

DOI: 10.5846/stxb201304080638

慈敦伟, 张智猛, 丁红, 宋文武, 符方平, 康涛, 戴良香. 花生苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选. 生态学报, 2015, 35(3): 805-814.

Ci D W, Zhang Z M, Ding H, Song W W, Fu F P, Kang T, Dai L X. Evaluation and selection indices of salinity tolerance in peanut seedling. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 805-814.

花生苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选

慈敦伟, 张智猛, 丁 红, 宋文武, 符方平, 康 涛, 戴良香*

山东省花生研究所, 青岛 266100

摘要:评价鉴定耐盐品种对于盐碱地花生生产具有重要意义。采用盆栽试验, 设置不同盐胁迫浓度, 对 200 个花生品种(系)萌发至幼苗期通过出苗速度、植株形态和生物量等指标进行耐盐性系统评价。结果表明, 随盐胁迫浓度的增加, 出苗时间延长, 植株形态建成抑制加重, 物质积累减少。鉴定花生品种耐盐性强弱的适宜盐胁迫浓度为 0.30%—0.45%, 超过此浓度不能出苗。地上部形态和生物量可作为耐盐评价的首选指标, 主根长和出苗速度可作为辅助指标用以判断花生品种的综合耐盐能力。200 个品种(系)在不同盐胁迫浓度下均可分成高度耐盐型、耐盐型、盐敏感型和高度盐敏感型 4 组。耐盐品种数量随盐胁迫强度加大而下降, 盐敏感品种数量则上升。0.15% 浓度下 200 个品种全部出苗, 4 个类型品种数分别占供试材料的 29.0%、39.0%、27.5% 和 4.5%; 0.30% 浓度下 185 个品种出苗, 4 个类型品种数分别占供试材料的 5.5%、34.5%、23.5% 和 29.0%; 0.45% 浓度下 107 个品种出苗, 4 个类型品种数分别占供试材料的 5.5%、5.5%、20.0% 和 22.5%。14 个品种在各盐浓度胁迫下均表现耐性, 10 个品种在各盐浓度胁迫下均表现敏感, 为花生耐盐机理研究及生产应用提供了不同类型材料。

关键词:花生; 盐胁迫; 指标; 主成分分析; 聚类分析

Evaluation and selection indices of salinity tolerance in peanut seedling

CI Dunwei, ZHANG Zhimeng, DING Hong, SONG Wenwu, FU Fangping, KANG Tao, DAI Liangxiang*

Shandong Peanut Research Institute, Qingdao 266100, China

Abstract: Soil salinity has become the most important problems for agricultural production. The damaging effect of salt accumulation in agricultural soils has become an important environmental concern. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) is an economically important oil seed crop in the world. The supply for the world peanut production could not meet the increasing demand for peanut oil and food in recent years. To date, due to the increase in the area of land planted with alimentary crops, peanut planting was decreased. Therefore, it is important to evaluate and select salinity tolerant varieties for peanut production in saline land. In the present study, the degree of salinity tolerance of two hundred peanut materials including germplasm resources and varieties was investigated from emergence to seedling stage. The seeds of peanut were pot-planted with salinity levels of 0, 0.15%, 0.30% and 0.45% NaCl in the soil. The degree of salinity tolerance was systematically evaluate to select high salinity tolerant varieties according to the 10 indices including relative emergence rate, relative plant height, relative stem height, relative taproot length, relative shoot fresh mass, relative root fresh mass, relative shoot dry mass, relative root dry mass and relative plant dry mass. The results showed that the emergence time was prolonged in the treatments with high soil salinity; and plant morphology establishment and biomass accumulation were inhibited seriously. Statistic analysis for the 10 indices showed large variations among the 200 varieties, but each index showed a normal distribution trend. The optimal salinity level for evaluating salinity tolerance in peanut was from 0.30% to 0.45% NaCl.

基金项目:青岛市科技支撑计划项目(11-2-3-38-nsh); 青岛市科技计划基础研究项目(13-1-4-173-jch); 山东省现代农业产业技术体系花生创新团队项目

收稿日期: 2013-04-08; 网络出版日期: 2014-04-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangxiangd@163.com

Peanut seeds could not emerge when the soil salinity level exceeded 0.45% NaCl. Principal component analysis was used to extract the effective information for salinity tolerance evaluation because of the significance of relation among the ten indices. The shoot morphology and biomass could be used as the first candidates for evaluating salinity tolerance in peanut varieties/lines, and the taproot length and emergence rate could be used as the second candidates to comprehensively evaluate salinity tolerance. According to the total score, the 200 varieties were divided into 4 groups, i.e., high salinity tolerance, salinity tolerance, salinity sensitive and high salinity sensitive, by cluster analysis at soil salinity level of 0.15%, 0.30% and 0.45% NaCl, respectively. The number of salinity tolerant varieties was decreased with the increasing salinity level, while the number of salinity sensitive varieties was increased. Two hundred varieties/lines could emerge under soil salinity level of 0.15% NaCl and accounted for 29.0%, 39.0%, 27.5% and 4.5% in high salinity tolerance group, salinity tolerance group, salinity sensitive group and high salinity sensitive group, respectively. One hundred and eighty-five varieties/lines could emerge under soil salinity level of 0.30% NaCl and accounted for 5.5%, 34.5%, 23.5% and 29.0%, respectively, in each group. One hundred and seven varieties/lines could emerge under soil salinity level of 0.45% NaCl and accounted for 5.5%, 5.5%, 20.0% and 22.5%, respectively, in each group. Especially, fourteen varieties/lines (Luhua 11, HLY2, Huayu 32, 561, Yueyou 26, Yueyou 85, Xianghua 11, Xiangxiang, XE019, 555, Fuhua 11, Yueyou 186, 543 and HZ13) showed tolerance and 10 varieties/lines (Yuhua15, Z8, Z6, Huayu 24, Weihua 6, 1018, Silihong, D1035, HR4 and Yueyou 101) showed sensitive under soil salinity levels of 0.15%, 0.30% and 0.45% NaCl, which could be provided for further research on salinity tolerant mechanism and production application in peanut plant.

