

花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选

孙东雷¹, 卞能飞¹, 陈志德², 邢兴华¹, 徐泽俊¹, 齐玉军¹, 王晓军¹, 王 幸¹

(¹江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 徐州 221131; ²江苏省农业科学院经济作物研究所, 南京 210014)

摘要:为了解江苏花生种质资源的耐盐性, 挖掘耐盐种质资源, 本试验对 47 份花生种质材料进行耐盐性综合评价, 以发芽势、发芽指数、活力指数、发芽率、鲜重、相对含水量、干重的相对值为鉴定指标, 采用主成分分析、隶属函数法以及聚类分析方法, 对其进行萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选。结果表明, 花生种质材料萌发期的耐盐性强弱判定结果受多个指标影响, 相对含水量和鲜重可以作为花生种质萌发期耐盐性的最佳鉴定指标, 5 g/L NaCl 溶液可以作为花生萌发期耐盐性鉴定的合适浓度, 47 份花生材料划为 5 个耐盐级别, 筛选出 JP42、JP29、JP23、JP43、JP35、JP4 等 6 份耐盐性强的种质, JP27 和 JP98 为高度敏感材料, 隶属函数法结合耐盐分级可以作为一种简便快速鉴定花生萌发期耐盐性的方法。

关键词:花生; 萌发期; 耐盐; 隶属函数法; 综合评价

Comprehensive Evaluation of Salt Tolerance and Screening for Salt Tolerant Accessions of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) at Germination Stage

SUN Dong-lei¹, BIAN Neng-fei¹, CHEN Zhi-de², XING Xing-hua¹,

XU Ze-jun¹, QI Yu-jun¹, WANG Xiao-jun¹, WANG Xing¹

(¹Xuzhou Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District, Xuzhou 221131;

²Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014)

Abstract: In order to know the peanut germplasm resources in Jiangsu and explore salt tolerant resource. In this experiment, 47 peanut germplasm materials were treated with salt stress, and the principal component analysis, membership function and cluster analysis were used based on the relative value of germination rate, germination energy, germination index, vigor index, fresh weight, relative water content, dry weight. The results showed that salt tolerance evaluation of peanut lines was affected with multiple indexes, relative water content and fresh weight could be used as the evaluation indexes of salt tolerance in peanut germplasm, and 5 g/L NaCl solution could be used as the suitable concentration of salt tolerance in peanut germination. 47 peanut materials were divided into 5 levels of salt tolerance, JP42, JP29, JP23, JP43, JP35, JP4, and so on were screened out for the 6 salt tolerant germplasm. JP27 and JP98 were highly sensitive materials, and the method of membership function combined with salt tolerance could be used as a simple and rapid method for the identification of salt tolerance at germination stage.

Key words: peanut; germination stage; salt tolerance; membership function; comprehensive evaluation

盐碱地广泛分布于世界各地, 从酷热的赤道到严寒的两极, 从人口密集的沿海到杳无人烟的荒漠。随着全球气候逐渐变暖以及对现有土地的过度开

发, 土地的盐碱化趋势越来越不容乐观, 全球范围内很多土地因此失去了种植功能。我国盐碱土面积一直排在世界前列, 面积仅次于澳大利亚、俄罗斯、阿

收稿日期: 2017-04-20 修回日期: 2017-05-30 网络出版日期: 2017-10-17

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20171017.1122.020.html>

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(12)5076); 国家花生产业技术体系徐州综合试验站(CARS-13); 徐州市农业高新技术攻关项目(KC16NG068)

第一作者主要从事花生种质资源创新工作。E-mail: readingbent@163.com

通信作者: 王幸, 研究方向为花生栽培生理。E-mail: sxwangxing@126.com

根廷,约0.27亿hm²,其中盐碱耕地约0.07亿hm²,约占我国耕地面积的20%^[1],主要分布在降水量少、土壤蒸发大的干旱、半干旱地区以及东部滨海地区,严重制约着我国农业的发展。土壤盐碱化已成为仅次于干旱的农业生产的第二大非生物胁迫。提高农作物的抗盐性,通过耐盐作物来改良盐碱地被认为是具有生态和经济双重效应的解决方案^[2]。

花生作为重要的油料和经济作物,具有较强的适应性、抗逆性等优点。萌发期是植物生长最为关键的阶段,同时也是植物生长过程中最薄弱的环节。M. Farissi等^[3]研究指出苜蓿种子在萌发期和幼苗期的耐盐性敏感性强于其他时期。吴兰荣等^[4]研究表明盐胁迫下花生萌发期和幼苗期最敏感,其耐盐性随着花生生长发育逐渐提高。郭峰等^[5]发现随着花生盐害胁迫的加重,花生芽期的发芽率、发芽势等指标明显受到抑制。王秀贞等^[6]利用花生诱变材料在高浓度盐胁迫条件下筛选花生耐盐种质材料。王军等^[7]认为小麦品种耐盐性筛选最理想的生理指标是发芽率。孙璐等^[8]研究表明根长、鲜重和发芽率可以作为高粱萌发期耐盐性筛

