

山羊豆种质苗期耐盐性鉴定及评价方法

赵海明¹, 谢楠¹, 李源¹, 游永亮¹, 刘贵波¹, 王桂峰²

(1. 河北省农林科学院 旱作农业研究所, 河北省农作物抗旱研究重点实验室, 河北 衡水 053000;

2. 河北省衡水市土壤肥料工作站, 河北 衡水 053000)

摘要: 采用 NaCl 胁迫对 44 份山羊豆种质材料进行了苗期耐盐性研究。结果表明, 在 NaCl 胁迫下, 山羊豆的生长受到明显抑制, 地上生物量、地下生物量、株高、叶片数、存活率与材料的耐盐能力存在明显相关性, 可作为耐盐鉴定指标; 采用 4 种方法进行耐盐性评价, 最佳的评价方法是标准差系数赋予权重法与聚类分析相结合; 依据标准差系数赋予权重法以及聚类分析, 44 份材料可分为 5 类: 相对高度耐盐的有 16 份材料, 耐盐材料有 8 份, 中等耐盐材料 7 份, 盐害敏感材料 10 份, 盐害高敏材料 3 份。

关键词: 山羊豆; 苗期; 耐盐性; 评价方法

中图分类号: S529.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)增刊-0131-08

Evaluative Methods and Appraisal of Salt Tolerance of *Galega L.* Seeding

ZHAO Hai-ming, XIE Nan, LI Yuan, YOU Yong-liang, LIU Gui-bo, WANG Gui-feng

(1. Dryland Farming Institute of Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences,

Key Laboratory of Corp Drought Resistance Research of Hebei Province, Hengshui 053000, China;

2. Hengshui City Soil Fertilizer Workstation of Hebei Province, Hengshui 053000, China)

Abstract: The salt tolerance of 44 *Galega L.* cultivars has been studied through the NaCl stress test in the seedling stage. The results showed that the normal growth of seedling period was significantly inhibited under salt stress, the aboveground biomass, underground biomass, plant height and leaf number and survival rate were apparently interrelated to salt tolerance and they were suit as the evaluation index; four methods were used for the evaluation of salt tolerance, the best method should be the cooperation between the standard deviation coefficient allocation weighted method and clustering analysis; by clustering analysis and the standard deviation coefficient allocation weighted method, the 44 materials were divided into five groups as 16 materials were relatively higher salt tolerant, 8 materials relatively salt tolerant, 7 materials relatively moderately salt tolerant, 10 materials relatively susceptible to salt stress and 3 materials relatively higher susceptible.

Key words: *Galega L.*; The seedling stage; Salt resistance; Evaluative methods

山羊豆(*Galega officinalis* L.) 是豆科山羊豆属(*Galega* L. inn) 中的一种多年生草本植物, 原产于南欧和西南亚, 在南美、新西兰和中欧等地主要用做药用和观赏植物, 其中东方山羊豆(*Galega orientalis* L.) 是东欧、北欧、俄罗斯和加拿大等国近年来推广很快的一种牧草, 也是我国引进和研究的主要山羊豆品种^[1-2]。研究表明, 该草种具有较高的饲用价值, 以及优质、高产、抗逆性强、促进奶牛泌乳等多种优点^[3]。

现今学者多集中于东方山羊豆引种、栽培及适应性试验方面研究^[4-5], 以及通过应用 SSH 技术获得山羊豆抗逆基因并建立抑制性差减文库, 进行分子育种^[6-7]和相关核型研究^[8]。在抗逆性方面, 沙伟等^[9-11]研究指出, 东方山羊豆较肇东苜蓿有较强的抗旱、耐低温、耐盐能力, 但其研究采用材料过少。目前, 尚未见到其他针对山羊豆耐盐性及相关耐盐性评价的研究报导。本试验采用苗期土培法对 44 个山羊豆材料进行了苗期耐盐鉴定, 通过鉴定指标

