

50 份长果黄麻种质资源耐盐性鉴定评价

卢瑞克, 杨泽茂, 戴志刚, 许英, 唐靖, 程超华, 陈基权, 粟建光

(中国农业科学院麻类研究所, 长沙 410205)

摘要:通过对来自不同国家的 50 份长果黄麻种质苗期耐盐性综合评价, 评估不同黄麻种质耐盐特性, 筛选黄麻耐盐极端材料, 为进一步挖掘黄麻耐盐基因及分子机理研究准备材料。本研究采用水培法, 设 0、250 mmol/L NaCl 两个浓度对 50 份黄麻种质材料进行处理, 调查盐处理后每份材料盐害指数的变化以及第 8 天的死亡率, 建立盐害指数随时间变化的回归模型, 利用回归方程分别求出每份材料盐害症状出现的时间以及盐害指数达到 50% 的时间, 通过主成分分析、隶属函数法、聚类分析等方法对供试材料进行综合评价和耐盐性级别划分。结果表明, 250 mmol/L NaCl 胁迫对于本试验是一个适宜的浓度; 建立的 50 个回归方程拟合效果良好; 根据对 50 份黄麻种质材料的综合评价及聚类分析, 可以将其分为 4 种耐盐类型, 其中, 高耐盐材料 3 份, 耐盐材料 6 份, 盐敏感材料 10 份, 中度耐盐材料 31 份。

关键词:黄麻; 耐盐性; 盐害指数; 种质资源

Evaluation for Salt Tolerance of 50 Jute (*Corchorus olitorius* L.) Germplasm Resources

LU Rui-ke, YANG Ze-mao, DAI Zhi-gang, XU Ying, TANG Qing,

CHENG Chao-hua, CHEN Ji-quan, SU Jian-guang

(Institute of Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410205)

Abstract: The objective of this study was to comprehensively evaluate the salt tolerance of 50 jute germplasm resources (*Corchorus olitorius* L.) from different countries, to excavate their own salt tolerance genetic resources, to provide a theoretical basis for evaluation of amounts of jute germplasms on salt tolerance, and to provide basic materials for salt-tolerance gene discovery and the study of molecular mechanism. In this study, 50 jute germplasms were cultured with hydroponics supplemented with NaCl at different concentrations of 0, 250 mmol/L, respectively. Then the salt injury index after salt treatment and death rate on the eighth day (DR) of the 50 germplasms were investigated. The regression equation models reflecting the correlation between stressed duration and salt injury index of jute germplasms were established, in order to get the time when the symptom of salt damage appeared (SA) and salt injury index reached 50% (SX). And 50 jute germplasms were evaluated and classified according to salt resistance by principle components analysis, subordination function method and hierarchical cluster analysis. The result showed that 250 mmol/L NaCl was a suitable concentration for screening salt tolerant materials in this experiment. 50 regression equations established demonstrated fitted well. Based on the comprehensive ability of salt tolerance of materials and cluster analysis, 50 jute germplasms could be classified into 4 grades. Three germplasms were highly salt tolerant, 6 germplasms were salt tolerant, 31 germplasms were middle tolerant, and 10 materials were salt sensitive.

Key words: jute; salt tolerance; salt injury index; germplasms

收稿日期: 2017-03-10 修回日期: 2017-04-13 网络出版日期: 2017-10-17

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20171017.1416.022.html>

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-2017-IBFC01); 国家自然科学基金 (31601351); 农业部作物种质资源保护与利用专项 (2016NWB044); 国家麻类种质资源平台 (NICGR2016-013); 国家麻类产业技术体系建设项目 (CARS-19-E01)

第一作者主要从事黄麻耐盐性研究。E-mail: luruike33@163.com

通信作者: 粟建光, 主要从事南方经济作物种质资源研究。E-mail: jgsu@vip.163.com

土壤盐渍化的形成综合了气候、水文地貌、土地利用、表面水的特性以及盐的动态变化多种因素^[1]。土壤盐渍化是一个全球性的生态问题,是导致土地荒漠化和耕地退化的主要因素之一,也是人类面临的重大危机之一^[2]。土壤盐渍化问题严重影响了植物的生长和发育,已经成为自然界主要的非生物胁迫之一^[3]。当前,全球盐碱地面积已达 9.5 亿 hm^2 ,中国盐渍土总面积约 1 亿 hm^2 ,其中现代盐渍化土壤约 0.37 亿 hm^2 ,残余盐渍化土壤约 0.45 亿 hm^2 ,潜在盐渍化土壤约 0.17 亿 hm^2 ^[4],盐碱胁迫已成为制约粮食生产和影响粮食安全的最重要的限制因素^[5]。然而人口的快速增长与粮食短缺的矛盾日益加重^[6],通过筛选、培育耐盐作物来改良、利用盐碱地被认为是具有经济和生态双重效益的解决方案^[7]。黄麻是世界上最重要的长纤维作物之一,具有纤维产量高、纤维质地柔软的特点,商业上还有“金色纤维”之称,是麻纺工业的重要原料,在世界上黄麻产量与种植面积仅次于棉花^[8],而且黄麻又是一种能在沿海滩涂、盐碱地大面积种植的重要的耐盐经济作物^[9],通过黄麻种质资源的耐盐性鉴定与评价,挖掘其自身耐盐性两极端材料,进而为大规模黄麻种质材料的耐盐性鉴定评价奠定基础,为耐盐性新品种的培育提供丰富的遗传资源,对于黄麻耐盐品种的改良与培育以及耐盐机制的研究具有重要意义,也是合理开发利用盐碱地的有效途径之一。植物的耐盐性是一种数量性状,是一个由多基因参与、多途径诱导的过程,其抗性机制是一个非常复杂的问题,越来越多的研究人员将多元统计分析方法运用在耐盐性的鉴定评价中,如主成分分析法^[10-11]、因子分析法^[12]、模糊隶属函数法^[13-14]、灰色关联分析^[15]、聚类分析^[16-17]等。盐胁迫是影响农业生产的一种重要因子,近年来,国内外对传统“粮、棉、油”作物如小麦^[18-19]、玉米^[20]、水稻^[21-22]、大豆^[23-24]、棉花^[25-26]等主要作物耐盐性鉴定和评价的研究已经取得了相当大的成果,一些植物的耐盐基因^[27-28]也相继被克隆并用于转基因研究中。然而黄麻关于耐盐性的研究^[9,29-31]还处于初始阶段,在耐盐性种质鉴定评价的深度和广度、创新利用的力度以及基础研究方面都落后于其他传统作物。目前对大规模黄麻种质材料苗期的耐盐性鉴定还少有报道,因此,找到合适的评价指标,以及科学有效的评价方法十分必要。杜中军等^[32]认为,盐害指数是植物对盐胁迫响应最敏感的生理过程,又是植物在盐胁迫下的综合表现,是合适的评价指标。另外,植物耐盐性的

降低程度与盐胁迫强度呈正相关^[33],引起植物 50% 死亡率的胁迫强度成为抗性评价最常用的方法之一^[34]。本研究通过盐害指数随胁迫时间动态变化的测定,结合不同程度受害形态出现的时间以及各材料的死亡率,利用多元统计方法,综合评价来自不同国家的 50 份黄麻种质材料的耐盐性,以期黄麻耐盐品种的改良和培育提供丰富的亲本材料,为大规模、快速、准确的黄麻种质材料的耐盐性评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试黄麻种质材料