选的主要鉴定指标。陈新等^[9]得出发芽率可作为裸燕麦萌发期耐盐性快速鉴定或种质资源初步筛选的鉴定指标。

本研究预实验的综合鉴定指标结果表明5g/L NaCl浓度能更好地反映不同品种耐盐性的差异。因此,选取5g/L NaCl为胁迫浓度,以花生萌发期的10个生理指标为鉴定指标,结合主成分分析、隶属函数法以及系统聚类,综合评价了5g/L NaCl盐胁迫下有代表性的47份花生材料萌发期的耐盐性,并筛选出耐盐性强的品种,此分析方法是目前条件下对盐碱地综合利用最为经济高效的方法,同时也为花生耐盐性的研究提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试花生种质资源材料共47份,包括40份江苏地方种质资源和7份徐花系列育成品种(表1),均为江苏徐淮地区徐州农业科学研究所油料室保存。为保证发芽率,试验材料为2016年田间资源圃收获种子。

表1 材料编号、名称及来源

Table 1 Material number, name and origins

编号 No.	品种名称 Variety name	来源地 Origin	编号 No.	品种名称 Variety name	来源地 Origin	编号 No.	品种名称 Variety name	来源地 Origin
JP1	丰县蔓花生	江苏丰县	JP26	淮安头洋	江苏淮安	JP42	宿迁三窝	江苏宿迁
JP2	丰县大二混子	江苏丰县	JP27	淮阴大花生	江苏淮阴	JP43	睢宁拖秧	江苏睢宁
JP4	沛县大麻花	江苏沛县	JP28	淮阴大乌	江苏淮阴	JP47	新沂大麻花	江苏新沂
JP9	海门麻壳花生	江苏海门	JP29	涟水二窝大睡秧	江苏涟水	JP65	新沂小二窝	江苏新沂
JP10	泰兴和尚头	江苏泰兴	JP30	涟水二窝大站秧	江苏涟水	JP89	邳县小果子	江苏邳州
JP11	涟水四粒洋	江苏涟水	JP31	涟水小三洋	江苏涟水	JP98	铜山站秧	江苏铜山
JP13	涟水小花生	江苏涟水	JP32	涟水大麻果	江苏涟水	JP148	东海三仁子	江苏东海
JP16	海门圆头花生	江苏海门	JP33	泗阳小秕顶	江苏泗阳	JP151	赣榆小站秧	江苏赣榆
JP17	涟水大洋果	江苏涟水	JP34	涟水二洋	江苏涟水	XH13	徐花13号	江苏徐州
JP18	启东光皮	江苏启东	JP35	涟水大洋	江苏涟水	XH14	徐花14号	江苏徐州
JP19	启东大光果	江苏启东	JP36	泗阳大鹰咀	江苏泗阳	XH15	徐花15号	江苏徐州
JP20	泰兴大花生	江苏泰兴	JP37	沐阳小乌子	江苏沐阳	XH17	徐花17号	江苏徐州
JP22	仪征大籽	江苏仪征	JP38	沐阳大乌	江苏沐阳	XH18	徐花18号	江苏徐州
JP23	江都大花生	江苏江都	JP39	宿迁拖秧-乙	江苏宿迁	XH19	徐花19号	江苏徐州
JP24	扬州大花生	江苏扬州	JP40	宿迁拖秧-甲	江苏宿迁	XH20	徐花20号	江苏徐州
JP25	邗江大花生	江苏邗江	JP41	宿迁二窝	江苏宿迁			

1.2 花生萌发期 NaCl 胁迫浓度的筛选及耐盐性鉴定

为明确花生萌发期耐盐性筛选的 NaCl 胁迫浓度,预试验选取不同栽培亚种的 10 份花生材料,设置 0(CK)、2.5 g/L、5.0 g/L、7.5 g/L 共 4 个梯度的 NaCl 盐溶液(由化学纯级 NaCl 和灭菌蒸馏水配制而成)。每个品种选取饱满无残缺、大小基本一致的种子 360 粒,先用 5% 的次氯酸钠水溶液浸泡消毒 15 min,立即用自来水清洗 3 次,灭菌蒸馏水冲洗 2 次,于纱布上摊开自然晾干。用 0(CK)、2.5 g/L、5.0 g/L、7.5 g/L 的 NaCl 盐溶液分别浸种 4 h,确保种子吸胀完全,然后迅速分装于铺有 2 层滤纸的培养皿(直径 12.5 cm)中,每个培养皿加入 15 mL 相对应的 NaCl 盐溶液,对照加入相同体积灭菌蒸馏水,3 次重复,每个培养皿 30 粒种子,放置于光照培养箱中进行萌发试验,培养条件设置为黑暗 24 h、昼夜温度 25 ℃、湿度 60%。为了保证试验的一致性和稳定性,试验期间按照 2 d 一个周期更换 NaCl 溶液或灭菌蒸馏水。从第 2 天开始每天统计发芽数,连续统计 6 d,种子发芽调查标准以种子露白后下胚轴 ≥ 3 mm 视为萌发^[10]。

依照上述培养方法,分别将 47 份花生种质在对照(CK)及筛选的 NaCl 胁迫液下培养,统计发芽数(方法同预试验),计算发芽率(GR, germination rate)、发芽势(GE, germination energy)、发芽指数(GI, germination index);并在第 7 天测量整皿试验材料的胚根长、鲜重(FW, fresh weight)、干重(DW, dry weight)、饱和重及相对含水量(RWC, relative water content)。

