

引用格式:

朱依晗, 张晶晶, 刘明稀, 刘宁芳, 胡龙兴, 徐倩. 不同老鸦谷种质资源萌发期的耐盐性评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(2): 152–158.

ZHU Y H, ZHANG J J, LIU M X, LIU N F, HU L X, XU Q. Salt tolerance evaluation of different *Amaranthus cruentus* germplasms at germination stage[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(2): 152–158.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 不同老鸦谷种质资源萌发期的耐盐性评价

朱依晗, 张晶晶, 刘明稀, 刘宁芳, 胡龙兴, 徐倩\*

(湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 为评价不同地理来源老鸦谷(*Amaranthus cruentus* L.)种质的耐盐特性及其差异, 选育耐盐老鸦谷新品种, 以 18 份老鸦谷种质资源为材料, 采用 250 mmol/L NaCl 溶液模拟盐胁迫, 以灭菌蒸馏水为对照, 测定盐胁迫下老鸦谷种子的萌芽和生长指标, 并计算相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对芽长、相对发芽指数、相对活力指数等, 运用隶属函数法和聚类分析法对其耐盐性进行综合评价。结果表明: 250 mmol/L NaCl 胁迫条件下所有参试材料的芽长和根长均受到不同程度的抑制, 且根受抑制的程度大于芽受抑制的程度; 盐胁迫对不同老鸦谷材料种子萌发和幼苗生长的抑制作用差异较大, 根据隶属函数值和聚类分析结果, 18 份老鸦谷种质资源的耐盐性可以分为 3 大类, 其中, 耐盐性强的种质 8 份(Ace613、Ace660、Ace568、Ace655、Ace641、Ace659、Ace643 和 Ace649), 中度耐盐种质 7 份(Ace647、Ace621、Ace656、Ace671、Ace631、Ace628 和 Ace650), 耐盐性相对较弱的种质 3 份(Ace651、Ace617 和 Ace575)。

**关键词:** 老鸦谷; 种子萌发; 耐盐性; 综合评价

中图分类号: S548.01

文献标志码: A

文章编号: 1007–1032(2023)02–0152–07

### Salt tolerance evaluation of different *Amaranthus cruentus* germplasms at germination stage

ZHU Yihan, ZHANG Jingjing, LIU Mingxi, LIU Ningfang, HU Longxing, XU Qian\*

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** In order to evaluate the salt tolerance of *Amaranthus cruentus* germplasms from different geographical sources, compare their differences in salt tolerance, and breed new salt-tolerant *A. cruentus* varieties, 18 *A. cruentus* germplasm resources were germinated under 250 mmol/L NaCl solution and sterilized distilled water in this study. The indicators of germination and growth, such as relative germination potential, relative germination rate, relative root length, relative bud length, relative germination index and relative vigor index were collected in the experiments, and the membership function and cluster analysis were used to evaluate the salt tolerance. The results indicated that bud and root lengths of all tested materials were inhibited with more the inhibition in roots. The inhibition on seed germination and seedling growth under salt stress showed significant difference. The membership function and clustering results showed the studied 18 *A. cruentus* germplasm resources could be divided into three groups: 8 germplasms with strong salt tolerance, Ace613, Ace660, Ace568, Ace655, Ace641, Ace659, Ace643 and Ace649, 7 germplasms with moderate salt tolerance, Ace647, Ace621, Ace656, Ace671, Ace631, Ace628 and Ace650 and 3 germplasms with weak salt tolerance, Ace651, Ace617 and Ace575.

收稿日期: 2022–08–31

修回日期: 2023–03–28

基金项目: 山东省重点研发计划(2022LZGC018); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA26050201)

作者简介: 朱依晗(1994—), 女, 湖南郴州人, 硕士研究生, 主要从事牧草逆境生理研究, 1347062601@qq.com; \*通信作者, 徐倩, 博士, 讲师, 主要从事牧草种质资源评价和利用, xq20052005@126.com

**Keywords:** *Amaranthus cruentus*; seed germination; salt tolerance; comprehensive evaluation

土壤盐碱化已经成为影响农业生产的严重生态问题,全球盐碱化面积和盐碱化程度都在逐年增加<sup>[1-2]</sup>。土壤盐碱化影响植物的生长发育,导致作物减产、品质降低,严重影响了粮食生产和畜牧业的发展<sup>[3-4]</sup>。为了提高土地利用率,亟需对盐碱地进行改良。改良方法主要有物理方法、化学方法和生物改良法,其中,生物改良法包括种植稀盐盐生植物、施加土壤有益微生物等措施<sup>[5]</sup>。种植耐盐绿肥和牧草,既能改良土壤理化性质,又能增强土地肥力,是一种极具潜力的盐碱土地改良手段<sup>[6]</sup>。目前,大部分牧草的耐盐性都较差,挖掘、培育耐盐性好的牧草新品种,对于土地资源的开发利用尤为重要。