本研究 50 份长果种黄麻种质材料来源于国家麻类种质资源中期库,分别来自中国 30 份、孟加拉 5 份、俄罗斯 7 份、尼泊尔 1 份、印度 1 份、古巴 1 份、巴基斯坦 2 份、日本 1 份、马里 1 份、越南 1 份,种质名称及来源详见表 1。

1.2 试验方法

本试验于 2016 年在中国农业科学院麻类研究所温室大棚内进行,通过水培方法培养黄麻幼苗。播种前,每份黄麻种质材料挑选大小一致、子粒饱满的种子,用 70% 酒精消毒 1 min,用清水洗净。浸种催芽后分别播种于水培仪内,每孔 4~5 粒。水培使用稀释至 500 倍海珀尼卡营养液(营养液包括 A 液和 B 液, A 液含全氮素 1.0%、硝酸性氮素 1.0%、水溶性磷酸 3.8%、水溶性钾 5.5%; B 液含硝酸性氮素 3.0%、水溶性钾 3.9%,使用时先添加 A 液,再添加 B 液),待幼苗长出 2~3 片真叶后,去掉弱势苗,选择植株健壮、长势一致的黄麻幼苗作为试验材料,每盆留 30 株。

待黄麻幼苗长至 6 叶 1 心时,对每份黄麻材料选其中一盆做 250 mmol/L NaCl 胁迫处理,另一盆作为对照,为避免盐冲击效应,盐处理分 2 次进行,每次增加 125 mmol/L,间隔 6 h。从盐胁迫后第 2 天开始,每天下午调查每份材料盐害状况并计算盐害指数,并于第 8 天统计每份材料的死亡率,建立 50 份材料盐害指数与胁迫时间的回归方程。试验共重复 3 次。试验以对照组的生长发育状况为标准,根据黄麻幼苗受害后的表现鉴定每株幼苗所属的盐害等级,根据各材料所有幼苗的盐害分级情况计算盐害指数,苗情分级标准参考马洪雨等^[9]、王波^[35]、邵桂花^[36]的方法,根据预试验观察结果稍作修改,详见表 2。

盐害指数(%) = $\frac{\sum (0 \text{ 级苗数} \times 0 + 1 \text{ 级苗数} \times 1 + 2 \text{ 级苗数} \times 2 + 3 \text{ 级苗数} \times 3 + 4 \text{ 级苗数} \times 4 + 5 \text{ 级苗数} \times 5)}{(5 \times \text{总苗数})} \times 100\%$ (1)

表 1 供试黄麻种质材料及来源

Table 1 Tested jute and origin

编号 Code	种质名称 Name of germplasms	来源 Origin	编号 Code	种质名称 Name of germplasms	来源 Origin
1	SU/054CO-绿	中国 China	26	甜麻	中国 China
2	087-19(青)	中国 China	27	巴麻 72-2	巴基斯坦 Pakistan
3	O-3	孟加拉 Bangladesh	28	巴麻 721	中国 China
4	宽叶长果	中国 China	29	ACC. NO. 4159	孟加拉 Bangladesh
5	NY/252C	中国 China	30	092-13	中国 China
6	O-6	孟加拉 Bangladesh	31	K-56	俄罗斯 Russia
7	YA/046Ca-单株	中国 China	32	莢 222	中国 China
8	K-42	俄罗斯 Russia	33	日本长果	日本 Japan
9	JRC/674	尼泊尔 Nepal	34	马里野生长果	马里 Mali
10	翠绿	印度 India	35	奠边青麻	越南 Vietnam
11	SF002	中国 China	36	广西长果	中国 China
12	070-36	中国 China	37	CGR-1589	中国 China
13	广丰长果	中国 China	38	K-27	俄罗斯 Russia
14	Y05-05	中国 China	39	泰字 4 号	中国 China
15	K-15	俄罗斯 Russia	40	K-116	俄罗斯 Russia
16	古巴长莢	古巴 Cuba	41	巴麻 71	中国 China
17	O-1	孟加拉 Bangladesh	42	CJQ001	中国 China
18	TC008-41	中国 China	43	BL/042C	中国 China
19	青皮大麻	中国 China	44	O-4	孟加拉 Bangladesh
20	K-175	俄罗斯 Russia	45	南阳长果	中国 China
21	Y05-02	中国 China	46	长果红茎	中国 China
22	K-11	俄罗斯 Russia	47	巴麻 72-1	巴基斯坦 Pakistan
23	Y05-03	中国 China	48	ZC/010C-高大	中国 China
24	和字 8 号	中国 China	49	DS/013C-高大	中国 China
25	摩维 1 号	中国 China	50	JRC/580-红茎	中国 China

表 2 黄麻盐害苗情分级标准

Table 2 The classification standard of seeding

级别 Grade	分级标准 Grading standard
0	植株健壮,叶片平展,绿色有光泽,无受害症状
1	植株生长基本正常,稍有萎焉,老叶边缘变黄或轻微失水
2	植株萎焉,下部老叶下垂、皱缩、变黄、部分叶片长出盐斑或边缘卷曲或脱落,受害与脱落的叶片总面积约占叶片总叶面积的 25%
3	植株严重萎焉,下部及中部叶片变黄、干枯或脱落,部分叶片长出盐斑,受害与脱落的叶片总面积约占叶片总叶面积的 50%
4	植株生长严重受害,仅有上部 1~2 片绿叶,其余叶片干枯或脱落,受害与脱落的叶片总面积达到叶片总叶面积的 75%
5	整个植株枯死或接近死亡

1.3 耐盐性评价

以供试黄麻种质材料的盐害症状出现的时间 SA、盐害指数达到 50% 的时间 SX、第 5 天的盐害指数 SI5、第 8 天的盐害指数 SI8、第 8 天的死亡率 DR 为基础,通过主成分分析法^[10-11]将单项指标转换为综合指标,再利用模糊数学中的隶属函数法^[13-14]来评价 50 份黄麻种质材料耐盐性,计算方法如下:

各综合指标的隶属函数值:

$$\mu(X_j) = (X_j - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin}),$$
$$j = 1, 2, \cdots, n;$$
(2)

各综合指标的权重:

$$W_j = P_j / \sum P_j, j = 1, 2, \cdots, n;$$
(3)

各黄麻种质材料的综合耐盐能力:

$$D = \sum [\mu(X_j) \times W_j], j = 1, 2, \cdots, n;$$
(4)

其中, X_j 为第 j 个综合指标, X_{jmin} 为第 j 个综合

指标的最小值, $X_{j\max}$ 为第 j 个综合指标的最大值, $\mu(X_j)$ 为第 j 个综合指标的隶属函数值, W_j 为第 j 个综合指标在所有综合指标中的权重, P_j 为由主成分分析法得到的各黄麻种质材料第 j 个综合指标的方差贡献率, D 值为黄麻种质材料由各综合指标计算所得的在 NaCl 胁迫条件下耐盐性综合评价值, 通过比较 D 值大小来评价各黄麻种质材料耐盐性的强弱, 并根据 D 值对其进行聚类分析。

1.4 数据分析

利用 Microsoft Excel 2010 进行试验数据整理以及 D 值计算, 使用 SAS 9.2 进行方差分析、相关性分析和聚类分析, 详细方法参考相关文献[37-38]。