试验材料鲜重 1 是指胚根、胚芽、胚轴、子叶鲜重的总和,鲜重 2 是指胚根、胚芽、胚轴鲜重的总和;试验材料干重 1 是指胚根、胚芽、胚轴、子叶干重的总和,干重 2 是指胚根、胚芽、胚轴干重的总和。干重的测定方法:取试验材料鲜样放于烘干箱中,于 105 ℃ 下杀青 30 min,再于 80 ℃ 下烘干 48 h 至恒重,万分之一天平称重;饱和重的测定方法:取称过鲜重的试验材料,浸没于灭菌蒸馏水中 48 h 至恒重^[11],用吸水纸吸干表面水分,立即称重。

发芽率(%) = (第 7 天发芽的种子粒数/供试验的种子粒数) $\times 100$;

发芽势(%) = (第 2 天发芽的种子粒数/供试验的种子粒数) $\times 100$;

发芽指数 = $\sum (Gt/Dt)$, Gt 表示时间 t 的发芽数, Dt 表示相应的发芽日数^[12];

活力指数 = 发芽指数 \times 胚根长,其中,胚根长是指发芽第 7 天的胚根长度;

相对含水量(%) = [(鲜重-干重)/(饱和重-干重)] $\times 100$ ^[11];

耐盐系数 = 盐胁迫指标平均值/蒸馏水对照指标平均值。

1.3 数据统计分析

为了更好地综合评价不同品种之间的耐盐性差异,采用隶属函数法^[9]进行分析。

$$X_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin}) \quad (1)$$

$$V_j = \sqrt{\sum_1^i [X_{ij} - \bar{X}_{ij}]^2 / \bar{X}_{ij}} \quad (2)$$

$$W_j = V_j / \sum_1^i V_j \quad (3)$$

$$D = \sum_1^i [X_{ij} \times W_j] \quad (4)$$

公式(1) X_{ij} 中为各 i 材料基于鉴定指标 j 的隶属值, X_{jmax} 、 X_{jmin} 分别为供试材料中指标最大值和最小值, X_{ij} 表示为 i 种类 j 指标的测定值。公式(2)是标准差系数 V_j 的计算公式。公式(3)是归一化后各个耐盐指标的权重系数 W_j 的计算方法。公式(4)是花生种质耐盐综合评价值 D 的计算方法。

本研究采用 Excel 2013 对耐盐指标所得数据整理分析,并利用公式计算了耐盐综合指标 D 值。利用 SPSS 20.0 对耐盐指标试验数据进行描述统计分析、主成分分析、相关性分析以及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 花生种质萌发期盐胁迫浓度的筛选

从表 2 可知,除 CK 与 2.5 g/L NaCl 处理间发芽率和发芽势无显著差异外,其他浓度 NaCl 处理指标都存在显著差异。5 g/L NaCl 处理与其他处理均存在显著差异,能较好地反映各品种萌发期的耐盐性差异。接着用 12.5 g/L、15.0 g/L、17.5 g/L 的 NaCl 胁迫液对上述试验材料进行致死验证实验,试验结果与 5 g/L NaCl 胁迫液试验结果趋势一致。因此,5 g/L 的 NaCl 浓度适宜作花生耐盐性鉴定分类。

2.2 花生种质萌发期耐盐系数的差异

与绝对值相比,相对值排除了品种本身的差异因素,能更好地解释不同花生种质萌发期耐盐系数的差异。从表 3 可知,47 份花生种质资源的相对发芽势(RGE)、相对发芽率(RGR)、相对发芽指数(RGI)、相对活力指数(RVI)、相对鲜重 1(RFW1)、相对鲜重 2(RFW2)、相对含水量 1(RWC1)、相对含水量 2(RWC2)、相对干重 1(RWD1)和相对干重 2(RWD2)

差异明显,其中 RGE 变化幅度为 22.48% ~ 89.18%, RGR 变化幅度为 60.44% ~ 105.74%, RGI 变化幅度为 39.08% ~ 94.12%, RVI 变化幅度为 10.34% ~ 73.69%, RFW1 变化幅度为 57.94% ~ 91.26%, RFW2

变化幅度为 31.46% ~ 82.67%, RWC1 变化幅度为 57.72% ~ 90.55%, RWC2 变化幅度为 31.87% ~ 83.85%, RWD1 变化幅度为 74.52% ~ 112.21%, RWD2 变化幅度为 37.36% ~ 134.29%。

表 2 不同 NaCl 浓度处理对花生萌发指标的影响

Table 2 Effects of NaCl concentrations on peanut germination index

NaCl 浓度(g/L) NaCl concentration	发芽率(%) Germination rate	发芽指数(%) Germination index	发芽势(%) Germination energy	活力指数(%) Vigor index
0(CK)	97.5 ± 5.1 a	29.9 ± 4.1 a	69.0 ± 14.6 a	182.1 ± 37.3 a
2.5	95.7 ± 11.4 a	26.6 ± 5.9 b	57.3 ± 16.9 a	128.5 ± 39.1 b
5.0	84.7 ± 12.5 b	20.9 ± 6.1 c	33.8 ± 21.0 b	73.5 ± 33.1 c
7.5	69.0 ± 16.5 c	10.7 ± 3.7 d	12.8 ± 9.1 c	14.0 ± 8.2 d

