



高铭唯,王帝,潘婷婷,等. NaCl 胁迫对不同谷子品种萌发的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(5):13-17.

NaCl 胁迫对不同谷子品种萌发的影响

高铭唯¹, 王 帝¹, 潘婷婷¹, 刘 莹¹, 尹泽群¹, 张潇潇¹, 苗兴芬^{1,2}

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 农业农村部东北原农业绿色低碳重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘要:为了探究 NaCl 胁迫对不同谷子品种萌发的影响,采用纸间发芽法对 12 份谷子品种进行 150 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液处理,对照组采用蒸馏水处理。对谷子种子萌发时的 9 个性状指标进行测定并计算其相对值,采用相关性、聚类分析和主成分分析法对其相对值进行综合评价,并筛选耐盐谷子品种。结果表明:在 NaCl 胁迫下,12 份谷子品种在萌发期根干重、鲜重和长度相对值的变异系数分别大于芽干重、鲜重和长度相对值;指标间存在极显著正相关性,体现在相对种子发芽势与相对发芽率、相对发芽指数之间,以及相对发芽率与相对发芽指数之间;发芽势、发芽率、发芽指数、根鲜重、芽鲜重、芽长和根长共 7 个指标的相对值与 3 个主成分因子正载荷较大,可以作为筛选谷子耐盐的关键指标;聚类分析后 12 份谷子品种被划分为 4 类,综合隶属函数得分进行排序获得 3 份耐盐谷子品种,分别为磨里谷、晋谷 29 和红谷 09-1。

关键词:谷子;盐胁迫;综合评价

我国土壤盐渍化问题近年来日益严重,逐年增大的盐地面积不仅制约了区域农业生产和发展,更成为限制当地经济发展的重要因素之一^[1]。盐害对于种子的萌发以及植物的生长发育过程都有着很大程度的影响^[2]。谷子(*Setaria italica* L. Beauv.)的根系发达,根须较为粗壮,具有一定的抗逆性^[3],作为我国特色的粮饲兼用作物,丰富的谷子品种在各地有着广泛的分布,且遗传变异性较大^[4-5]。谷子抗盐综合研究的起步相对其他作物较晚,对不同的谷子品种在盐胁迫下性状指标的变化和耐盐品种筛选还需进一步探究,筛选出的优质谷子品种可在盐渍地区域进行推广应用,从而扩大可利用耕地面积,促进地方农业发展^[6-7]。

研究发现,盐胁迫对于处在萌发期和幼苗生长期的谷子生长有较大的不利影响^[8-9]。本试验主要探究盐胁迫对于谷子种子萌发的影响,对从不同谷子栽培区收集的 12 份谷子品种进行 150 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液处理^[10],以蒸馏水为对照组。由于各品种自身特性存在差异,为更加科学地进行对比,主要测定并计算 9 个体现盐胁迫

影响的性状指标的相对值,并进行主成分及相关性分析进而对 12 个谷子品种的综合得分进行排序,以期分析 NaCl 胁迫对不同品种谷子萌发的影响,并筛选出耐盐性较高的谷子品种,为谷子的耐盐育种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

由黑龙江八一农垦大学谷子研究室提供的 12 份不同来源地的谷子品种,具体信息详见表 1。

表 1 12 份不同来源地的供试谷子品种

编号	品种	来源	编号	品种	来源
1	金穗黄金谷	吉林	7	紫根谷子	山西
2	磨里谷	河北	8	龙谷 30	黑龙江
3	龙谷 26	黑龙江	9	龙谷 35	黑龙江
4	黄金吨谷	河北	10	六一谷	河南
5	钻头白	河南	11	红谷 09-1	黑龙江
6	龙谷 25	黑龙江	12	晋谷 29	山西