2 结果与分析

2.1 50 份黄麻种质材料对 NaCl 胁迫的响应

由表 3 可以看出, 材料第 5 天盐害指数变化范

围为 40.00% ~ 61.00%, 其中盐害指数最大的为 O-4 和 NY/252C, 最小的为 TC008-41, 第 8 天盐害指数变化范围为 43.67% ~ 80.33%, 其中盐害指数最大的为 NY/252C, 最小的为 TC008-41, 死亡率的变化范围为 0 ~ 31.67%, 死亡率最小为 0, 包括宽叶长果、JRC/674、TC008-41、092-13、CGR-1589、巴麻 72-2 和 O-1 共 7 份材料, 最大的为 K-42, 表明 TC008-41 和 092-13 等耐盐性较好, 而 NY/252C、K-42 和 O-4 对盐胁迫敏感。对 50 份黄麻种质材料第 5 天的盐害指数、第 8 天的盐害指数和第 8 天的死亡率进行方差分析(表 4), 可以看出这 3 个指标在不同种质材料间均存在极显著差异, 说明来自不同国家的黄麻种质材料间耐盐性存在显著差异, 表明 250 mmol/L NaCl 胁迫可以有效鉴定不同种质材料间的耐盐性差异, 这个 NaCl 胁迫浓度对于本试验是一个适宜的浓度。

表 3 50 份黄麻种质材料在盐胁迫下盐害指数与死亡率

Table 3 The salt injury index and dead rate of 50 jute germplasm resources

编号 Code	第 5 天的盐害指数 (%) S15	排序 Order	第 8 天的盐害指数 (%) S18	排序 Order	第 8 天的死亡率 (%) DR	排序 Order
1	47.67 ± 0.47	8	55.67 ± 3.30	16	6.67 ± 0.00	6
2	55.00 ± 1.41	25	68.00 ± 1.89	33	20.00 ± 0.00	14
3	51.11 ± 1.64	16	54.44 ± 1.57	12	6.11 ± 0.79	5
4	46.67 ± 0.88	6	50.33 ± 0.47	5	0.00 ± 0.00	1
5	61.00 ± 0.58	33	80.33 ± 0.47	42	28.33 ± 2.36	17
6	45.67 ± 0.58	5	52.67 ± 0.94	9	5.00 ± 2.36	4
7	58.00 ± 0.00	29	69.33 ± 0.94	36	15.00 ± 2.36	10
8	56.33 ± 1.45	26	75.00 ± 1.41	41	31.67 ± 2.36	18
9	48.67 ± 1.76	11	50.33 ± 3.30	5	0.00 ± 0.00	1
10	53.00 ± 6.12	21	66.00 ± 3.77	31	13.33 ± 0.00	9
11	54.00 ± 0.88	23	64.67 ± 6.60	28	6.67 ± 4.71	6
12	57.00 ± 1.45	27	70.52 ± 2.10	37	22.85 ± 8.74	16
13	49.00 ± 0.58	12	51.00 ± 1.41	6	1.67 ± 2.36	2
14	60.67 ± 2.03	31	69.02 ± 2.39	35	19.05 ± 3.37	13
15	55.00 ± 1.45	25	65.33 ± 7.54	30	10.00 ± 14.14	7
16	53.67 ± 1.45	22	59.00 ± 3.30	22	3.33 ± 4.71	3
17	48.67 ± 0.88	11	56.00 ± 1.89	17	0.00 ± 0.00	1
18	40.00 ± 2.03	1	43.67 ± 1.41	1	0.00 ± 0.00	1
19	55.00 ± 3.21	25	61.67 ± 3.30	25	15.00 ± 16.50	10
20	49.33 ± 1.76	13	56.33 ± 3.30	18	1.67 ± 2.36	2

表 3(续)

编号 Code	第 5 天的盐害指数 (%) SI5	排序 Order	第 8 天的盐害指数 (%) SI8	排序 Order	第 8 天的死亡率 (%) DR	排序 Order
21	50.33 ± 0.58	14	58.33 ± 2.36	20	5.00 ± 2.36	4
22	55.00 ± 1.45	25	71.00 ± 1.41	38	23.33 ± 4.71	17
23	51.00 ± 0.58	15	59.00 ± 1.41	22	3.33 ± 0.00	3
24	52.33 ± 3.48	20	59.33 ± 1.89	23	10.00 ± 4.71	7
25	48.00 ± 1.76	9	58.33 ± 2.36	20	3.33 ± 0.00	3
26	48.33 ± 1.45	10	59.33 ± 2.83	23	3.33 ± 4.71	3
27	51.33 ± 3.79	17	54.67 ± 1.89	13	0.00 ± 0.00	1
28	48.33 ± 1.45	10	54.00 ± 0.94	10	1.67 ± 2.36	2
29	48.00 ± 2.91	9	51.33 ± 0.94	7	1.67 ± 2.36	2
30	41.33 ± 0.88	2	44.67 ± 0.94	2	0.00 ± 0.00	1
31	49.33 ± 1.76	13	58.67 ± 0.94	21	10.00 ± 0.00	7
32	52.00 ± 2.91	19	55.00 ± 1.41	14	1.67 ± 2.36	2
33	46.67 ± 2.91	6	50.00 ± 0.94	4	3.33 ± 0.00	3
34	47.33 ± 2.65	7	58.33 ± 0.47	20	11.67 ± 2.36	8
35	48.33 ± 1.45	10	52.00 ± 1.89	8	3.33 ± 0.00	3
36	47.33 ± 2.03	7	54.33 ± 2.36	11	5.00 ± 2.36	4
37	45.33 ± 0.88	4	48.33 ± 0.47	3	0.00 ± 0.00	1
38	57.33 ± 0.88	28	67.33 ± 1.89	32	21.67 ± 2.36	15
39	54.67 ± 0.00	24	62.33 ± 0.47	26	11.67 ± 2.36	8
40	51.33 ± 5.81	17	55.33 ± 1.89	15	1.67 ± 2.36	2
41	55.00 ± 0.58	25	65.00 ± 1.41	29	18.33 ± 2.36	12
42	43.33 ± 2.91	3	52.00 ± 9.43	8	5.00 ± 7.07	4
43	60.73 ± 0.19	32	68.33 ± 1.41	34	16.67 ± 0.00	11
44	61.00 ± 2.33	33	74.00 ± 0.94	40	28.33 ± 11.79	17
45	57.00 ± 5.24	27	64.67 ± 1.89	28	6.67 ± 0.00	6
46	49.00 ± 3.21	12	57.00 ± 1.41	19	3.33 ± 0.00	3
47	51.33 ± 1.76	17	56.00 ± 2.83	17	6.67 ± 0.00	6
48	53.00 ± 1.45	21	62.67 ± 1.89	27	13.33 ± 4.71	9
49	51.67 ± 2.33	18	60.00 ± 1.89	24	6.67 ± 0.00	6
50	60.33 ± 1.45	30	72.00 ± 0.94	39	11.67 ± 2.36	8

表 4 50 份黄麻种质材料盐害指数及死亡率方差分析
Table 4 Analysis of variance of salt injury index and dead rate of 50 jute germplasm resources

项目 Item	第 5 天的 盐害指数 SI5	第 8 天的 盐害指数 SI8	第 8 天的 死亡率 DR
F 值 F value	9.95 **	18.02 **	7.38 **

