

38 个粒用高粱品种芽期耐盐性的综合鉴定及评价

高春华¹ 朱金英¹ 张华文² 田艺心¹ 高凤菊^{1,*}

(¹德州市农业科学研究院,山东 德州 253000;²山东省农业科学院作物研究所,山东 济南 250100)

摘要:为筛选适合盐碱地种植的粒用高粱品种,在 150 mmol·L⁻¹ NaCl 浓度下对 38 个粒用高粱品种进行芽期耐盐性的筛选和评价。结果表明,盐胁迫下,38 个高粱品种除根冠比外,发芽势、发芽率、根长和叶长均受到不同程度的抑制;各性状的相对值以相对根冠比($CV=62.84\%$)和相对根长($CV=44.55\%$)的变异较大;各性状的盐害率则以发芽率的盐害率($CV=39.86\%$)变异最大。盐胁迫下,相对发芽势与相对发芽率呈显著正相关($R=0.341$),而二者与相对根长($R=0.214$; $R=-0.041$)和相对叶长($R=0.041$; $R=0.205$)之间无显著相关性。通过主成分分析确定了 2 类主成分,分别反映根部生长状况和萌发状况;同时根据各因子的载荷矩阵确定相对根冠比、相对发芽势和相对发芽率可以作为高粱耐盐性的鉴定指标。主成分得分值和模糊隶属函数值间呈显著正相关,表明可以通过二者的综合得分进行高粱耐盐性评价和分类。同时,本研究筛选出了耐盐性品种通杂 141、晋梁白 2 号、吉杂 137、龙米梁 1 号和吉杂 148。本研究结果为芽期高粱耐盐性品种的筛选提供了理论基础和鉴定方法。

关键词:粒用高粱;NaCl 胁迫;主成分分析;隶属函数;综合评价

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2019.09.1841

土壤盐渍化是影响作物生长和产量的重要因素之一^[1-3],全球约有 20% 的耕地和 33% 的灌溉耕地受盐渍影响^[4],并且有很多地区正在以年 10% 的比例递增,预计到 2050 年全球有超过 50% 的耕地受到盐渍化影响^[5]。我国盐渍土总面积约为 3 600 万 hm^2 ^[6],同时因受海水倒灌和不合理灌溉措施等因素的影响呈逐年递增的趋势。因此筛选出具有耐盐性的农作物,对开发利用盐碱地,促进我国农业可持续发展具有重要意义。盐害对作物的影响主要集中在芽期和苗期,筛选芽期和苗期具有强耐盐性的品种是应对盐害的重要方法之一。目前,关于芽期和苗期耐盐性品种的筛选已在水稻^[7]、小麦^[8]、玉米^[9]、棉花^[10]和花生^[11]等作物中开展了相关研究,并建立了一系列的耐盐鉴定指标和评价方法。

高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 是我国重要的栽培作物,具有粮、饲、酿造等多种用途,其耐盐性强于小麦^[12]、玉米^[13]等作物,是盐碱地上主要种植的作

物之一^[14-16]。主成分分析^[17-18]和模糊隶属函数^[19-20]是重要的统计和评价方法,已在作物的抗逆性鉴定中得到广泛应用。孙璐等^[21]和何晓兰等^[22]利用主成分分析筛选出了高粱萌发期的耐盐性鉴定指标,并进行了耐盐等级的分类;周福平等^[23]和薛晓强等^[24]利用模糊隶属函数进行了不同高粱品种苗期耐盐性的评价和分类;也有学者先采用主成分分析筛选出高粱耐盐性的鉴定指标,再利用模糊隶属函数进行耐盐性的分类^[25-26]。但上述研究多是采用单一方法进行高粱耐盐性的评价或分类,而关于利用主成分分析和模糊隶属函数进行高粱耐盐性的评价是否具有统一性尚不明确。因此,本研究在盐胁迫条件下,采用主成分和模糊隶属函数相结合的方法进行芽期高粱品种耐盐性的鉴定和评价研究,以期明确 2 种评价方法的相关性,更准确地筛选出耐盐性高粱品种,为高粱耐盐性品种的选育和利用提供理论依据。

收稿日期:2018-04-17 接受日期:2018-09-11

基金项目:山东省现代农业产业技术体系杂粮创新团队建设项目(SDAIT-5-01),山东省重点研发计划(2016 ZDJS10A03),国家现代农业产业技术体系(CARS-06-13.5-B23)

作者简介:高春华,女,农艺师,主要从事作物栽培生理方面研究。E-mail: chunhuaaa009@163.com

* 通讯作者:高凤菊,女,研究员,主要从事杂粮作物的栽培育种研究。E-mail: gff1970@126.com

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验采用的 38 个高粱品种或品系分别由山东省

农业科学院、吉林省农业科学院、辽宁省农业科学院、黑龙江省农业科学院、通辽市农业科学院、锦州市农业科学院、山西省农业科学院、河北省农林科学院和四川省农业科学院提供(表 1)。

表 1 供试高粱品种及来源
Table 1 Sorghum cultivars and origins

编号 Code	品种 Cultivars	来源 Origin	编号 Code	品种 Cultivars	来源 Origin
1	吉杂 136	吉林省农业科学院	20	晋粱白 3 号	山西省农业科学院
2	济粱 2 号	山东省农业科学院	21	吉杂 148	吉林省农业科学院
3	通杂 136	通辽市农业科学院	22	晋粱 206	山西省农业科学院
4	辽杂 27	辽宁省农业科学院	23	龙米粱 2 号	黑龙江省农业科学院
5	龙杂 11	黑龙江省农业科学院	24	晋杂 106	山西省农业科学院
6	吉杂 137	吉林省农业科学院	25	1122	山西省农业科学院
7	晋杂 35	山西省农业科学院	26	吉杂 133	吉林省农业科学院
8	通杂 137	通辽市农业科学院	27	红糯小矮	四川省农业科学院
9	晋糯 3 号	山西省农业科学院	28	机糯粱 1 号	四川省农业科学院
10	吉杂 144	吉林省农业科学院	29	通杂 141	通辽市农业科学院
11	通杂 130	通辽市农业科学院	30	锦杂 107	锦州市农业科学院
12	冀酿 2 号	河北省农林科学院	31	吉杂 142	吉林省农业科学院
13	吉杂 146	吉林省农业科学院	32	吉杂 158	吉林省农业科学院
14	吉杂 123	吉林省农业科学院	33	通杂 143	通辽市农业科学院
15	济粱 1 号	山东省农业科学院	34	晋粱 205	山西省农业科学院
16	辽杂 36	辽宁省农业科学院	35	辽杂 37	辽宁省农业科学院
17	晋粱白 2 号	山西省农业科学院	36	晋粱 204	山西省农业科学院
18	龙米粱 1 号	黑龙江省农业科学院	37	晋粱白 1 号	山西省农业科学院
19	川糯粱 1 号	四川省农业科学院	38	吉杂 109	吉林省农业科学院

1.2 试验设计

试验于 2017 年在德州市农业科学研究院进行,每个品种挑选均匀、大小一致的 30 粒种子,先用 75%酒精消毒 15 min,去离子水冲洗 3 次,再用灭菌后的滤水纸吸干后放入铺有两层滤纸的培养皿(直径为 120 mm)中,将培养皿置于人工气候箱中进行培养。为确定最适盐浓度,先以吉杂 136、晋粱白 3 号、通杂 136、龙杂 11、济粱 2 号、龙米粱 2 号、红糯小矮为试验材料进行预试验,分别用 50、100、150、200、250 mmol·L⁻¹ NaCl 进行处理,以蒸馏水作对照(CK)。测定上述预试验所选材料的发芽势、发芽率、根长和叶长,结果表明,150 mmol·L⁻¹ NaCl 处理下,各指标与 CK 间差异显著,进而确定 150 mmol·L⁻¹ NaCl 为最适筛选盐浓度。人工气候箱设置昼夜温度 28℃/22℃,相对湿度 65%,

