

26 份芸芥种质的耐盐性评价

范惠玲¹, 刘 秦², 白生文¹, 罗 天¹, 朱雪峰¹, 缪纯庆²

(1.河西学院 农业与生物技术学院,甘肃 张掖 734000;2.张掖市农业科学研究院,甘肃 张掖 734000)

摘 要:为了明确 26 份芸芥种质的耐盐性差异,本试验采用 6 个不同浓度盐溶液,包括 0, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% 和 1.0% NaCl 处理芽期芸芥,测定了发芽率、胚根长等指标;筛选出 0.6%、0.8% NaCl 溶液处理苗期芸芥,测定了幼苗生长及耐盐生理相关指标,并采用模糊数学隶属函数法评价不同芸芥材料的耐盐性。结果表明:(1) 0.6% 盐胁迫所造成的芸芥萌发抑制率接近 50%,0.8% 盐胁迫基本造成了生长的停滞(发芽率 8%),因此认为这两个浓度是盐胁迫抑制芸芥生长的阈值。(2) 随着盐浓度的增加,正常种苗率变小,其均值变化为 57.62%~34.45%;苗高、根长、根鲜重、苗鲜重均下降,其中各指标的变幅分别为 0.99~0.77 cm,0.69~0.44 cm,0.0034~0.0023 g,0.0244~0.0176 g。(3) 根据隶属函数总平均值大小将参试材料进行耐盐性分类:耐盐性较强的材料($0.6133 \leq$ 隶属值总平均值 ≤ 0.7261),包括 08 武芸 3-1 等;耐盐性中等的材料($0.4274 \leq$ 隶属值总平均值 ≤ 0.5911),包括临洮芸芥等;耐盐性较弱的材料($0.3894 \leq$ 隶属值总平均值 ≤ 0.0280),包括 13 芸芥 68-3 等。(4) 耐盐材料中游离脯氨酸和可溶性糖含量均显著高于耐盐性较差的材料。总之,26 份芸芥种质材料对 NaCl 溶液胁迫的耐受性存在明显差异,通过模糊数学隶属函数法综合苗期各指标筛选出的耐盐材料,可进一步用于耐盐育种与耐盐基因挖掘。

关键词:芸芥;耐盐性;生理特性;隶属函数法

中图分类号:S565.9 **文献标志码:**A

Evaluation of salt tolerance of 26 *Eruca sativa* Mill.

FAN Hui-ling¹, LIU Qin², BAI Sheng-wen¹, LUO Tian¹, ZHU Xue-feng¹, Miu Chun-qing²

(1.College of Agriculture and Biotechnology Hexi University, Zhangye, Gansu 73400, China;

2.Zhangye Academy of Agricultural Sciences, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: To assess the salt tolerance of 26 *Eruca sativa* Mill., 6 concentration of NaCl solution were used, including 0, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% and 1.0%, to treat *Eruca sativa* at germination stage, and the germination rate, radicles length were measured. 0.6% and 0.8% NaCl solution were selected to treat the seedling of *Eruca sativa*, the physiological indexes of seedling growth and salt tolerance were detemined, and all resources were sorted out using the method of membership function. Results showed that: (1) Tests on seed germination indicated that stress of 0.6% NaCl had an inhabitation of 50% nearly, salt stress of 0.8% NaCl basically caused growth stagnation, therefore, these two concentrations were the thresholds of salt stress inhibiting the growth of *Eruca sativa*; (2) Survival seedlings, shoot height, root length, fresh weight of shoot and root were all decreased with the increase of salt concentration, the mean were 57.62%~34.45%, 0.99~0.77 cm, 0.69~0.44 cm, 0.0034~0.0023 g, 0.0244~0.0176 g, respectively; (3) Based on the membership function on the means of parameters at seedling stages for each growth level, 26 materials were classified into three types: high salt tolerance, including 08 wuyun 3-1, etc ($0.6133 \leq$ the verage of membership function values ≤ 0.7261); salt tolerance, including Lintao yunjie, etc ($0.4274 \leq$ the verage of membership function values ≤ 0.5911); low salt tolerance, including 13 yunjie 76-4,

收稿日期:2018-04-24

修回日期:2018-07-07

基金项目:甘肃省高等学校科研项目(2017A-083);甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室面上项目(XZ1804);2018 年度甘肃省"十三五"教育科学规划高校与职业院校一般课题(GS[2018]GHBBK157);河西学院第九批大学生科研创新扶持项目(白芥不同生育期耐混合盐碱胁迫能力分析);甘肃省现代农业产业技术体系建设专项资金

作者简介:范惠玲(1979-),甘肃陇西人,讲师,主要从事油菜及其近缘植物遗传育种研究。E-mail: qianjing05@163.com

通信作者:刘秦(1964-),女,陕西米脂人,高级工程师,主要从事高寒干旱地区油料作物育种与栽培技术研究。E-mail: liuqin.y@126.com

白生文(1976-),甘肃民勤人,副教授,主要从事植物生理生化教学研究工作。E-mail: bsw4588384@163.com

etc (0.0280≤the verage of membership function values≤0.3894) ; (4) The contents of free proline and soluble sugar in high salt tolerant meaterials were significantly higher than those in low salt tolerant materials. In conclu-sion, significant difference in salt tolerance of 26 *Eruca sativa* were revealed, the salt tolerant materials screened by method of membership function of fuzzy mathematics could be further used in salt-tolerant breeding and gene mining.

Keywords: *Eruca sativa*; salt tolerance; physiological characteristics; subordinate function value method

盐碱是限制作物生长和生殖的逆境因素之一,盐碱胁迫下植物因遭受干旱、离子毒害、矿质元素缺乏等出现不同程度的盐害症状,如叶片黄化早衰^[1]、植株生长速度减缓^[2]、籽粒或果实品质下降^[3],产量大幅度降低^[4],更甚者出现整株死亡现象,对农业生产造成极大危害。中国盐碱地总面积约 0.99 亿 hm²,约占中国国土面积的 33%,西北内陆地区是中国盐碱地主要分布地区之一^[5],筛选、培育耐盐作物对改良、利用盐碱地具有经济和生态的双重效益。

芸芥(*Eruca sativa* Mill.)属十字花科芝麻菜属,是一种油、饲、药多用途作物,具有抗旱、抗病虫害、耐瘠薄和不易落粒等优点,在甘肃省中部干旱地区的陇西、渭源和陇东黄土高原的环县、华池、镇原等地,以及岷县、卓尼等降雨稀少、土壤贫瘠乏力且盐渍度较高地区有较大的种植面积。开展芸芥种质资源的耐盐性鉴定和耐盐种质的筛选,对芸芥及其近缘植物油菜品种改良、促进盐碱地芸芥栽培均具有重要的现实意义。近年来,围绕麦类作物^[6]、豆类作物^[7]、油料作物^[8]、牧草类^[9]、玉米^[10]、黍稷^[11]、高粱^[12]等作物耐盐性的鉴定和耐盐品种的筛选等方面已开展了很多研究。Hilda 等^[13]报道指出,在盐渍土中芸芥是一种耐性作物。但是,目前针对芸芥不同品种对盐胁迫的形态-生理响应及耐盐性鉴定等方面的研究进展缓慢,对不同芸芥资源耐盐性的差别缺乏定量的综合评价。作物的耐盐性属于数量性状,不同作物(或植物)在盐胁迫下,