** 表示 1% 的显著水平
** indicate significance at 1% probability levels

2.2 50 份黄麻种质材料盐害指数与胁迫时间的回归方程

为拟合盐害指数随时间变化的规律,本文建立了 50 份材料的盐害指数随时间变化的回归方程。由表 5 可以看出,对各回归方程回归关系的检验都达到了极显著水平,说明所建立的各回归方程均有很好的统计学意义,且各方程的 R²均在 0.96 以上,回归效果较好,说明回归方程较好地拟合了盐害指数随时间的变化规律,在此基础上,由回归方程求得

了 50 份黄麻种质材料盐害症状出现的时间(盐害指数达到 5% 的时间^[39])和盐害指数达到 50% 的时间,它们的范围分别为 4.569 ~ 11.905 h 和 3.095 ~ 13.159 d。

表 5 50 份黄麻种质材料盐害指数与 NaCl 胁迫时间的回归方程

Table 5 The regression equation of salt injury index and NaCl stress time in 50 jute germplasm resources

编号 Code	回归方程 Regression equation	决定 系数 R ²	矫正决定 系数 Adjust R ²	F 值 F. value	P	盐害症状 出现时间 SA	排序 Order	盐害指数 达到 50% 的时间 SX	排序 Order
1	$y = 0.23983x - 0.04073x^2 + 0.00244x^3$	0.9997	0.9995	5009.69	<.0001	5.194	44	6.027	11
2	$y = 0.25652x - 0.04154x^2 + 0.00251x^3$	0.9986	0.9977	1182.73	<.0001	4.836	45	3.552	47
3	$y = 0.15985x - 0.0117x^2$	0.9992	0.9989	3734.87	<.0001	7.699	30	4.846	24
4	$y = 0.26583x - 0.04983x^2 + 0.00308x^3$	0.9985	0.9976	1132.22	<.0001	4.709	48	7.747	6
5	$y = 0.27121x - 0.04444x^2 + 0.00291x^3$	0.9993	0.9989	2507.02	<.0001	4.569	49	3.095	50
6	$y = 0.19999x - 0.02956x^2 + 0.00159x^3$	0.9991	0.9985	1805.88	<.0001	6.187	41	7.189	7
7	$y = 0.25973x - 0.03999x^2 + 0.00229x^3$	0.9990	0.9985	1750.49	<.0001	4.767	47	3.244	49
8	$y = 0.16459x - 0.00911x^2$	0.9967	0.9956	898.67	<.0001	7.425	33	3.864	43
9	$y = 0.12356x (0 \leq x \leq 4)$	0.9926	0.9902	403.51	0.0003	9.712	8		
	$y = 0.24301x - 0.04x^2 + 0.00219x^3 (x > 4)$	1	1	85106.70	<.0001			7.759	5
10	$y = 0.23363x - 0.03606x^2 + 0.00216x^3$	0.9984	0.9974	1016.48	<.0001	5.317	43	4.087	36
11	$y = 0.17178x - 0.01172x^2$	0.9976	0.9968	1250.76	<.0001	7.135	37	4.002	39
12	$y = 0.17641x - 0.01164x^2$	0.9956	0.9941	679.24	<.0001	6.960	39	3.773	44
13	$y = 0.13517x (0 \leq x \leq 4)$	0.9863	0.9818	216.31	0.0007	8.878	15		
	$y = 0.45594 + 0.00701x (x > 4)$	0.9754	0.9672	119.09	0.0016			6.285	10
14	$y = 0.18142x - 0.01216x^2$	0.9990	0.9986	2858.27	<.0001	6.735	40	3.647	46
15	$y = 0.22482x - 0.03152x^2 + 0.00171x^3$	0.9996	0.9994	4237.91	<.0001	5.412	42	3.910	41
16	$y = 0.16967x - 0.01242x^2$	0.9963	0.9950	804.57	<.0001	7.240	36	4.291	34
17	$y = 0.1467x - 0.00981x^2$	0.9979	0.9972	1443.03	<.0001	8.384	23	5.249	16
18	$y = 0.12743x - 0.00188x^3 (0 \leq x \leq 4)$	0.9965	0.9941	422.07	0.0002	9.333	13		
	$y = 0.34196 + 0.01201x (x > 4)$	0.9817	0.9725	107.11	0.0092			13.159	1
19	$y = 0.17236x - 0.01215x^2$	0.9956	0.9942	683.60	<.0001	7.115	38	4.063	38
20	$y = 0.14519x - 0.00945x^2$	0.9980	0.9973	1472.03	<.0001	8.467	21	5.208	17
21	$y = 0.12387x - 0.00085812x^3$	0.9949	0.9932	587.99	<.0001	9.652	10	4.805	25
22	$y = 0.12348x - 0.00054558x^3$	0.9978	0.9971	1382.58	<.0001	9.696	9	4.434	31
23	$y = 0.15292x - 0.01003x^2$	0.9978	0.9971	1360.12	<.0001	8.032	25	4.733	28
24	$y = 0.15846x - 0.01068x^2$	0.9952	0.9937	627.34	<.0001	7.751	29	4.540	30
25	$y = 0.14462x - 0.00924x^2$	0.9958	0.9944	716.07	<.0001	8.497	20	5.153	19
26	$y = 0.14287x - 0.00892x^2$	0.9982	0.9976	1652.75	<.0001	8.598	18	5.164	18
27	$y = 0.16105x - 0.01181x^2$	0.9959	0.9946	733.57	<.0001	7.641	31	4.779	26
28	$y = 0.14958x - 0.01038x^2$	0.9964	0.9953	839.99	<.0001	8.227	24	5.262	15
29	$y = 0.12288x (0 \leq x \leq 4)$	0.9874	0.9832	234.44	0.0006	9.766	6		
	$y = 0.41138 + 0.01299x (x > 4)$	0.9825	0.9767	168.36	0.001			6.822	8
30	$y = 0.12698x - 0.00173x^3 (0 \leq x \leq 4)$	0.9983	0.9971	872.71	<.0001	9.373	12		
	$y = 0.35455 + 0.01135x (x > 4)$	0.9797	0.9696	96.60	0.0102			12.815	2
31	$y = 0.14294x - 0.00888x^2$	0.9968	0.9958	947.93	<.0001	8.592	19	5.136	20
32	$y = 0.15393x - 0.01075x^2$	0.9973	0.9963	1089.47	<.0001	7.991	26	4.978	23
33	$y = 0.11574x (0 \leq x \leq 4)$	0.9951	0.9935	611.23	0.0001	10.368	3		
	$y = 0.21272x - 0.03239x^2 + 0.00171x^3 (x > 4)$	0.9999	0.9998	9925.62	0.0001			7.842	4

表 5(续)