Key Words: *Arachis hypogaea* L.; salinity stress; index; principal component analysis; cluster analysis

花生(*Arachis hypogaea* L.)是重要的油料作物和经济作物^[1]。近年来我国食用植物油消费量以每年大于10%的幅度增加,供需矛盾呈加剧之势,同时油料作物与粮食作物争地的矛盾亦日益突出。我国盐碱土面积约 1.0×10^7 hm²,占耕地面积的6.2%,目前有80%左右尚未得到利用^[2-3]。在充分挖掘高产田高产潜力的同时,加大盐碱地的改造利用,对于扩大花生种植面积,改善种植结构,增加创收和保障食用油脂安全具有重要意义。

作物种质资源的多样性越丰富,改良栽培品种或选育新品种的潜力就越大^[4-5],在盐碱地种植主要田间作物的耐盐基因型或基因系是最经济可行及高效的措施^[6-7]。关于小麦、玉米、棉花等作物耐盐品种的筛选研究目前都取得了很大进展,建立了耐盐性鉴定的标准和方法,并筛选出一批耐盐性强的种质^[8-10]。花生属中等耐盐作物^[11],关于花生耐盐评价及耐盐种质鉴定方面的研究少见报道,且已有研究选用品种数量和评价指标较少,且多采用水培方法集中在芽期或苗期的某一阶段,鉴定时间短^[12-16],不能系统评价花生品种整个生育前期的耐盐差异。本研究根据滨海盐碱地0—20 cm土层盐含量背景值,设置轻度、中度和重度不同盐胁迫浓度,研究其对200个花生品种(系)出苗速度、植株生长发育的形态和生物量等指标的影响,以确定花生耐盐鉴定的适宜浓度和指标,对花生品种(系)的耐盐性进行系统评价,并鉴定耐盐品种,为明确花生耐盐特性及耐盐品种应用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

200个供试花生品种(系)(表1),包括部分种质资源和国内育种单位育成的品种(系)。

1.2 试验设计

试验为2因素设计,浓度为主因素,品种为副因素。采用室内盆栽方法,光照周期为12 h/12 h,有效光量子密度为 $110 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,昼夜温度为25℃/20℃,光暗相对湿度为(65±5)%。塑料盆高15.0 cm,内径18.7 cm,每盆装风干土770 g。盆栽土壤基础肥力状况:有机质16.7 g/kg,全氮1.81 g/kg,全磷0.81 g/kg,全钾

10.53 g/kg,水解氮 89.3 mg/kg,速效磷(P_2O_5) 49.6 mg/kg,速效钾(K_2O) 93.6 mg/kg,土壤 pH 值为 7.6,土壤吸湿水含量 5.12%,田间持水量 25.86%,土壤容重 1.13 g/cm^3 。盐胁迫处理设置 0、0.15%、0.30%、0.45% 和 0.50% 等 5 个轻度、中度和重度盐胁迫浓度,4 次重复。以分析纯 NaCl 配置不同浓度盐溶液,于播种前施入各盆栽土壤中,使土壤含盐量分别达到预定浓度。依据田间持水量计算每盆的浇水量,使其刚好达到田间持水量的 90%,加盐浇水处理后使盆栽土壤在室内沉实、蒸发,达到适宜播种墒情后进行播种。

表 1 供试花生品种(系)