昼夜时长为 12h/12h,光照强度为 12 000 Lux。分别在培养第 4 和第 10 天统计各品种发芽率,并在第 10 天测定根长和叶长,每培养皿量取 7 株,求平均值。

1.3 计算公式

按照公式分别计算发芽势、发芽率、相对发芽势(relative germination potential, RGP)、相对发芽率(relative germination rate, RGR)、相对根长(relative root length, RRL)、相对叶长(relative leaf length, RLL)、相对根冠比(relative root/shoot rate, RRSR)、发芽势盐害率(salt injury rate of germination potential, SIRGP)、发芽率盐害率(salt injury rate of germination rate, SIRGR)、根长盐害率(salt injury rate of root length, SIRRL)、叶长盐害率(salt injury rate of leaf length, SIRLL)和根冠比盐害率:

发芽势 = 第 4 天发芽种子数 / 种子总数 (1)

发芽率 = 第 10 天发芽种子数 / 种子总数 × 100% (2)

相对发芽势 = 处理发芽势 / 对照发芽势 × 100% (3)

相对发芽率 = 处理发芽率 / 对照发芽率 × 100% (4)

相对根长 = 处理根长 / 对照根长 × 100% (5)

相对叶长 = 处理叶长 / 对照叶长 × 100% (6)

相对根冠比 = 相对根长 / 相对叶长 (7)

发芽势盐害率 = (对照发芽势 - 处理发芽势) / 对照发芽势 × 100% (8)

发芽率盐害率 = (对照发芽率 - 处理发芽率) / 对照发芽率 × 100% (9)

根长盐害率 = (对照根长 - 处理根长) / 对照根长 × 100% (10)

叶长盐害率 = (对照叶长 - 处理叶长) / 对照叶长 × 100% (11)

根冠比盐害率 = (对照根冠比 - 处理根冠比) / 对

照根冠比 × 100% (12)。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2007 进行数据处理; SPSS 18.0 进行方差分析、聚类分析、相关性分析和作图。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对高粱萌发的影响

由表 2 可知,盐胁迫下,38 个高粱品种萌发期除根冠比外,发芽势、发芽率、根长和叶长较 CK 均有所降低,但降低幅度不同。38 个高粱品种相对发芽势的变化范围为 30.16~73.68,变异系数为 25.89%;相对发芽率的变化范围为 33.98%~90.10%,变异系数为 23.62%;相对根长的变化范围为 15.75%~86.32%,变异系数为 44.55%;相对叶长的变化范围为 18.23%~82.47%,变异系数为 30.15%;相对根冠比的变化范围为 25.26~401.65,变异系数为 62.84%。

表 2 不同高粱品种盐胁迫下的性状指标

Table 2 Indicators of different sorghum cultivars under salty stress

品种 Cultivars	相对发芽势 RGP/%	相对发芽率 RGR/%	相对根长 RRL /%	相对叶长 RLL /%	相对根冠比 RRSR	发芽势盐害率 SIRGP/%	发芽率盐害率 SIRGR/%	根长盐害率 SIRRL/%	叶长盐害率 SIRLL/%	根冠比盐害率 Salt injury rate of root shoot ratio/%
吉杂 136 Jiza136	33.33	53.47	48.05	27.44	175.12	66.67	46.53	51.95	72.56	-75.12
济梁 2 号 Jiliang2	39.68	58.95	45.81	34.12	134.26	60.32	41.05	54.19	65.88	-34.26
通杂 136 Tongza136	33.33	47.60	30.09	82.47	36.48	66.67	52.40	69.91	17.53	63.52
辽杂 27 Liaoza27	36.11	62.14	26.16	43.59	60.02	63.89	37.86	73.84	56.41	39.98
龙杂 11 Longza11	47.37	52.56	31.84	57.25	55.63	52.63	47.44	68.16	42.75	44.37
吉杂 137 Jiza137	73.68	84.30	54.43	73.72	73.83	26.32	15.70	45.57	26.28	26.17
晋杂 35 Jinza35	42.86	53.05	29.95	32.10	93.29	57.14	46.95	70.05	67.90	6.71
通杂 137 Tongza137	60.26	47.54	42.00	28.13	149.33	39.74	52.46	58.00	71.88	-49.33
晋糯 3 号 Jinnuo3	36.11	41.91	30.74	50.86	60.43	63.89	58.09	69.26	49.14	39.57
吉杂 144 Jiza144	58.33	71.18	33.48	42.47	78.82	41.67	28.82	66.52	57.53	21.18
通杂 130 Tongza130	40.35	55.56	71.59	48.99	146.12	59.65	44.44	28.41	51.01	-46.12
冀酿 2 号 Jiniang2	33.33	51.80	43.37	36.49	118.88	66.67	48.20	56.63	63.51	-18.88
吉杂 146 Jiza146	30.43	54.03	38.97	41.77	93.29	69.57	45.97	61.03	58.23	6.71

表 2(续)

品种 Cultivars	相对发 芽势 RGP/%	相对发 芽率 RGR/%	相对 根长 RRL /%	相对 叶长 RLL /%	相对根 冠比 RRSR	发芽势 盐害率 SIRGP/%	发芽率 盐害率 SIRGR/%	根长盐 害率 SIRRL/%	叶长盐 害率 SIRLL/%	根冠比 盐害率 Salt injury rate of root shoot ratio/%
吉杂 123 Jiza123	33.33	87.95	37.71	48.57	77.65	66.67	12.05	62.29	51.43	22.35
济梁 1 号 Jiliang1	45.61	40.57	36.26	43.51	83.34	54.39	59.43	63.74	56.49	16.66
辽杂 36 Liaoza36	68.33	74.72	24.19	30.00	80.65	31.67	25.28	75.81	70.00	19.35
晋梁白 2 号 Jinliangbai2	65.22	80.77	86.32	54.49	158.43	34.78	19.23	13.68	45.51	-58.43
龙米梁 1 号 Longmiliang1	56.00	82.56	63.39	42.66	148.61	44.00	17.44	36.61	57.34	-48.61
川糯梁 1 号 Chuannuoliang1	38.10	77.25	17.07	40.94	41.70	61.90	22.75	82.93	59.06	58.30
晋梁白 3 号 Jinliangbai3	35.09	46.77	21.52	18.23	118.03	64.91	53.23	78.48	81.77	-18.03
吉杂 148 Jiza148	58.33	59.25	80.61	51.97	155.10	41.67	40.75	19.39	48.03	-55.10
晋梁 206 Jinliang206	39.13	65.95	41.94	33.93	123.60	60.87	34.05	58.06	66.07	-23.60
龙米梁 2 号 Longmiliang2	63.64	55.32	42.28	36.18	116.84	36.36	44.68	57.72	63.82	-16.84
晋杂 106 Jinza106	32.10	82.30	38.75	41.45	93.49	67.90	17.70	61.25	58.55	6.51
1122	58.33	83.84	50.00	58.75	85.11	41.67	16.16	50.00	41.25	14.89
吉杂 133 Jiza 133	30.16	33.98	62.89	50.33	124.96	69.84	66.02	37.11	49.67	-24.96
红糯小矮 Hongnuoxiaoai	45.33	62.35	15.75	38.94	40.44	54.67	37.65	84.25	61.06	59.56
机糯梁 1 号 Jinuoliang 1	48.72	90.10	27.43	50.00	54.87	51.28	9.90	72.57	50.00	45.13
通杂 141 Tongza141	54.17	61.28	81.42	20.27	401.65	45.83	38.72	18.58	79.73	-301.65
锦杂 107 Jinza107	60.87	85.65	29.35	52.87	55.52	39.13	14.35	70.65	47.13	44.48
吉杂 142 Jiza142	59.09	76.38	22.62	40.71	55.56	40.91	23.62	77.38	59.29	44.44
吉杂 158 Jiza158	51.67	49.96	39.29	34.86	112.70	48.33	50.04	60.71	65.14	-12.70
通杂 143 Tongza143	47.62	72.16	22.22	47.29	46.99	52.38	27.84	77.78	52.71	53.01
晋梁 205 Jinliang205	66.67	53.13	26.34	42.07	62.62	33.33	46.87	73.66	57.93	37.38
辽杂 37 Liaoza37	55.07	53.93	36.17	53.27	67.90	44.93	46.07	63.83	46.73	32.10
晋梁 204 Jinliang204	57.58	60.42	42.74	37.41	114.22	42.42	39.58	57.26	62.59	-14.22
晋梁白 1 号 Jinliangbai 1	53.33	53.39	50.48	33.77	149.49	46.67	46.61	49.52	66.23	-49.49
吉杂 109 Jiza109	35.00	62.13	16.78	66.45	25.26	65.00	37.87	83.22	33.55	74.74
方差 Variance	154.35	219.97	325.96	175.20	4 096.70	154.35	219.97	325.96	175.21	4 096.70
变异系数 CV/%	25.89	23.62	44.55	30.15	62.84	23.89	39.86	30.36	23.60	-3 463.13