编号 Code	回归方程 Regression equation	决定 系数 R ²	矫正决定 系数 Adjust R ²	F 值 F value	P	盐害症状 出现的 时间 SA	排序 Order	盐害指数 达到 50% 的时间 SX	排序 Order
34	$y = 0.14001x - 0.00858x^2$	0.9961	0.9948	772.72	<.0001	8.773	16	5.276	13
35	$y = 0.11621x (0 \leq x \leq 4)$	0.9913	0.9884	342.5	0.0003	10.326	4		
	$y = 0.20009x - 0.02775x^2 + 0.00136x^3 (x > 4)$	0.9999	0.9998	9834.81	0.0001			6.328	9
36	$y = 0.12294x - 0.0009171x^3$	0.9948	0.9931	575.83	<.0001	9.724	7	4.996	21
37	$y = 0.1008x (0, 4) (0 \leq x \leq 4)$	0.9868	0.9835	299.63	<.0001	11.905	1		
	$y = 0.40033 + 0.01033x (x > 4)$	0.9859	0.9789	139.98	0.0071			9.649	3
38	$y = 0.12924x - 0.00069194x^3$	0.9983	0.9977	1718.45	<.0001	9.254	14	4.292	33
39	$y = 0.1689x - 0.01147x^2$	0.997	0.9959	983.13	<.0001	7.262	35	4.101	35
40	$y = 0.12092x - 0.00083169x^3$	0.9979	0.9972	1443.9	<.0001	9.892	5	4.988	22
41	$y = 0.16803x - 0.01108x^2$	0.9971	0.9962	1043.24	<.0001	7.296	34	4.063	37
42	$y = 0.11328x - 0.00082963x^3$	0.9896	0.9861	284.85	<.0001	10.568	2	5.967	12
43	$y = 0.14173x - 0.00090438x^3$	0.9972	0.9963	1085.51	<.0001	8.419	22	3.909	42
44	$y = 0.17364x - 0.01018x^2$	0.9987	0.9982	2233.82	<.0001	6.960	39	3.668	45
45	$y = 0.25895x - 0.0395x^2 + 0.00218x^3$	0.9989	0.9983	1582.09	<.0001	4.780	46	3.259	48
46	$y = 0.12689x (0 \leq x \leq 4)$	0.9839	0.9785	183.02	0.0009	9.457	11		
	$y = 0.3526 + 0.02801x (x > 4)$	0.9843	0.9791	188.46	0.0008			5.262	14
47	$y = 0.15778x - 0.01107x^2$	0.9952	0.9937	627.21	<.0001	7.793	28	4.755	27
48	$y = 0.1608x - 0.01043x^2$	0.9968	0.9958	949.02	<.0001	7.629	32	4.315	32
49	$y = 0.15585x - 0.01019x^2$	0.9955	0.9941	669.42	<.0001	7.877	27	4.569	29
50	$y = 0.13795x - 0.00074352x^3$	0.9975	0.9967	1192.21	<.0001	8.661	17	3.959	40

为得到更好的拟合效果,部分材料盐害指数随时间变化的回归方程采用分段拟合法

To get better fitting effect,the regression equation models reflecting the correlation between stressed duration and salt injury index of partial jute germ-plasms were established with piecewise fitting

2.3 各单项指标的相关性分析

由单项指标间的相关系数(表 6)分析可以看出,不同黄麻种质材料经过 NaCl 胁迫处理过后,幼苗的盐害症状出现的时间、盐害指数达到 50% 的时间、第 5 天的盐害指数、第 8 天的盐害指数和第 8 天的死亡率之间的相关性都达到了极显著水平,其中第 5 天的盐害指数与第 8 天的盐害指数、第 8 天的盐害指数与第 8 天的死亡率之间的存在高度的正相关关系,相关系数分别为 0.911^{**} 和 0.886^{**},盐害指数达到 50% 的时间与第 5 天的盐害指数之间存在高度的负相关关系,相关系数为 -0.800^{**},各指标所提供的信息发生重叠,同时由表 3 和表 5 可以看出以各单项指标对 50 份材料的耐盐性进行排序,结果各不相同,耐盐性是一个复杂的综合性状,任意单项指标都不能全面有效的鉴定评价不同种质材料的耐盐性差异,为弥补单项指标的不足,综合考察这

些指标的评价显然非常重要。

2.4 主成分分析

主成分分析又称主分量分析,它利用变量族的少数几个线性组合(新的变量族)来解释多维变量的协方差结构,挑选最佳变量子集,简化数据,揭示变量间关系^[40],它利用各项指标值的变异程度来确定权重,避免了人为因素带来的偏差,是一种客观赋权法^[41]。对各个单项指标进行主成分分析,从中选出了 3 个较大的特征根及相应的 3 个特征向量,如表 7 所示,前 3 个主成分贡献率分别为 73.590%、13.860% 和 8.840%,累计贡献率达到 96.290%,已包含了原始指标的绝大部分信息,足以说明该数据的变化规律,达到了主成分分析的要求,这样可以将原来的具有相关性的单项指标转换为 3 个新的相互独立的综合指标。

表 6 NaCl 胁迫下黄麻幼苗各单项指标的相关系数

Table 6 Correction matrix of each single index of jute seedlings under salt stress

项目 Item	盐害症状出现 的时间 SA	盐害指数达到 50% 的时间 SX	第 5 天的 盐害指数 SI5	第 8 天的 盐害指数 SI8	第 8 天的 死亡率 DR
盐害症状出现的时间 SA	1				
盐害指数达到 50% 的时间 SX	0.458 **	1			
第 5 天的盐害指数 SI5	-0.485 **	-0.800 **	1		
第 8 天的盐害指数 SI8	-0.508 **	-0.782 **	0.911 **	1	
第 8 天的死亡率 DR	-0.391 **	-0.562 **	0.760 **	0.886 **	1

* 和 ** 分别表示 5% 和 1% 的显著水平 * and ** indicate significance at 5% and 1% probability levels ,respectively

表 7 各综合指标的特征根、贡献率、累计贡献率及特征向量

Table 7 Eigen values ,contribution ,cumulative contribution and eigenvector of per comprehensive index

项目 Item	综合指标 Comprehensive index		
	CI ₁	CI ₂	CI ₃
特征根 Eigenvalue	3.680	0.693	0.442
贡献率(%) Contribution	73.590	13.860	8.840
累计贡献率(%) Cumulative contribution	73.590	87.450	96.290
特征向量 Eigenvector	盐害症状出现的时间 SA	-0.326	0.925
	盐害指数达到 50% 的时间 SX	-0.444	-0.022
	第 5 天的盐害指数 SI5	0.491	0.139
	第 8 天的盐害指数 SI8	0.506	0.168
	第 8 天的死亡率 DR	0.447	0.310

2.5 黄麻种质材料耐盐性综合评价

根据综合耐盐能力 D 值对黄麻种质材料进行排序(表 8),其中 TC008-41 的 D 值最小,耐盐性最强,NY/252C 的 D 值最大,耐盐性最差,采用类平均数法对 D 值进行耐盐性强弱聚类,如图 1 所示,可将 50 份黄麻种质材料划分为 4 类,各级别包括的种质材料如表 9 所示,分析各级别中黄麻种质材料的

数量分布,耐盐性极强的材料为 3 份,耐盐材料为 6 份,盐敏感材料为 10 份,中度耐盐材料最多,为 31 份,两端分布较少,即耐盐性较好与盐敏感材料分别占供试材料的 18% 和 20%,中间类型分布较多,即中度耐盐材料占供试材料的 62%,符合正态分布,可以说明这种聚类分级较为合理。