Table 1 Peanut varieties (lines) in the experiment

编号 名称 No. Name	编号 名称 No. Name	编号 名称 No. Name	编号 名称 No. Name	编号 名称 No. Name
1 远杂 9847 Yuanza9847	41 花育 28 Huayu 28	81 淮花 9819 Huaihua9819	121 D1096	161 557
2 花 101 Hua 101	42 HLN1	82 R21	122 淮花 6 Huaihua 6	162 HLL2
3 豫花 15 Yuhua15	43 HZ14	83 泉花 808 Quanhua 808	123 黑花生 Black peanut	163 KB113
4 HLY4	44 鲁花 11 Luhua 11	84 HR1	124 海花 2 Haihua 2	164 HLL4
5 丰花 6 号 Fenghua 6	45 潍花 6 Weihua 6	85 D2048	125 粤油 26 Yueyou 26	165 粤油 7 Yueyou 7
6 H3	46 Z11	86 D1035	126 粤油 101 Yueyou 101	166 xc305
7 HZ23	47 H2	87 HLL14	127 冀花 2 Jihua 2	167 R20
8 花育 20 Hua yu 20	48 HLY2	88 549	128 3—19	168 D2025
9 XH1	49 16—8	89 563	129 中花 57 Zhonghua 57	169 粤油 186 Yueyou 186
10 G2	50 花育 25 Huayu 25	90 D3037	130 HLL17	170 KB066
11 HZ17	51 唐科 8 号 Tangke 8	91 562	131 HZ22	171 551
12 Z1	52 花育 39 Huayu 39	92 HLL8	132 粤油 14 Yueyou 14	172 C005
13 8130	53 白花生 White peanut	93 XB129	133 R6	173 KB077
14 16	54 H1	94 561	134 D3095	174 543
15 XH2	55 HR2	95 C0120	135 粤油 85 Yueyou 85	175 丰花 5 Fenghua 5
16 花育 34 Huayu 34	56 阜花 13 Fuhua 13	96 D1075	136 粤油 200 Yueyou 200	176 A021
17 花育 33 Huayu 33	57 花育 32 Huayu 32	97 D3036	137 海花 1 号 Haihua 1	177 粤油 79 Yueyou 79
18 鲁花 14 Luhua 14	58 Z7	98 D3007	138 粤油 13 Yueyou 13	178 粤油 29 Yueyou 29
19 潍花 8 Weihua 8	59 X3	99 HR4	139 HR5	179 905
20 Z5	60 花育 21 Huayu 21	100 E172	140 41156	180 558
21 HZ21	61 Z2	101 中丰 Zhongfeng	141 徐花 1 号 Xuhua 1	181 豫花 9 号 Yuhua 9
22 Z4	62 F	102 花育 22 Huayu 22	142 湘花 11 Xianghua 11	182 冀花 4 Jihua 4
23 HZ19	63 Z12	103 远育 802 Yuanyu 802	143 HLL3	183 HLL9
24 HZ15	64 HLN2	104 冀花 5 Jihua 5	144 香香 Xiangxiang	184 HLL20
25 花育 23 Huayu 23	65 彩花生 Colour peanut	105 HLL19	145 556	185 花选 9 号 Huaxuan 9
26 Z18	66 白沙 1016 Baisha 1016	106 濮花 25 Puhua 25	146 XE019	186 564
27 M5	67 HLY5	107 HLL13	147 565	187 小花生 Small peanut
28 Z8	68 花育 27 Huayu 27	108 HLL5	148 D1090	188 豫花 9633 Yuhua 9633
29 Z6	69 HZ25	109 546	149 湘花 13 Xianghua 13	189 542
30 阜花 10 Fuhua 10	70 HZ26	110 汕油 27 Shanyou 27	150 D1006	190 HZ13
31 HZ11	71 MT	111 E12	151 9102	191 豫花 16 Yuhua 16
32 HR3	72 1018	112 KB157	152 HLL10	192 汕油 21 Shanyou 21
33 远杂 9307 Yuanza 9307	73 HLY1	113 鲁花 12 Luhua 12	153 D2026	193 莲花 3 Lihua 3
34 HZ10	74 花育 17 Huayu 17	114 E155	154 E091	194 KB001
35 HLY3	75 红花生 Red peanut	115 鲁花 15 Luhua 15	155 D2035	195 冀花 98-1 Jihua 98-1
36 Z10	76 中花 8 Zhonghua 8	116 冀油 4 Jiyu 4	156 中花 7 Zhonghua 7	196 547
37 花育 24 Huayu 24	77 粤油 35 Yueyou 35	117 HR6	157 E011	197 09-5
38 TE2	78 四粒红 Silihong	118 大青兰 Daqinglan	158 555	198 HLL11
39 花育 19 Huayu 19	79 锦花 9 Jinhua 9	119 HR7	159 阜花 11 Fuhua 11	199 鲁花 10 Luhua 10
40 16-9	80 09-17	120 唐油 4 Tangyou 4	160 HLL12	200 HLL7

精选各品种(系)饱满均匀的种子,每盆播种 4 粒,并保持每粒种子的播种深度均为 3 cm。每天观察记载

出苗及幼苗生长状况,并视不同胁迫浓度下的土壤水分含量适时补水,重量法控制补水量以确保土壤含水量一致。

1.3 测定项目

于播种后 42 d(对照为 6 叶期)采集植株样品。首先,将塑料盆摘除,带土取出盆内植株,小心冲洗植株的土壤,并保持根系的完整。按地上部、地下部分开,测定株高、主茎高和主根长,称其鲜重后先于 105 ℃ 下杀青 30 min,再于 80 ℃ 下烘干至恒重并称其干重。

1.4 耐盐指数

将各指标转化为耐盐指数:耐盐指数=盐处理值/对照值。各指标耐盐指数分别表示为:相对出苗速度(RES)、相对株高(RPH)、相对主茎高(RSH)、相对主根长(RTL)、相对地上部鲜重(RSFM)、相对地下部鲜重(RRFM)、相对植株鲜重(RPFM)、相对地上部干重(RSDM)、相对地下部干重(RRDM)和相对植株干重(RPDM)。

1.5 数据统计与分析

采用 SPSS 16.0 对数据进行多元统计分析。

2 结果与分析

2.1 花生出苗和幼苗生长状况对盐胁迫浓度的响应

由表 2 可知,各品种对不同盐胁迫浓度反应不同,0.15%浓度下全部出苗,0.30%和 0.45%浓度下分别有 15 和 83 个品种未出苗,0.50%浓度下全部品种未出苗。出苗品种的出苗速度、植株形态和生物量等 10 个指标变幅不同,随胁迫浓度增大各指标均值依次降低,分别在 0.629—0.805、0.313—0.658 和 0.172—0.592 之间,主根长降幅均最小,0.15%和 0.30%浓度下主茎高降幅最大而 0.45%浓度下地下部鲜重降幅最大;变异系数依次增大,分别在 11.65%—32.10%、17.60%—57.36%和 21.46%—78.48%之间,出苗时间品种间变异均最小,地上部干重、地下部干重和植株干重变异分别最大。不同浓度下各耐盐指数均呈正态分布,鉴定出耐盐品种是可行的。

表 2 不同盐胁迫浓度下花生品种(系)耐盐指数描述性统计分析

Table 2 Descriptive statistics of salinity-tolerant index for the varieties (lines) under different salinity stress