在盐胁迫下,高粱各性状的盐害率表现出不同的变化。发芽势盐害率的变化范围为 26.32%~69.84%,变异系数为 23.89%;发芽率盐害率的变化范围为 9.90%~66.02%,变异系数为 39.86%;根长盐害率的变化范围为 13.68%~84.25%,变异系数为 30.36%;叶长盐害率的变化范围为 17.53%~81.77%,变异系数为 23.60%;根冠比盐害率的变化范围为-301.65%~74.74%,变异系数为-3 463.13%。

2.2 盐胁迫下高粱各耐盐性状相关性分析

对盐胁迫下高粱 9 个耐盐性状进行相关性分析。

表 3 盐胁迫下高粱各性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of all traits of sorghum under salt stress

参数 Parameter	相对发芽势 RGP	相对发芽率 RGR	相对根长 RRL	相对叶长 RLL	相对根冠比 RRSR	发芽势盐害率 SIRGP	发芽率盐害率 SIRGR	根长盐害率 SIRRL
相对发芽势 RGP	1.000							
相对发芽率 RGR	0.341*	1.000						
相对根长 RRL	0.214	-0.008	1.000					
相对叶长 RLL	0.041	0.205	0.005	1.000				
相对根冠比 RRSR	0.103	-0.147	0.743**	-0.508**	1.000			
发芽势盐害率 SIRGP	-1.000**	-0.341*	-0.214	-0.041	-0.103	1.000		
发芽率盐害率 SIRGR	-0.341*	-1.000**	0.008	-0.205	0.147	0.341*	1.000	
根长盐害率 SIRRL	-0.214	0.008	-1.000**	-0.005	-0.743**	0.214	-0.008	1.000
叶长盐害率 SIRLL	-0.041	-0.205	-0.005	-1.000**	0.508**	0.041	0.205	0.005

注: *、** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平相关性显著和极显著。

Note: * and ** indicate significant and extremely significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.3 盐胁迫下高粱各性状指标的频率分布

由图 1 可知,38 个高粱品种的相对发芽势的分布比较分散,主要分布在 30%~40%、45%~50% 和 55%~60%,超过 50% 的品种有 17 个。相对发芽率分布比较平均,主要集中在 40%~90%,超过 50% 的品种有 31 个。相对根长和相对叶长的分布比较集中,分别分布在 10%~60% 和 20%~60%,超过 50% 的品种分别为 8 个和 23 个。

由图 2 可知,高粱各性状指标的盐害率分布与相对值表现出相反的趋势。其中,发芽势盐害率主要分布在 25%~70%,发芽率盐害率分布比较均匀,主要分布在 10%~60%。根长和叶长的盐害率分布比较集中,主要分布在 30%~90% 和 40%~80%。

2.4 高粱各耐盐性状主成分分析

主成分分析是将不存在直接相关性性状的数据进行降维处理,从而达到综合评价性状目标的方法。本试验从 10 个特征根中,选取了特征根和贡献率较大的 2 个主成分(表 4)。第 I 主成分贡献率为 39.03%,第

由表 3 可知,高粱相对发芽势与相对发芽率呈显著正相关,相关系数为 0.341;相对发芽势与发芽率盐害率、相对发芽率与发芽势盐害率均呈显著负相关,相关系数均为-0.341。相对根冠比与相对根长呈极显著正相关($R=0.743$),与相对叶长呈极显著负相关($R=-0.508$),与根长盐害率呈极显著负相关($R=-0.743$),与叶长盐害率呈极显著正相关($R=0.508$)。相对发芽势、相对发芽率、相对根长和相对叶长与各自的盐害率均呈极显著负相关($R=-1.000$)。

II 主成分贡献率为 29.10%,2 个主成分的累积贡献率为 68.118%,能有效地反映数据的变化趋势,符合主成分的分析要求。

表 4 2 个主成分的特征根值及贡献率

Table 4 Eigen values of two principal components and their contributions

主成分 Principal component	特征根 Eigen value	贡献率 Contribution/%	累计贡献率 Cumulative contribution/%
I	3.903	39.03	39.027
II	2.909	29.10	68.118

由表 5 可知,2 个主成分与耐盐性状的载荷矩阵反映出它们之间的相关性。第 I 主成分特征根值为 3.903,贡献率为 39.03%(表 4),与相对根长和相对根冠比呈较大相关性,相关系数分别为 0.797 和 0.968;与根长盐害率和根冠比盐害率呈显著负相关,相关系数分别为-0.797 和-0.968。因此第 I 主成分主要反映根部生长性状,可以称为根部生长因子。第 II 主成

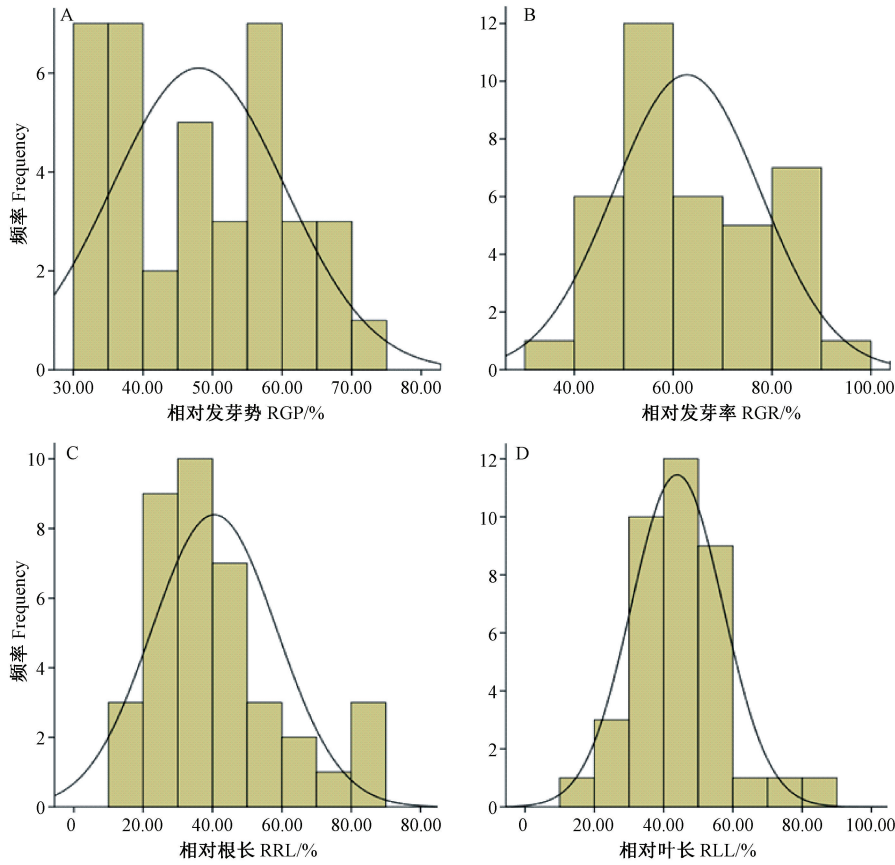


图 1 不同高粱品种相对耐盐指数频率分布图

Fig.1 Frequency distribution diagram of relative salt tolerance indexes of different sorghum cultivars