同一列相同字母表示 5% 水平差异不显著

The same letters at the same column indicate no significant at 5% level

表 3 5 g/L NaCl 胁迫下相对性状的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics of relative traits under 5 g/L NaCl treatment

项目 Item	平均值 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 SD	变异系数 (%) CV
相对发芽势(%) RGE	53.83	89.18	22.48	15.75	29.26
相对发芽率(%) RGR	94.34	105.74	60.44	8.20	8.69
相对发芽指数(%) RGI	65.33	94.12	39.08	10.65	16.30
相对活力指数(%) RVI	42.22	73.69	10.34	9.85	23.33
相对鲜重 1(%) RFW1	77.63	91.26	57.94	7.24	9.32
相对鲜重 2(%) RFW2	61.44	82.67	31.46	13.21	21.50
相对含水量 1(%) RWC1	78.07	90.55	57.72	7.25	9.28
相对含水量 2(%) RWC2	60.24	83.85	31.87	12.82	21.28
相对干重 1(%) RDW1	97.01	112.21	74.52	7.10	7.32
相对干重 2(%) RDW2	61.42	134.29	37.36	15.87	25.84

RGE: Relative germination energy, RGR: Relative germination rate, RGI: Relative germination index, RVI: Relative vigor index, RFW1: Relative fresh weight 1, RFW2: Relative fresh weight 2, RWC1: Relative water content 1, RWC2: Relative water content 2, RDW1: Relative dry weight 1, RDW2: Relative dry weight 2, the same as below

2.3 盐胁迫对花生各性状影响情况的主成分分析

从 47 份花生种质资源的萌发期盐胁迫 10 个特性指标看,不同花生品种对盐胁迫的萌发特性的响应数据总体偏离散,为了把这些错综复杂的关系正确整理,用多元统计的方法把离散的数据标准化处

理,从而便于对样品特性的相似性进行评价^[9]。主成分分析主要是用少数综合指标来代表众多指标,综合后的新指标变为原来指标的主成分,彼此相互独立,又能反映多指标的大部分信息。

从表 4 中可以看出,本研究从花生萌发期耐盐

性 10 个特征根中提取了 3 个较大的主成分及相应的特征向量^[13],第 1 主成分的贡献率为 43.039%,第 2 主成分的贡献率为 23.606%,第 3 主成分的贡献率为 11.574%,前 3 个主成分的累计贡献率达到了 78.219%。

表 4 3 个因子的特征值及贡献率

Table 4 Eigen values of 3 principal components and their contribution and cumulative contribution

参数 Parameter	主成分 Principal component		
	1	2	3
特征值 Eigen value	4.304	2.361	1.157
贡献率(%) Contribution	43.039	23.606	11.574
累计贡献率(%) Cumulative contribution	43.039	66.645	78.219

3 个主成分与 10 个耐盐性状的相关系数(因子载荷矩阵)如表 5 所示。第 1 主成分主要反映的是相对含水量以及相对鲜重的情况,其与相对含水量 1 的相关系数最大,达到了 0.945,与相对鲜重 2、相对含水量 2、相对鲜重 1 的相关系数分别为 0.929、0.924 和 0.895。这 4 个性状和花生萌发期组织保水性能呈正相关,可以归为组织含水因子。因此,在 5 g/L NaCl 盐胁迫下,相对含水量和相对鲜重这 2 个指标可作为评价花生品种耐盐性的主要鉴定指标。第 2 主成分与相对发芽指数、

表 6 综合评价 D 值与萌发期各指标耐盐系数的相关性

Table 6 Correlation between evaluation index D and salt-tolerance coefficient during germination stage

相关系数 Correlation coefficient	相对发芽势 RGE	相对发芽率 RGR	相对发芽指数 RGI	相对活力指数 RVI	相对鲜重 1 RFW1	相对鲜重 2 RFW2	相对含水量 1 RWC1	相对含水量 2 RWC2	相对干重 1 RWD1	相对干重 2 RWD2
相对发芽势	1									
相对发芽率	0.385 **	1								
相对发芽指数	0.507 **	0.703 **	1							
相对活力指数	0.342 **	0.554 **	0.500 **	1						
相对鲜重 1	-0.102	0.273	-0.054	0.333 *	1					
相对鲜重 2	-0.023	0.205	-0.163	0.481 **	0.832 **	1				
相对含水量 1	-0.110	0.350 *	0.003	0.435 **	0.967 **	0.868 **	1			
相对含水量 2	-0.018	0.235	-0.157	0.489 **	0.796 **	0.984 **	0.854 **	1		
相对干重 1	-0.016	0.125	0.091	-0.100	0.271	0.026	0.217	-0.007	1	
相对干重 2	-0.172	0.174	0.003	0.277	0.335 *	0.416 **	0.392 **	0.435 **	0.018	1
D 值 D value	0.342 *	0.615 **	0.359 *	0.717 **	0.762 **	0.794 **	0.812 **	0.840 **	0.265	0.528 **