盐处理/% Salt treatment	品种数 No.	指标 Index	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准差 Standard deviation	中值 Median	众数 Mode	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 coefficient of variance/%
0.15	200	RES	0.492	0.962	0.781	0.091	0.783	0.670	-0.088	-0.353	11.65
		RPH	0.304	0.992	0.718	0.134	0.733	0.693	-0.476	0.061	18.62
		RSH	0.258	0.990	0.629	0.161	0.628	0.714	-0.025	-0.593	25.65
		RTL	0.297	0.990	0.805	0.130	0.831	0.900	-1.172	1.670	16.11
		RSFM	0.272	0.995	0.784	0.151	0.810	0.900	-0.982	0.854	19.26
		RRFM	0.228	0.992	0.747	0.182	0.795	0.900	-0.741	-0.304	24.33
		RPFM	0.313	0.992	0.777	0.153	0.813	0.900	-0.891	0.274	19.71
		RSDM	0.101	0.993	0.695	0.223	0.759	0.900	-0.694	-0.553	32.10
		RRDM	0.191	0.993	0.718	0.195	0.746	0.900	-0.579	-0.532	27.13
		RPDM	0.144	0.991	0.706	0.196	0.753	0.900	-0.718	-0.391	27.78
0.30	185	RES	0.303	0.793	0.544	0.096	0.531	0.500	0.067	-0.603	17.60
		RPH	0.063	0.850	0.388	0.142	0.381	0.345	0.266	0.522	36.47
		RSH	0.053	0.743	0.313	0.123	0.298	0.256	0.748	0.980	39.25
		RTL	0.071	0.995	0.658	0.190	0.677	0.500	-0.516	-0.034	28.89
		RSFM	0.083	0.993	0.444	0.173	0.427	0.504	0.579	0.478	39.00

续表

盐处理/% Salt treatment	品种数 No.	指标 Index	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准差 Standard deviation	中值 Median	众数 Mode	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 coefficient of variance/%
0.45	107	RRFM	0.019	0.862	0.321	0.180	0.299	0.086	0.589	-0.064	56.23
		RPFM	0.092	0.963	0.414	0.165	0.401	0.473	0.491	0.325	39.72
		RSDM	0.070	1.114	0.413	0.214	0.384	0.320	0.554	-0.302	51.77
		RRDM	0.022	0.961	0.352	0.202	0.338	0.088	0.635	0.123	57.36
		RPDM	0.100	0.995	0.429	0.197	0.396	0.395	0.688	-0.025	46.07
		RES	0.300	0.719	0.448	0.096	0.444	0.35	0.791	0.206	21.46
		RPH	0.037	0.671	0.320	0.131	0.305	0.156	0.230	-0.375	40.86
		RSH	0.033	0.623	0.244	0.119	0.212	0.184	0.587	-0.102	48.87
		RTL	0.164	0.931	0.592	0.199	0.600	0.600	-0.140	-0.887	33.60
		RSFM	0.098	0.691	0.287	0.127	0.269	0.144	0.963	0.576	44.45
		RRFM	0.016	0.566	0.172	0.108	0.149	0.106	1.268	1.947	62.86
		RPFM	0.085	0.605	0.259	0.114	0.245	0.178	0.910	0.597	44.03
		RSDM	0.021	0.783	0.191	0.127	0.168	0.068	1.575	3.949	66.71
		RRDM	0.017	0.599	0.206	0.113	0.192	0.079	1.048	1.440	54.63
		RPDM	0.005	0.916	0.199	0.156	0.162	0.064	2.538	8.515	78.48

RES: 相对出苗速度 Relative emergence speed; RPH: 相对株高 Relative plant height; RSH: 相对主茎高 Relative stem height; RTL: 相对主根长 Relative taproot length; RSFM: 相对地上部鲜重 Relative shoot fresh mass; RRFM: 相对地下部鲜重 Relative root fresh mass; RPFM: 相对植株鲜重 Relative plant fresh mass; RSDM: 相对地上部干重 Relative shoot dry mass; RRDM: 相对地下部干重 Relative root dry mass; RPDM: 相对植株干重 Relative plant dry mass

2.2 各耐盐指数相关性分析

不同盐浓度胁迫下,出苗速度、植株形态和生物量等 10 个指标耐盐指数间相关程度不同,多数指标达显著或极显著水平,相关程度较一致(表 3)。各胁迫浓度下,除相对地上部干重与相对植株干重二者间均呈极显著相关关系外,相对地上部干重、相对植株干重与其他指标间的相关性均较小,均无显著相关关系甚至呈负相关。而相对株高和相对主茎高、相对地上部鲜重和相对植株鲜重相关性则分别最高,分别为 0.935 和 0.951、0.863 和 0.960、0.841 和 0.981。

表 3 不同盐胁迫浓度下花生品种(系)耐盐指数相关性分析

Table 3 Correlation analysis of salinity-tolerant index for the varieties (lines) under different salinity stress

盐处理/% Salt treatment	指标 Index	RES	RPH	RSH	RRL	RSFW	RRFW	RPFW	RSDW	RRDW	RPDW
0.15	RES	1									
	RPH	0.276 **	1								
	RSH	0.276 **	0.935 **	1							
	RTL	0.259 **	0.282 **	0.291 **	1						
	RSFM	0.280 **	0.651 **	0.642 **	0.250 *	1					
	RRFM	0.290 **	0.442 **	0.448 **	0.298 **	0.624 **	1				
	RPFM	0.313 **	0.633 **	0.629 **	0.302 **	0.951 **	0.784 **	1			
	RSDM	0.149	0.011	-0.007	0.013	0.071	0.035	0.082	1		
	RRDM	0.314 **	0.440 **	0.424 **	0.250 *	0.522 **	0.798 **	0.661 **	0.088	1	
	RPDM	0.158	0.003	0.003	0.047	0.096	0.117	0.128	0.896 **	0.194	1