表 5 各因子载荷矩阵

Table 5 Loading matrix of each component

主成分 Principal component	相对发 芽势 RGP	相对发 芽率 RGR	相对 根长 RRL	相对 叶长 RLL	相对根 冠比 RRSR	发芽势 盐害率 SIRGP	发芽率 盐害率 SIRGR	根长盐 害率 SIRRL	叶长盐 害率 SIRLL	根冠比 盐害率 Salt injury rate of root shoot ratio
I	0.186	-0.208	0.797	-0.549	0.968	-0.186	0.208	-0.797*	0.549	-0.968*
II	0.762*	0.762*	0.330	0.428*	-0.012	-0.762*	-0.762*	-0.330	-0.428*	0.012

分的特征根值为 2.909,贡献率为 29.10%(表 4),与相对发芽势、相对发芽率和相对叶长均呈显著正相关,相关系数分别为 0.762、0.762 和 0.428;与 3 个性状的盐害率呈显著负相关,相关系数分别为 -0.762、-0.762 和 -0.428,主要反映高粱萌发和叶长情况,因此可以称为高粱萌发和叶部生长因子。

2.5 高粱各耐盐性状主成分得分及排序

根据主成分分析的得分系统矩阵(表 6),获得第 I 主成分的计算公式如下:

$$F_1 = 0.048X_1 - 0.053X_2 + 0.204X_3 - 0.141X_4 +$$

$$0.248X_5 - 0.048X_6 + 0.053X_7 - 0.204X_8 + 0.141X_9 - 0.204X_{10} \quad (13)$$

第 II 主成分的计算公式如下:

$$F_2 = 0.262X_1 - 0.262X_2 + 0.114X_3 + 0.147X_4 - 0.004X_5 - 0.262X_6 - 0.262X_7 - 0.114X_8 - 0.147X_9 + 0.04X_{10} \quad (14)$$

主成分的综合得分值: $F = 0.3903F_1 + 0.2910F_2$ 。根据主成分得分计算公式计算出各品种的 F 值,并进行排序。由表 7 可知,耐盐性最好的品种为通杂 141,晋梁白 2 号次之,吉杂 109 的耐盐性最差。

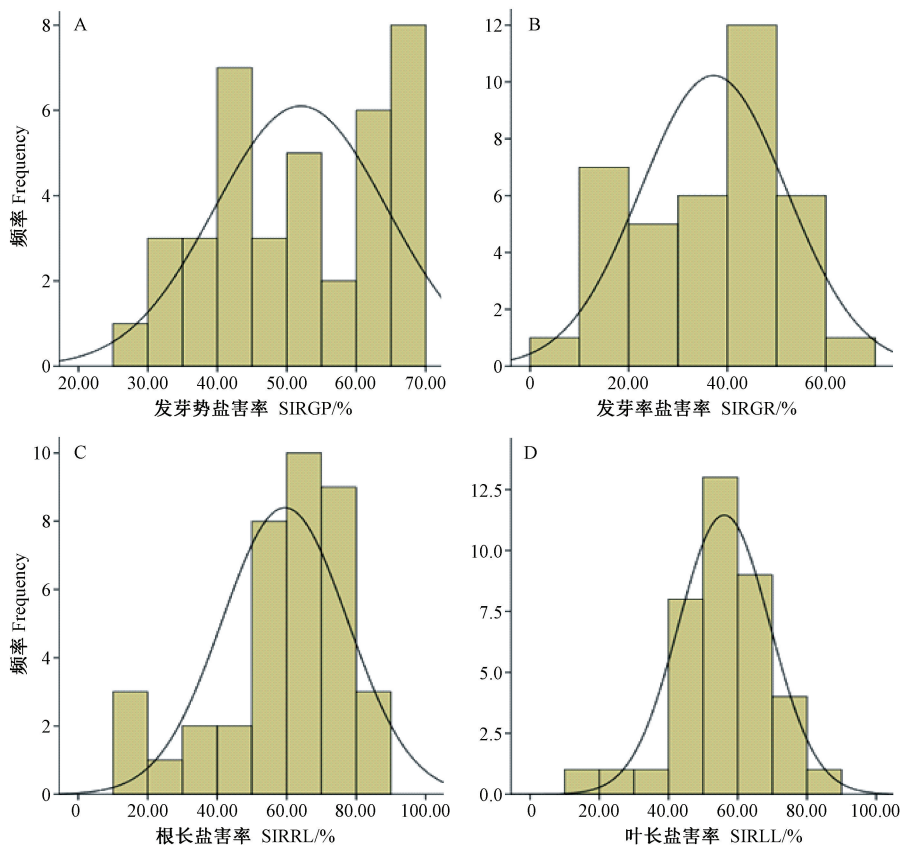


图 2 不同高粱品种盐害率频率分布图

Fig.2 Frequency distribution diagram of salt injury rates of different sorghum cultivars

表 6 成分得分系统矩阵

Table 6 System matrix of composition scoring

主成分 Principal component	相对发 芽势 RGP	相对发 芽率 RGR	相对 根长 RRL	相对 叶长 RLL	相对根 冠比 RRSR	发芽势 盐害率 SIRGP	发芽率 盐害率 SIRGR	根长盐 害率 SIRRL	叶长盐 害率 SIRLL	根冠比 盐害率 Salt injury rate of root shoot ratio
I	0.048	-0.053	0.204	-0.141	0.248	-0.048	0.053	-0.204	0.141	-0.248
II	0.262	0.262	0.114	0.147	-0.004	-0.262	-0.262	-0.114	-0.147	0.004

2.6 高粱各耐盐性状模糊隶属函数及评价

模糊隶属函数是一种重要的统计学评价方法,因此采用模糊隶属函数对各项耐盐指标进行综合评价。模糊隶属函数的计算公式:

$$X = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (15)$$

式中, X 表示某一项评价指标的测定值, X_{min} 和 X_{max} 分别为所有品种此评价指标值的最小值和最大值,如果此评价指标与目标性状呈负相关,则可通过反隶属函数进行计算,计算公式如下:

$$X = 1 - (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (16)$$

38 个高粱品种 10 个耐盐性状的隶属函数值如表

8 所示。隶属值越高,品种的耐盐性越强,通过计算隶属函数平均值,确定了各品种的耐盐性及综合排序。由表 9 可知,晋梁白 2 号的隶属函数值最高,耐盐性最好,吉杂 137 次之,晋梁白 3 号的隶属函数值最低,耐盐性最差。

2.7 不同品种高粱耐盐性的综合性评价及聚类分析

主成分分析和模糊隶属函数是 2 种重要的评价方法,评价结果是否客观及准确,需要进行相互的验证。由图 3 可知,通过主成分分析的得分值和模糊隶属函数值进行相关性分析,二者之间呈显著正相关 (R² = 0.38; P < 0.01),因此 2 种评价方法是可行的和统一