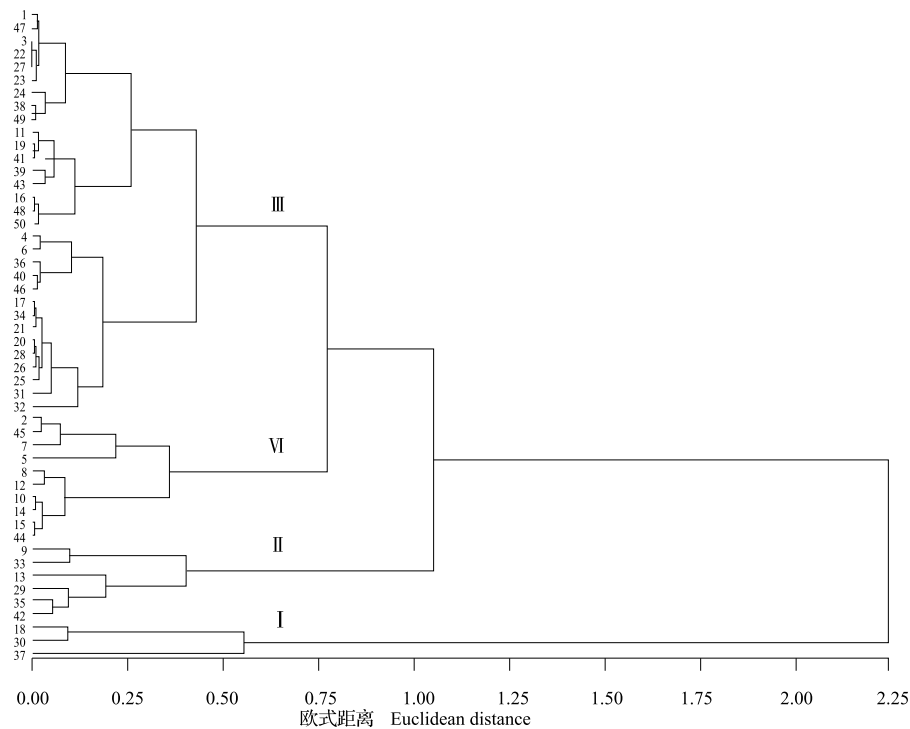
表 8 50 份黄麻种质材料各综合指标值及其隶属函数值、权重及 D 值

Table 8 The value of jute germplasm resources' comprehensive index ,subordinative function value of comprehensive index , index weight and comprehensive valuation

编号 Code	种质 Germplasms	综合指标值 Comprehensive index			综合指标的隶属函数值 Subordinative function value of comprehensive index			D 值 D value	排序 Order
		CI ₁	CI ₂	CI ₃	μ(CI ₁)	μ(CI ₂)	μ(CI ₃)		
1	SU/054CO-绿	- 3. 822	4. 855	3. 509	0. 721	0. 078	0. 327	0. 59262	28
2	087-19(青)	- 2. 449	4. 650	1. 834	0. 935	0. 047	0. 073	0. 72793	47
3	O-3	- 4. 106	7. 199	2. 151	0. 677	0. 433	0. 121	0. 59097	25
4	宽叶长果	- 4. 489	4. 337	4. 826	0. 618	0. 000	0. 526	0. 52050	11
5	NY/252C	- 2. 030	4. 467	1. 604	1. 000	0. 020	0. 038	0. 77055	50
6	O-6	- 4. 694	5. 735	4. 168	0. 586	0. 211	0. 427	0. 51743	10
7	YA/046Ca- 单株	- 2. 290	4. 583	1. 585	0. 959	0. 037	0. 035	0. 74185	49

表 8(续)

编号 Code	种质 Germplasms	综合指标值 Comprehensive index			综合指标的隶属函数值 Subordinative function value of comprehensive index			D 值 D value	排序 Order
		CI ₁	CI ₂	CI ₃	$\mu(CI_1)$	$\mu(CI_2)$	$\mu(CI_3)$		
8	K-42	-3.337	7.088	1.652	0.797	0.416	0.045	0.67299	41
9	JRC/674	-6.115	8.969	3.882	0.365	0.701	0.383	0.41503	5
10	翠绿	-2.893	5.056	2.097	0.866	0.109	0.113	0.68773	44
11	SF002	-3.480	6.718	1.646	0.775	0.360	0.044	0.64793	38
12	070-36	-3.204	6.625	1.612	0.817	0.346	0.039	0.67817	42
13	广丰长果	-5.177	8.236	2.962	0.511	0.590	0.244	0.49770	9
14	Y05-05	-3.082	6.411	1.531	0.837	0.314	0.027	0.68693	43
15	K-15	-2.854	5.140	1.924	0.872	0.121	0.086	0.69176	46
16	古巴长莢	-3.687	6.789	1.812	0.742	0.371	0.069	0.62714	34
17	O-1	-4.540	7.804	2.286	0.610	0.524	0.141	0.55456	17
18	TC008-41	-8.464	8.477	7.950	0.000	0.626	1.000	0.18194	1
19	青皮大麻	-3.473	6.721	1.740	0.776	0.361	0.058	0.65011	39
20	K-175	-4.536	7.888	2.250	0.610	0.537	0.136	0.55633	18
21	Y05-02	-4.713	9.009	1.748	0.583	0.707	0.060	0.55266	15
22	K-11	-4.394	9.142	1.588	0.633	0.727	0.035	0.59125	27
23	Y05-03	-4.154	7.508	1.992	0.670	0.480	0.097	0.58981	24
24	和字 8 号	-3.939	7.276	1.943	0.703	0.444	0.089	0.60958	32
25	摩维 1 号	-4.510	7.924	2.218	0.614	0.542	0.131	0.55970	21
26	甜麻	-4.541	8.019	2.208	0.610	0.557	0.129	0.55795	20
27	巴麻 72-2	-4.082	7.129	2.074	0.681	0.422	0.109	0.59121	26
28	巴麻 721	-4.498	7.660	2.334	0.616	0.503	0.148	0.55698	19
29	ACC. NO. 4159	-5.707	9.045	3.192	0.428	0.712	0.279	0.45546	6
30	092-13	-8.313	8.526	7.687	0.023	0.634	0.960	0.19727	2
31	K-56	-4.496	8.036	2.227	0.617	0.559	0.132	0.56397	22
32	莢 222	-4.273	7.455	2.165	0.651	0.472	0.123	0.57698	23
33	日本长果	-6.362	9.581	3.843	0.327	0.793	0.377	0.39840	4
34	马里野生长果	-4.621	8.202	2.309	0.597	0.585	0.145	0.55388	16
35	莫边青麻	-5.658	9.580	2.731	0.436	0.793	0.209	0.46654	7
36	广西长果	-4.857	9.060	1.876	0.561	0.714	0.079	0.53851	14
37	CGR-1589	-7.695	10.948	4.865	0.120	1.000	0.532	0.28415	3
38	K-27	-4.201	8.728	1.548	0.662	0.664	0.029	0.60457	31
39	泰字 4 号	-3.551	6.846	1.721	0.764	0.379	0.056	0.64331	37
40	K-116	-4.898	9.212	1.813	0.554	0.737	0.069	0.53606	13
41	巴麻 71	-3.500	6.904	1.731	0.771	0.388	0.057	0.65071	40
42	CJQ001	-5.594	9.811	2.436	0.446	0.828	0.164	0.47508	8
43	BL/042C	-3.760	7.955	1.389	0.731	0.547	0.005	0.63794	36
44	O-4	-3.096	6.656	1.567	0.834	0.351	0.032	0.69107	45
45	南阳长果	-2.367	4.560	1.539	0.948	0.034	0.028	0.73156	48
46	长果红茎	-4.874	8.809	2.114	0.558	0.676	0.115	0.53435	12
47	巴麻 72-1	-4.085	7.293	2.070	0.681	0.447	0.109	0.59443	29
48	ZC/010C-高大	-3.765	7.184	1.823	0.730	0.431	0.071	0.62670	33
49	DS/013C-高大	-4.008	7.382	1.922	0.693	0.460	0.086	0.60343	30
50	JRC/580-红茎	-3.867	8.168	1.354	0.714	0.579	0.000	0.62940	35
	权重 Index weight				0.764	0.144	0.092		