老鸦谷(*Amaranthus cruentus* L.)也被称作繁穗苋,属于苋科苋属的一年生大型草本植物,原产于中美洲与南美洲,栽培和种植历史悠久<sup>[7-8]</sup>。老鸦谷为 C<sub>4</sub> 植物,再生速度快,产量高,抗逆性强,具有耐旱、耐盐碱、耐瘠薄、易管理等优点<sup>[9-11]</sup>,是一种具备改良盐碱地潜力的优质牧草。同时老鸦谷营养价值丰富,蛋白质、氨基酸和脂肪等的含量远超普通粮食作物,是一种粮饲兼用的高能作物<sup>[12]</sup>。

种子萌发阶段是植物整个生长过程中对外界环境最敏感的时期,萌发期进行耐盐筛选既有代表性,又较为快捷<sup>[13]</sup>。李雪等<sup>[14]</sup>以 59 份不同来源的紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)种质为材料,测定盐胁迫下的萌发指标,对不同紫花苜蓿萌发期的耐盐性进行鉴定,最终筛选出 11 份耐盐性强和 3 份耐盐性弱的种质资源。关于籽粒苋的研究主要集中在饲用、食用品质的研究<sup>[15-17]</sup>,而耐盐籽粒苋种质的筛选及培育工作开展较少。本研究中,对 18 份不同基因型老鸦谷种质资源进行耐盐性鉴定,以期耐盐老鸦谷新品种的选育与应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

18 份老鸦谷种质资源(表 1)均保存在湖南农业大学农学院种子库。

表 1 供试的 18 份老鸦谷种质资源信息

Table 1 Basic information for the 18 *Amaranthus cruentus* germplasm resources

编号	登记编号	植物名称	资源类型	原产地
Ace568	Ames 15192	Vano	当地品种	墨西哥
Ace575	Ames 18017	Bato Latte	当地品种	尼泊尔
Ace613	Ames 2219	RRC 1018	育种材料	墨西哥
Ace617	Ames 24066	Ames 24066	育种材料	墨西哥
Ace621	Ames 30927	206 D	育种材料	美国
Ace628	Ames 5300	RRC 649	当地品种	美国
Ace631	Ames 5318	RRC 536	育种材料	美国
Ace641	Ames 5542	RRC 817	育种材料	墨西哥
Ace643	Ames 5549	RRC 824	育种材料	墨西哥
Ace647	Ames 5553	RRC 828	育种材料	墨西哥
Ace649	Ames 5590	RRC 1026	育种材料	墨西哥
Ace650	Ames 5595	RRC 1031	育种材料	墨西哥
Ace651	Ames 5597	RRC 1033	育种材料	墨西哥
Ace655	Ames 5621	RRC 1015	育种材料	墨西哥
Ace656	Ames 5622	RRC 1016	育种材料	墨西哥
Ace659	Ames 5627	RRC 1021	育种材料	墨西哥
Ace660	Ames 5636	RRC 1137	育种材料	墨西哥
Ace671	Ames 5694	Taiwan	育成品种	印度尼西亚

### 1.2 试验设计与处理

挑选成熟饱满、大小均一的老鸦谷种子,5% NaClO 消毒 5 min<sup>[18]</sup>后用无菌水冲洗 3~5 次,再用无菌滤纸擦干种子表面的水分。种子均匀播于灭菌培养皿(9 cm)中,每皿 20 粒。每个处理 3 次重复。盐胁迫处理组加入 2 mL 特定浓度 NaCl 溶液,对照组(CK)加入 2 mL 灭菌蒸馏水。置于人工气候室中培养,萌发前 3 d 对其进行遮光处理,从第 4 天开始在昼/夜时长 14 h/10 h、昼/夜温度 23.5 °C/20 °C、光照强度 200 μmol/(m<sup>2</sup> s)的培养箱中进行培养。培养期间每天补充无菌水,确保滤纸始终保持湿润状态。

为确定不同基因型老鸦谷种子萌发期最适筛选盐浓度,采用 0(CK)、100、150、200、250、300 mmol/L NaCl 溶液分别对 K472 和 R104 种子进行预试验处理,测定其发芽势、发芽率、根长、芽长等生长指标。结果表明,与对照相比,250 mmol/L NaCl 溶液使老鸦谷萌发期的各生长指标均下降约 50%,因而选择该浓度进行后续筛选试验。

### 1.3 测定指标与方法

从播种后第 2 天开始统计老鸦谷种子的发芽数, 每天同一时间统计发芽情况。种子芽长达到种子长 1/2 以上作为种子发芽的标准<sup>[19]</sup>, 连续统计 10 d, 并按照文献[20–21]的方法计算发芽势、发芽率、发芽指数、相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数和相对盐害率等指标。于第 10 天统计完成后, 每个培养皿随机挑选 10 株幼苗, 用电子游标卡尺测量其根长和芽长, 并按照文献[22]的方法计算相对根长、相对芽长、相对活力指数。

### 1.4 数据处理与统计分析

采用模糊数学隶属函数法, 以相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数、相对根长、相对芽长和相对活力指数作为分析指标, 按照文献[23]计算隶属函数值和上述各指标的隶属函数平均值, 以此对不同基因型老鸦谷种子萌发期的耐盐性进行综合分析。

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理; 采用 SPSS 22.0 进行方差分析; 采用 DPS 9.01 进行聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对老鸦谷种子萌发的影响