其形态特征、生理生化或分子机制发生一定程度的变化,但不同植物种间和不同品种间,甚至同种不同种质材料间其耐盐性都存在明显的差异^[9]。因此,从现有的种质中筛选出耐盐性强的种质材料是植物抗逆杂交育种及基因工程育种的主要手段之一。

在长期的栽培过程中,芸芥不仅积累了较多的优良抗逆基因资源^[14],而且芸芥不同品种或种间具有较高的遗传多样性^[15]。本研究以 26 份芸芥种质为材料,设置 NaCl 盐分梯度的盆栽试验,测定各种芸芥种质资源苗期的生理和形态生长指标,利用模糊数学隶属函数法和相关分析法对盐胁迫下芸芥苗期的形态及生理指标进行耐盐性综合评价,比较不同芸芥种质的耐盐性差异,探讨各指标与耐盐性之间的关系,以期为挖掘优良耐盐芸芥资源提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用 26 份芸芥(*Eruca sativa* Mill.),均来自河西学院农业与生物技术学院农学教研室。材料名称和来源见表 1,其中 10 份为当地材料,16 份为育成种质资源材料。

1.2 芸芥芽期胁迫试验

为摸清芸芥芽期对不同 NaCl 溶液胁迫的耐受性差异,以 26 份芸芥为材料,参照王治江等^[4]和刘自刚等^[8]的方法并略加修改。取直径为 9 cm 的培养皿,洗净后于 80℃烘箱内烘 12 h,待其恢复室温

表 1 供试材料名称及来源

Table 1 The name and origin of materials studied

编号 No.	材料名称 Name	来源 Origin	编号 No.	材料名称 Name	来源 Origin
1	06 芸 87-82 06 yun 87-82	育成材料 Breeding material	14	临洮芸芥 Lintao yunjie	当地材料 Local material
2	张芸 216-1 Zhangyun 216-1	育成材料 Breeding material	15	13 芸芥 68-3 13 yunjie 68-3	育成材料 Breeding material
3	渭源芸芥 Wei yuan yunjie	当地材料 Local material	16	民乐芸芥 Minle yunjie	育成材料 Breeding material
4	静宁芸芥 Jingning yunjie	当地材料 Local material	17	13 芸芥 76-4 13 yunjie 76-4	育成材料 Breeding material
5	13 芸芥 75-3 13 yunjie 75-3	育成材料 Breeding material	18	庆阳芸芥 Qingyang yunjie	当地材料 Local material
6	天水芸芥 Tianshui yunjie	当地材料 Local material	19	卓妮芸芥 Zhuoni yunjie	当地材料 Local material
7	12 芸芥 83-1 12 yunjie 83-1	育成材料 Breeding material	20	陇西芸芥 Longxi yunjie	当地材料 Local material
8	岷县芸芥 Minxian yunjie	当地材料 Local material	21	13 芸芥 29-5 13 yunjie 29-5	育成材料 Breeding material
9	会宁芸芥 Huining yunjie	当地材料 Local material	22	13 芸芥 79-2 13 yunjie 79-2	育成材料 Breeding material
10	06 芸 86-y 06 yun 86-y	育成材料 Breeding material	23	13 芸芥 8-13 13 yunjie 8-13	育成材料 Breeding material
11	13 芸芥 12-6 13 yunjie 12-6	育成材料 Breeding material	24	08 张芸 77-2 08 zhangyun 77-2	育成材料 Breeding material
12	永登芸芥 Yongdeng yunjie	当地材料 Local material	25	08 张芸 6-3 08 zhangyun 6-3	育成材料 Breeding material
13	04 靖芸 100-2 04 Jingyun 100-2	育成材料 Breeding material	26	08 武芸 3-1 08 wuyun 3-1	育成材料 Breeding material

后底部铺放两层灭菌滤纸备用。从充分混合的净种子中,随机取籽粒饱满、大小均一的种子,用 75% 酒精表面消毒,蒸馏水冲洗 3~4 次,晾干后置于铺双层滤纸的培养皿中,每皿 50 粒种子,均匀排列。分别配置 0 (CK)、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 和 1.0% 共 6 个浓度梯度的 NaCl 处理液,向培养皿中加入相应处理液 8 mL 至滤纸水分饱和,每处理设 3 个重复,称重并记录各培养皿和种子的总重量后,置于人工气候箱中发芽,昼/夜温度为 25℃/20℃,时间为 14 h/10 h,光照强度为 108 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,湿度 75%。试验过程中每天采用称重补水法按时补充水分,以保持培养皿内盐浓度不变,并统计发芽种子数(发芽标准以胚根突破种皮达到种子长为发芽)。3 d 统计发芽势,7 d 统计发芽率,并取 10 株测定胚根长、胚芽长、胚根鲜重、胚芽鲜重。

发芽势 = (3 d 内发芽种子数/总种子数) $\times 100\%$;

发芽率 = (7 d 内发芽种子数/总种子数) $\times 100\%$;

发芽指数 = $\sum (G_t/D_t)$ (G_t 为第 t 天的发芽种子数, D_t 为发芽天数)。

胚芽、胚根长度和鲜重的测定:发芽试验结束后每个处理分别取 10 株长势基本一致且子叶完全展开的胚苗,用蒸馏水洗净,滤纸吸干水分,用分析天平称其鲜重。同时,每培养皿随机取 10 株胚苗测其芽长、根长。

1.3 芸芥苗期胁迫试验

苗期盐胁迫设置 0.6% 和 0.8% NaCl 的 50% Hoagland 营养液处理溶液,参照闫旭东^[16]的方法并略加修改。培养盒口径 13 cm、高 11 cm,同时选择粒径为 1 mm 的蛭石作为培养基质。培养盒洗净晾干,将 150 g 灭菌的蛭石装入培养盒中,压实压平备用。在盛有蛭石的培养盒中,沿盒壁注入 150 mL 盐处理液,对照注入 150 mL 营养液,将 10 粒经过表面消毒灭菌的芸芥种子均匀摆放在培养盒中,上覆 0.5 cm 厚蛭石,压实压平。每处理重复 3 次(盒)。在温室大棚中培养。每隔 48 h 加 150 mL 营养液。定期观察出苗及生长情况,于培养第 10 d,调查出苗数,计算正常种苗率;培养第 15 d,从基质中小心完整地取出 10 株幼苗,用清水将根部基质洗去,吸水纸轻轻拭干幼苗表面水分。用游标卡尺测量苗高(从分根点到幼苗最高点的距离)和根长(从分根点到最长根部的距离),并分别称量地上鲜重(简称苗鲜重)和地下鲜重(简称根鲜重)。