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2021 年在黑龙江八一农垦大学农学院大学生创新项目实验室进行,在装有 75%酒精溶液的培养皿放入供试种子,消毒 30 s,用蒸馏水反复清洗,直至没有酒精味道后放进 1%NaClO 溶液中,10 min 后取出谷子种子放入蒸馏水中反复清洗,冲洗至种子表面没有光滑的感觉,且无菌水无 NaClO 的味道。

收稿日期:2022-01-10

基金项目:黑龙江省重点研发项目(GA21B009)。

第一作者:高铭唯(1997—),女,硕士研究生,从事谷子抗逆性种子资源研究。E-mail:839387496@qq.com。

通信作者:苗兴芬(1975—),女,博士,副教授,从事谷子育种及种子生理生化研究。E-mail:byndmxf@126.com。

发芽试验采用纸间发芽法,种子消毒后,将其表面的水分用滤纸吸干,从中选择 50 粒色泽、大小、形状均匀一致并且籽粒饱满的种子置于装有两层滤纸的发芽盒(长:宽:高=12 cm:12 cm:6 cm)中,以8 mL蒸馏水为对照,以 8 mL 150 mmol·L⁻¹ NaCl 为处理溶液,3 次重复。

1.2.2 测定项目及方法 谷子萌发期耐盐筛选的最适浓度及指标测定参考张笛等^[10]的方法进行。

发芽势(%)=第 3 天发芽种子数/供试种子数×100

发芽率(%)=第 7 天发芽种子数/供试种子数×100

发芽指数 = $\sum (G_t / D_t)$

式中,G_t、D_t 分别为第 t 天发芽种子数和天数。

相对值(%)= 处理组/对照组×100

隶属函数公式: $X_{(i)} = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$

式中,X_i 和 X_(i) 分别表示 i 种类指标的测定值和第 i 种类指标的隶属值,X_{min} 和 X_{max} 分别表示 i 指标的最小值和最大值。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2013 进行数据的初步处理和计算,随后采取 SPSS 19.0 进行相关性和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 NaCl 对不同谷子品种萌发性状的影响

由表 2 可知,盐胁迫处理下 12 份谷子品种的萌发期中,相对根长最大的品种为晋谷 29 (67.43%),最小的为六一谷(37.72%);相对芽长最大的品种为磨里谷(106.86%),最小的为龙谷 30(65.14%);相对根鲜重最大的品种为钻头白 (90.03%),最小的龙谷 25(33.03%);相对芽鲜重最大的品种为磨里谷(82.17%),最小的为龙谷 25(60.63%);相对根干重最小的品种为黄金吨谷 (41.73%),最大的为晋谷 29(69.88%);相对芽干重最大的品种为金穗黄金谷(104.86%),最小的为龙谷 30(67.72%);相对发芽势最大的品种为龙谷 35(103.30%),最小的为黄金吨谷(41.43%);相对发芽率最大的品种为龙谷 35(99.04%),最小的为黄金吨谷(44.17%);相对发芽指数最大的品种为六一谷(104.00%),最小的为黄金吨谷 (40.72%)。各品种的相对根干重(16.82%)、相对根鲜重(26.01%)、相对根长(16.31%)的变异系数均大于相对芽干重(13.07%)、相对芽鲜重 (10.62%)、相对芽长(13.37%)。总的来说,在 NaCl 胁迫下,黄金吨谷的发芽相关指标的相对值表现较差,黑龙江本地品种萌发指标的相对值表现也较差。