图中数字 1 ~ 50 分别代表 50 份黄麻种质资源的编号
1-50 in figure indicate the code of 50 jute germplasm resources

图 1 50 份黄麻种质材料分级聚类图

Fig. 1 Classified cluster diagram of 50 jute germplasm resources

表 9 50 份黄麻种质材料分级结果

Table 9 Classification of salt tolerance of 50 jute germplasm resources

级别 Grade	D 值 D value	相对耐盐性 Relative tolerance	材料数量 Quantity	材料名称 Name
1	0. 18194 ~ 0. 28415	高耐盐 High tolerance	3	TC008-41、092-13、CGR-1589
2	0. 39840 ~ 0. 49770	耐盐 Tolerance	6	JRC/674、广丰长果、ACC. NO. 4159、日本长果、莫边青麻、CJQ001
3	0. 51743 ~ 0. 65071	中度耐盐 Middle tolerance	31	SU/054CO-绿、O-3、宽叶长果、O-6、SF002、古巴长荚、O-1、青皮大麻、K-175、Y05-02、K-11、Y05-03、和字 8 号、摩维 1 号、甜麻、巴麻 72-2、巴麻 721、K-56、荚 222、马里野生长果、广西长果、K-27、泰字 4 号、K-116、巴麻 71、BL/042C、长果红茎、巴麻 72-1、ZC/010C-高大、DS/013C-高大、JRC/580-红茎
4	0. 67299 ~ 0. 77055	盐敏感 Salt sensitivity	10	087-19(青)、NY/252C、YA/046Ca-单株、K-42、翠绿、070-36、Y05-05、K-15、O-4、南阳长果

以上,本研究表明,250 mmol/L 可作为黄麻苗期水培试验耐盐性鉴定的适宜盐浓度,通过主成分分析法和隶属函数法对 50 份黄麻种质材料苗期的耐盐性进行综合评价,再通过聚类分析可以将其划分为 4 个级别:高耐盐材料(1 级)3 份,耐盐性材料(2 级)6 份,中度耐盐性材料(3 级)31 份,盐敏感材料(4 级)10 份。

3 讨论

植物的整个生育时期中,芽期和苗期对盐分最为敏感,其他各生育时期对盐分耐性较强^[9],因此耐盐性鉴定一般以芽期和苗期鉴定为主,同时,马洪雨等^[9]研究发现黄麻耐盐性研究应以苗期鉴定为主。因此,本研究选择苗期作为耐盐性鉴定时期,且

苗期鉴定可操作性强、周期短、效率高。对于农作物耐盐性的鉴定评价有多种方法,例如温室盆栽和水培鉴定、人工盐池鉴定和自然田间鉴定等,人工盐池和自然田间鉴定能够容纳大量种质资源,但田间盐分的分布不均会影响鉴定的准确性,同时,田间鉴定结果易受光照、气温、降水、风力等田间气候的影响,而使试验误差加大,降低试验的可靠性,故本试验采用温室水培鉴定法。

盐碱土里的可溶性盐主要由 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等离子组成,而 Cl^- 是中国盐碱区的主要离子成分,在不同地区盐碱土的各离子的比例各异。纵然只研究 NaCl 胁迫对不同品种的影响具有片面性,但 NaCl 作为中性盐的主要形式,利用其胁迫来评价黄麻的耐盐性具有代表性和现实意义,既可以评价黄麻种质资源的耐盐性,也能为引进国外耐盐种质资源提供一些参考。

杜中军等^[32]建议应用盐胁迫对植物的生长抑制指标—盐害指数来评价耐盐性,它以盐害分级和相应级值的株数为基础,是植物在盐胁迫下的综合表现。本研究观察记录了 50 份黄麻种质材料的盐害指数的动态变化,由于不同指标在各材料的耐盐性中发挥的作用不尽相同,单项指标难以全面准确地反映材料的耐盐性的强弱,本研究还选用了最常用抗性评价指标,即引起植物 50% 死亡率的胁迫强度,以及盐害症状出现的时间和各材料的死亡率来评价耐盐性,由相关分析表明,单项各指标之间存在或大或小的相关关系,说明不同指标之间存在信息重叠,这与前人的研究结果一致^[10,42]。

为全面准确地评价材料的耐盐能力,本研究采用了主成分分析法,一种把多个描述被评价事物不同方面且量纲不同的统计指标,转化成无量纲的相对评价价值,并综合这些评价价值以得出对该事物一个整体评价的方法,它可消除评价指标之间的相关影响,同时以各项指标值的变异程度来确定权重,避免了人为因素带来的偏差^[41],已有很多学者将此法运用于研究中^[10-11,40,42],本研究还通过隶属函数法,根据各材料耐盐能力大小赋予 D 值,实现了各材料的排序定级和定量评价,该法已应用于多种作物的抗性筛选中。

从黄麻耐盐性鉴定结果来看,不同黄麻种质耐盐性存在显著差别,高耐盐材料为黄麻耐盐育种提供了重要的亲本材料,同时本试验方法能够对不同材料的耐盐性做出有效评价,可以为将来大规模黄麻种质材料耐盐性鉴定评价提供参考。在 50 份黄

麻种质材料中,盐敏感材料为 10 份,占 20%,其他为中度耐盐或耐盐性较强的材料,由此可以看出黄麻是耐盐性相对较好,适宜在沿海滩涂、盐碱地大面积种植,这与马洪雨等^[9]的研究结果一致。本试验筛选出的耐盐极端材料可作为黄麻遗传群体构建以及耐盐相关 QTL 挖掘的基础材料,进而为黄麻耐盐性的遗传分析和遗传改良提供基因及标记等信息,对黄麻耐盐分子机理进一步研究具有重要意义。