表 7 高粱各品种耐盐性主成份得分值和排序

Table 7 Scores and order of salt tolerance of all sorghum cultivars

品种 Cultivars	F 值 F value	排序 Order	品种 Cultivars	F 值 F value	排序 Order
吉杂 136 Jiza136	2.1	6	晋梁白 3 号 Jinliangbai3	0.4	21
济梁 2 号 Jiliang2	1.5	9	吉杂 148 Jiza148	3.0	3
通杂 136 Tongza136	-1.1	37	晋梁 206 Jinliang206	1.2	13
辽杂 27 Liaoza27	-0.5	32	龙米梁 2 号 Longmiliang2	1.5	10
龙杂 11 Longza11	-0.3	31	晋杂 106 Jinza106	0.6	19
吉杂 137 Jiza137	1.3	12	1122	1.2	14
晋杂 35 Jinza35	0.3	23	吉杂 133 Jiza 133	1.2	15
通杂 137 Tongza137	1.9	8	红糯小矮 Hongnuoxiaoai	-0.9	36
晋糯 3 号 Jinnuo3	-0.6	34	机糯梁 1 号 Jinuoliang1	0.0	29
吉杂 144 Jiza144	0.6	20	通杂 141 Tongza141	7.7	1
通杂 130 Tongza130	2.2	5	锦杂 107 Jinza107	0.2	25
冀酿 2 号 Jiniang2	0.9	17	吉杂 142 Jiza142	0.0	30
吉杂 146 Jiza146	0.3	24	吉杂 158 Jiza158	1.0	16
吉杂 123 Jiza123	0.4	22	通杂 143 Tongza143	-0.5	33
济梁 1 号 Jiliang1	0.2	27	晋梁 205 Jinliang205	0.1	28
辽杂 36 Liaoza36	0.7	18	辽杂 37 Liaoza37	0.2	26
晋梁白 2 号 Jinliangbai2	3.5	2	晋梁 204 Jinliang204	1.4	11
龙米梁 1 号 Longmiliang1	2.7	4	晋梁白 1 号 Jinliangbai 1	2.1	7
川糯梁 1 号 Chuannuoliang1	-0.8	35	吉杂 109 Jiza109	-1.4	38

的。通过将主成分的得分值和模糊隶属得分值进行数据标准化,并求平均值,获得综合得分值和排序(表 10)。

根据 2 种评价方法的综合得分值进行聚类分析,将 38 个高粱品种划分为 5 类品种(图 4)。第 I、第 II 类为强耐盐性品种,分别为通杂 141 和晋梁白 2 号;第 III 类为耐盐性品种:吉杂 137、龙米梁 1 号、吉杂 148、通杂 130 和 1122;第 IV 类为盐敏感型品种:吉杂 142、辽杂 37、吉杂 133、晋杂 106、吉杂 158、晋梁 205、晋梁 206、机糯梁 1 号、吉杂 123、吉杂 144、辽杂 36、吉杂 136、济梁 2 号、通杂 137、晋梁 204、锦杂 107、龙米梁 2

号和晋梁白 1 号;第 V 类为不耐盐型品种:晋糯 3 号、红糯小矮、晋梁白 3 号、吉杂 109、辽杂 27、川糯梁 1 号、通杂 136、龙杂 11、通杂 143、晋杂 35、吉杂 146、济梁 1 号和冀酿 2 号。

3 讨论

3.1 盐胁迫下不同品种高粱耐盐性状指标的差异及相关性分析

高粱作为典型的耐盐性作物^[27-29],在盐碱地的开

表 8 高粱各品种耐盐性指标的隶属函数值

Table 8 Membership values of salt tolerance indexes of all sorghum cultivars

品种 Cultivars	相对发 芽势 RGP	相对发 芽率 RGR	相对 根长 RRL	相对 叶长 RLL	相对根 冠比 RRSR	发芽势 盐害率 SIRGP	发芽率 盐害率 SIRGR	根长盐 害率 SIRRL	叶长盐 害率 SIRLL	根冠比 盐害率 Salt injury rate of root ratio shoot	隶属值 Membership value
吉杂 136 Jiza136	0.073	0.347	0.458	0.143	0.398	0.073	0.347	0.458	0.143	0.398	0.284
济梁 2 号 Jiliang2	0.219	0.445	0.426	0.247	0.290	0.219	0.445	0.426	0.247	0.290	0.325
通杂 136 Tongza136	0.073	0.243	0.203	1.000	0.030	0.073	0.243	0.203	1.000	0.030	0.310
辽杂 27 Liaozha27	0.137	0.502	0.148	0.395	0.092	0.137	0.502	0.148	0.395	0.092	0.255
龙杂 11 Longza11	0.395	0.331	0.228	0.607	0.081	0.395	0.331	0.228	0.607	0.081	0.329
吉杂 137 Jiza137	1.000	0.897	0.548	0.864	0.129	1.000	0.897	0.548	0.864	0.129	0.688
晋杂 35 Jinza35	0.292	0.340	0.201	0.216	0.181	0.292	0.340	0.201	0.216	0.181	0.246
通杂 137 Tongza137	0.692	0.242	0.372	0.154	0.330	0.692	0.242	0.372	0.154	0.330	0.358
晋糯 3 号 Jinnuo3	0.137	0.141	0.212	0.508	0.093	0.137	0.141	0.212	0.508	0.093	0.218
吉杂 144 Jiza144	0.647	0.663	0.251	0.377	0.142	0.647	0.663	0.251	0.377	0.142	0.416
通杂 130 Tongza130	0.234	0.384	0.791	0.479	0.321	0.234	0.384	0.791	0.479	0.321	0.442
冀酿 2 号 Jiniang2	0.073	0.317	0.391	0.284	0.249	0.073	0.317	0.391	0.284	0.249	0.263
吉杂 146 Jiza146	0.006	0.357	0.329	0.366	0.181	0.006	0.357	0.329	0.366	0.181	0.248
吉杂 123 Jiza123	0.073	0.962	0.311	0.472	0.139	0.073	0.962	0.311	0.472	0.139	0.391
济梁 1 号 Jiliang1	0.355	0.117	0.291	0.393	0.154	0.355	0.117	0.291	0.393	0.154	0.262
辽杂 36 Liaozha36	0.877	0.726	0.120	0.183	0.147	0.877	0.726	0.120	0.183	0.147	0.411
晋梁白 2 号 Jinliangbai2	0.806	0.834	1.000	0.564	0.354	0.806	0.834	1.000	0.564	0.354	0.712
龙米梁 1 号 Longmiliang1	0.594	0.866	0.675	0.380	0.328	0.594	0.866	0.675	0.380	0.328	0.568
川糯梁 1 号 Chuannuoliang1	0.182	0.771	0.019	0.354	0.044	0.182	0.771	0.019	0.354	0.044	0.274
晋梁白 3 号 Jinliangbai3	0.113	0.228	0.082	0.000	0.246	0.113	0.228	0.082	0.000	0.246	0.134
吉杂 148 Jiza148	0.647	0.450	0.919	0.525	0.345	0.647	0.450	0.919	0.525	0.345	0.577
晋梁 206 Jinliang206	0.206	0.570	0.371	0.244	0.261	0.206	0.570	0.371	0.244	0.261	0.331
龙米梁 2 号 Longmiliang2	0.769	0.380	0.376	0.279	0.243	0.769	0.380	0.376	0.279	0.243	0.410
晋杂 106 Jinza106	0.045	0.861	0.326	0.361	0.181	0.045	0.861	0.326	0.361	0.181	0.355
1122	0.647	0.888	0.485	0.631	0.159	0.647	0.888	0.485	0.631	0.159	0.562

表 8(续)