*:0.05 水平下显著差异; **:0.01 水平下极显著差异

*:significant difference at 0.05 level, **:significant difference at 0.01 level

相对发芽率、相对发芽势有较高的正相关关系,相关系数分别为 0.909、0.733 和 0.731。这 3 个性状和种子本身的活力有密切关系,可以归为萌发因子。第 3 主成分与各指标的相关系数中,相对于干重 1 的负荷量最大,为 0.939,第 3 主成分的贡献率只有 11.574%。

表 5 各因子载荷矩阵

Table 5 Loading matrix of each component

相关系数 Correlation coefficient	主成分 Principal component		
	1	2	3
相对含水量 1 RWC1	0.945	-0.149	0.152
相对鲜重 2 RFW2	0.929	-0.227	-0.138
相对含水量 2 RWC2	0.924	-0.209	-0.175
相对鲜重 1 RFW1	0.895	-0.205	0.229
相对活力指数 RVI	0.621	0.539	-0.296
相对发芽指数 RGI	0.098	0.909	0.118
相对发芽率 RGR	0.459	0.733	0.129
相对发芽势 RGE	0.035	0.731	-0.093
相对干重 1 RWD1	0.145	0.011	0.939
相对干重 2 RWD2	0.517	-0.116	-0.153

2.4 花生种质资源萌发期的耐盐性综合评价

对盐胁迫下 47 份花生种质资源 10 个性状的相对值进行了相关性分析,性状之间的相关性如表 6 所示,多数性状差异显著。相对鲜重 2 和相对含水

量2、相对鲜重1和相对含水量1之间的相关性最高,其相关系数分别达到了0.984**和0.967**。相对鲜重2与相对鲜重1、相对含水量1之间的相关性达到了极显著水平,其相关系数分别达到了0.832**和0.868**。相对含水量2与相对鲜重1之间的相关系数也达到了0.796**。相对活力指数、相对发芽指数与相对发芽率也有着极显著的相关性,相关性系数分别为0.554**和0.703**。相对活力指数、相对发芽势与相对发芽指数之间的相关性也到达了极显著水平,相关系数分别为0.500**和0.507**。相对活力指数和相对鲜重2、相对含水量

1和相对含水量2之间的相关性也达到了极显著水平,相关系数分别为0.481**、0.435**和0.489**。

为了综合解释花生种质材料耐盐性,本研究采用隶属函数法分别获得了47份试验材料的隶属函数值 X_{ij} (公式1),通过公式2和公式3计算出RGE(x1)、RGR(x2)、RGI(x3)、RVI(x4)、RFW1(x5)、RFW2(x6)、RWC1(x7)、RWC2(x8)、RWD1(x9)、RWD2(x10)的权重系数矩阵(0.119、0.058、0.106、0.089、0.098、0.106、0.095、0.142、0.081、0.107)。根据公式4将隶属函数值矩阵与权重系数矩阵复合计算最终获得47份花生种质材料耐盐性综合评价D值(表7)。

表7 试验材料耐盐系数隶属函数值、综合评价D值以及排名

Table 7 The salt tolerance coefficient membership function value, evaluation index D value and ranking of materials

编号 Code	隶属函数值 Membership function value										D 值 D value	排名 Ranking
	相对 发芽势 RGE	相对 发芽率 RGR	相对 发芽 指数 RGI	相对 活力 指数 RVI	相对 鲜重1 RFW1	相对 鲜重2 RFW2	相对 含水量1 RWC1	相对 含水量2 RWC2	相对 干重1 RWD1	相对 干重2 RWD2		
	JP2	0.651	0.589	0.568	0.684	0.433	0.515	0.467	0.505	0.191		
JP9	0.664	0.609	0.470	0.479	0.285	0.479	0.358	0.508	0.047	0.442	0.442	31
JP10	0.581	0.774	0.507	0.586	0.639	0.505	0.606	0.705	0.542	0.275	0.566	13
JP11	0.585	0.771	0.601	0.599	0.406	0.452	0.445	0.586	0.409	0.270	0.506	22
JP13	0.572	0.740	0.629	0.565	0.567	0.556	0.623	0.706	0.404	0.318	0.568	12
JP16	0.693	0.839	0.743	0.743	0.451	0.422	0.474	0.505	0.430	0.193	0.536	18
JP18	0.644	0.866	0.522	0.565	0.670	0.628	0.655	0.596	0.452	0.402	0.590	8
JP19	0.270	0.680	0.467	0.485	0.354	0.340	0.357	0.370	0.363	0.194	0.371	40
JP20	0.211	0.705	0.428	0.516	0.488	0.561	0.511	0.459	0.280	0.268	0.429	35
JP22	0.332	0.622	0.492	0.436	0.332	0.317	0.296	0.319	0.422	0.145	0.355	43
JP23	0.727	0.801	0.678	0.467	0.712	0.693	0.755	0.725	0.373	0.470	0.644	4
JP24	0.336	0.767	0.475	0.529	0.620	0.484	0.634	0.379	0.515	0.406	0.493	26
JP26	0.436	0.774	0.488	0.469	0.605	0.602	0.637	0.738	0.454	0.288	0.545	16
JP27	0.299	0.289	0.028	0.267	0.160	0.241	0.168	0.132	0.256	0.196	0.197	47
JP28	0.596	0.801	0.450	0.511	0.491	0.475	0.465	0.424	0.424	0.188	0.467	29
JP29	0.604	0.797	0.573	0.556	0.607	0.608	0.614	1.013	0.456	0.313	0.624	5
JP30	0.259	0.801	0.468	0.558	0.625	0.515	0.633	0.441	0.585	0.393	0.504	23
JP31	0.559	0.801	0.554	0.563	0.607	0.591	0.665	0.720	0.335	0.400	0.579	11
JP32	0.380	0.740	0.624	0.514	0.631	0.579	0.612	0.719	0.519	0.515	0.580	10
JP33	0.754	0.747	0.505	0.497	0.441	0.496	0.526	0.678	0.404	0.398	0.547	15
JP34	0.566	0.804	0.598	0.575	0.579	0.542	0.593	0.616	0.313	0.257	0.539	17
JP35	0.613	0.829	0.505	0.697	0.816	0.759	0.788	0.949	0.482	0.351	0.682	2
JP36	0.413	0.767	0.516	0.494	0.540	0.548	0.584	0.529	0.538	0.511	0.531	19
JP37	0.491	0.767	0.435	0.392	0.452	0.402	0.484	0.323	0.438	0.284	0.428	36
JP38	0.320	0.298	0.107	0.237	0.404	0.443	0.395	0.393	0.361	0.209	0.319	44