表 2 NaCl 处理下 12 份谷子品种各萌发性状的相对值 单位: %

编号	名称	相对根长	相对芽长	相对根鲜重	相对芽鲜重	相对根干重	相对芽干重	相对发芽势	相对发芽率	相对发芽指数
1	金穗黄金谷	51.60	88.23	55.70	75.21	56.25	104.86	77.19	93.65	85.44
2	磨里谷	60.70	106.86	47.38	82.17	65.60	82.26	76.38	88.89	81.94
3	龙谷 26	55.48	77.50	53.46	68.76	53.46	74.88	79.85	87.59	83.70
4	黄金吨谷	63.01	89.07	74.55	64.74	41.73	77.85	41.43	44.17	40.72
5	钻头白	50.39	92.28	90.03	82.09	43.52	77.35	68.00	88.78	76.88
6	龙谷 25	49.05	77.47	33.03	60.63	48.15	76.53	66.67	69.63	68.18
7	紫根谷子	43.50	73.61	64.39	74.30	42.31	69.49	69.42	92.54	81.58
8	龙谷 30	44.72	65.14	76.44	66.56	51.59	67.72	50.89	64.44	56.71
9	龙谷 35	58.56	91.54	47.91	63.14	50.93	78.31	103.30	99.04	101.46
10	六一谷	37.72	84.26	80.63	75.28	47.55	92.86	100.00	93.50	104.00
11	红谷 09-1	54.00	99.89	66.14	78.86	50.33	92.42	59.57	69.81	65.22
12	晋谷 29	67.43	84.92	75.17	81.17	69.88	85.58	97.14	94.21	76.96
特征值	最小值	37.72	65.14	33.03	60.63	41.73	67.72	41.43	44.17	40.72
	最大值	67.43	106.86	90.03	82.17	69.88	104.86	103.30	99.04	104.00
	平均值	53.01	85.90	63.74	72.74	51.78	81.68	74.15	82.19	76.90
	标准差	8.65	11.48	16.58	7.73	8.71	10.68	19.15	16.47	17.67
	变异系数	16.31	13.37	26.01	10.62	16.82	13.07	25.82	20.04	22.97

2.2 NaCl 处理下谷子萌发性状间的相关性分析

从表 3 看出,相对发芽率与相对发芽指数($r=0.914$)、相对发芽势与相对发芽指数($r=$

0.903)、相对发芽势与相对发芽率($r=0.860$)均呈极显著正相关。

表 3 NaCl 处理下谷子萌发性状相对指标的相关性分析

项目	相对根长	相对芽长	相对根鲜重	相对芽鲜重	相对根干重	相对芽干重	相对发芽势	相对发芽率	相对发芽指数
相对根长	1								
相对芽长	0.486	1							
相对根鲜重	-0.171	-0.086	1						
相对芽鲜重	0.101	0.514	0.445	1					
相对根干重	0.544	0.288	-0.225	0.418	1				
相对芽干重	0.056	0.501	0.002	0.407	0.315	1			
相对发芽势	0.037	0.150	-0.143	0.201	0.443	0.324	1		
相对发芽率	-0.108	0.136	-0.099	0.433	0.383	0.269	0.860**	1	
相对发芽指数	-0.268	0.143	-0.173	0.220	0.211	0.317	0.903**	0.914**	1

2.3 NaCl 处理下谷子萌发性状的主成分及因子分析

由表 4 可知,NaCl 处理下 12 份谷子品种的 9 个萌发指标分为 3 个主成分因子。其中第一主成分因子特征值为 3.514,与相对发芽率、相对发芽指数、相对发芽势之间正载荷较大,与相对根鲜重负载荷较大,方差贡献率为 39.040%;第二主成分因子与相对发芽指数负载荷较大,与相对根长和相对芽长正载荷较大,其特征值为1.991,方差贡献率为 22.123%;第三主成分因子特征值为 1.499,方差贡献率为 16.659%,与相对根长负载荷较大,与相对根鲜重和相对芽鲜重正载荷较大;3 个主成分因子累计贡献率达到77.822%,可代替 9 个萌发指标对萌发谷子品种在盐胁迫下的响应进行判断。

2.4 12 份谷子品种的耐盐性综合评价

计算主成分分析各指标因子得分的隶属函数值,加权得出 12 份谷子品种综合得分后进行排序(表 5)。结果表明,12 个参试品种综合得分在 0.164~0.597 区间内。综合得分较高的品种为磨里谷和晋谷 29,得分分别为0.597和 0.592,说明其综合耐盐性较强。综合评价较低的品种为龙谷 25 和紫根,得分为 0.164 和 0.235,说明综合耐盐性较弱。依据耐盐性排名,获得磨里谷、晋谷 29 和红谷 09-1 三个耐盐品种(得分>0.590)。