从表 2 可知, 对照条件下, 除了 Ace656 和 Ace659, 其余 16 份老鸦谷种子的发芽势和发芽率均在 80% 以上。250 mmol/L NaCl 处理降低了所有老鸦谷种子的发芽势和发芽率, 但不同基因型材料降低的程度不同。其中, Ace613 和 Ace660 发芽势降低的幅度较小, 尚未达到显著水平; 其他参试材料的发芽势和发芽率在盐胁迫条件下均显著下降, 下降幅度为 27.8%~94.7%。Ace568、Ace660 和 Ace613 的相对发芽势和相对发芽率较高, 均大于 70%, 说这 3 份基因型种子的萌发受盐胁迫影响相对较小; Ace617 的相对发芽势和相对发芽率最低, 仅为 5.0% 左右, 表明这份种子的萌发对盐胁迫极度敏感。

表 2 18 份老鸦谷种子的发芽势和发芽率

材料	发芽势		相对发芽势	发芽率		相对发芽率
	CK	NaCl 胁迫		CK	NaCl 胁迫	
Ace568	(90.0±5.00)abc	(63.3±5.77)ab*	(70.4±6.42)ab	(90.0±5.00)abc	(65.0±5.00)ab*	(72.2±5.56)ab
Ace575	(98.3±2.89)a	(16.7±10.41)efgh*	(16.9±10.58)def	(98.3±2.89)a	(16.7±10.41)efgh*	(16.9±10.58)efg
Ace613	(98.3±2.89)a	(81.7±10.41)a	(83.1±10.58)a	(98.3±2.89)a	(83.3±7.64)a*	(84.7±7.77)a
Ace617	(95.0±5.00)ab	(5.0±5.00)h*	(5.3±5.26)f	(95.0±5.00)ab	(5.0±5.00)h*	(5.3±5.26)g
Ace621	(88.3±5.77)abc	(38.3±16.07)bcdef*	(43.4±18.20)bcde	(88.3±5.77)abc	(38.3±16.07)bcdef*	(43.4±18.20)bcde
Ace628	(83.3±7.64)bcd	(11.7±12.58)gh*	(14.0±15.10)ef	(83.3±7.64)bcd	(11.7±12.58)gh*	(14.0±15.10)fg
Ace631	(88.3±5.77)abc	(15.0±5.00)fgh*	(17.0±5.66)def	(88.3±5.77)abc	(15.0±5.00)fgh*	(17.0±5.66)efg
Ace641	(91.7±10.41)abc	(41.7±25.17)bcde*	(45.5±27.45)bcd	(91.7±10.41)abc	(41.7±25.17)bcde*	(45.5±27.45)bcde
Ace643	(83.3±2.89)bcd	(35.0±17.32)cdefg*	(42.0±20.78)bcde	(85.0±5.00)bcd	(35.0±17.32)cdefg*	(41.2±20.38)cdef
Ace647	(80.0±5.00)cde	(18.3±15.28)efgh*	(22.9±19.09)cdef	(80.0±5.00)cde	(18.3±15.28)efgh*	(22.9±19.09)cdefg
Ace649	(93.3±2.89)ab	(45.0±8.66)bcd*	(48.2±9.28)bc	(93.3±2.89)ab	(45.0±8.66)bcd*	(48.2±9.28)bcd
Ace650	(95.0±5.00)ab	(23.3±10.41)cdefgh*	(24.6±10.96)cdef	(95.0±5.00)ab	(23.3±10.41)cdefgh*	(24.6±10.96)cdefg
Ace651	(93.3±5.77)ab	(20.0±18.03)defgh*	(21.4±19.32)cdef	(93.3±5.77)ab	(20.0±18.03)defgh*	(21.4±19.32)cdefg
Ace655	(95.0±5.00)ab	(46.7±2.89)bc*	(49.1±3.04)bc	(95.0±5.00)ab	(46.7±2.89)bc*	(49.1±3.04)bc
Ace656	(75.0±15.00)de	(15.0±13.23)fgh*	(20.0±17.64)cdef	(75.0±15.00)de	(15.0±13.23)fgh*	(20.0±17.64)defg
Ace659	(68.3±7.64)e	(33.3±5.77)cdefg*	(48.8±8.45)bc	(68.3±7.64)e	(33.3±5.77)cdefg*	(48.8±8.45)bcd
Ace660	(98.3±2.89)a	(83.3±7.64)a	(84.7±7.77)a	(98.3±2.89)a	(83.3±7.64)a*	(84.7±7.77)a
Ace671	(95.0±0.00)ab	(28.3±16.07)cdefgh*	(29.8±16.92)cdef	(95.0±0.00)ab	(30.0±13.23)cdefgh*	(31.6±13.93)cdefg

同列不同小写字母表示不同种质间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); “\*”表示同一种质 CK 和处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

## 2.2 NaCl 胁迫对老鸦谷幼苗生长的影响

由表 3 可知, CK 条件下, 参试材料的幼苗根长均在 57 mm 以上, 其中, Ace613 的根系最长(72.6 mm), Ace659 的根系最短(57.7 mm)。与根长相比, 相同基因型幼苗的芽长约为根长的 1/3; Ace659 和 Ace660 的芽长最长(均为 23.1 mm), Ace621 的最短, 仅 16.7 mm。