表 7(续)

编号 Code	隶属函数值 Membership function value										D 值 D value	排名 Ranking
	相对 发芽势	相对 发芽率	相对 发芽 指数 RGI	相对 活力 指数 RVI	相对 鲜重 1 RFW1	相对 鲜重 2 RFW2	相对 含水量 1 RWC1	相对 含水量 2 RWC2	相对 干重 1 RWD1	相对 干重 2 RWD2		
	RGE	RGR	指数 RGI	指数 RVI	RFW1	RFW2	RWC1	RWC2	RWD1	RWD2		
JP39	0.311	0.740	0.358	0.543	0.552	0.657	0.572	0.688	0.474	0.444	0.527	20
JP40	0.350	0.587	0.300	0.380	0.329	0.362	0.383	0.342	0.393	0.267	0.357	42
JP41	0.558	0.740	0.409	0.496	0.490	0.531	0.515	0.643	0.399	0.354	0.511	21
JP42	0.473	0.774	0.439	0.626	0.686	0.723	0.746	0.891	0.436	0.398	0.622	6
JP43	0.502	0.804	0.556	0.559	0.806	0.711	0.801	0.789	0.620	0.402	0.650	3
XH13	0.487	0.689	0.318	0.514	0.782	0.703	0.730	0.726	0.470	0.407	0.582	9
XH14	0.831	0.809	0.878	0.480	0.583	0.270	0.550	0.171	0.537	0.139	0.501	24
XH15	0.797	0.804	0.799	0.204	0.032	0.069	0.030	0.073	0.433	0.077	0.311	45
XH17	0.962	0.835	0.714	0.298	0.358	0.245	0.296	0.235	0.685	0.161	0.460	30
XH18	0.235	0.767	0.622	0.315	0.574	0.238	0.538	0.218	0.172	0.187	0.363	41
XH19	0.514	0.944	1.051	0.599	0.311	0.163	0.362	0.166	0.425	0.194	0.441	32
XH20	0.636	0.829	0.858	0.509	0.472	0.277	0.477	0.333	0.587	0.231	0.500	25
JP1	0.877	0.770	0.865	0.425	0.251	0.280	0.215	0.124	0.345	0.224	0.422	38
JP4	0.842	0.777	1.177	0.969	0.521	0.669	0.561	0.771	0.440	0.379	0.716	1
JP17	0.279	0.680	0.518	0.415	0.638	0.580	0.636	0.314	0.368	0.453	0.471	28
JP25	0.079	0.734	0.516	0.396	0.745	0.649	0.791	1.001	0.625	0.372	0.591	7
JP47	0.335	0.801	0.772	0.671	0.275	0.247	0.437	0.241	0.539	0.280	0.430	34
JP65	0.355	0.707	0.575	0.506	0.251	0.197	0.261	0.467	0.389	0.629	0.424	37
JP89	0.640	0.749	0.470	0.450	0.400	0.274	0.411	0.329	0.600	0.196	0.432	33
JP98	0.161	0.125	0.318	0.000	0.431	0.243	0.332	0.076	0.596	0.165	0.236	46
JP148	0.292	0.831	0.750	0.386	0.579	0.526	0.603	0.788	0.584	0.321	0.559	14
JP151	0.213	0.814	0.562	0.342	0.378	0.342	0.426	0.262	0.400	0.345	0.382	39

对花生种质 10 个耐盐鉴定指标的耐盐系数与综合评价 D 值进行相关性分析,结果如表 6 所示,综合评价 D 值与 10 个指标的耐盐系数均呈正相关关系,与 RGR、RVI、RFW1、RFW2、RWC1、RWC2 以及 RWD2 呈极显著正相关,与 RGE、RGI 呈显著正相关,表明 D 值可以作为花生种质耐盐性的综合评价指标,D 值越大综合耐盐性越强。由表 7 可知,47 份花生种质材料综合评价 D 值范围为 0.197 ~ 0.716,JP4 综合评价 D 值最大,耐盐性最强,JP27 综合评价 D 值最小,耐盐性最弱。