续表

盐处理/% Salt treatment	指标 Index	RES	RPH	RSH	RRL	RSFW	RRFW	RPFW	RSDW	RRDW	RPDW
0.30	RES	1									
	RPH	0.334 **	1								
	RSH	0.291 **	0.863 **	1							
	RTL	0.124	0.238 *	0.116	1						
	RSFM	0.176	0.574 **	0.563 **	0.243 *	1					
	RRFM	0.292 **	0.555 **	0.466 **	0.250 *	0.658 **	1				
	RPFM	0.233 *	0.617 **	0.582 **	0.242 *	0.960 **	0.809 **	1			
	RSDM	-0.007	-0.011	-0.102	-0.058	-0.077	-0.208 *	-0.115	1		
	RRDM	0.373 **	0.551 **	0.448 **	0.275 **	0.572 **	0.858 **	0.710 **	-0.149	1	
	RPDM	-0.086	-0.06	-0.104	-0.073	-0.083	-0.11	-0.071	0.729 **	-0.04	1
0.45	RES	1									
	RPH	0.286 **	1								
	RSH	0.210 *	0.841 **	1							
	RTL	0.133	0.360 **	0.233 *	1						
	RSFM	-0.104	0.352 **	0.277 **	0.142	1					
	RRFM	0.085	0.444 **	0.391 **	0.269 **	0.609 **	1				
	RPFM	-0.044	0.402 **	0.320 **	0.199 *	0.981 **	0.726 **	1			
	RSDM	-0.037	0.094	0.049	-0.001	0.129	0.155	0.152	1		
	RRDM	0.236 *	0.415 **	0.364 **	0.312 **	0.417 **	0.763 **	0.529 **	0.136	1	
	RPDM	0.063	0.199 *	0.074	0.023	0.172	0.408 **	0.245 *	0.711 **	0.370 **	1

$R_{0.05} = 0.195, R_{0.01} = 0.254$

2.3 不同品种(系)各耐盐指数主成分分析

对出苗速度、形态和生物量等 10 个指标耐盐指数进行主成分分析。各盐胁迫浓度下除相对出苗速度和相对根长解释度小于 0.500 外,其它耐盐指数在 0.572—0.939 之间,可解释度较高(表 4)。

表 4 不同盐胁迫浓度耐盐指数因子共同度

Table 4 Factor communities of salinity-tolerant index under different salinity stress

盐处理/% Salt treatment	指标 Index	RES	RPH	RSH	RTL	RSFM	RRFM	RPFM	RSDM	RRDM	RPDM
0.15	初始值	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	解释度	0.236	0.680	0.675	0.183	0.756	0.654	0.854	0.914	0.583	0.934
0.30	初始值	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	解释度	0.172	0.674	0.572	0.120	0.717	0.747	0.841	0.869	0.686	0.852
0.45	初始值	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	解释度	0.484	0.780	0.677	0.290	0.886	0.764	0.939	0.808	0.604	0.881

由表 5 可知,0.15%和 0.30%浓度下共提取 2 个主成分,累计贡献率分别为 64.67%和 62.52%;第 1 个主成分贡献率分别为 45.01%和 45.02%,均与 RPH、RSH、RSFW、RRFW、RPFW 和 RRDW 正相关最大,主要反映植株地上部形态、植株鲜样生物量和地下部干样生物量状况;第 2 个主成分贡献率分别为 19.67%和 17.50%,均与 RSDW 和 RPDW 正相关最大,主要反映植株干物质积累状况。0.45%浓度下共提取 3 个主成分,累计贡献率为 71.12%;第 1 个主成分贡献率为 29.65%,与 RSFW、RRFW、RPFW 和 RRDW 正相关最大,主要反映植株鲜样生物量和地下部干物质积累量状况;第 2 个主成分贡献率为 23.37%,与 RES、RPH、RSH 和 RTL 正相关最大,主要反映出苗速度和植株形态;第 3 个主成分贡献率为 18.10%,与 RSDW 和 RPDW 正相关最大,主要反映植株干物质积累量状况。3 个浓度下各主成分因子载荷略有不同,但均反映了植株形态和生物量等生长状况;0.45%胁迫浓度下也反映了出苗速度和主根长。

表 5 不同盐胁迫浓度品种(系)耐盐指数提取因子特征根、贡献率及载荷矩阵

Table 5 Eigenvalues, contribution and loading matrix of components of salinity-tolerant index for the varieties (lines) under different salinity stress

指标 Index	0.15%		0.30%		0.45%		
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2	PC3
RES	0.427	0.231	0.414	-0.021	-0.259	0.640	0.085
RPH	0.818	-0.101	0.820	0.043	0.305	0.826	0.069
RSH	0.815	-0.105	0.756	-0.029	0.254	0.783	-0.018
RTL	0.427	0.025	0.336	-0.082	0.172	0.507	-0.062
RSFM	0.868	0.041	0.847	-0.026	0.940	0.036	0.017
RRFM	0.803	0.096	0.853	-0.138	0.757	0.353	0.257
RPFM	0.920	0.081	0.916	-0.042	0.958	0.124	0.081
RSDM	0.010	0.956	-0.077	0.929	0.059	-0.049	0.896
RRDM	0.744	0.174	0.826	-0.068	0.549	0.475	0.276
RPDM	0.064	0.964	-0.047	0.922	0.176	0.080	0.918
特征根 Eigenvalues	4.50	1.97	4.50	1.75	2.96	2.34	1.81
贡献率 Contribution/%	45.01	19.67	45.02	17.50	29.65	23.37	18.10
累计贡献率 Cumulative contribution/%	45.01	64.67	45.02	62.52	29.65	53.02	71.12

2.4 不同品种(系)耐盐性综合评价

对各胁迫浓度下,对耐盐指数主成分分析后提取的因子采用回归法取得各因子得分系统矩阵(表 6),得出各因子得分公式及总得分公式(表 7),采用综合得分对各胁迫浓度下不同花生品种(系)进行聚类分组(图 1)。各胁迫浓度下出苗的花生品种均可分为高度耐盐型、耐盐型、盐敏感型和盐高度敏感型 4 个类群。

表 6 不同盐胁迫浓度下花生品种(系)耐盐指数提取因子得分系统矩阵

Table 6 System matrix of composition scoring of components of salinity-tolerant index for the varieties (lines) under different salinity stress