1.4 耐盐性评定方法

参照刘敏轩等^[11]的方法,采用模糊数学隶属函数法进行参试芸芥耐盐性评价。利用公式 $X_{(\mu)} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 来计算各测定指标的抗盐性隶属函数值,其中 X 为某一抗盐性指标的测定值, $X_{\max}$ 为该指标的最大值, $X_{\min}$ 为最小值。先求出各指标在不同盐浓度下的隶属值,再把每一指标在不同盐浓度下的隶属值累加求平均值,最后再将各个抗盐指标的隶属值累加求总平均值,通过比较 26 份芸芥材料抗盐隶属值总平均值大小,初步确定其耐盐性强弱。

通过比较隶属总平均值大小,筛选耐盐性排在前、中、后的 6 份材料,按照 1.3 中所述的方法对其进行盐胁迫培养。培养第 28 d,从基质中取出幼苗,洗净根部基质,自然晾干,观察各不同材料的生长形态和盐害状况,确认 6 份芸芥资源的耐盐性。

1.5 芸芥耐盐生理指标测定

按 1.3 中所述的苗期胁迫生长试验条件处理,盐胁迫浓度分别为 0.6% 和 0.8%。在盐胁迫处理 28 d 后剪取同一部位叶片,参照高俊凤^[17]的方法测定可溶性糖、脯氨酸含量和细胞膜相对透性。

1.6 数据统计与分析

采用 Microsoft Office Excel 2003 软件整理试验数据,采用 DPS 7.05 统计软件进行方差显著性分析与 LSD ($P < 0.01$) 多重比较。

2 结果与分析

2.1 芽期芸芥对不同浓度盐胁迫的耐受性差异

从表 2 中可以看出,随着盐浓度的增加,发芽势、发芽率、发芽指数、胚根长与胚芽长均呈下降趋势;在 0.2% 和 0.4% 低浓度盐溶液胁迫下,发芽率分别为 97.33% 和 82.00%,发芽指数分别为 99.05 和 73.31,胚根长分别为 2.72 cm 和 1.48 cm,胚芽长分别为 2.20 cm 和 1.32 cm。当盐溶液浓度为 0.6% 时,发芽率和发芽指数分别为 51.33% 和 42.41,胚根长和胚芽长分别为 1.01 cm 和 0.96 cm,当胁迫浓度升至 0.8%~1.0% 时,仅有 2%~8% 种子能够萌发,发芽指数为 1.09~6.37,因种子幼根或幼芽残缺、畸形甚至腐烂,属于不正常发芽,无法测量胚根和胚芽长度。这些结果表明 $\geq 0.6\%$ 的盐胁迫对芸芥种子的萌发、胚根长和胚芽长产生明显的抑制作用。从表 1 还发现,发芽势与发芽率一直保持相等,表明 0.2%~1.0% 不同浓度盐胁迫仅仅对供试芸芥种子发芽产生抑制作用,并没有影响种子的发芽速度或发芽整齐度。

对不同浓度盐胁迫下芸芥发芽势、发芽率、发芽指数、胚根长和胚芽长进行方差分析,结果显示在同一处理浓度下,发芽指数、胚根长和胚芽长与对照间的差异均达显著水平($P<0.05$);除0.2%之外,在其它浓度处理下,发芽势和发芽率与对照间的差异达极显著水平($P<0.01$)。在本试验所选择的胁迫梯度下,0.6%盐胁迫所造成的芸苔萌发抑制率接近 50%,0.8%盐胁迫基本造成了生长的停滞,因此认为这两个浓度为本试验条件下盐胁迫抑制生长的阈值,后续试验选择这两个浓度进行。

2.2 苗期芸芥耐盐性评价

2.2.1 0.6%和 0.8%NaCl 胁迫下芸芥正常种苗率、苗高和根长的变化 盐胁迫下正常种苗率是反映种质耐盐性最直观的指标,从表 3 中可以看出,盐胁迫对参试材料正常种苗率的影响达显著水平($P<0.05$),随着盐胁迫浓度的增加,正常种苗率变小。在 0.6% NaCl 胁迫下,正常种苗率平均值为 57.62%,26 份参试材料中,正常种苗率 $\geq 90\%$ 的材料有 4 份,70% $\leq$ 正常种苗率 $<90\%$ 的材料有 2 份,50% $\leq$ 正常种苗率 $<70\%$ 的材料有 9 份,30% $\leq$ 正常种苗率 $<50\%$ 的材料有 9 份。当盐胁迫浓度为 0.8%时,正常种苗率的平均值为 34.45%,仅有 7 份材料的正常种苗率 $\geq 50\%$ 。

随着盐胁迫浓度的增加,参试材料的苗高呈现下降趋势。在 0.6%NaCl 胁迫下,所有材料的平均苗高为 0.99 cm,其中有 16 份材料的苗高 ≥ 1 cm,0.8 cm $\leq$ 苗高 <1 cm 的材料有 4 份。当 NaCl 浓度为 0.8%时,所有参试材料的平均苗高为 0.77 cm,其中有 4 份材料的苗高 ≥ 1 cm,0.8 cm $\leq$ 苗高 <1 cm 的材料有 10 份。

由表 3 可知,盐胁迫对参试材料根长的影响达

显著水平($P<0.05$),0.6%NaCl 溶液胁迫下,所有材料根长的均值为 0.69 cm,7 份芸芥的根长介于 0.80~2.34 cm 之间;在 0.8%NaCl 溶液胁迫下,有 6 份材料的根长大于用 0.6%NaCl 溶液胁迫下的测定值,但 26 份试材根长的平均值为 0.44 cm,明显低于用 0.6%NaCl 溶液胁迫下的均值(0.69 cm),3 份材料根长介于 0.88~1.06 cm 之间,7 份材料根长介于 0.00~0.20 cm 之间。

2.2.2 不同浓度 NaCl 胁迫下芸芥苗鲜重和根鲜重的变化 对不同浓度盐胁迫下参试材料苗鲜重的测定结果显示(表 4),随着盐浓度的增加,苗鲜重呈现下降趋势,且各参试材料间差异达显著水平($P<0.05$)。在 0.6%盐胁迫下,26 份材料苗鲜重的均值为 0.0244 g,苗鲜重变化范围为 0~0.0371 g,6 份材料的苗鲜重 ≥ 0.0300 g。0.0200 g $\leq$ 苗鲜重 <0.0300 g 的材料有 15 份,其余 5 份材料的苗鲜重介于 0.0000~0.0186 g。在 0.8%盐浓度下,所有材料苗鲜重的均值为 0.0176 g,苗鲜重变化范围为 0.0000~0.0247 g,0.0200 g $\leq$ 苗鲜重 <0.0300 g 的材料有 11 份。

