.47c	2.88±0.12c	3.09±0.41b	2.39±0.49b	2.89±0.35c
135	1.10±0.68cd	0.92±0.08cd	1.10±0.21cd	2.29±0.40d	1.42±0.12d	0.80±0.09c	0.98±0.14b	1.39±0.14d
180	0.33±0.20d	0.12±0.01d	0.19±0.02de	0.17±0.02e	0.32±0.07e	0.24±0.03c	0.27±0.02b	0.19±0.03e
240	0.08±0.01d	0.03±0.00d	0e	0.08±0.01e	0e	0.10±0.10c	0b	0e

表 6 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜胚芽长度

NaCl 浓度 /(mmol/L)	胚芽长度/cm							
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X
0(CK)	2.27±0.13a	3.26±1.16a	2.16±0.24a	2.08±0.10a	2.02±0.16a	2.29±0.21a	2.52±0.35a	2.09±0.14a
45	2.01±0.20a	2.77±0.92ab	1.84±0.17a	1.57±0.19b	2.19±0.22a	2.38±0.18a	1.41±0.18b	1.73±0.07b
90	1.41±0.08b	1.01±0.11bc	1.02±0.11b	0.85±0.08c	1.49±0.04b	0.75±0.16b	1.21±0.12bc	0.89±0.06c
135	0.97±0.10c	0.81±0.12bc	0.80±0.06b	0.73±0.02c	0.89±0.09c	0.90±0.09b	0.81±0.07cd	0.72±0.03cd
180	0.83±0.05cd	0.60±0.03c	0.61±0.06b	0.70±0.05c	0.68±0.07c	0.61±0.01bc	0.45±0.15de	0.59±0.07d
240	0.58±0.02d	0.33±0.04c	0.11±0.02c	0.08±0.01d	0.19±0.08d	0.22±0.03c	0.08±0.01e	0.29±0.04e

表 7 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜幼苗鲜重

NaCl 浓度 /(mmol/L)	鲜重/g							
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X
0(CK)	0.197a	0.196a	0.210a	0.170a	0.253a	0.273a	0.220a	0.210a
45	0.187a	0.163ab	0.157b	0.156ab	0.190b	0.193b	0.193a	0.203b
90	0.183a	0.160b	0.154b	0.154ab	0.189b	0.190b	0.190a	0.160b
135	0.143b	0.107c	0.130c	0.130bc	0.153bc	0.123bc	0.153b	0.150b
180	0.127b	0.073cd	0.103c	0.100c	0.133c	0.113c	0.150b	0.107c
240	0c	0d	0d	0d	0d	0d	0c	0d

为纵坐标建立回归方程, 分别求出各品种(系)的耐盐适宜浓度、耐盐半致死浓度和耐盐致死浓度, 结果见表 9。以耐盐半致死浓度作为衡量参试品种(系)间耐盐性强弱的指标进行评价, 各参试品种(系)的耐盐性从强到弱依次为 18R-X、MYW、BHH、DQW-1、GSY-1、WYW-1、TY7、JD8, 这与上述的结果基本一致。由此可以看出, 耐盐性强的品种(系)在同一盐浓度处理下和在低盐胁迫处理下的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数以及幼苗的生长情况等均高于耐盐性较弱的品种(系), 即使在较高浓度的盐溶液处理下, 耐盐性强的品种(系)仍能保持一定水平的发芽势和发芽率。

### 3 结论与讨论

试验表明, 随着 NaCl 浓度的不断增高, 供试冬油菜品种(系)的发芽指数和活力指数等均呈不同程度的下降趋势, 不同品种在同一盐浓度处理下的表现不同, 说明品种间的耐盐性存在差异。植物能否在盐胁迫下生存的首要因素是它能否发芽、发芽率的高低以及发芽速度的快慢<sup>[16]</sup>, 因此耐盐性高的品种在一定浓度的盐溶液处理下仍能保持相对

较高的发芽率。通过相关分析, 以相对发芽率和对应的盐浓度处理建立回归方程, 进而评价不同品种间的耐盐性强弱, 品种间的耐盐性强弱顺序为 18R-X、MYW、BHH、DQW-1、GSY-1、WYW-1、TY7、JD8。由上述分析可知, 在相同盐浓度处理下, 耐盐性强的品种种子萌发和幼苗生长情况均优于耐盐性较弱的品种。

试验观察到, 在一定的盐浓度处理下, 幼苗的胚根、胚芽长度显著低于空白对照组, 空白对照的幼苗叶片呈深绿色, 低盐浓度处理下的幼苗叶片呈浅绿色, 高盐浓度处理下的叶片呈黄白色, 部分耐盐性较差的品种在 180 mmol/L 盐溶液处理下呈黄白色。随着盐浓度的不断增高, 叶片逐渐由深绿色转为浅绿色最终转为黄白色, 各梯度浓度处理间所表现出的差异十分明显, 初步猜测盐不仅抑制胚根、胚芽的生长, 而且对叶绿素等光合色素的合成存在抑制作用, 进而影响植物的光合作用, 最终导致幼苗生长受到影响。随着处理盐浓度的增加, 胚根、胚芽和干、鲜重等均显著下降, 初步猜测为在一定强度的盐胁迫下, 对植物的根系造成了损

表 8 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜幼苗干重

NaCl 浓度 /(mmol/L)	干重/g							
	MYW	GSY-1	WYW-1	DQW-1	BHH	TY7	JD8	18R-X
0(CK)	0.015 67a	0.017 00a	0.018 67a	0.017 00a	0.020 667a	0.018 00a	0.023 00a	0.017 00a
45	0.012 33ab	0.015 33b	0.014 67b	0.015 00a	0.013 33b	0.010 33b	0.014 33b	0.012 00b
90	0.010 33bc	0.012 67c	0.013 67b	0.011 67b	0.010 00c	0.011 00b	0.008 67c	0.010 00b
135	0.007 00c	0.008 67d	0.007 33c	0.007 67c	0.007 67cd	0.007 00c	0.007 97c	0.006 67c
180	0.005 00d	0.005 67e	0.005 67c	0.005 00c	0.006 00d	0.005 33c	0.006 00c	0.006 00c
240	0e	0f	0d	0d	0e	0d	0d	0d