在盐胁迫处理下, 所有试验材料的根系生长均

受到抑制, Ace631、Ace647 和 Ace655 的根系受到的抑制作用较小, 相对根长分别为 53%、53% 和 51.2%; Ace575 和 Ace651 的根系受盐胁迫抑制作用较大, 其相对根长均低于 20%, 分别为 18.5% 和 14.2%。与胚根相比, 老鸦谷的胚芽受盐胁迫的抑制作用相对较小, 所有参试材料的相对芽长均在 53% 以上, 其中 Ace613 的相对芽长高达 95.6%。

表 3 18 份不同基因型老鸦谷的根长和芽长

Table 3 The root and bud lengths of 18 *Amaranthus cruentus* germplasms

材料	根长/mm		相对根长/%	芽长/mm		相对芽长/%
	CK	NaCl 胁迫		CK	NaCl 胁迫	
Ace568	(63.4±2.26)bcde	(19.0±0.29)f*	(30.0±0.46)h	(21.9±0.74)ab	(19.5±0.14)a*	(89.1±0.65)abcd
Ace575	(62.4±1.10)cdef	(11.6±3.86)g*	(18.5±6.19)i	(19.0±1.64)ef	(10.2±2.52)f*	(53.5±13.23)g
Ace613	(72.6±1.76)a	(27.8±0.67)bc*	(38.3±0.92)efg	(20.9±0.88)bc	(20.0±0.36)a	(95.6±1.72)a
Ace617	(58.4±3.36)ef	(19.1±0.86)f*	(32.6±1.47)gh	(17.6±0.65)gh	(16.5±0.51)cd	(93.9±2.89)ab
Ace621	(61.4±2.64)def	(19.5±2.30)ef*	(31.6±3.75)h	(16.7±0.13)h	(14.0±1.92)e	(83.6±1.50)bcdef
Ace628	(63.6±3.13)bcde	(29.1±1.44)ab*	(45.8±2.27)bcd	(17.5±0.75)gh	(15.9±0.74)de	(91.2±4.21)abc
Ace631	(60.7±3.05)def	(32.2±1.65)a*	(53.0±2.72)a	(19.3±0.81)def	(17.0±0.22)bcd*	(88.2±1.18)abcde
Ace641	(67.2±2.36)bc	(29.7±1.76)ab*	(44.3±2.61)cde	(18.6±0.34)fg	(17.1±0.54)bcd*	(92.0±2.91)abc
Ace643	(60.7±0.82)def	(28.1±1.68)bc*	(46.3±2.77)bc	(19.5±0.32)cdef	(18.1±0.28)abc*	(92.7±1.46)abc
Ace647	(58.4±1.34)ef	(30.9±1.45)ab*	(53.0±2.48)a	(20.2±0.12)cde	(18.2±0.86)abc*	(90.4±4.29)abcd
Ace649	(58.1±0.92)f	(23.3±0.31)de*	(40.1±0.53)def	(20.6±0.28)bcd	(16.5±0.47)cd*	(80.0±2.28)def
Ace650	(60.3±2.77)def	(20.4±0.93)ef*	(33.8±1.55)gh	(19.4±0.44)def	(17.0±0.41)bcd*	(87.4±2.11)abcde
Ace651	(59.2±5.14)ef	(8.4±1.21)g*	(14.2±2.04)i	(19.1±0.73)ef	(16.3±0.93)cd*	(85.4±4.89)abcde
Ace655	(61.5±4.72)def	(31.5±0.84)ab*	(51.2±1.37)ab	(19.8±0.93)cdef	(17.9±0.09)abcd*	(90.3±0.43)abcd
Ace656	(58.6±1.88)ef	(24.7±3.44)cd*	(42.2±5.88)cde	(20.0±0.10)cdef	(18.1±1.60)abc	(90.7±8.04)abc
Ace659	(57.7±1.5)lf	(20.1±0.69)ef*	(34.9±1.20)fgh	(23.1±0.34)a	(18.1±0.18)abc*	(78.2±0.78)ef
Ace660	(64.8±1.81)bcd	(21.0±0.52)def*	(32.3±0.80)gh	(23.1±0.24)a	(19.1±0.39)ab*	(82.4±1.71)cdef
Ace671	(68.7±0.79)ab	(28.4±2.24)abc*	(41.3±3.26)cde	(23.0±0.16)a	(17.0±0.72)bcd*	(73.8±3.12)f

同列不同小写字母表示不同种质间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); “\*”表示同一种质 CK 和处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

## 2.3 NaCl 胁迫对老鸦谷种子发芽指数和活力指数的影响

由表 4 可知, 250 mmol/L NaCl 处理使参试老鸦谷种子的发芽指数和活力指数显著降低, 但不同基因型材料降低的程度不同。其中, Ace575、Ace617、Ace628 和 Ace631 的发芽指数降低了 90% 以上, Ace660 降低的最少(44.4%)。盐胁迫对老鸦

谷种子的活力指数影响更大, 共有 8 份基因型材料的活力指数降低了 90% 以上, 受盐胁迫影响最小的为 Ace660, 其活力指数降低了 74.6%。进一步分析可知, 与发芽指数相比, 盐胁迫对不同老鸦谷材料活力指数的抑制程度更大。Ace617 的相对发芽指数和相对活力指数均最低, 分别为 2.4% 和 1.7%。