表 4 CaCl 胁迫下谷子萌发性状主成分及因子分析

性状	1	2	3
相对根长	0.161	0.772	-0.424
相对芽长	0.485	0.653	0.062
相对根鲜重	-0.121	0.067	0.875
相对芽鲜重	0.573	0.383	0.618
相对根干重	0.623	0.428	-0.306
相对芽干重	0.579	0.277	0.216
相对发芽势	0.863	-0.347	-0.161
相对发芽率	0.874	-0.388	0.022
相对发芽指数	0.822	-0.535	-0.029
特征值	3.514	1.991	1.499
百分率/%	39.040	22.123	16.659
累计百分率/%	39.040	61.163	77.822

表 5 12 份谷子品种的耐盐性综合评价

编号	品种	得分	排位
1	金穗黄金谷	0.480	5
2	磨里谷	0.597	1
3	龙谷 26	0.276	8
4	黄金吨谷	0.465	6
5	钻头白	0.518	4
6	龙谷 25	0.164	12
7	紫根谷子	0.235	11
8	龙谷 30	0.250	10
9	龙谷 35	0.254	9
10	六一谷	0.356	7
11	红谷 09-1	0.591	3
12	晋谷 29	0.592	2

2.5 谷子品种耐盐性的聚类分析

使用 SPSS 19.0 进行聚类分析,采取欧氏距离,以最远距离法将 12 份谷子品种聚为 4 类(图 1)。第Ⅰ类由磨里谷、晋谷 29 和红谷 09-1 极端耐盐品种组成,占总材料数的 25%;第Ⅱ类为耐盐品种,由金穗黄金谷、黄金吨谷和钻头白组成,占总材料数的 25%;第Ⅲ类为盐敏感品种六一谷,占总材料数的 8.3%;第Ⅳ类为极端盐敏感品种,由龙谷 26、龙谷 25、紫根谷子、龙谷 30 和龙谷 35 组成,占总材料数的 41.7%。

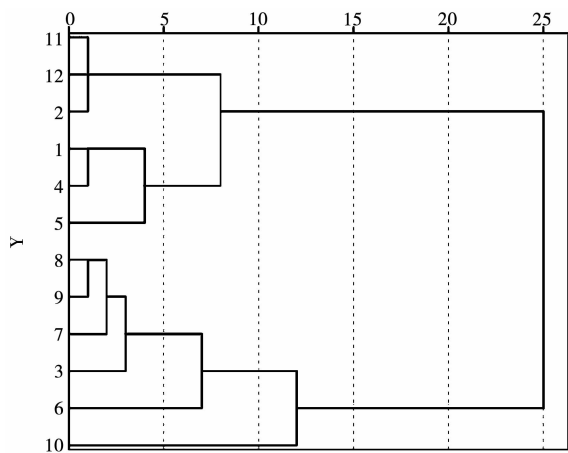


图 1 12 份谷子品种的聚类分析树状图

3 讨论

土壤盐渍化问题逐渐加剧,已经对我国地方农业和经济发展产生严重影响,而目前选用抗逆性强的作物品种进行种植,是能够最小成本且较为迅速改变当前严峻形势的有效方法。谷子抗逆性和适应性较强,可以在我国盐渍地区进行示范推广种植。谷子具有丰富的种质资源和极强的遗传变异性,通过筛选获得抗盐性较高的优异品种,是利用盐渍地资源的一个重要前提^[11]。在盐胁迫下萌发期的种子发芽能力会受到严重抑制,特别是盐敏感品种^[12-14]。因此,萌发期种子的耐盐性能直接影响谷子的出苗率,采取萌发期的相关性状指标来研究 NaCl 处理下对谷子的影响,进而对谷子品种耐盐性进行探索分析是十分必要的。