2.5 花生种质资源萌发期耐盐性的聚类分析

基于 47 份花生种质资源的耐盐性综合评价 D 值,对供试花生种质进行聚类分析。在欧式距离为

10 处,47 份花生种质材料依据耐盐性可以分为 5 个类群,依据综合评价 D 值大小分别归为 5 个耐盐级别(表 8),JP42 等 6 份材料归为高度耐盐(1 级),占供试材料总数的 12.8%;JP39 等 14 份材料归为耐盐(2 级),占供试材料总数的 29.8%;JP9 等 18 份材料归为中等耐盐级别(3 级),占供试材料总数的 38.3%;XH15 等 7 份材料归为敏感级别(4 级),占供试材料总数的 14.9%;JP27 和 JP98 归为高敏级别(5 级),占供试材料总数的 4.3%。从上述比例可以看出,中间类型多,两端分布少,符合正态分布,因而这种划分方式是合理的。其中,属于高耐的 6 份材料,其 10 个耐盐性鉴定指标的耐盐系数都在平均水平之上。

表 8 基于 D 值对 47 份花生种质耐盐性的分级结果

Table 8 Classification of salt tolerance of 47 peanut accessions based on the D value

级别 Grade	D 值变化范围 Range of D value	相对耐盐性 Relative tolerance	材料数量 Quantity of material	编号 Code
1	0.622 ~ 0.716	高耐	6	JP42、JP29、JP23、JP43、JP35、JP4
2	0.527 ~ 0.590	耐盐	14	JP39、JP36、JP16、JP34、JP26、JP33、JP148、JP10、JP13、JP31、JP32、XH13、JP18、JP25
3	0.422 ~ 0.511	中耐	18	JP1、JP65、JP37、JP20、JP47、JP89、XH19、JP9、XH17、JP28、JP17、JP2、JP24、XH20、XH14、JP30、JP11、JP41
4	0.311 ~ 0.382	敏感	7	XH15、JP38、JP22、JP40、XH18、JP19、JP151
5	0.197 ~ 0.236	高敏	2	JP27、JP98

3 讨论

3.1 种子萌发与耐盐鉴定

花生的适应性较强,耐肥耐瘠耐旱,在国内的种植范围广泛,但是系统地对花生耐盐性的研究并不多,不同花生品种对盐胁迫的响应不同,能够有效评价花生耐盐性的指标也有待探讨。评价花生各个生育阶段的耐盐性有多种方法,比如水培、人工盐池、田间鉴定以及萌发期耐盐性鉴定等,其中水培鉴定材料有限、周期长,人工盐池和田间鉴定由于盐分分配不均对鉴定结果影响很大。

花生种子萌发期可以敏感感知外界环境^[4,14],并可以在短时间内对大批量的试验材料进行有效鉴定,具有短周期、强操作性、高效率的特点,是花生耐盐性鉴定以及初步评价的重要时期^[15]。相关类似研究表明玉米^[16]、小麦^[17]和粟类^[18-19]等作物萌发期和植株生长后期的耐盐性是一致的。

3.2 萌发期耐盐性综合评价

本试验设计从盐碱地种植实际情况出发,花生种质材料一直处于盐胁迫的环境中。耐盐指标通常以作物的生长反应为标准,耐盐性指标选用越多,越能反映作物本身的耐盐性^[20]。刘永惠等^[21]研究认为以发芽率、发芽势、发芽指数综合评价花生耐盐能力更可靠。孙璐^[22]研究表明根长、叶重和发芽率可用于大批量高粱品种耐盐性的评价。朱世杨等^[23]认为发芽势、发芽指数、活力指数、根长可以作为花椰菜萌发期耐盐性筛选的指标。朱春燕等^[24]利用主成分分析得出发芽势、发芽率、发芽指数这 3 个指标可以作为甜瓜筛选耐盐品种的鉴定指标。本研究对 47 份花生种质材料萌发期的耐盐指标进行主成分分析,将 10 个鉴定指标归为三大类,相对含水量、相对鲜重、相对

活力指数 3 个鉴定指标与花生萌发期耐盐性有较好的相关性。

与前人研究不同的是,本研究不仅调查了花生萌发期常规指标,包括活力指数、发芽指数、发芽率以及发芽势;考虑到盐害属于生理性干旱,也首次测定了相对含水量这个指标,并且研究结果表明相对含水量是花生对盐胁迫的最主要的响应因子,目前还未见这方面的报道。相对含水量是反应植物本身的保水性能的指标,植物组织本身有较高的保水性能,才能更好地完成自身的生理反应,表现更好的耐盐性。鲜重也是花生对盐胁迫非常关键的响应因子,张智猛等^[25]研究认为花生鲜质量可以作为品种耐盐性鉴定的首选指标,与本研究的结果一致。发芽率、发芽势以及发芽指数除了受盐胁迫的影响,还与种子本身的活力有关,因而选择相对含水量和相对鲜重作为评价花生耐盐性的鉴定指标更合理。