指标 Index	0.15%		0.30%		0.45%		
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2	PC3
RES	0.087	0.103	0.093	0.008	-0.234	0.372	0.062
RPH	0.188	-0.083	0.187	0.065	-0.025	0.367	-0.020
RSH	0.187	-0.085	0.169	0.019	-0.028	0.357	-0.065
RTL	0.095	-0.003	0.072	-0.032	-0.010	0.231	-0.073
RSFM	0.194	-0.011	0.190	0.026	0.393	-0.149	-0.102
RRFM	0.177	0.019	0.186	-0.039	0.230	0.039	0.054
RPFM	0.204	0.007	0.205	0.019	0.377	-0.109	-0.068
RSDM	-0.034	0.492	0.027	0.537	-0.072	-0.063	0.532
RRDM	0.161	0.061	0.183	0.000	0.117	0.138	0.086
RPDM	-0.022	0.494	0.034	0.534	-0.047	-0.018	0.527

表 7 不同盐胁迫浓度下花生品种(系)耐盐指数提取因子得分公式

Table 7 Scoring Formula of components of salinity-tolerant index for the varieties (lines) under different salinity stress

盐处理/% Salt treatment	因子 Component	得分公式 Scoring Formula
0.15	PC1	$F_1 = 0.187X_1 + 0.095X_2 + 0.194X_3 + 0.177X_4 + 0.204X_5 - 0.034X_6 + 0.161X_7 - 0.022X_8 + 0.087X_9 + 0.188X_{10}$
	PC2	$F_2 = -0.085X_1 - 0.003X_2 - 0.011X_3 + 0.019X_4 + 0.007X_5 + 0.492X_6 + 0.061X_7 + 0.494X_8 + 0.103X_9 - 0.083X_{10}$ $F = 0.696F_1 + 0.304F_2$
0.30	PC1	$F_1 = 0.169X_1 - 0.298X_2 + 0.165X_3 + 0.026X_4 + 0.141X_5 + 0.019X_6 - 0.032X_7 - 0.033X_8 - 0.037X_9 + 0.187X_{10}$
	PC2	$F_2 = -0.287X_1 + 0.072X_2 + 0.190X_3 + 0.186X_4 + 0.205X_5 + 0.027X_6 + 0.183X_7 + 0.034X_8 + 0.093X_9 - 0.219X_{10}$ $F = 0.720F_1 + 0.280F_2$
0.45	PC1	$F_1 = -0.028X_1 - 0.011X_2 + 0.393X_3 + 0.230X_4 + 0.377X_5 - 0.072X_6 + 0.117X_7 - 0.047X_8 - 0.234X_9 - 0.025X_{10}$
	PC2	$F_2 = 0.357X_1 + 0.231X_2 - 0.149X_3 + 0.039X_4 - 0.109X_5 - 0.063X_6 + 0.138X_7 - 0.018X_8 + 0.372X_9 + 0.368X_{10}$
	PC3	$F_3 = -0.065X_1 - 0.073X_2 - 0.102X_3 + 0.054X_4 - 0.068X_5 + 0.532X_6 + 0.086X_7 + 0.527X_8 + 0.062X_9 - 0.020X_{10}$ $F = 0.417F_1 + 0.329F_2 + 0.254F_3$