参考文献

- [1] Signorelli S, Casaretto E, Monza J, et al. Combined Abiotic Stress in Legumes [M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2015: 123-145
- [2] 蔡晓锋, 胡体旭, 叶杰, 等. 植物盐胁迫抗性的分子机制研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(3): 134-141
- [3] 冯琛, 党高兵, 解建仓, 等. 大米草玉米的耐盐效果及对盐渍化土壤的改良试验[J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 47-50
- [4] 伍林涛, 杜才富, 邵明波. 植物盐胁迫耐受性研究进展[J]. 吉林农业: 学术版, 2010(9): 51-52
- [5] 汤晓丽. 海滨锦葵盐胁迫转录组分析和抗盐基因研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016
- [6] 罗雅丽, 张常新. 基于粮食安全的世界耕地资源可持续利用分析与思考[J]. 世界农业, 2011(6): 61-66
- [7] 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
- [8] 熊和平. 麻类作物育种学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008: 155-156
- [9] 马洪雨, 王瑞君, 王显生, 等. 黄麻种质芽期和苗期耐盐性的鉴定与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(2): 236-243
- [10] 戴海芳, 武辉, 阿曼古丽·买买提阿力, 等. 不同基因型棉花苗期耐盐性分析及其鉴定指标筛选[J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1290-1300
- [11] 武辉, 侯丽丽, 周艳飞, 等. 不同棉花基因型幼苗耐寒性分析及其鉴定指标筛选[J]. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1703-1713
- [12] 李晓芬, 尚庆茂, 张志刚, 等. 多元统计分析方法在辣椒品种耐盐性评价中的应用[J]. 园艺学报, 2008, 35(3): 351-356
- [13] 刘敏轩, 张宗文, 吴斌, 等. 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
- [14] 肖鑫辉, 李向华, 刘洋, 等. 野生大豆 (*Glycine soja*) 耐高盐碱土壤种质的鉴定与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 392-398
- [15] 杨升, 刘正祥, 张华新, 等. 3 个树种苗期耐盐性综合评价及指标筛选[J]. 林业科学, 2013, 49(1): 91-98
- [16] 董志刚, 程智慧. 番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及耐盐指标评价[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1348-1355
- [17] 沈一, 刘永惠, 陈志德, 等. 花生幼苗期耐盐品种的筛选与评价[J]. 花生学报, 2012, 41(1): 10-15
- [18] 刘旭, 史娟, 张学勇, 等. 小麦耐盐种质的筛选鉴定和耐盐基因的标记[J]. 植物学报, 2001, 43(9): 948-954
- [19] 王萌萌, 姜奇彦, 胡正, 等. 小麦品种资源耐盐性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(2): 189-194
- [20] 汤华, 柳晓磊, 罗秋芸. 玉米耐盐早期筛选体系的初步研究[J]. 海南大学学报: 自然科学版, 2007, 25(2): 169-172, 176
- [21] 祁栋灵, 韩龙植, 张三元. 水稻耐盐/碱性鉴定评价方法[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 226-230, 235
- [22] 萨日娜. 水稻耐盐突变体的筛选及其再生植株耐盐性鉴定[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013
- [23] 姜静涵, 关荣霞, 郭勇, 等. 大豆苗期耐盐性的简便鉴定方法[J]. 作物学报, 2013, 39(7): 1248-1256

- [24] 姜奇彦,胡正,张辉,等.大豆种质资源耐盐性鉴定与研究[J].植物遗传资源学报,2012,13(5):726-732
- [25] 张国伟,路海玲,张雷,等.棉花萌发期和苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J].应用生态学报,2011,22(8):2045-2053
- [26] 刘雅辉,王秀萍,张国新,等.棉花苗期耐盐生理指标的筛选及综合评价[J].中国农学通报,2012,28(6):73-78
- [27] 郭龙彪,薛大伟,王慧中,等.转基因与常规杂交相结合改良水稻耐盐性[J].中国水稻科学,2006,20(2):141-146
- [28] 王淑芳,王峻岭,赵彦修,等.胆碱脱氢酶基因的转化及转基因番茄耐盐性的鉴定[J].植物生理学报,2001,27(3):248-252
- [29] Ma H, Yang R, Song L, et al. Differential proteomic analysis of salt stress response in jute (*Corchorus capsularis* & *olitorius* L.) seedling roots[J]. Pak J Bot, 2015, 47(2):385-396
- [30] Ghosh R K, Phumichai T, Sreewongch T, et al. Evaluation of salt tolerance of jute (*Corchorus* spp.) genotypes in hydroponics using physiological parameters[J]. Asian J Plant Sci, 2013, 12(4):149-158
- [31] Chaudhuri K, Chaudhuri M A. Effects of short-term NaCl stress on water relations and gas exchange of two jute species[J]. Biologia Plantarum, 1998, 40:373-380
- [32] 杜中军,翟衡,罗新书,等.苹果砧木耐盐性鉴定及其指标判定[J].果树学报,2002,19(1):4-7
- [33] Sultana N, Ikeda T, Itoh R. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains[J]. Environ Exp Bot, 1999, 42:211-220
- [34] 管志勇,陈素梅,陈发棣,等.32个菊花近缘种属植物耐盐性筛选[J].中国农业科学,2010,43(19):4063-4071
- [35] 王波.密山市保护地土壤盐渍化评价及耐盐番茄品种筛选[D].北京:中国农业科学院,2013
- [36] 邵桂花.大豆种质资源耐盐性田间鉴定方法[J].作物杂志,1986(3):36-37
- [37] 谢志坚.农业科学中的模糊数学方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1983:99-133
- [38] 胡小平,王长发. SAS 基础及统计实例教程[M].陕西:西安地图出版社,2001:71-108
- [39] 管志勇,陈素梅,王艳艳,等.菊花近缘种属植物耐盐筛选浓度的确定及耐盐性比较[J].生态学杂志,2010,29(3):467-472
- [40] 夏建国,李廷轩,邓良基,等.主成分分析法在耕地质量评价中的应用[J].西南农业学报,2000,13(2):51-55
- [41] 李艳双,曾珍香,张闽,等.主成分分析法在多指标综合评价方法中的应用[J].河北工业大学学报,1999,28(1):94-97
- [42] 孙璐,周宇飞,汪澈,等.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

《植物遗传资源学报》影响力统计分析

农艺学——学科期刊影响因子表(统计年:2016年)

刊名	核心影响因子			核心总被引频次			综合评价总分		学科扩散 指标	学科影响 指标	红点 指标
	数值	排名	离均差率	数值	排名	离均差率	数值	排名			
作物学报	1.785	1	1.67	6574	1	3.69	95.50	1	13.81	1.00	0.76
中国水稻科学	1.411	2	1.11	1978	5	0.41	69.50	2	9.52	0.90	0.80
棉花学报	1.193	3	0.78	1067	12	-0.24	52.40	5	6.48	0.76	0.78
植物遗传资源学报	1.180	4	0.76	1768	7	0.26	54.90	4	8.57	0.90	0.74
中国油料作物学报	0.895	5	0.34	1544	8	0.10	55.30	3	10.00	0.76	0.71
麦类作物学报	0.750	6	0.12	2184	2	0.56	48.10	6	9.29	0.86	0.76
玉米科学	0.732	7	0.09	2116	3	0.51	47.70	8	8.29	0.86	0.92
作物杂志	0.678	8	0.01	1274	11	-0.09	45.90	9	9.33	0.95	0.73
分子植物育种	0.632	9	-0.06	1418	9	0.01	45.90	9	9.52	0.95	0.66
热带作物学报	0.594	10	-0.11	2028	4	0.45	48.10	6	14.00	0.86	0.43
大豆科学	0.564	11	-0.16	1386	10	-0.01	39.30	11	9.57	0.81	0.64
中国棉花	0.474	12	-0.29	733	15	-0.48	12.20	21	4.76	0.71	0.60
THE CROP JOURNAL	0.471	13	-0.30	67	21	-0.95	35.60	13	1.86	0.33	0.44
作物研究	0.442	14	-0.34	786	14	-0.44	37.00	12	8.05	1.00	0.68
中国麻业科学	0.405	15	-0.39	390	17	-0.72	20.10	19	4.14	0.48	0.33
中国稻米	0.402	16	-0.40	689	16	-0.51	25.50	18	6.24	0.62	0.77
花生学报	0.379	17	-0.43	363	18	-0.74	31.60	16	4.05	0.52	0.94
杂交水稻	0.349	18	-0.48	818	13	-0.42	26.00	17	4.62	0.67	0.95
种子	0.345	19	-0.48	1924	6	0.37	33.50	15	11.00	0.95	0.67
甘蔗糖业	0.190	20	-0.72	219	19	-0.84	13.70	20	2.81	0.24	0.41
RICE SCIENCE	0.175	21	-0.74	128	20	-0.91	34.00	14	3.19	0.67	0.84

来源于《2017年版中国科技期刊引证报告(核心版)》