从 NaCl 溶液胁迫对芸芥根鲜重的影响看,随着盐浓度的增加,参试材料的根鲜重显著降低。当 NaCl 溶液浓度为 0.6%时,根鲜重的均值为 0.0034 g,4 份材料的根鲜重 ≥ 0.0050 g,0.0030 g $\leq$ 根鲜重 <0.0050 g 的材料有 8 份,其它材料的根鲜重介于 0.0000~0.0029 g 之间。当 NaCl 溶液浓度为 0.8%时,根鲜重的均值仅为 0.0023 g,3 份材料的根鲜重 ≥ 0.0050 g,0.0030 $\leq$ 根鲜重 <0.0050 g 的材料有 3 份;而临洮芸芥、13 芸芥 29-5、13 芸芥 79-2 和 13 芸芥 8-13 这 4 份材料在高浓度胁迫下的根鲜重表现出增大的变化特点。

表 2 不同浓度 NaCl 胁迫下芽期芸芥萌发情况
Table 2 Germination indexes of *Eruca sativa* under NaCl stress at budding stage

盐溶液浓度/% Salt solution concentration	发芽势/% Germination potential	发芽率/% Germination rate	发芽指数 Germination index	胚根长/cm Radicle length	胚芽长/cm Hypocotyl length
0	100.00±0.00 Aa	100.00±0.00 Aa	126.64±0.89 Aa	3.39±0.03 Aa	2.45±0.05 Aa
0.2	97.33±0.15 Aa	97.33±0.15 Aa	99.05±1.46 Bb	2.72±0.00 Bb	2.20±0.10 Bb
0.4	82.00±0.46 Bb	82.00±0.46 Bb	73.31±0.00 Cc	1.48±0.07 Cc	1.32±0.05 Cc
0.6	51.33±1.15 Cc	51.33±1.15 Cc	42.41±1.08 Dd	1.01±0.03 Dd	0.96±0.03 Dd
0.8	8.00±0.00 Dd	8.00±0.00 Dd	6.37±0.16 Ee	—	—
1.0	2.00±0.00 Ee	2.00±0.00 Ee	1.09±0.00 Ff	—	—
均值 Mean	48.13	48.13	44.45	1.74	1.49

注:表中数字为平均值±标准差;不同小写字母表示同一指标不同浓度盐处理间 $P<0.05$ 水平差异显著,不同大写字母表示同一指标不同浓度盐处理间 $P<0.01$ 水平差异显著;“—”代表缺少的数据。下同。

Notes: The data in the table are areage $\pm$ standard deviation; different lowercase letters indicate significant differences at $P<0.05$ among treatments; different capital letters indicate significant differences at $P<0.01$ among treatments; “—” indicates missing data. The same below.

表 3 0.6%和 0.8%NaCl 胁迫下芸芥的正常种苗率、苗高和根长

Table 3 Survival seedling rate, seedling height and root length of *E. sativa* under 0.6% and 0.8% NaCl stress

编号 No.	材料名称 Name	0.6%NaCl 处理 0.6%NaCl stress			0.8%NaCl 处理 0.8%NaCl stress		
		正常种苗率/% Survival seedling rate	苗高/cm Seedling height	根长/cm Root length	正常种苗率/% Survival seedling rate	苗高/cm Seedling height	根长/cm Root length
1	06 芸 87-82 06 yun 87-82	64.37±2.37 Efg	1.01±0.01 FGhefg	0.80±0.02 Eef	57.23±0.40 Ee	1.20±0.01 Ab	0.90±0.01 Bb
2	张芸 216-1 Zhangyun 216-1	78.08±1.01 Cd	0.94±0.00 Ii	0.38±0.01 Km	73.03±0.06 Aa	0.87±0.01 GHg	0.39±0.00 JI
3	渭源芸芥 Weiyuan yunjie	63.01±0.01 FGg	0.96±0.03 HIhi	0.79±0.01 Ef	20.20±0.35 Ii	0.92±0.03 Dde	0.63±0.03 Dd
4	静宁芸芥 Jingning yunjie	68.70±2.04 De	0.11±0.00 Op	1.57±0.04 Bb	30.00±0.00 Kk	0.80±0.01 GHg	0.14±0.01 Oq
5	13 芸芥 75-3 13 yunjie 75-3	30.01±0.01 Lm	1.04±0.01 Fe	0.38±0.02 Km	3.00±0.00 Pp	0.41±0.01 Nm	0.11±0.01 Pr
6	天水芸芥 Tianshui yunjie	33.07±0.13 Li	0.45±0.01 No	0.41±0.01 JKklm	10.93±0.03 MNn	1.18±0.06 BCb	0.88±0.01 Cc
7	12 芸芥 83-1 12 yunjie 83-1	90.00±0.01 Be	1.10±0.01 Ed	0.92±0.02 Dd	57.37±3.51 Ee	0.51±0.01 MI	0.39±0.02 Jkl
8	岷县芸芥 Minxian yunjie	47.16±0.28 Ii	0.79±0.01Kk	0.50±0.01 Ij	37.37±0.55 Ii	0.72±0.03 IJhi	0.22±0.01 Ln
9	会宁芸芥 Huining yunjie	43.34±0.57 JKj	1.20±0.01 Dc	1.40±0.02 Cc	63.03±0.06 Cc	0.59±0.01 Lk	0.53±0.01 Gh
10	06 芸 86-y 06 yun 86-y	60.01±0.02 GHh	0.85±0.05 Jj	0.30±0.01 Ln	60.03±0.06 Dd	0.86±0.03 Ef	0.49±0.02 Hi
11	13 芸芥 12-6 13 yunjie 12-6	60.00±0.01 GHh	1.00±0.01FGHfg	0.70±0.01 Fg	40.03±0.06 Hh	0.95±0.03 Dd	0.45±0.01 Ij
12	永登芸芥 Yongdeng yunjie	40.00±0.01 Kk	1.00±0.02 FGHfg	0.70±0.01 Fg	33.03±0.06 Jj	0.61±0.02 KLk	0.41±0.01 Jk
13	04 靖芸 100-2 04 jingyun 100-2	65.34±0.57 DEFfg	1.11±0.01 Ed	0.64±0.02Gh	66.70±0.61 Bb	0.94±0.03 Dde	0.61±0.00 De
14	临洮芸芥 Lintao yunjie	57.64±1.11 Hh	1.00±0.02 FGef	0.40±0.02JKlm	43.07±0.9 Gg	0.75±0.06 HIh	0.60±0.01 Eef
15	13 芸芥 68-3 13 yunjie 68-3	13.07±0.13 Mn	0.60±0.01 Lm	0.17±0.01 Mop	3.03±0.06 Pp	0.40±0.07 Nm	0.12±0.00 OPPr
16	民乐芸芥 Minle yunjie	93.04±3.20 Bb	1.44±0.02 Cb	0.83±0.06 Ee	65.47±1.36 Bb	0.80±0.07 GHg	0.39±0.01 JI
17	13 芸芥 76-4 13 yunjie 76-4	10.00±0.01 Mo	0.51±0.02 Mn	0.15±0.06 Mp	0.00±0.00 Qq	0.00±0.00 On	0.00±0.00 Qs
18	庆阳芸芥 Qingyang yunjie	76.37±1.19 Cd	1.51±0.01 Aab	1.40±0.10 Cc	20.07±0.12 Ii	0.93±0.03 Dde	0.59±0.02 Ef
19	卓妮芸芥 Zhuoni yunjie	44.71±1.46 IJij	1.54±0.01 Aa	0.59±0.01 Ghi	33.70±1.13 Jj	1.14±0.05 Cc	0.37±0.01 Km
20	陇西芸芥 Longxi yunjie	46.34±1.16 Iij	1.04±0.05 Fe	0.43±0.01 JKkl	32.10±1.56 JKj	1.25±0.02 Aa	1.06±0.01 Aa
21	13 芸芥 29-5 13 yunjie 29-5	68.37±2.37 De	0.98±0.02 GHlgh	0.19±0.01 Mo	46.10±1.56 Ff	0.82±0.06 FGg	0.16±0.00 Np
22	13 芸芥 79-2 13 yunjie 79-2	45.8±2.08 IJij	0.75±0.02 KI	0.56±0.03 Hi	7.03±0.06 Oo	0.43±0.04 Nm	0.19±0.01 Mo
23	13 芸芥 8-13 13 yunjie 8-13	90.01±0.02 Be	1.11±0.01 Ed	0.70±0.01 Fg	13.03±0.06 Mm	0.76±0.08 Hhi	0.56±0.01 Fg
24	08 张芸 77-2 08 zhangyun 77-2	45.01±1.00 IJij	1.12±0.01 Ed	0.46±0.04 Ijk	9.87±0.23 Nn	0.67±0.02 JKj	0.45±0.01 Ij
25	08 张芸 6-3 08 zhangyun 6-3	67.35±0.57 Def	1.03±0.01 FGef	0.29±0.04 Ln	32.37±1.18 Jj	0.90±0.07 Def	0.20±0.02 Lmo
26	08 武芸 3-1 08 wuyun 3-1	97.34±0.57 Aa	1.47±0.06 BCb	2.34±0.06 Aa	37.97±1.67 Hii	0.69±0.01 Jij	0.50±0.00 Hi
平均值 Mean		57.62	0.99	0.69	34.45	0.77	0.44