收稿日期: 2012-08-03

基金项目: 科技部支撑计划(2009BADA3B01); 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-35)

作者简介: 赵海明(1981-), 男, 河北大城人, 助理研究员, 主要从事牧草育种与栽培研究。

通讯作者: 刘贵波(1965-), 男, 河北武强人, 研究员, 主要从事饲草作物育种与栽培技术研究。

的筛选,并采用多种方法进行耐盐性评价,以期为建立山羊豆苗期耐盐性鉴定技术规范等科学研究提供理论依据,同时可以为在盐碱地上推广种植提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为山羊豆种质 44 份(表 1),D59 来源于新疆畜牧科学院草业研究所,其他材料来源于中国农业科学院北京畜牧兽医研究所。

1.2 试验方法

1.2.1 材料准备 试验于 2010 年 3—6 月在河北省农科院旱作所院内日光温室完成,采用苗期土培法,温室温度控制在 20~30℃。

培养土准备:将中等肥力的耕层土与沙土分别

过筛,去掉杂质后按 1:1 比例混合均匀,然后装入无孔塑料箱(48.5 cm×33.3 cm×18 cm)中,装土厚度 15 cm;同时取土样测定土壤含水量以确定实际装入干土质量,土壤养分含量为碱解氮 31.2 mg/kg,有效磷 7.11 mg/kg,土壤全盐含量 0.77 g/kg, pH 值 8.25。

种子准备:每份材料挑选颗粒饱满、大小一致的种子 80~100 粒。

播种准备:播前灌水至基质土壤持水量的 75%~80%(17.6%~20.8%),晾置 48 h 后点播,播前保持土壤平整;每箱播种 4 份材料,株行距均匀分布,不同材料之间间距要大于株行距,以便区分,每穴 4~5 粒,播后覆土 1.5 cm。

前期管理:三叶期前定苗保留每份材料健壮、均匀幼苗 20 株,试验期间定期浇水保持土壤含水量。

表 1 山羊豆种质材料一览表

Tab. 1 The tested materials list of *Galega L.*

代号 Code	原编号 Original number	代号 Code	原编号 Original number	代号 Code	原编号 Original number	代号 Code	原编号 Original number
D2	06P-1635	D16	06P-1842	D33	06P-2186	D49	06P-2466
D4	06P-1670	D17	06P-1889	D34	06P-2203	D50	06P-2509
D5	06P-1678	D18	06P-1894	D37	06P-2267	D51	06P-2522
D7	06P-1718	D21	06P-1970	D38	06P-2275	D52	06P-2563
D8	06P-1727	D23	06P-1989	D39	06P-2314	D53	06P-2573
D9	06P-1746	D24	06P-2000	D41	06P-2361	D54	06P-2623
D11	06P-1779	D26	06P-2039	D43	06P-2375	D55	06P-2628
D12	06P-1788	D27	06P-2053	D44	06P-2394	D56	06P-2635
D13	06P-1799	D28	06P-2061	D45	06P-2407	D57	06P-2641
D14	06P-1807	D30	06P-2121	D47	06P-2443	D58	山羊豆
D15	06P-1831	D32	06P-2178	D48	06P-2458	D59	东方山羊豆

1.2.2 试验处理 试验以淡水为对照,以及 0.3%、0.4%、0.5% 土壤盐浓度共 4 个处理,每个处理设置 3 次重复,三叶期开始盐处理,土壤盐浓度指按土壤干质量的百分比计算,其包括土壤、灌溉用淡水、分析纯 NaCl 三者在内的总含盐量。本试验土壤含盐量按土壤干质量的 0.3%、0.4%、0.5% 补充分析纯 NaCl,将分析纯 NaCl 分别溶解适量的淡水中,使盐处理后的土壤含水量维持在基质土壤持水量的(70±5)%左右,对照采用加等量淡水的方法,所用淡水含盐量为 0.087%。盐处理后及时补充所蒸发的水分,使土壤含水量保持不变,盐胁迫处理幼苗 30 d。