表4 18份不同基因型老鸦谷种子的发芽指数和活力指数

Table 4 The germination and vigor indices of 18 *Amaranthus cruentus* germplasms

材料	发芽指数		相对发芽指数/%	活力指数		相对活力指数/%
	CK	NaCl 胁迫		CK	NaCl 胁迫	
Ace568	(14.1±1.27)ef	(6.1±0.25)b*	(43.0±1.81)abc	(1205.4±136.54)bcdef	(233.9±10.19)bc*	(19.4±0.82)abc
Ace575	(16.5±1.73)abcde	(1.4±0.85)def*	(8.6±5.13)fg	(1340.7±109.84)bcd	(33.0±21.88)f*	(2.5±1.62)fg
Ace613	(18.5±1.32)a	(8.3±1.33)a*	(44.8±7.21)ab	(1728.6±107.04)a	(396.5±65.90)a*	(22.9±3.81)ab
Ace617	(17.5±2.00)ab	(0.4±0.52)f*	(2.4±2.97)g	(1334.6±208.33)bcd	(22.7±19.73)f*	(1.7±1.48)g
Ace621	(13.7±1.03)ef	(3.4±1.28)cde*	(25.0±9.39)def	(1072.2±114.44)ef	(117.8±55.02)def*	(11.0±5.17)cdefg
Ace628	(13.2±1.76)f	(1.1±1.18)ef*	(8.0±8.97)fg	(1065.3±123.07)ef	(70.2±44.34)ef*	(6.6±4.17)efg
Ace631	(13.9±1.78)ef	(1.3±0.25)ef*	(9.2±1.83)fg	(1106.4±105.46)def	(63.1±14.44)ef*	(5.7±1.35)efg
Ace641	(15.0±1.73)bcdef	(3.9±2.76)c*	(25.9±18.37)cdef	(1285.3±129.39)bcde	(180.0±124.69)cd*	(14.0±9.72)bcde
Ace643	(14.5±0.69)cdef	(3.1±1.90)cde*	(21.4±13.11)def	(1164.0±58.70)cdef	(145.7±90.91)cde*	(12.5±7.83)cdef
Ace647	(7.8±0.69)g	(1.4±1.23)def*	(18.1±15.65)efg	(615.6±63.17)g	(68.4±58.68)ef*	(11.1±9.53)cdefg
Ace649	(13.1±1.00)f	(3.8±1.30)cd*	(29.0±9.84)bcde	(1033.8±87.60)f	(151.9±54.36)cde*	(14.7±5.27)bcde
Ace650	(17.2±1.26)abcd	(1.8±0.62)cdef*	(10.5±3.59)efg	(1368.0±106.98)bc	(67.5±23.52)ef*	(4.9±1.72)efg
Ace651	(15.5±2.65)bcdef	(1.6±1.49)cdef*	(10.6±9.61)efg	(1204.1±120.25)bcdef	(60.6±15.27)ef*	(5.0±1.27)efg
Ace655	(17.3±0.91)abc	(4.0±0.29)c*	(23.1±1.67)def	(1404.6±37.39)b	(197.8±16.35)cd*	(14.1±1.12)bcde
Ace656	(8.2±1.77)g	(1.4±1.36)def*	(17.6±16.52)efg	(643.5±124.46)g	(57.8±49.03)ef*	(9.0±7.62)defg
Ace659	(8.4±2.17)g	(3.2±0.34)cde*	(37.7±3.95)bcd	(679.4±184.40)g	(121.1±14.66)def*	(17.8±2.21)abcd
Ace660	(14.2±1.40)def	(7.9±0.92)ab*	(55.9±6.46)a	(1252.1±153.51)bcdef	(317.7±35.61)ab*	(25.4±2.83)a
Ace671	(14.3±1.53)def	(2.8±1.40)cdef*	(19.5±9.73)efg	(1313.3±131.74)bcd	(129.2±69.51)cdef*	(9.8±5.29)cdefg

同列不同小写字母表示不同材料间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); “\*”表示同一基因型 CK 和处理间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

## 2.4 NaCl 胁迫对老鸦谷种子相对盐害率的影响

在相同浓度盐胁迫下, 18 份老鸦谷种子的相对盐害率具有明显的差异(图 1)。相对盐害率较高(超过 60%)且无显著差异的共有 9 份材料, 其中, Ace617 的相对盐害率最高, 高达 94.7%, 说明这

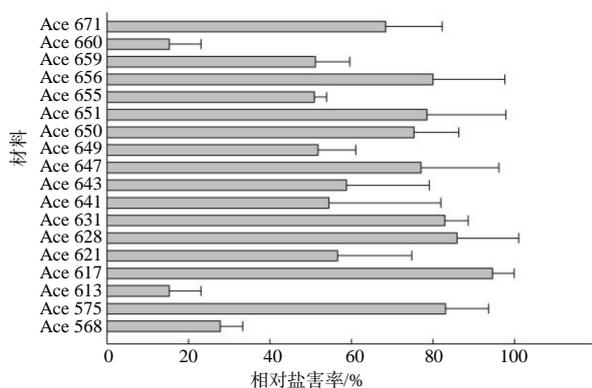


图1 250 mmol/L NaCl 胁迫下 18 份老鸦谷种子的相对盐害率

Fig.1 The relative salt damage rates of 18 *Amaranthus cruentus* germplasms under 250 mmol/L NaCl