在 NaCl 处理下大部分谷子品种根的鲜重、干重和长度相对值分别大于芽的鲜重、干重和长度相对值,说明谷子在萌发时,根比芽对 NaCl 处理的响应更敏感,这与陈二影等^[15]研究不同盐碱浓度下

谷子萌发指标发现根长的盐害率较高的研究结果相似。相关性分析和主成分分析在水稻^[16]、谷子^[17]等作物的耐盐性研究上已经广泛应用。本研究采用相关性分析发现呈显著正相关的指标分别是谷子品种的相对发芽率与相对发芽指数两个指标,以及相对发芽势与相对发芽率、相对发芽指数之间。而主成分分析得到可以代替 9 个指标的三个主成分因子,可以反映原来变量 77.822% 的信息量,以此作为代替指标评判谷子品种耐盐能力是十分合理的,这与郭瑞锋等^[18]在研究中发现的结果相似。

聚类分析可将耐盐能力相似的品种进行聚类,将 12 份谷子品种分为 4 类:第Ⅰ类由磨里谷、晋谷 29 和红谷 09-1 极端耐盐品种组成,各指标相对值均较高;第Ⅱ类为耐盐品种,由金穗黄金谷、黄金吨谷和钻头白组成;第Ⅲ类为盐敏感品种六一谷;第Ⅳ类为极端盐敏感品种,由龙谷 26、龙谷 25、紫根谷子、龙谷 30 和龙谷 35 组成,占比最大,发芽势、发芽率和发芽指数的相对值较高,但根和芽的相对长度、相对鲜重、相对干重较低,多为黑龙江本地品种,与张迪等^[10]的研究结果相似。本研究在 12 份谷子品种耐盐性的综合排序中采用隶属函数分析,筛选出 3 份耐盐品种与聚类分析结果一致,分别为磨里谷、红谷 09-1 和晋谷 29。若想全面深入了解和评价谷子种质资源耐盐,还需要充分了解谷子的遗传特性,为了验证本次筛选的耐盐品种的适宜性,也需要在盐渍地大田中进行田间栽培试验,从而进一步考察引种可行性。

4 结论

本研究结果表明,NaCl 胁迫下谷子品种在萌发期的耐盐评价可以采用以下 7 个指标作为的关键指标:相对芽长、相对根长、相对根鲜重、相对芽鲜重、相对发芽势、相对发芽率和相对发芽指数;12 份谷子品种分为极端耐盐、耐盐、盐敏感和极端盐敏感品种 4 类;综合评价得到 3 份耐盐谷子品种,分别为磨里谷、晋谷 29 和红谷 09-1。

参考文献:

- [1] 韩博,金晓斌,顾铮鸣,等.乡村振兴目标下的国土整治研究进展及关键问题[J].自然资源学报,2021,36(12):3007-3030.
- [2] GUO J, CHEN Y, LU P, et al. Roles of endophytic bacteria in Suaeda salsa grown in coastal wetlands: Plant growth character-