1.3 测定项目及方法

观察苗情表现,调查存活率、叶片数、株高、地上生物量、地下生物量、不同苗情分类等常规指标。

株高:对存活全部株数,测定从基部到生长点顶端的高度;

地上生物量:对全部存活单株地上部分,105℃杀青 10 min 后,80℃烘干 8 h 称重;

地下生物量:对全部地下根系部分洗净,105℃杀青 10 min 后,80℃烘干 8 h 称重;

叶片数:计数主茎上的总叶片数,1 片复叶为 1 片叶。

苗情分类:0 类,生长正常,无受害症状;1 类,生长基本正常,植株心叶萎蔫或卷曲;2 类,少数(1/4)功能叶萎蔫或叶缘卷曲,叶色变黄;3 类,大约 1/3 叶片萎蔫或叶缘卷曲,叶尖、叶缘焦枯;4 类,严重受害,近 1/2 叶枯、叶落;5 类,整个植株枯死或接近死亡。

耐盐系数(α):不同盐胁迫下平均测定值/对照测定值×100%。

1.4 评价方法

1.4.1 盐害指数评价 耐盐级别共分为 5 级^[12],盐害指数 0~20% 为 1 级,高耐;20.1%~40.0% 为

2 级,耐盐;40.1%~60.0%为3级,中耐;60.1%~80.0%为4级,敏感;80.1%~100.0%为5级,高感。按公式(1)计算盐害指数 β ,式中 C_i 为苗类; N_i 为每类苗株数;5为实际最高苗类;20为实际检验样本总株数。

$$\beta(\%) = \frac{\sum C_i N_i}{5 \times 20} \times 100 \quad (1)$$

1.4.2 耐盐指数评价 采用全株生物量观测值,按照公式(2)计算耐盐指数,式中 Y_a :某材料盐胁迫处理下的生物量; Y_A :某材料正常处理下的生物量; Y_a :所有材料盐处理下平均生物量;耐盐指数越大,耐盐性越好,按耐盐性强弱可对所有材料排序。

$$PSI = Y_a (Y_a / Y_A) / Y_a \quad (2)$$

1.4.3 隶属函数法和标准差系数赋予权重法综合评价^[13]运用公式(3)求得各个指标的隶属函数值,公式(3)中 x_j 表示第 j 个指标值, x_{\min} 表示第 j 个指标的最小值, x_{\max} 表示第 j 个指标的最大值;采用标准差系数法(S)用公式(4)计算各指标耐盐系数的标准差系数 V_j ,用公式(5)计算得到各指标的权重系数 W_j ;用公式(6)计算各材料综合评价 D 值,判断耐盐能力的大小。根据 D 值可对各材料耐盐性强弱进行排序。

$$\mu(x) = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3);$$

$$V_j = \frac{1}{x_j} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (4);$$

$$W_j = V_j / \sum_{j=1}^n V_j \quad (5);$$

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(x_j) \cdot W_j] \quad (6)$$

表2 盐胁迫下对地上生物量、地下生物量及其耐盐系数 α 的影响

Tab.2 The effects of aboveground biomass and underground biomass and salt tolerance coefficient under salt stress