品种 Cultivar	相对发 芽势 RGP	相对发 芽率 RGR	相对 根长 RRL	相对 叶长 RLL	相对根 冠比 RRSR	发芽势 盐害率 SIRGP	发芽率 盐害率 SIRGR	根长盐 害率 SIRRL	叶长盐 害率 SIRLL	根冠比 盐害率 Salt injury rate of root shoot ratio	隶属值 Membership value
吉杂 133 Jiza 133	0.000	0.000	0.668	0.500	0.265	0.000	0.000	0.668	0.500	0.265	0.287
红糯小矮 Hongnuoxiaoai	0.349	0.505	0.000	0.322	0.040	0.349	0.505	0.000	0.322	0.040	0.243
机糯梁 1 号 Jinuoliang 1	0.426	1.000	0.166	0.495	0.079	0.426	1.000	0.166	0.495	0.079	0.433
通杂 141 Tongza141	0.552	0.486	0.931	0.032	1.000	0.552	0.486	0.931	0.032	1.000	0.600
锦杂 107 Jinza107	0.706	0.921	0.193	0.539	0.080	0.706	0.921	0.193	0.539	0.080	0.488
吉杂 142 Jiza142	0.665	0.756	0.097	0.350	0.081	0.665	0.756	0.097	0.350	0.081	0.390
吉杂 158 Jiza158	0.494	0.285	0.334	0.259	0.232	0.494	0.285	0.334	0.259	0.232	0.321
通杂 143 Tongza143	0.401	0.680	0.092	0.452	0.058	0.401	0.680	0.092	0.452	0.058	0.337
晋梁 205 Jinliang205	0.839	0.341	0.150	0.371	0.099	0.839	0.341	0.150	0.371	0.099	0.360
辽杂 37 Liaoza37	0.572	0.355	0.289	0.545	0.113	0.572	0.355	0.289	0.545	0.113	0.375
晋梁 204 Jinliang204	0.630	0.471	0.382	0.299	0.236	0.630	0.471	0.382	0.299	0.236	0.404
晋梁白 1 号 Jinliangbai 1	0.532	0.346	0.492	0.242	0.330	0.532	0.346	0.492	0.242	0.330	0.388
吉杂 109 Jiza109	0.111	0.502	0.015	0.751	0.000	0.111	0.502	0.015	0.751	0.000	0.276

表 9 高粱各品种的隶属函数值及排序

Table 9 Membership values and order of all sorghum cultivars

品种 Cultivars	隶属值 Membership value	排序 Order	品种 Cultivars	隶属值 Membership value	排序 Order
吉杂 136 Jiza136	0.284	28	晋梁白 3 号 Jinliangbai3	0.134	38
济梁 2 号 Jiliang2	0.325	24	吉杂 148 Jiza148	0.577	4
通杂 136 Tongza136	0.310	26	晋梁 206 Jinliang206	0.331	22
辽杂 27 Liaoza27	0.255	33	龙米梁 2 号 Longmiliang2	0.410	12
龙杂 11 Longza11	0.329	23	晋杂 106 Jinza106	0.355	20
吉杂 137 Jiza137	0.688	2	1122	0.562	6
晋杂 35 Jinza35	0.246	35	吉杂 133 Jiza 133	0.287	27
通杂 137 Tongza137	0.358	19	红糯小矮 Hongnuoxiaoai	0.243	36
晋糯 3 号 Jinnuo3	0.218	37	机糯梁 1 号 Jinuoliang 1	0.433	9

表 9(续)

品种 Cultivars	隶属值 Membership value	排序 Order	品种 Cultivars	隶属值 Membership value	排序 Order
吉杂 144 Jiza144	0.416	10	通杂 141 Tongza141	0.600	3
通杂 130 Tongza130	0.442	8	锦杂 107 Jinza107	0.488	7
冀酿 2 号 Jiniang2	0.263	31	吉杂 142 Jiza142	0.390	15
吉杂 146 Jiza146	0.248	34	吉杂 158 Jiza158	0.321	25
吉杂 123 Jiza123	0.391	14	通杂 143 Tongza143	0.337	21
济粱 1 号 Jiliang1	0.262	32	晋粱 205 Jinliang205	0.360	18
辽杂 36 Liaoza36	0.411	11	辽杂 37 Liaoza37	0.375	17
晋粱白 2 号 Jinliangbai2	0.712	1	晋粱 204 Jinliang204	0.404	13
龙米粱 1 号 Longmiliang1	0.568	5	晋粱白 1 号 Jinliangbai 1	0.388	16
川糯粱 1 号 Chuannuoliang1	0.274	30	吉杂 109 Jiza109	0.276	29

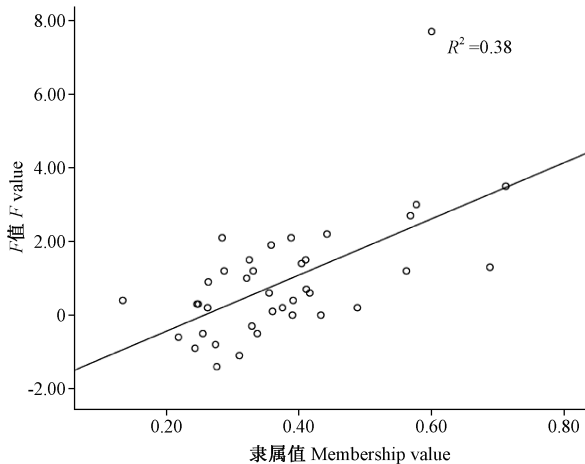


图 3 不同高粱品种隶属值和 F 值的相关性分析
Fig.3 Correlation analysis between membership values and F values of different sorghum varieties

发和利用上发挥着重要的作用。研究表明,在高粱的整个生育期中,芽期和苗期对盐害最为敏感^[12,30],因此种植芽期和苗期高耐盐性的品种是应对盐害的有效手段和方法。本研究以全国育成的 38 个粒用高粱品种为试验材料,开展芽期高粱耐盐性的鉴定试验。结果表明,除根冠比外,发芽势、发芽率、根长和叶长在盐胁迫下均受到不同程度的抑制,这与孙璐等^[21]和何晓兰等^[22]的研究结果一致。本研究发现盐胁迫条件下,高粱各性状的相对值在不同品种间表现出不同的变化

范围,以相对根冠比的变异最大($CV = 62.84\%$),相对根长次之($CV = 44.55\%$),表明盐胁迫下根冠比和根长的变异最大。不同高粱品种各性状的盐害率的差异也表现出不同的变幅,除根冠比盐害率外,以发芽率的盐害率变异最大($CV = 39.86\%$),叶长盐害率的变异范围最小($CV = 23.60\%$),表明盐胁迫对发芽率的影响最大,对叶长的影响相对较小。在盐胁迫下,高粱相对发芽势、相对发芽率、相对根长和相对叶长与各自的盐害率均呈极显著负相关,相对发芽势与相对发芽率之间呈显著正相关,这与李丰先等^[25]的研究结果一致,表明发芽势和发芽率具有统一性。何晓兰等^[22]研究认为相对苗高与相对发芽率间无显著相关性,这与本研究结果一致,表明盐胁迫下高粱的萌发与根长和叶长无关。本研究还发现高粱相对根冠比与相对根长呈显著正相关,与相对叶长呈显著负相关;相对根长与相对叶长间无显著相关性,表明盐胁迫对高粱的地下部和地上部影响不同,应作为 2 个独立的指标进行研究。

3.2 盐胁迫下不同品种高粱耐盐性状及盐害率的频率分布

本研究中,通过对不同高粱品种各耐盐性状频率分布分析,发现不同品种相对发芽势的分布比较分散,相对发芽势超过 50% 的品种有 17 个(60.5%);相对发芽率超过 50% 的品种有 31 个(81.6%);相对根长和相对叶长超过 50% 的品种分别有 8 个(21.1%)和