表 4 0.6%和 0.8%NaCl 胁迫下芸芥的苗鲜重和根鲜重/(g·株⁻¹)

Table 4 Fresh weight of seedling and root of *E. sativa* under 0.6% and 0.8% NaCl stress/(g·plant⁻¹)

编号 No.	材料名称 Name	0.6%NaCl 处理 0.6%NaCl stress		0.8%NaCl 处理 0.8%NaCl stress	
		苗鲜重 Seedling fresh weight	根鲜重 Root fresh weight	苗鲜重 Seedling fresh weight	根鲜重 Root fresh weight
1	06 芸 87-82 06 yun 87-82	0.0263±0.0009 IJh	0.0048±0.0051 Ee	0.0247±0.0000 Bb	0.0029±0.0001 Fg
2	张芸 216-1 Zhangyun 216-1	0.0186±0.0001 Mm	0.0019±0.0014 OPop	0.0171±0.0004 Kk	0.0009±0.0001 Mno
3	渭源芸芥 Weiyuan yunjie	0.0213±0.0000 Ll	0.0024±0.0031 LMI	0.0182±0.0002 Jj	0.0011±0.0000 Ln
4	静宁芸芥 Jingning yunjie	0.0338±0.0012 Bb	0.0069±0.0001 Dd	0.0225±0.0032 FGf	0.0047±0.0000 Cd
5	13 芸芥 75-3 13 yunjie 75-3	0.0275±0.0003 HIfg	0.0023±0.0001 MNlm	0.0134±0.0005 Nn	0.0022±0.0000 Hij
6	天水芸芥 Tianshui yunjie	0.0102±0.0004 Pp	0.0016±0.0000 QRq	0.0124±0.0001 Oo	0.0005±0.0000 Oq
7	12 芸芥 83-1 12 yunjie 83-1	0.0252±0.0000 Jki	0.0030±0.0001 IJj	0.0169±0.0001 Kk	0.0018±0.0001 JI
8	岷县芸芥 Minxian yunjie	0.0277±0.0000 Hf	0.0084±0.0004 Bb	0.0244±0.0000 BCbc	0.0023±0.0001 Hi
9	会宁芸芥 Huining yunjie	0.0267±0.0005 HIgh	0.0032±0.0002 Ii	0.022±0.0008 GHg	0.0021±0.0001 Hijk
10	06 芸 86-y 06 yun 86-y	0.0301±0.0001 Eef	0.0011±0.0001 Sr	0.0281±0.0002 Aa	0.0062±0.0000 Aa
11	13 芸芥 12-6 13 yunjie 12-6	0.0275±0.0004 HIfg	0.0073±0.0000 Cc	0.0211±0.0002 Ii	0.0022±0.0000 HIij
12	永登芸芥 Yongdeng yunjie	0.0278±0.0000 GHf	0.0035±0.0001 Hh	0.0151±0.0001 Mm	0.0008±0.0000 Np
13	04 靖芸 100-2 04 jingyun 100-2	0.0224±0.0008 Lk	0.0029±0.0001 JKj	0.0149±0.0005 Mm	0.0008±0.0000 Np
14	临洮芸芥 Lintao yunjie	0.0214±0.0002 Lkl	0.0018±0.0000 PQp	0.0214±0.0001 Ihi	0.0021±0.0002 Hijk
15	13 芸芥 68-3 13 yunjie 68-3	0.0137±0.0000 Oo	0.0015±0.0001 QRq	0.0118±0.0005 Pp	0.0000±0.0000 Pr
16	民乐芸芥 Minle yunjie	0.0324±0.0008 CDe	0.0043±0.0000 Ff	0.0235±0.0002 Dde	0.0025±0.0001 Gh
17	13 芸芥 76-4 13 yunjie 76-4	0.0000±0.0000 Qq	0.0000±0.0000 Ts	0.0000±0.0000 Ss	0.0000±0.0000 Pr
18	庆阳芸芥 Qingyang yunjie	0.0271±0.0004 HIgh	0.0022±0.0000 MNmn	0.0231±0.0001 De	0.0021±0.0001 Ik
19	卓妮芸芥 Zhuoni yunjie	0.0242±0.0011 Kij	0.0027±0.0001 KLk	0.0216±0.0006 HIgh	0.0022±0.0000 Hij
20	陇西芸芥 Longxi yunjie	0.0371±0.0017 Aa	0.0040±0.0061 Gg	0.0240±0.0001 CDe	0.0011±0.0001 Lmno
21	13 芸芥 29-5 13 yunjie 29-5	0.0211±0.0008 Ll	0.0021±0.0042 NOno	0.0078±0.0001 Rr	0.0055±0.0000 Bc
22	13 芸芥 79-2 13 yunjie 79-2	0.0159±0.0005 Nn	0.0015±0.0000 Rq	0.0094±0.0001 Qq	0.0042±0.0002 De
23	13 芸芥 8-13 13 yunjie 8-13	0.0312±0.0009 Dde	0.0032±0.0012 Ii	0.0171±0.0003 Kk	0.0061±0.0001 Ab
24	08 张芸 77-2 08 zhangyun 77-2	0.0241±0.0002 Kj	0.0022±0.0021 MNmn	0.0161±0.0001 Ll	0.0015±0.0000 Km
25	08 张芸 6-3 08 zhangyun 6-3	0.0291±0.0002 FGe	0.0031±0.0011 IJij	0.0185±0.0185 Jj	0.0005±0.0000 Oq
26	08 武芸 3-1 08 wuyun 3-1	0.0331±0.0000 BCbc	0.0099±0.0023 Aa	0.0121±0.0121 OPop	0.0031±0.0002 Ef
平均值 Mean		0.0244	0.0034	0.0176	0.0023