表 9 NaCl 胁迫处理的白菜型冬油菜耐盐性

品种	线性回归方程	耐盐适宜浓度 /(mmol/L)	耐盐半致死浓度 /(mmol/L)	耐盐致死浓度 /(mmol/L)
MYW	$Y = -0.258 4x + 109.346$	$\leq 132.92$	229.67	384.47
GSY-1	$Y = -0.291 6x + 112.268$	$\leq 127.80$	213.54	350.71
WYW-1	$Y = -0.322 7x + 117.074$	$\leq 130.38$	207.85	331.81
DQW-1	$Y = -0.300 6x + 114.934$	$\leq 132.85$	216.01	349.08
BHH	$Y = -0.301 2x + 115.312$	$\leq 133.83$	216.84	349.64
TY7	$Y = -0.305 7x + 112.183$	$\leq 121.63$	203.41	334.26
JD8	$Y = -0.333 8x + 114.819$	$\leq 119.29$	194.18	314.02
18R-X	$Y = -0.216 7x + 111.246$	$\leq 167.26$	282.63	467.22

伤, 当外界水势低于植物根细胞水势时根系水分外流、电解质外渗, 进而造成细胞膜结构受到不可逆的损伤, 对植物的正常生长发育造成不利影响。Mukherjee 等<sup>[17]</sup>认为, 盐胁迫不仅会导致植物活性氧的产生而且会导致植物的清除代谢机制紊乱进而影响植物的正常生长发育。王学征等<sup>[18]</sup>认为, 盐胁迫会造成植物体内离子比例失衡和稳态失调。Turan 等<sup>[19]</sup>认为盐胁迫会造成质膜过氧化加剧, 进而破坏膜系统完整性。

#### 参考文献:

- [1] 王鑫, 李志强, 谷卫彬, 等. 盐胁迫下高粱新生叶片结构和光合特性的系统调控[J]. 作物学报, 2010, 36(11): 1941-1949.
- [2] 孙万仓, 武军艳, 方彦, 等. 北方旱寒区北移冬油菜生长发育特性[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2124-2134.
- [3] 俞仁培, 陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. 土壤通报, 1999(4): 15-16.
- [4] 吴运荣, 林宏伟, 莫肖蓉. 植物抗盐分子机制及作物遗传改良耐盐性的研究进展[J]. 植物生理学报, 2014, 50(11): 1621-1629.
- [5] 王学芳, 孙万仓, 李孝泽, 等. 我国北方风蚀区冬油菜抗风蚀效果[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6572-6577.
- [6] 金美芳, 朱晓清. NaCl 胁迫对油菜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2009, 28(9): 76-79.
- [7] 裴怀弟, 张敏敏, 刘新星, 等. NaCl 胁迫条件下马铃薯再生苗耐盐性研究[J]. 甘肃农业科技, 2014(11): 39-42.
- [8] KOFFLER B E, LUSCHIN-EBENGREUTH N, ZECHMANN B. Compartment specific changes of the antioxidative status in *Arabidopsis thaliana* during salt stress[J]. J. Plant Biol., 2015, 58(1): 8-16.
- [9] BU Y, KOU J, SUN B, et al. Adverse effect of urease on salt stress during seed germination in *Arabidopsis thaliana*[J]. FEBS Lett, 2015, 589(12): 1308-1313.
- [10] HUSSAIN S, MORILLON R, ANJUM M A, et al. Genetic diversity revealed by physiological behavior of citrus genotypes subjected to salt stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2015, 37(1): 1719-1740.
- [11] LONG W H, ZOU X L, ZHANG X K. Transcriptome analysis of Canola (*Brassica napus*) under salt stress at the germination stage[J]. PLoS ONE, 2015, 10(2): 1-21.
- [12] BONGI G, LORETO F. Gas-exchange properties of salt-stressed olive (*Olea europaea* L.) leaves[J]. Plant Physiol, 1989, 90: 1408-1416.
- [13] MISHRA S K, SUBRAHMANYAM D, SINGHAL G S. Interaction between salt and light stress on the primary process of photosynthesis[J]. Plant Physiol, 1991, 138: 92-96.
- [14] SHARMA P K, HALL D O. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum[J]. Plant Physiol, 1991, 138: 614-619.
- [15] BELKHODJA R, MORALES F, ABADIA A, et al. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Plant Physiol, 1994, 104: 667-673.
- [16] 孙西红, 赵凌平, 王占斌, 等. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对高羊茅种子萌发的影响[J]. 草业科学, 2014, 31(4): 677-682.
- [17] MUKHERJEE S, DAVID A, YADAV S, et al. Salt stress-induced seedling growth inhibition coincides with differential distribution of serotonin and melatonin in sunflower seedling roots and cotyledons [J]. Physiologia Plantarum. 2014, 152(4): 714-728.
- [18] 王学征, 李秋红, 吴凤芝. NaCl 胁迫下栽培型番茄 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 吸收、分配和转运特性[J]. 中国农业科学, 2010, 43(7): 1423-1432.
- [19] TURAN S, TRIPATHY B C. Salt-stress induced modulation of chlorophyll biosynthesis during de-etiolation of rice seedlings [J]. Physiologia Plantarum, 2015, 153(3): 477-491.

(本文责编: 杨杰)