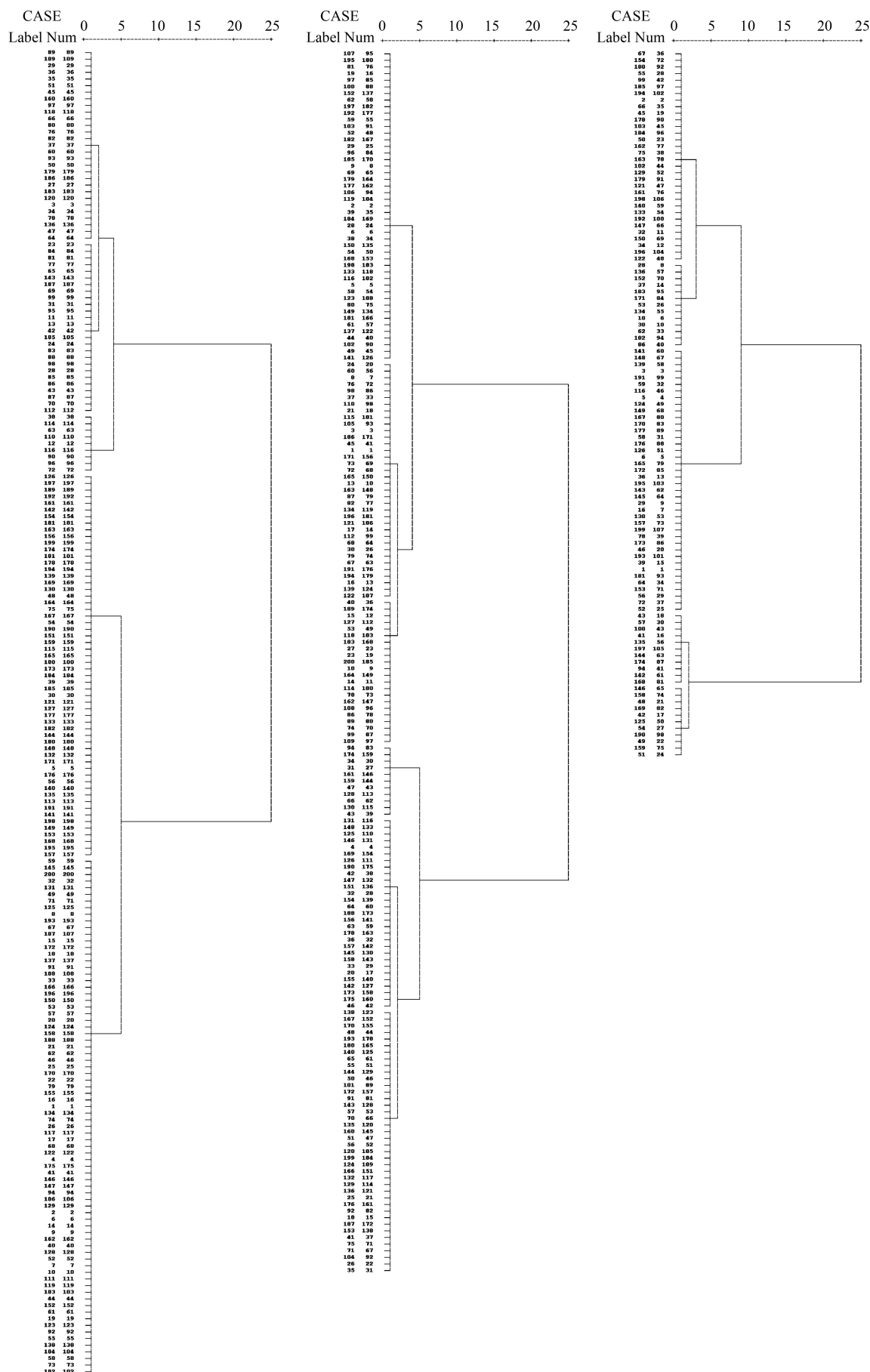


图 1 不同盐胁迫浓度下花生品种(系)系统聚类图
Fig.1 Dendrogram of cluster analysis of varieties (lines) under different salinity stress
第一列数字为品种编号, 第二列数字为品种顺序号

随盐胁迫浓度增大,高度耐盐型和耐盐型品种数量逐渐减少,盐敏感型、盐高度敏感型和不出苗品种数量则逐渐增加(图2)。0.15%浓度下200个品种全部出苗,4个类型品种数分别为58、78、55和9个,分别占供试材料的29.0%、39.0%、27.5%和4.5%;15个品种在0.30%浓度下未出苗,185个出苗的品种4个耐盐类型品种数分别为11、69、47和58个,分别占供试材料的5.5%、34.5%、23.5%和29.0%;93个品种在0.45%浓度下不能出苗,出苗的107个品种4个类型品种数分别为11、11、40和45个,分别占供试材料的5.5%、5.5%、20.0%和22.5%。15个在0.30%和0.45%浓度不出苗的品种中,其中10个在0.15%浓度属于盐敏感品种;另外,在0.45%浓度下不出苗的78个品种中,23个品种在0.15%和0.30%浓度均表现为盐敏感。各浓度均出苗的107个品种中,14个品种在各浓度下均耐盐,分别是41、48、57、94、125、135、142、144、146、158、159、169、174和190号品种;10个品种在各浓度下均敏感,分别是3、28、29、37、45、72、78、86、99和116号品种。由此说明,不同盐胁迫强度下同一品种的耐盐性表现不同。

3 讨论与结论

作物在个体发育的不同阶段其耐盐性不同,芽期耐盐性较低,苗期耐盐性最弱^[17-18]。研究表明,盐胁迫下,小麦的敏感时期在三叶期,水稻的敏感时期在离乳期,大豆在发芽期最敏感,花生芽期和幼苗期最敏感^[19]。随生长发育进程推进,作物的耐盐性逐渐提高,通过采取有效的田间管理措施也较容易调控缓解。因此萌发至幼苗期可作为鉴定高度耐盐种质的重要生育阶段。本研究针对花生在盐碱地表层土壤中能否出苗或出苗后能否立苗这一生产中的重要问题,采用与田间较相近的土培方法模拟自然盐碱地条件,选择对照在萌发至6叶期这一生长阶段,进行花生品种(系)耐盐性鉴定与评价,其结果更加符合生产实际,可应用性增强。

衡量作物耐盐性的形态或生理指标一般都是数量性状,易受环境影响而发生变异,而在影响耐盐性表现的环境因素中根际盐浓度是核心因素^[20]。因此,选择适宜盐胁迫浓度以及控制一致的环境条件对遗传变异的准确估计至关重要。在设置品种盐胁迫浓度时应充分考虑品种耐盐阈值及阈值内不同胁迫强度。本研究中,0.15%浓度胁迫下,各指标耐盐指数较接近1,出苗和植株生长受影响小;0.30%浓度胁迫下,各指标耐盐指数均在0.5左右,出苗较晚,植株生长受影响较大;0.45%浓度胁迫下,大部分指标耐盐指数在0.3以下,出苗晚、植株生长缓慢,严重受抑制;0.50%浓度胁迫下,本试验条件下所有花生品种均未能出苗,其土壤盐浓度不符合生产实际。花生耐盐品种鉴选的适宜浓度为0.30%—0.45%。胁迫强度较小时,品种间变异较小,不能充分检验品种的耐盐能力;胁迫强度较大时,品种间变异较大,可充分检验品种的耐盐能力,但也可能掩盖品种的某些耐盐特性。因此应根据不同需要选择相应的胁迫强度,以综合判断品种的耐盐能力。

作物的生长反应通常被作为盐胁迫下作物的耐盐指标,选用多个指标比用单一指标更能全面反应作物耐盐性^[7, 21]。本研究选用出苗速度、植株形态(株高、主茎高和主根长)和生物量(地上部鲜干重、地下部鲜干重和植株鲜干重)等10个指标对200份花生品种(系)耐盐性进行系统评价,10个指标间相关性呈显著或极显著水平,对反映花生品种耐盐性信息有一定的重叠。因此采用主成分分析将10个指标归结为几个独立的因子。根据主成分分析结果,不同盐胁迫浓度下各耐盐指数因子载荷顺序有所不同。地上部形态和生物量均较