- istics and salt tolerance mechanisms[J]. Environmental Pollution, 2021, 287: 117641.
- [3] 秦岭, 张艳亭, 陈二影, 等. 谷子萌发期耐盐种质筛选及其保护酶系统对盐胁迫的响应[J]. 中国农业科学, 2019, 52(22): 4027-4040.
- [4] 韩飞, 诸葛玉平, 娄燕宏, 等. 63 份谷子种质的耐盐综合评价及耐盐品种筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 685-693.
- [5] 闫锋, 李清泉, 董扬, 等. 谷子新品种在黑龙江省西部地区的引种试验[J]. 黑龙江农业科学, 2019(12): 6-8.
- [6] 刘雯雯, 乔匀周, 杨红, 等. 谷子耐盐性研究进展及展望[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 30: 1-13.
- [7] YUAN Y, LIU C, GAN Y, et al. Proso millet (*Panicum miliaceum* L.): A potential crop to meet demand scenario for sustainable saline agriculture[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 296: 113216.
- [8] 肖爽, 韩雨辰, 号宇然, 等. 聚乙二醇引发对盐胁迫下棉种萌发及生理特性的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(1): 202-210.
- [9] ZENG P, ZHU P, QIAN L, et al. Identification and fine mapping of qGR6. 2, a novel locus controlling rice seed germination under salt stress[J]. BMC Plant Biology, 2021, 21(1): 36.
- [10] 张笛, 苗兴芬, 王雨婷. 100 份谷子品种资源萌发期耐盐性评价及耐盐品种筛选[J]. 作物杂志, 2019(6): 43-49.
- [11] 时丽冉. 盐胁迫对不同品种夏谷光合性能及水分利用率的影响[J]. 农业科技与装备, 2011(10): 1-3.
- [12] YAO Y, SUN Y, FENG Q, et al. Acclimation to nitrogen \times salt stress in populus bolleana mediated by potassium/sodium balance [J]. Industrial Crops & Products, 2021, 170: 113789.
- [13] SOUMAYA G, HEDIA H, MOUHIRA B N. Morphological, physiological, and biochemical responses of Tunisian *Urtica pilulifera* L. under salt constraint [J]. South African Journal of Botany, 2021, 142: 124-130.
- [14] 田蕾, 陈亚萍, 刘俊, 等. 粳稻种质资源芽期耐盐性综合评价与筛选[J]. 中国水稻科学, 2017, 31(6): 631-642.
- [15] 陈二影, 王润丰, 秦岭, 等. 谷子芽期耐盐碱综合鉴定及评价[J]. 作物学报, 2020, 46(10): 1591-1604.
- [16] 刘艳, 王宝祥, 邢运高, 等. 水稻品种资源苗期耐盐性评价指标分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 75-79.
- [17] 崔兴国, 时丽冉. 盐胁迫对不同品种谷子萌发及幼苗生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2011(6): 14-16.
- [18] 郭瑞峰, 张永福, 任月梅, 等. 混合盐碱胁迫对谷子萌发、幼芽生长的影响及耐盐碱品种筛选[J]. 作物杂志, 2017(4): 63-66.

Effect of NaCl Stress on Different Millet Varieties Germination

GAO Ming-wei¹, WANG Di¹, PAN Ting-ting¹, LIU Ying¹, YIN Ze-qun¹, ZHANG Xiao-xiao¹, MIAO Xing-fen^{1,2}

(1. College of Agriculture, Bayi Agricultural Reclamation University, Daqing 163319, China; 2. Key Laboratory of Low Carbon Green Agriculture in Northeast Plain, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to investigate the effect of NaCl stress on germination of different millet varieties and to screen salt-tolerant millet varieties, 12 millet varieties were treated with 150 mmol·L⁻¹ NaCl solution using the inter paper germination method and the control group was treated with distilled water. Nine trait indicators of millet seed germination were measured and their relative values were calculated, and correlation, clustering and principal component analysis were used to analyze their relative values and evaluate them comprehensively. The results showed that the coefficients of variation of the relative values of dry weight, fresh weight and length of roots were greater than those of shoots, respectively, in 12 millet varieties during germination under NaCl stress. There were highly significant positive correlations among the indicators, which were reflected between the relative values of seed germination potential and two indicators of germination rate and germination index, and between the relative values of germination rate and germination index. The relative values of germination potential, the relative values of seven indicators, including germination potential, germination index, root fresh weight, shoot fresh weight, shoot length and root length, were positively loaded with the three principal component factors, which can be used as key indicators for screening millet salt tolerance. After cluster analysis, 12 millet varieties were divided into four categories, and three salt-tolerant millet varieties were obtained by ranking the integrated affiliation function scores, which were Moligu, Jingu 29 and Honggu 09-1, respectively.

Keywords: millet; salt stress; comprehensive evaluation