9 份材料受盐胁迫影响较大。Ace613、Ace660 和 Ace568 的相对盐害率较低, 分别为 15.3%、15.3% 和 27.8%, 说明这 3 份材料受盐胁迫影响相对较小, 耐盐性较强。

## 2.5 指标相对值相关性分析

相关性分析结果(表 5)表明, 相对根长与相对发芽势、相对发芽率之间呈负相关; 除了相对根长和相对芽长, 相对盐害率与其他指标之间均呈极显著负相关。此外, 与萌发相关的指标之间具有较高的相关关系, 相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数以及相对活力指数两两之间的相关系数都高于 0.9, 呈极显著正相关; 相对根长和相对芽长之间呈显著正相关, 相关系数为 0.495。总体来看, 同类型相对指标间的相互关联程度相对较高, 不同类型相对指标间的相互关联程度相对较低。

表 5 各指标相对值的相关系数  
Table 5 Correlation coefficients of each index relative values

观测指标	相关系数					
	相对发芽势	相对发芽率	相对根长	相对芽长	相对发芽指数	相对活力指数
相对发芽率	1.000**					
相对根长	-0.029	-0.032				
相对芽长	0.134	0.131	0.495*			
相对发芽指数	0.964**	0.963**	-0.027	0.075		
相对活力指数	0.957**	0.956**	0.140	0.202	0.979**	
相对盐害率	-1.000**	-1.000**	0.032	-0.131	-0.963**	-0.956**

“\*” “\*\*”分别示相关性显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。

2.6 不同基因型老鸦谷种子萌发期的耐盐性综合评价

对相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对芽长、相对发芽指数和相对活力指数 6 个指标进行综合分析可知, 试验材料的隶属函数平均值为 0.093 ~ 0.882(表 6), 其中 Ace613 的隶属函数平均值最大, 表明这份种质的耐盐能力最强; Ace575 的隶属函数平均值最小, 表明这份种质的耐盐能力相对较弱。用 DPS 对所有材料的隶属函数平均值进行系统聚类分析, 结果(图 2)显示, 18 份老鸦谷种

质资源可以划分为 3 大类: 8 份耐盐性强的材料为 Ace613、Ace660、Ace568、Ace655、Ace641、Ace659、Ace643 和 Ace649; 7 份耐盐性中等的材料为 Ace647、Ace621、Ace656、Ace671、Ace631、Ace628 和 Ace650; 3 份耐盐性较弱的材料为 Ace651、Ace617 和 Ace575。Ace613、Ace660、Ace568、Ace655、Ace641、Ace659、Ace643、Ace649、Ace647、Ace621、Ace656、Ace671、Ace631、Ace628、Ace650、Ace651、Ace617、Ace575 的耐盐性依次降低。

表 6 NaCl 胁迫下不同基因型老鸦谷种子各相对生长指标的隶属函数值

Table 6 Subordination values of relative values of growth indices of different genotypes of *Amaranthus cruentus* seeds under NaCl stress

材料	相对发芽势	相对发芽率	相对根长	相对芽长	相对发芽指数	相对活力指数	隶属函数平均值	排序
Ace613	0.979	1.000	0.622	1.000	0.793	0.897	0.882	1
Ace660	1.000	1.000	0.468	0.686	1.000	1.000	0.859	2
Ace568	0.819	0.842	0.407	0.845	0.760	0.748	0.737	3
Ace655	0.552	0.552	0.954	0.874	0.388	0.524	0.640	4
Ace641	0.506	0.506	0.775	0.913	0.440	0.521	0.610	5
Ace659	0.548	0.548	0.533	0.587	0.661	0.681	0.593	6
Ace643	0.462	0.452	0.827	0.931	0.356	0.459	0.581	7
Ace649	0.540	0.540	0.666	0.630	0.497	0.550	0.571	8
Ace647	0.222	0.222	1.000	0.875	0.294	0.398	0.502	9
Ace621	0.480	0.480	0.450	0.714	0.422	0.394	0.490	10
Ace656	0.185	0.185	0.720	0.883	0.284	0.309	0.428	11
Ace671	0.309	0.331	0.698	0.482	0.320	0.344	0.414	12
Ace631	0.147	0.147	1.000	0.823	0.128	0.171	0.403	13
Ace628	0.110	0.110	0.813	0.894	0.105	0.207	0.373	14
Ace650	0.243	0.243	0.505	0.805	0.153	0.138	0.348	15
Ace651	0.203	0.203	0.000	0.757	0.153	0.141	0.243	16
Ace617	0.000	0.000	0.475	0.960	0.000	0.000	0.239	17
Ace575	0.147	0.147	0.113	0.000	0.116	0.034	0.093	18