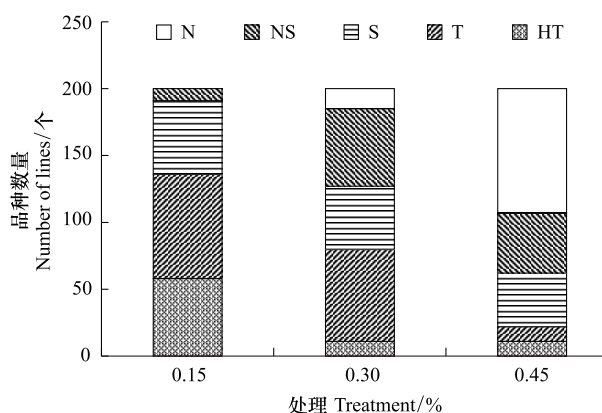


图2 不同盐胁迫浓度下不同耐盐类型品种数量

Fig. 2 Number of varieties (lines) in different salinity tolerance types under different salinity stress

HT代表高度耐盐类型 High salinity tolerant type, T代表耐盐类型 Salinity tolerant type, S代表盐敏感类型 Salinity sensitive type, HS代表盐高度敏感类型 High salinity sensitive type, N代表不出苗品种 No seedling emergence

大,可作为首选指标;在中等盐胁迫浓度及以下时主根长和出苗速度均较小,可作为辅助指标,而在较大盐胁迫浓度时亦可作为首选指标用以判断花生品种的综合耐盐能力。

不同作物耐盐性不同,同一作物不同品种间耐盐性亦存在基因型差异^[22-24]。本研究中,品种间各项耐盐指数变异较大,均呈正态分布。因此,对 200 份花生品种(系)耐盐性进行系统评价并筛选到极端耐盐品种是可行的,本试验条件下 200 个品种在不同盐胁迫强度下均分成高度耐盐型、耐盐型、盐敏感型和高度盐敏感型 4 组,耐盐品种数量随盐胁迫强度加大而下降,盐敏感数量则上升。不同盐胁迫强度下,品种耐盐性表现出统一性和差异性,低胁迫强度下表现出耐盐性,而在高强度下可表现出耐盐性或盐敏感性;低胁迫强度下表现出盐敏感性,在高强度胁迫下亦表现出盐敏感性,但其耐盐性的统一性可较准确地反映品种的耐盐能力,可筛选出耐盐能力不同的花生品种。本研究为耐盐机理的深入研究及生产应用提供了不同类型的耐盐材料,而对于花生生育后期耐盐性有待于进一步深入研究。

参考文献(References):

- [1] 万书波. 我国花生产业面临的机遇与科技发展战略. 中国农业科技导报, 2009, 11(1): 7-12.
- [2] 王遵亲. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993.
- [3] 刘兆普, 沈其荣, 尹金来. 滨海盐土农业. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [4] 宋景芝, 王明珍, 朱志华. 作物品种资源耐盐性鉴定方法的研究 // 中国农学会遗传资源分会, 中国农业科学院作物品种资源研究所. 作物抗逆性鉴定的原理与技术. 北京: 北京农业大学出版社, 1989: 261-267.
- [5] 刘旭. 作物种质资源与农业科技革命. 中国农业科技导报, 1999, (2): 31-35.
- [6] Eynard A, Lal R, Wiebe K. Crop response in salt-affected soils. Journal of Sustainable Agriculture, 2005, 27(1): 5-50.
- [7] 谢承陶. 盐渍土改良原理与作物抗性. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [8] Friedman R, Altman A. The effect of salt stress on polyamine biosynthesis and content in mung bean plants and in halophytes. Physiologia Plantarum, 1989, 76(3): 295-302.
- [9] 王宝山, 赵可夫, 邹琦. 作物耐盐机理研究进展及提高作物抗盐性的对策. 植物学通报, 1997, 14(S1): 26-31.
- [10] 张国伟, 路海玲, 张雷, 陈兵林, 周治国. 棉花萌发期和苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2045-2053.
- [11] Abrol I P, Yadav J S P, Massoud F I. Salt-affected soils and their management // FAO Soils Bulletin 39. Rome: Food & Agriculture Org., 1988: 1-93.
- [12] 吴兰荣, 顾淑媛. 花生种质资源耐盐性筛选鉴定初报. 花生学报, 1996, 25(3): 24-26.
- [13] 郭峰, 万书波, 李新国, 徐平丽, 孟静静. NaCl 胁迫对花生种子萌发的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 177-181.
- [14] 王秀贞, 王传堂, 唐月昇, 吴琪, 姜守刚, 戚永春. 花生诱变材料及品系芽期耐盐性鉴定. 花生学报, 2011, 40(4): 13-18.
- [15] 沈一, 刘永惠, 陈志德, 颜伟, 栾玉柱. 花生幼苗期耐盐品种的筛选与评价. 花生学报, 2012, 41(1): 10-15.
- [16] 刘永惠, 沈一, 陈志德, 王州飞, 颜伟. 不同花生品种(系)萌发期耐盐性的鉴定与评价. 中国油料作物学报, 2012, 34(2): 168-173.
- [17] 王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 宋贵方, 王帅, 叶武威. 陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性. 生态学报, 2011, 31(13): 3720-3727.
- [18] 张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 张佳彤, 刘千千, 刘摇欢. 大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价. 生态学报, 2011, 31(10): 2805-2812.
- [19] 吴兰荣, 陈静, 许婷婷, 苗华荣, 胡文广, 禹山林. 花生全生育期耐盐鉴定研究. 花生学报, 2005, 34(1): 20-24.
- [20] 顾兴友, 郑少玲, 严小龙, 杨崇, 卢永根. 盐浓度对水稻苗期耐盐指标变异度的影响. 华南农业大学学报, 1998, 19(1): 33-37.
- [21] Flowers T J. Improving crop salt tolerance. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396): 307-319.
- [22] Katerji N, van Hoorn J W, Hamdy A, Mastrorilli M. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. Agricultural Water Management, 2000, 43(1): 99-109.
- [23] 杨少辉, 季静, 王罡, 宋英今. 盐胁迫对植物影响的研究进展. 分子植物育种, 2006, 4(S1): 139-142.
- [24] 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. 生态学报, 2009, 29(3): 1348-1355.