2.2.3 供试芸芥对 NaCl 胁迫的耐受性评价 利用模糊数学隶属函数法对 26 份芸芥种质的正常种苗率、苗高、根长、苗鲜重和根鲜重的隶属函数值分别进行计算,求其平均值,根据平均值的大小将参试材料进行耐盐性分类(表 5)。0.6133≤隶属值总平均值≤0.7261,属于耐盐性较强的材料,包括 08 武芸 3-1,民乐芸芥等;0.4274≤隶属值总平均值≤0.5911,属于耐盐性较中等的材料,包括临洮芸芥、张芸 216-1 等;0.0280≤隶属值总平均值≤0.3894 属于耐盐性较弱的材料,包括 13 芸芥 68-3、13 芸芥 76-4 等。

图 1 所示为耐盐性不同的 6 份材料,包括 08 武芸 3-1 和民乐芸芥(耐盐性较强)、临洮芸芥和张芸 216-1(耐盐性中等)以及 13 芸芥 68-3 和 13 芸芥 76-4(耐盐性较差)在 0.8%NaCl 胁迫下的生长状况及盐害程度差异,08 武芸 3-1 和民乐芸芥的隶属函数总平均值较大,各单株在 0.8%NaCl 胁迫下的长势也较好,绿色叶片数目多,未出现明显的盐害症状;临洮芸芥和张芸 216-1 在 0.8%NaCl 胁迫下的长势变弱,地上部变短,叶片数明显减少,表现出一定的盐害症状,如有些单株的茎基部有黄色叶片,有些单株的边缘叶干枯,部分叶片上有黄色斑点;13 芸芥 68-3 和 13 芸芥 76-4 在 0.8%NaCl 胁迫下的

长势较差,地上部更短,叶片稀少,表现严重的盐害症状,如有些单株整株干枯甚至死亡,所有植株上都有干枯叶片出现,有些叶片呈卷曲状。后续试验以上述 6 份不同耐盐性芸芥为材料进行。

2.3 苗期芸芥耐盐生理特性的变化

2.3.1 0.6%和 0.8%NaCl 胁迫下芸芥的脯氨酸含量

从图 2 中可以看出,随盐浓度的升高,所选材料的脯氨酸含量也呈现上升趋势。在 0.6%和 0.8%NaCl 胁迫浓度下,耐盐材料民乐芸芥和 08 武芸 3-1 脯氨酸含量显著高于其它 4 份材料($P<0.05$)。在 0.6%盐胁迫下,供试芸芥脯氨酸含量大小排序为:民乐芸芥>08 武芸 3-1>张芸 216-1>临洮芸芥>13 芸芥 76-4>13 芸芥 68-3;在 0.8%盐胁迫下,供试芸芥脯氨酸含量大小排序为:民乐芸芥>08 武芸 3-1>临洮芸芥>张芸 216-1>13 芸芥 76-4>13 芸芥 68-3。

2.3.2 0.6%和 0.8%NaCl 胁迫下芸芥叶片的细胞膜相对透性 不同浓度盐胁迫下,6 份不同耐盐性芸芥的细胞膜相对透性见图 3。随着胁迫浓度的升高,参试材料细胞膜相对透性呈现上升趋势,尤其是当盐浓度为0.8%时,变化更为明显。13 芸芥 68-3 和 13 芸芥 76-4(耐盐性较差)的细胞膜相对透性显著($P<0.05$)高于民乐芸芥和 08 武芸 3-1(耐盐性较强)。供试芸芥细胞膜相对透性的大小排序为:

表 5 隶属函数法评价芸芥对盐胁迫的耐受性

Table 5 Salt tolerance evaluation of <i>E. sativa</i> using the method of membership function								
编号 No.	材料名称 Name	生长指标隶属值 Membership function value of growth index					隶属值平均值排名 Average ranking of membership function values	耐盐性排名 Salt tolerance rank
		正常种苗率	苗高	根长	苗鲜重	根鲜重		
		seedlings rate	seedling height	Root length	Seedling fresh weight	Root fresh weight		
1	06 芸 87-82 06 yun 87-82	0.70	0.79	0.575	0.7952	0.5880	0.6896	3
2	张芸 216-1 Zhangyun 216-1	0.89	0.61	0.235	0.5623	0.3296	0.5254	14
3	渭源芸芥 Weiyuan yunjie	0.44	0.67	0.435	0.2959	0.2959	0.4274	20
4	静宁芸芥 Jingning yunjie	0.54	0.33	0.385	0.8615	0.8388	0.5911	8
5	13 芸芥 75-3 13 yunjie 75-3	0.14	0.49	0.105	0.3778	0.3778	0.2981	23
6	天水芸芥 Tianshui yunjie	0.21	0.59	0.475	0.1361	0.1361	0.3094	22
7	12 芸芥 83-1 12 yunjie 83-1	0.85	0.54	0.360	0.6536	0.4952	0.5798	9
8	岷县芸芥 Minxian yunjie	0.47	0.52	0.185	0.8204	0.5702	0.5131	15
9	会宁芸芥 Huining yunjie	0.62	0.62	0.530	0.7524	0.5441	0.6133	7
10	06 芸 86-y 06 yun 86-y	0.70	0.62	0.270	0.9167	0.9167	0.6847	4
11	13 芸芥 12-6 13 yunjie 12-6	0.56	0.68	0.335	0.7542	0.5566	0.5772	10
12	永登芸芥 Yongdeng yunjie	0.40	0.56	0.320	0.6540	0.4506	0.4769	18
13	04 靖芸 100-2 04 jingyun 100-2	0.78	0.72	0.405	0.5770	0.3701	0.5704	11
14	临洮芸芥 Lintao yunjie	0.57	0.61	0.340	0.6798	0.4572	0.5314	13
15	13 芸芥 68-3 13 yunjie 68-3	0.04	0.33	0.060	0.1903	0.1903	0.1621	25
16	民乐芸芥 Minle yunjie	0.94	0.79	0.340	0.8734	0.6572	0.7201	2
17	13 芸芥 76-4 13 yunjie 76-4	0.00	0.14	0.000	0.0000	0.0000	0.0280	26
18	庆阳芸芥 Qingyang yunjie	0.41	0.87	0.570	0.7802	0.5308	0.6322	6
19	卓妮芸芥 Zhuoni yunjie	0.30	0.95	0.275	0.7189	0.5052	0.5498	12
20	陇西芸芥 Longxi yunjie	0.33	0.83	0.565	0.9286	0.5807	0.6469	5
21	13 芸芥 29-5 13 yunjie 29-5	0.54	0.63	0.085	0.3172	0.3748	0.3894	21
22	13 芸芥 79-2 13 yunjie 79-2	0.25	0.41	0.180	0.2250	0.2250	0.2580	24
23	13 芸芥 8-13 13 yunjie 8-13	0.54	0.64	0.390	0.4403	0.4403	0.4901	17
24	08 张芸 77-2 08 zhangyun 77-2	0.27	0.61	0.280	0.6218	0.4571	0.4478	19
25	08 张芸 6-3 08 zhangyun 6-3	0.56	0.68	0.130	0.7332	0.4431	0.5093	16
26	08 武芸 3-1 08 wuyun 3-1	0.76	0.76	0.735	0.6740	0.7017	0.7261	1

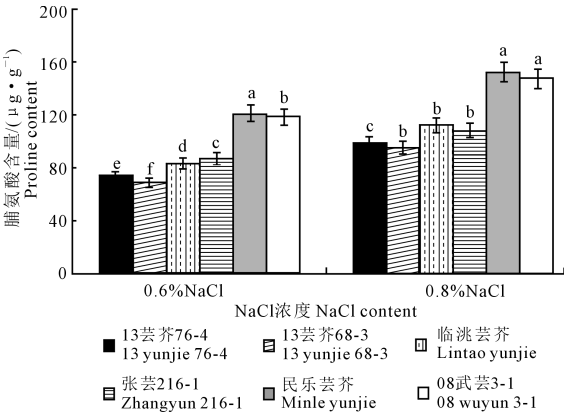


A: 08 武芸 3-1; B: 民乐芸芥; C: 临洮芸芥; D: 张芸 216-1; E: 13 芸芥 68-3; F: 13 芸芥 76-4
A: 08 wuyun 3-1; B: Minle yunjie; C: Lingtao yunjie; D: Zhangyun 216-1; E: 13 yunjie 68-3; F: 13 yunjie 76-4
图 1 6 份不同耐盐性芸芥在 0.8% NaCl 胁迫下生长形态差异

Fig.1 Difference in growth morphologic 6 *E. sativa* with different salt tolerance under 0.8% NaCl stress

13 芸芥 76-4>13 芸芥 68-3>张芸 216-1 和临洮芸芥>08 武芸 3-1>民乐芸芥;在 0.8%盐胁迫下,供试芸芥细胞膜相对透性的大小排序为 13 芸芥 76-4>13 芸芥 68-3>张芸 216-1 和临洮芸芥>08 武芸 3-1>民乐芸芥。

2.3.3 0.6%和 0.8% NaCl 胁迫下芸芥可溶性糖含量 从图 4 可知,随 NaCl 浓度的升高,6 份材料的可溶性糖含量呈现上升趋势。在 0.6%盐胁迫下,供试芸芥可溶性糖含量大小排序为 13 芸芥 76-4>13 芸芥 68-3>张芸 216-1 和临洮芸芥>08 武芸 3-1>民乐芸芥;在 0.8%盐胁迫下,供试芸芥可溶性糖含量大小排序为 13 芸芥 76-4>13 芸芥 68-3>张芸 216-1 和临洮芸芥>08 武芸 3-1>民乐芸芥。



注:图中小写字母表示处理内差异显著 ($P<0.05$),下同。
Note: The lowercase letters show significant differences among the treatment ($P<0.05$), the same below.

图 2 0.6%和 0.8%NaCl 胁迫下不同耐盐性芸芥的脯氨酸含量

Fig.2 Proline content of 6 *E. sativa* with different salt tolerance under 0.6% and 0.8% NaCl stress

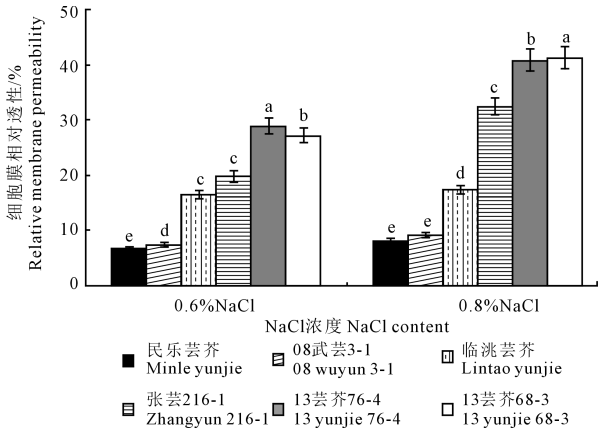


图 3 0.6%和 0.8% NaCl 胁迫下不同耐盐性芸芥叶片的细胞膜相对透性

Fig.3 Relative membrane permeability of leaves of 6 *E. sativa* with different salt tolnrace under 0.6% and 0.8% NaCl stress