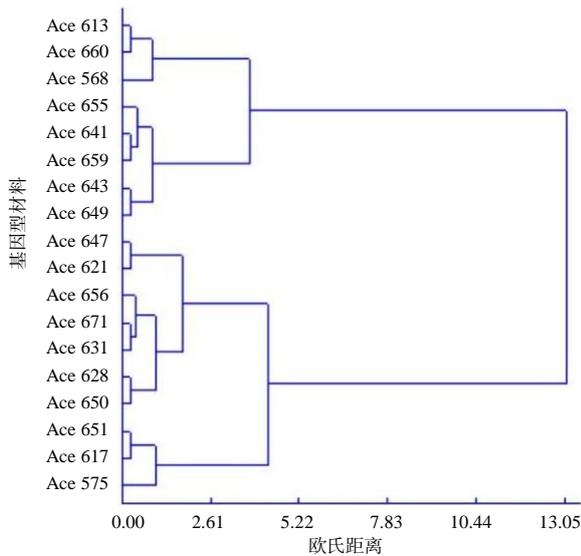


图2 18份老鸦谷种子的耐盐性聚类分析结果

Fig.2 Systematic cluster analysis result on salt tolerance of 18 different genotypes of *Amaranthus cruentus*

### 3 结论与讨论

研究<sup>[24-26]</sup>表明,在盐胁迫下,种子萌发期和幼苗生长阶段的耐盐性最弱,此时耐盐能力的强弱对评估种质的耐盐性具有一定的参考意义。本研究选取18份不同地理来源老鸦谷材料,在萌发期进行耐盐性试验。结果表明,与对照相比,250 mmol/L NaCl胁迫处理所有种子的发芽势和发芽率均呈下降趋势,说明盐胁迫对老鸦谷种子的萌发有抑制作用。产生这种现象的原因可能是NaCl胁迫下溶液中Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>的含量过高,导致种子内部渗透势过低,无法吸收水分,出现脱水、细胞功能改变和营养不足等现象,进而影响种子的正常萌发<sup>[27-29]</sup>。本研究还发现,在NaCl胁迫下所有参试材料的芽长和根长均受到不同程度的抑制,且根受到抑制的程度大于芽受到抑制的程度,这与冯钟慧等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。说明不同老鸦谷幼苗对同一盐胁迫的耐受性不同,且同一幼苗不同部位的耐盐性也存在差异。

植物的耐盐机理是一个复杂的过程,不同物种或同一物种中不同品种的耐盐性具有很大的差异性<sup>[31]</sup>。本试验结果显示,不同参试材料间耐盐性差异较大,18份老鸦谷材料根据耐盐性强弱可划分为耐盐性强、中度耐盐和耐盐性弱3大类,分别有8、7、3份,其中Ace613、Ace660、Ace568、Ace655、Ace641、Ace659、Ace643和Ace649这8份材料在萌发期对NaCl胁迫的耐受性较强,可作为优良耐

盐品种应用于盐碱地种植。

相对盐害率是衡量种子在盐胁迫环境下受伤程度的一个重要指标,在同一盐胁迫条件下,相对盐害率越高,种子受伤害的程度越高,表明其耐盐性越弱<sup>[32]</sup>。本试验中18份老鸦谷种子的相对盐害率为15.3%~94.7%,说明参试种子间的耐盐性差异较大,其中有9份材料的相对盐害率超过60%,种子受盐胁迫伤害较大;3份材料的相对盐害率在30%以下,种子受盐胁迫伤害相对较小。结合隶属函数综合评价可知,相对盐害率能够较好地反映出老鸦谷种质的耐盐性强弱,可作为直接评价植物材料耐盐性的一项综合参考指标。

### 参考文献:

- [1] 陈涛,王贵美,沈伟伟,等.盐胁迫对红麻幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J].植物科学学报,2011,29(4):493-501.
- [2] 李青楠,穆丹,梁英辉,等.大庆肇源县耐盐植物筛选与耐盐性研究[J].安徽农学通报,2020,26(9):42-46.
- [3] 杜冬冬.盐碱条件下植物根际菌促生作用的研究[D].泰安:山东农业大学,2020.
- [4] 杨荣超,蔡玉静,邓春婷,等.番茄两个盐胁迫响应基因的cDNA克隆及其表达分析[J].植物科学学报,2011,29(2):178-182.
- [5] 阿吉艾克拜尔,邵孝侯,常婷婷,等.我国盐碱地改良技术和方法综述[J].安徽农业科学,2013,41(16):7269-7271.
- [6] 秦嘉海.耐盐牧草籽粒苋对河西走廊草甸盐土改土培肥效应[J].土壤通报,2005,36(5):806-808.
- [7] 缪金伟,李扬.繁穗苋利用价值及栽培技术[J].特种经济动植物,2006,9(11):33.
- [8] ALEGBEJO J O. Nutritional value and utilization of *Amaranthus*(*Amaranthus* spp.): a review[J]. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences, 2013, 6(1): 136-143.
- [9] 徐环宇,姜福成,陈淑君,等.籽粒苋品种类型特性及综合利用趋势[J].现代农业科技,2018(2):249-250.
- [10] 彭爽.籽粒苋的饲用价值和高产栽培技术[J].现代畜牧科技,2021(4):48-49.
- [11] 孙鸿良,岳绍先.籽粒苋在国内外发展概况及四大优点[N].忻州日报,2014-06-05(2).
- [12] 张秀玲.盐碱植物籽粒苋的开发利用[J].安徽农业科学,2007,35(4):1074.
- [13] 何建军,姚立蓉,汪军成,等.干旱和盐胁迫对盐生植物盐生草种子萌发特性的影响[J].草业学报,2020,29(11):129-140.
- [14] 李雪,沙栢平,高雪芹,等.不同紫花苜蓿种质材料萌发期耐盐性鉴定与综合评价[J].草地学报,2020,28(2):437-445.