关于作物耐盐性的评价方法很多,常用的有盐害率、聚类分析、平均隶属函数法等。隶属函数法在燕麦^[9]、番茄^[26]以及小麦^[27]等植物的耐盐性研究已经应用。由于本试验评价耐盐的指标较多,如果忽略了权重因素会导致评价结果的不准确。本研究采用的隶属函数法,通过赋值给 10 个耐盐性指标以权重,通过综合矩阵运算与排序,提高不同指标间的可比性,更好地定量评价每个品种,可以更科学、更有效地通过综合评价 D 值来评价作物的耐盐性。根据综合评价 D 值与萌发期各指标耐盐系数的相关性可以看出,相对含水量和鲜重这两个指标与耐盐性综合评价 D 值相关性最高,发芽率和活力指数次之,与主成分分析结果一致。

4 结论

相对含水量和相对鲜重可以作为花生种质萌发期耐盐性的主要鉴定指标,5 g/L NaCl 溶液可以作为花生萌发期耐盐性鉴定的合适浓度。通过隶属函数法和聚类分析将 47 份花生材料划为 5 个耐盐级别,JP42 等 6 份材料归为高度耐盐(1 级),JP39 等 14 份材料归为耐盐(2 级),JP9 等 18 份材料归为中等耐盐级别(3 级),XH15 等 7 份材料归为敏感级别(4 级),JP27 和 JP98 归为高敏级别(5 级)。筛选出 JP42、JP29、JP23、JP43、JP35、JP4 共 6 份耐盐性强的花生种质。

参考文献

- [1] 王纶,王王玉,温琪汾,等. 中国黍稷种质资源耐盐性鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2007,8(4):426-429
- [2] 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
- [3] Farissi M, Bouizgaren A, Faghire M, et al. Agro-physiological responses of Moroccan alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations to salt stress during germination and early seedling stages[J]. Seed Sci Technol, 2011, 39(2):389-401
- [4] 吴兰荣,陈静,许婷婷,等. 花生全生育期耐盐鉴定研究[J]. 花生学报,2005,34(1):20-24
- [5] 郭峰,万书波,李新国,等. NaCl 胁迫对花生种子萌发的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(3):177-181
- [6] 王秀贞,王传堂,唐月异,等. 花生诱变材料及品系芽期耐盐性鉴定[J]. 花生学报,2011,40(4):13-18
- [7] 王军,李筠,王龙,等. 不同基因型小麦品种(系)耐盐性筛选[J]. 江苏农业科学,2009(3):77-79
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 李瀚,杨吉顺,张冠初,等. 花生品种萌发期耐盐性比较鉴定[J]. 花生学报,2015,44(4):48-52
- [11] 王韶唐,荆家海,丁钟荣. 植物生理学实验指导[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1986:1-2
- [12] 杨福,梁正伟,王志春. 水稻耐盐碱鉴定标准评价及建议与展望[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(4):625-628
- [13] 宋江峰,李大婧,刘春泉,等. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学,2010,43(10):2122-2131
- [14] Badigannavar A M, Mondal S, Murty G S S. Induction of salt tolerance for radicle growth in groundnut through gamma ray mutagenesis[J]. Barc Newsletter, 2007, 285:226
- [15] 阎志红,刘文革,赵胜杰,等. NaCl 胁迫对不同西瓜种质资源发芽的影响[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(2):220-225
- [16] Maiti R K, Maiti L E, Maiti S, et al. Genotypic variability in maize cultivars (*Zea mays* L.) for resistance to drought and salinity at the seedling stage[J]. J Plant Physiol, 1996, 148(6):741-744
- [17] 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
- [18] Kebebew F, McNeilly T. Variation in response of accessions of minor millets, *Pennisetum americanum* (L.) Leeke (pearl millet) and *Eragrostis coracana* (L.) Gaertn (finger millet), and *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter (tef) to salinity in early seedling growth[J]. Plant Soil, 1995, 175(2):311-321
- [19] 田伯红,王素英,李雅静,等. 谷子地方品种发芽期和苗期对 NaCl 胁迫的反应和耐盐品种筛选[J]. 作物学报,2008,34(12):2218-2222
- [20] Flowers T J. Improving crop salt tolerance[J]. J Exper Bot, 2004, 55(396):307-319
- [21] 刘永惠,沈一,陈志德,等. 不同花生品种(系)萌发期耐盐性的鉴定与评价[J]. 中国油料作物学报,2012,34(2):168-173
- [22] 孙璐. 高粱耐盐品种筛选及耐盐机制研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2012
- [23] 朱世杨,张小玲,罗天宽,等. 花椰菜种质资源萌发期耐盐性综合评价[J]. 核农学报,2012,26(2):380-390
- [24] 朱春燕,黄丹枫,蔡保松,等. 甜瓜品种资源萌发期耐盐性及其指标评价[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2011(6):504-508
- [25] 张智猛,慈敦伟,丁红,等. 花生品种耐盐性指标筛选与综合评价[J]. 应用生态学报,2013,24(12):3487-3494
- [26] 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
- [27] 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