表 10 高粱各品种的综合得分及排序

Table 10 Comprehensive scores and order of all sorghum cultivars

品种 Cultivars	综合得分 Comprehensive Scores	排序 Order	品种 Cultivars	综合得分 Comprehensive Scores	排序 Order
吉杂 136 Jiza136	0.02	15	晋梁白 3 号 Jinliangbai3	-1.08	37
济梁 2 号 Jiliang2	-0.01	16	吉杂 148 Jiza148	1.43	3
通杂 136 Tongza136	-0.87	32	晋梁 206 Jinliang206	-0.08	18
辽杂 27 Liaoza27	-0.90	33	龙米梁 2 号 Longmiliang2	0.32	9
龙杂 11 Longza11	-0.55	27	晋杂 106 Jinza106	-0.17	20
吉杂 137 Jiza137	1.32	4	1122	0.81	6
晋杂 35 Jinza35	-0.69	31	吉杂 133 Jiza 133	-0.25	24
通杂 137 Tongza137	0.24	11	红糯小矮 Hongnuoxiaoai	-1.07	35
晋糯 3 号 Jinnuo3	-1.07	36	机糯梁 1 号 Jinuoliang 1	-0.06	17
吉杂 144 Jiza144	0.06	14	通杂 141 Tongza141	2.97	1
通杂 130 Tongza130	0.66	7	锦杂 107 Jinza107	0.21	12
冀酿 2 号 Jiniang2	-0.43	26	吉杂 142 Jiza142	-0.22	23
吉杂 146 Jiza146	-0.68	30	吉杂 158 Jiza158	-0.18	21
吉杂 123 Jiza123	-0.10	19	通杂 143 Tongza143	-0.58	28
济梁 1 号 Jiliang1	-0.65	29	晋梁 205 Jinliang205	-0.31	25
辽杂 36 Liaoza36	0.07	13	辽杂 37 Liaoza37	-0.22	22
晋梁白 2 号 Jinliangbai2	2.10	2	晋梁 204 Jinliang204	0.26	10
龙米梁 1 号 Longmiliang1	1.30	5	晋梁白 1 号 Jinliangbai 1	0.42	8
川糯梁 1 号 Chuannuoliang1	-0.92	34	吉杂 109 Jiza109	-1.10	38

23 个(60.5%)。表明盐害对相对发芽势的影响大于相对发芽率,对相对根长的影响大于相对叶长。相对发芽势和相对根长应作为高粱耐盐性鉴定的首要指标。

3.3 盐胁迫下不同品种高粱各耐盐性状的主成分分析

主成分分析作为一种重要的统计学评价方法,在作物的耐盐性研究中已得到广泛应用。孙璐等^[21]利用主成分分析将高粱的耐盐性指标分为根部生长因子、叶部生长因子和萌发因子;李丰先等^[25]通过主成

分分析将根长、发芽指数和叶干重作为高粱耐碱性的鉴定指标;何晓兰等^[22]则通过主成分分析将相对发芽势、相对发芽率和相对苗高作为耐盐性的鉴定指标;穆志新等^[26]利用主成分分析认为发芽率、根鲜质量、芽鲜质量可以作为大批量高粱种质资源芽期耐盐性鉴定的主要指标。本研究主成分分析表明,高粱芽期耐盐性的鉴定指标可以分为 2 类,第 I 类是相对根长和相对根冠比,主要与根部发育相关,可以称为根部生长因子;第 II 类是相对发芽势、相对发芽率和相对叶长,主要与萌发和地上部生长相关,可以称作萌发和地上部

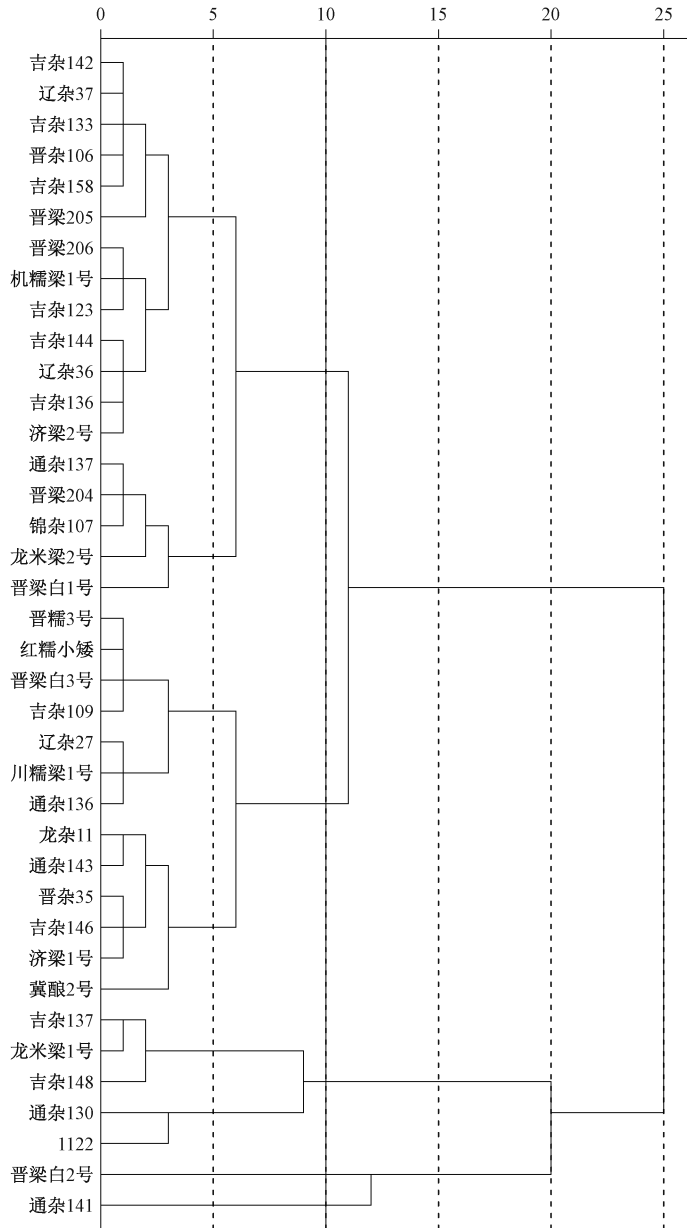


图 4 38 个高粱品种的聚类图

Fig.4 Dendrogram of cluster analysis of 38 sorghum cultivars

生长因子,这与孙璐等^[21]研究结果一致。同时,相关性分析表明,相对根冠比、相对发芽势和相对发芽率可以作为高粱芽期耐盐性的鉴定指标。

3.4 高粱耐盐性的综合评价和聚类分析

部分学者利用主成分分析得分进行高粱耐盐分类^[21-22],也有学者通过模糊隶属函数值进行高粱耐盐性的评价及分类^[23,25-26],但 2 种评价方法的结果是否统一尚鲜见报道。本研究通过主成分得分值和模糊隶属函数值分别进行了高粱耐盐性的分类,并通过相关性分析发现二者呈显著正相关,可以统一进行综合评价。通过综合二者的得分值,进行聚类分析,将高粱品

种划分为 5 类,第 I、第 II 类为强耐盐型品种,第 III 类为耐盐型的品种,第 IV 类为盐敏感型的品种,第 V 类为不耐盐型的品种。

4 结论

本研究结果表明,盐胁迫下 38 个高粱品种芽期表现出不同的耐盐性;发芽势、发芽率、根长和叶长在盐胁迫下均受不同程度的抑制,盐胁迫对相对发芽势的影响大于相对发芽率;主成分分析确定相对根冠比、相对发芽势和相对发芽率可以作为芽期耐盐性的鉴定指