- 1996, 10(4): 231–237.
- [15] VIEIRA S L, OYARZABAL O A, FREITAS D M, et al. Performance of broilers fed diets supplemented with sanguinarine-like alkaloids and organic acids[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2008, 17(1): 128–133.
- [16] 郝生宏, 董晓芳, 佟建明, 等. 耐制粒枯草芽孢杆菌对肉仔鸡生产性能、血清生化指标及粪便大肠杆菌的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(19): 54–56.
- [17] 云龙. 血根碱制剂对黄羽肉鸡生长性能及抗氧化功能的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [18] WANG M, YANG C, WANG Q Y, et al. The growth performance, intestinal digestive and absorptive capabilities in piglets with different lengths of small intestines [J]. Animal, 2020, 14(6): 1196–1203.
- [19] XU Z, HU C, XIA M, et al. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers [J]. Poultry Science, 2003, 82(6): 1030–1036.
- [20] XUE G D, WU S B, CHOCT M, et al. Impact of a *Macleaya cordata*-derived alkaloid extract on necrotic enteritis in broilers[J]. Poultry Science, 2017, 96(10): 3581–3585.
- [21] YAKHKESHI S, RAHIMI S, GHARIB NASERI K. The effects of comparison of herbal extracts, antibiotic, probiotic and organic acid on serum lipids, immune response, GIT microbial population, intestinal morphology and performance of broilers[J]. Journal of Medicinal Plants, 2011, 10(37): 80–95.
- [22] CHEN K, LIU Y, CHENG Y, et al. Supplementation of *Lactobacillus plantarum* or *Macleaya cordata* extract alleviates oxidative damage induced by weaning in the lower gut of young goats[J]. Animals, 2020, 10(4): 548.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳正

(上接第 158 页)

- [15] 邱昊日, 范雪, 马健, 等. 籽粒苋在动物饲料中应用的研究进展[J]. 饲料工业, 2019, 40(3): 26–30.
- [16] 聂婷婷, 李芳, 祝振洲, 等. 籽粒苋的应用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(4): 8–10.
- [17] AGUILAR E G, DE JESÚS ALBARRACÍN G, UÑATES M A, et al. Evaluation of the nutritional quality of the grain protein of new amaranths varieties[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2015, 70(1): 21–26.
- [18] 高金秋, 王露露, 程金芝, 等. 籽粒苋种子消毒初探[J]. 北京农业, 2016(2): 47–48.
- [19] GB/T 2930.4—2017 草种子检验规程发芽试验[S].
- [20] 武建新, 李丹竹, 陈桂华, 等. 9 个白三叶品种对渗透胁迫和干旱胁迫的响应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(5): 463–468.
- [21] 刘克彪, 姜生秀. 干旱和钠盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(5): 214–221.
- [22] 朱依晗, 刘宁芳, 胡龙兴, 等. 8 份绿穗苋种子萌发期耐盐碱性综合评价[J]. 草地学报, 2021, 29(10): 2176–2183.
- [23] 郭改改, 封斌, 麻保林, 等. 不同区域长柄扁桃抗旱性的研究[J]. 植物科学学报, 2013, 31(4): 360–369.
- [24] 王景瑞, 王立, 徐先英, 等. 干旱荒漠区 4 种一年生植物种子萌发期耐盐性[J]. 草业科学, 2020, 37(2): 237–244.
- [25] 王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等. 陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性[J]. 生态学报, 2011, 31(13): 3720–3727.
- [26] 杨春桃, 王梦寒, 陈艳宇. 盐胁迫下 30 个多花黑麦草品种的种子萌发特性及耐盐性评价[J]. 四川农业科技, 2021(5): 23–25.
- [27] VAISHNAV A, SHUKLA A K, SHARMA A, et al. Endophytic bacteria in plant salt stress tolerance: current and future prospects[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2019, 38(2): 650–668.
- [28] 张雪. 盐胁迫对柽柳和白刺种子发芽及幼苗生长的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [29] 檀龙颜. 油菜(*Brassica napus*)种子萌发响应 NaCl 胁迫的生理学与蛋白质组学研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [30] 冯钟慧, 刘立东, 谢丽侠, 等. 不同品种籽粒苋种子萌发期耐盐性鉴定评价[J]. 南方农业, 2019, 13(32): 137–138.
- [31] KINSOU E, MONTCHO D, ZANKLAN S A, et al. Salt resistance of tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars produced in Benin at germination stage[J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2019, 28(2): 1–12.
- [32] 宋国英. NaCl 胁迫下 8 个黑青稞品种的萌发特性与耐盐性评价[J]. 大麦与谷类科学, 2021, 38(6): 1–6.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 柳正