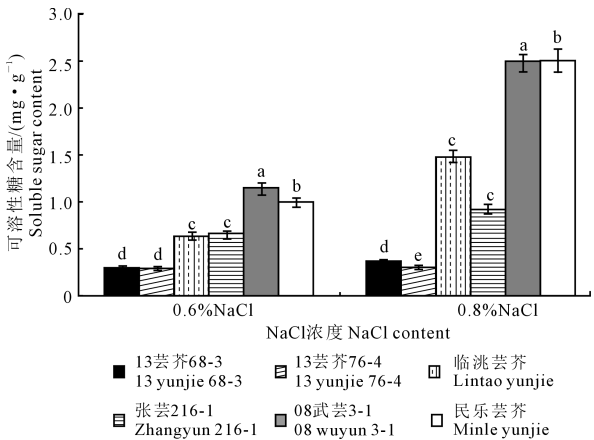


图 4 0.6%和 0.8% NaCl 胁迫下不同耐盐性芸芥的可溶性糖含量

Fig.4 Soluble sugar content of 6 *E. sativa* with different salt tolerance under 0.6% and 0.8% NaCl stress

3 讨 论

3.1 模糊数学隶属函数法适用于芸芥种质耐盐性的评价

植物的耐盐性是一个涉及多种代谢途径的复杂的适应过程,采用单一指标评价其耐盐程度具有片面性,不能真实客观地反映植物的耐盐表现^[18]。因此,进行植物耐盐碱资源评价鉴定时,应综合考虑各个指标对耐盐性的贡献,才能更真实地反映所评价资源的综合耐盐碱能力。柴媛媛等^[19]的研究表明,采用模糊数学隶属函数法不仅能消除若干指标间的差异,也能够较准确地评价甜高粱的耐盐性。刘敏轩等^[11]的研究表明,模糊数学隶属函数法也适用于评价黍稷耐中性混合盐的能力。本研究采用模糊数学隶属函数法研究了 26 份芸芥资源在不同 NaCl 盐胁迫下的耐盐性,并分析了不同生理指标与耐盐性的相关性,认为该方法适用于芸芥耐盐性的评价。

3.2 脯氨酸和可溶性糖含量与芸芥耐盐性之间均呈正显著相关性

迄今为止,已有大量关于盐碱胁迫强度与脯氨酸含量变化关系的文献报道。在盐碱等逆境胁迫下,植物体内游离脯氨酸含量显著增加,因此其可作为耐盐育种的重要生理指标^[20]。本研究结果表明,耐盐材料的脯氨酸含量显著高于其它材料,且脯氨酸含量与耐盐性之间呈显著正相关。可溶性糖是重要的渗透调节物质,在植物遭受逆境时大量合成,以维持细胞内渗透势及保护膜系统的稳定性。氯化钠胁迫会导致植物体内可溶性糖含量显著增加^[21]。本研究结果表明,耐盐材料的可溶性糖含量显著高于其它材料,说明可溶性糖含量与耐盐性之间关系密切。当植物体某一部分处于盐、碱胁迫下时,细胞膜受到不同程度的破坏,一般来说,细胞膜透性小说明其遭到的破坏程度小,而耐盐性则较强^[22]。本试验结果表明,当盐胁迫浓度为 0.8% 时,耐盐性较强的材料与耐盐性较差的材料间细胞膜透性差距较大,说明脯氨酸、可溶性糖和细胞膜透性可以考虑作为鉴定芸芥幼苗耐盐性的生理指标。

3.3 26 份芸芥种质材料的耐盐性存在明显差异

Hilda 等^[13]的研究发现,芸芥伊朗品种耐盐性较弱,意大利“B-115”品种耐盐性较强。本试验表明,26 份芸芥种质在 NaCl 胁迫下,其耐盐性差别较大,民乐芸芥和 08 武芸 3-1 耐盐性较强,高浓度盐胁迫下长势好,无盐害症状,脯氨酸和可溶性糖含量均较高、质膜透性较低;临洮芸芥和张芸 216-1

耐盐性居中,高浓度盐胁迫下长势变弱,盐害程度较轻,脯氨酸和可溶性糖含量低于民乐芸芥和 08 武芸 3-1,质膜透性却高于前二者;13 芸芥 68-3 和 13 芸芥 76-4 的耐盐性较差,高盐胁迫下长势差,受到重度盐害,脯氨酸和可溶性糖含量均显著低于其它材料。这些研究结果证明,同一植物不同栽培类型的耐盐性存在明显的差异。

综上所述,芸芥游离脯氨酸含量对盐胁迫敏感,与参试材料耐盐性呈显著相关,可作为衡量芸芥种质耐盐胁迫能力的重要生理指标之一。另外,本试验仅探讨了单一盐分胁迫对不同芸芥材料幼苗生长和部分生理性状的影响,但实际上西北芸芥种植区域的盐渍土中往往含多种盐离子,不同无机离子之间存在着相互作用。同时,植物在不同生长时期、不同环境下对盐胁迫的反应不同,耐盐性亦不同。因此,关于芸芥在不同生长发育阶段的耐盐性对比试验以及在实际盐碱土壤条件下的耐盐性状况尚需进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] Liang C Z, Meng Z H, Meng Z G, et al. GhABF2, a bZIP transcription factor, confers drought and salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 35040.
- [2] Li Z G, Duan X Q, Xing M, et al. Methylglyoxal as a novel signal molecule induces the salt tolerance of wheat by regulating the glyoxalase system, the antioxidant system, and osmolytes [J]. Protoplasma, 2017, 254(5): 1995-2006.
- [3] 陈新, 张宗文, 吴斌. 裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选[J]. 中国农业科学, 2014, 47(10): 2038-2046.
- [4] 王治江, 刘自刚, 孙万仓, 等. NaCl 和 Na₂SO₄ 胁迫对白菜型冬油菜种子萌发的影响及其耐盐性分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(6): 243-252.
- [5] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 250-252. PH
- [6] 张巧凤, 陈宗金, 吴纪中, 等. 小麦种质芽期和苗期的耐盐性鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(4): 620-626.
- [7] 李琳, 于裕, 蒋永超, 等. 芸豆苗期耐盐碱性鉴定及品种筛选研究[J]. 植物生理学报, 2016, 52(1): 62-72.
- [8] 刘自刚, 王志江, 方圆. NaCl 胁迫对白菜型冬油菜种子萌发和幼苗生理的影响[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(3): 351-359.
- [9] 田小霞, 毛培春, 孟林, 等. 无芒雀麦苗期耐盐指标筛选及耐盐性综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10): 156-161.
- [10] 王靖泽, 高树仁, 孙丽芳, 等. 3 个玉米自交系对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 89-95.
- [11] 刘敏轩, 张宗文, 吴斌. 黍稷种质资源芽、苗期耐中性混合盐胁迫评价与耐盐生理机制研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(18): 3733-3743.
- [12] 李丰先, 周宇飞, 王艺陶, 等. 高粱品种萌发期耐碱性筛选与综合鉴定[J]. 中国农业科学, 2013, 46(9): 1762-1771.

(下转第 59 页)