标;主成分分析和模糊隶属函数间存在显著的正相关,通过综合评价和聚类将38个高粱品种划分为5类品种,第Ⅰ、第Ⅱ类为强耐盐型品种,代表性的品种为通杂141和晋梁白2号;第Ⅲ类为耐盐型的品种,代表性的品种为吉杂137、龙米梁1号和吉杂148等;第Ⅳ类为盐敏感型的品种,代表性的品种为吉杂142、辽杂37和吉杂133等;第Ⅴ类为不耐盐型的品种,代表性的品种为吉杂146、济梁1号和冀酿2号等。

参考文献:

[1] Liang W J, Ma X L, Wang P, Liu L Y. Plant salt-tolerance mechanism: A review [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2018, 495(2): 286-291

[2] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2002, 25(2): 239-250

[3] Ashraf M. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants [J]. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2004, 199(5): 361-376

[4] Shrivastava P, Kumar R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2015, 22(2): 123-131

[5] Jamil A, Riaz S, Ashraf M, Foolad M R. Gene expression profiling of plants under salt stress [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2011, 30(5): 435-458

[6] 杨劲松. 我国盐渍土资源利用与管理研究的回顾与展望 [C]//中国土壤学会. 中国土壤科学的现状与展望. 南京: 江苏科学技术出版社, 2005: 211-215

[7] 田蕾, 陈亚萍, 刘俊, 马晓刚, 王娜, 杨兵, 李莹, 郭海东, 李娟, 胡慧, 张银霞, 李培富. 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

[8] 彭智, 李龙, 柳玉平, 刘惠民, 景蕊莲. 小麦芽期和苗期耐盐性综合评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(4): 638-645

[9] 张静, 王玉凤, 杨克军, 李佐同, 魏金鹏, 王智慧, 王平, 张翼飞, 付建, 唐春双. 玉米芽期耐盐与敏感基因型的筛选 [J]. *玉米科学*, 2015, 23(6): 55-64

[10] 彭振, 何守朴, 孙君灵, 许菲菲, 贾银华, 潘兆娥, 王立如, 杜雄明. 陆地棉苗期耐盐性的高效鉴定方法 [J]. *作物学报*, 2014, 40(3): 476-486

[11] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王晓军, 王幸. 花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选 [J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(6): 1079-1087

[12] 刘海波, 魏玉清. 盐胁迫对甜高粱和春小麦种子萌发影响的比较研究 [J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(5): 142-144

[13] 王莉, 管博, 周沫, 于君宝, 张晓龙, 尹娜, 王栋. 种子引发对甜高粱和玉米种子耐盐性的影响 [J]. *种子*, 2015, 34(6): 72-77

[14] Almodares A, Hadi M R, Kholdebarin B, Samedani B, Kharazian Z

A. The response of sweet sorghum cultivars to salt stress and accumulation of Na^+ , Cl^- and K^+ ions in relation to salinity [J]. *Journal of Environmental Biology*, 2014, 35(4): 733-739

[15] Wang H L, Chen G L, Zhang H W, Liu B, Yang Y B, Qin L, Chen E Y, Guan Y A. Identification of QTLs for salt tolerance at germination and seedling stage of *Sorghum bicolor* L. Moench [J]. *Euphytica*, 2014, 196(1): 117-127

[16] Huang R D. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(4): 739-746

[17] 任茂, 张文英. 棉花品种耐热性分析及鉴定指标筛选 [J]. *核农学报*, 2018, 32(4): 788-794

[18] 褚能明, 柯剑鸿, 袁亮. 不同鲜食甜糯玉米挥发性风味物质主成分分析 [J]. *核农学报*, 2017, 31(11): 2175-2185

[19] 张宇君, 赵丽丽, 王普昶, 陈超, 康芙蓉. 燕麦萌发期抗旱指标体系构建及综合评价 [J]. *核农学报*, 2017, 31(11): 2236-2242

[20] 李雪, 田新会, 杜文华. 小黑麦品系成株期抗旱性研究 [J]. *核农学报*, 2018, 32(2): 377-388

[21] 孙璐, 周宇飞, 汪澈, 肖木辑, 陶冶, 许文娟, 黄瑞冬. 高粱品种萌发期耐盐性筛选与鉴定 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45(9): 1714-1722

[22] 何晓兰, 徐照龙, 张大勇, 黄益洪, 彭陈, 邵宏波, 王为, 郭士伟. 65个高粱种质萌芽期的耐盐指标比较及其耐盐性综合评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2015, 24(4): 52-60

[23] 周福平, 柳青山, 张一中, 张小娟, 闫凤霞, 郭琦, 梁笃. 高粱幼苗耐盐指标筛选及耐盐性评价 [J]. *山西农业科学*, 2015, 43(9): 1076-1079, 1083

[24] 薛晓强, 张一中. 不同高粱杂交种萌发期耐盐性评价 [J]. *山西农业科学*, 2016, 44(3): 300-302, 340

[25] 李丰先, 周宇飞, 王艺陶, 孙璐, 白薇, 闫彤, 许文娟, 黄瑞冬. 高粱品种萌发期耐盐性筛选与综合鉴定 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46(9): 1762-1771

[26] 穆志新, 李萌, 秦慧彬. 高粱芽期耐盐指标筛选及耐盐性评价 [J]. *山西农业科学*, 2017, 45(7): 1075-1079

[27] 王海莲, 刘宾, 张华文, 陈桂玲, 秦岭, 杨延兵, 陈二影, 管延安. 盐胁迫下高粱幼苗生长及其对耐盐性评价的影响 [J]. *山东农业科学*, 2013, 45(3): 42-46

[28] Yan K, Xu H L, Cao W, Chen X B. Salt priming improved salt tolerance in sweet sorghum by enhancing osmotic resistance and reducing root Na^+ uptake [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2015, 37(10): 203

[29] Dalal M, Kumar G S, Mayandi K. Identification and expression analysis of group 3 *LEA* family genes in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2013, 35(3): 979-984

[30] 张飞, 朱凯, 王艳秋, 张志鹏, 邹剑秋. 种子引发对盐渍土壤条件下高粱芽苗生理特性的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(5): 47-53

Comprehensive Identification and Evaluation of 38 Grain Sorghum Cultivars for Tolerance During Germination

GAO Chunhua¹ ZHU Jinying¹ ZHANG Huawen² TIAN Yixin¹ GAO Fengju^{1,*}

(¹Institute of Biotechnology, Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou, Shandong 253000;

²Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100)

Abstract: 38 grain sorghum cultivars were assessed and screened under $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl in order to get salt tolerant cultivars which would be grown in saline and alkaline soil. The result showed that germination potential, germination rate, root length and shoot length of 38 grain sorghums were differently inhibited by saline expect root shoot ratio; Variation coefficients of relative root shoot ratio ($CV=62.84\%$) and relative root length ($CV=44.55\%$) were higher than other relative values of all the traits, while variation coefficients of salt injury rate of germination potential ($CV=39.86\%$) was the highest in salt injury rates of all traits. Relative germination potential and relative germination rate had significant positive correlation ($R=0.341$), while they had no correlation with relative root length ($R=0.214$; $R=-0.041$) and relative shoot length ($R=0.041$; $R=0.205$). Two principal components were ascertained by principal component analysis, which reflected root growth and germination situation, respectively; Relative ratio of root versus shoot, relative germination potential and relative germination rate were ascertained as salt tolerance identification index by loading matrix of each component. There was significant positive correlation between principal component score and membership values, which indicated that comprehensive score for both would be adapted in evaluation and classification for salt tolerance of sorghum. The research also screened strong salt tolerant cultivars, such as Tongza141, Jinliangbai2, Jiza137, Longmiliang1, Jiza148 and so on. The findings supplied theoretical basis and identification method for salt tolerant screening of sorghum at germination stage.

Keywords: grain sorghum, NaCl stress, principal component analysis, membership function, comprehensive evaluation