代号 Code	地上生物量/g Aboveground biomass				地下生物量/g Underground biomass			
	CK	0.3%	0.4%	$\alpha/\%$	CK	0.3%	0.4%	$\alpha/\%$
D2	6.94	4.33	1.89	45.24Aa	2.20	1.54	0.41	46.18ABCDEFabede
D4	7.15	3.70	0.74	32.23ABCDEFGHldefghi	1.64	1.25	0.27	48.16ABCabc
D5	6.50	4.00	1.50	42.91ABabc	1.83	1.37	0.49	50.62Aa
D7	6.91	3.73	1.59	38.60ABCDEabedef	1.94	1.30	0.64	50.14ABab
D8	5.83	2.94	0.29	27.60CDEFGHIJKLfhghijkl	1.74	1.08	0.26	38.42ABCDEFGHIJabdefgh
D9	6.52	4.34	0.71	39.35ABCDabcde	1.78	1.40	0.21	45.99ABCDEFabede
D11	3.14	0.00	0.00	0.00Oq	2.04	0.38	0.01	10.33NOpq
D12	8.42	5.71	0.21	35.10ABCDEFGFGabdefg	2.11	1.56	0.21	42.35ABCDEFGHIabdefg
D13	5.39	2.77	0.55	31.15ABCDEFGHldefghi	2.21	1.41	0.12	35.65ABCDEFGHIJKabdefghij
D14	5.37	2.47	0.77	29.96BCDEFGHIJefghijk	1.95	1.06	0.27	33.71ABCDEFGHIJKLMcdefghijkl
D15	6.87	2.85	0.92	27.90CDEFGHIJKLfhghijkl	1.81	1.18	0.39	43.91ABCDEFGHabedef
D16	7.45	4.17	1.93	41.90ABCabcd	2.13	1.18	0.38	37.44ABCDEFGHIJabdefghij
D17	6.82	3.80	1.93	41.99ABCabcd	2.18	1.34	0.32	39.00ABCDEFGHIJabdefgh
D18	7.09	2.97	1.10	28.80BCDEFGHIJKefghijk	1.73	1.08	0.39	42.61ABCDEFGHIabdefg

1.4.4 聚类分析 利用DPS 3.0数据处理系统,将各指标试验结果进行标准化处理,以欧氏距离的平方为相似尺度,使用Ward离差平方和法对数据进行聚类分析,可以得到综合聚类结果。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对生物量、株高、叶片数、存活率的影响

由于0.5%浓度下,在盐胁迫30d后几乎死亡率达100%,因此将0.5%盐浓度处理的数据忽略;地上生物量、地下生物量、株高、叶片数、存活率(表2.3)在各个浓度处理下,经方差分析不同材料之间均差异极显著($P < 0.01$),不同盐浓度处理之间差异也很明显($P < 0.01$)。调查数据显示随着盐浓度的增加,地上生物量、地下生物量、株高、叶片数、存活率均逐渐减小,这表明盐胁迫明显抑制了幼苗的生长,生物量减小,株高变矮,叶片发生进程延缓,甚至导致死亡;从各个指标耐盐系数来说,不同材料之间差异极显著($P < 0.01$),同一材料不同指标所处排序位次不同,说明盐胁迫对山羊豆造成的影响,不同指标的反应程度不同,由此来看,单纯采用某一指标进行耐盐性评价带有一定的片面性,多个指标综合评价更为科学,结果会更加准确合理。

2.2 生物量、株高、叶片数、存活率与盐胁迫浓度的相关性

通过相关性分析表明(表4),不同盐浓度与山羊豆的地上生物量、地下生物量、株高、叶片数、存活率具有明显的负相关性($P < 0.01$),因此,这些指标适宜作为山羊豆耐盐性的评价指标。

续表 2:

代号 Code	地上生物量/g Aboveground biomass				地下生物量/g Underground biomass			
	CK	0.3%	0.4%	α /%	CK	0.3%	0.4%	α /%
D21	7.88	3.83	2.13	36.91ABCDEFabcedefg	1.94	1.28	0.48	45.30ABCDEFgabcde
D23	4.60	0.59	0.67	13.79LMNOonop	2.83	0.41	0.09	8.92Oq
D24	6.76	3.71	0.48	30.98ABCDEFGHIdefghij	2.53	1.22	0.07	26.69CDEFGHIJKLMNOghijklmno
D26	5.03	1.70	0.22	19.11IJKLMNklmnop	1.85	0.65	0.12	21.34IJKLMNOijklmnopq
D27	7.07	2.79	1.10	27.45CDEFGHIJKLfhijkl	2.13	0.83	0.15	24.17GHIJKLMNOhijklmnopq
D28	7.06	3.22	1.30	31.99ABCDEFGHIdefghij	1.50	1.02	0.42	48.67ABabc
D30	7.73	3.60	0.60	26.66DEFGHIJKLMghijklm	1.54	1.22	0.09	47.55ABCDabcd
D32	7.37	3.57	1.07	31.42ABCDEFGHIdefghi	2.61	1.23	0.22	33.36ABCDEFGHIJKLMcdefghijkl
D33	6.47	2.57	0.00	19.91HIJKLMNjklmno	1.45	1.15	0.20	47.11ABCDEabcd
D34	7.03	3.43	0.80	30.68ABCDEFGHIJefghij	1.86	0.92	0.16	29.06BCDEFGHIJKLMNOefghijklmn
D37	6.43	1.50	0.30	14.31KLMOonop	2.00	0.54	0.04	14.84KLMOmnopq
D38	5.67	1.93	1.10	26.62DEFGHIJKLMghijklm	1.87	0.82	0.13	26.05EFGHIJKLMNOhijklmnop
D39	8.80	3.07	0.00	17.57IJKLMNlmnop	2.11	1.00	0.06	25.34FGHIJKLMNOhijklmnop
D41	6.50	2.77	0.00	21.27GHIJKLMNijklmno	1.82	0.90	0.00	25.09FGHIJKLMNOhijklmnopq
D43	6.60	3.85	1.89	43.43ABab	2.04	1.03	0.10	30.28ABCDEFGHIJKLMNOefghijklm
D44	7.50	3.20	0.95	27.61CDEFGHIJKLfhijkl	2.13	0.90	0.09	26.50DEFGHIJKLMNOghijklmnop
D45	6.20	1.96	0.37	18.83IJKLMNklmnop	2.14	0.70	0.03	18.22JKLMNOlmnopq
D47	7.23	2.80	0.45	22.70FGHIJKLMNijklmno	2.49	1.00	0.07	25.27FGHIJKLMNOhijklmnop
D48	8.53	2.29	0.40	15.87JKLMNmnop	1.70	1.07	0.16	35.89ABCDEFGHIJKabcedefghij
D49	8.89	4.06	0.75	27.04DEFGHIJKLMghijklm	1.93	1.16	0.18	34.87ABCDEFGHIJKLabcedefghijk
D50	11.80	2.65	0.68	14.53KLMOonop	1.78	0.99	0.10	30.24ABCDEFGHIJKLMNOefghijklm
D51	9.90	1.40	0.13	8.08NOpq	1.66	0.57	0.05	18.82JKLMNOklmnopq
D52	5.62	1.84	0.16	18.98IJKLMNklmnop	1.32	0.58	0.01	23.02HIJKLMNOhijklmnopq
D53	6.45	1.62	0.00	12.23MNOop	1.54	0.56	0.06	20.03JKLMNOjklmnopq
D54	5.98	1.04	0.00	8.70NOpq	1.64	0.41	0.00	12.78MNOopq
D55	6.09	1.81	0.13	15.93JKLMNmnop	1.66	0.42	0.05	13.77LMNOonopq
D56	5.93	3.52	0.44	33.95ABCDEFGHbcedefgh	1.53	1.06	0.04	37.03ABCDEFGHIJabcedefghi
D57	5.95	2.81	0.00	23.85EFGHIJKLMhijklmn	1.48	0.88	0.05	31.42ABCDEFGHIJKLMNdefghijkl
D58	8.70	3.85	0.97	27.67CDEFGHIJKLfhijkl	2.28	1.32	0.25	34.25ABCDEFGHIJKLMbcedefghijkl
D59	4.84	0.08	0.00	0.52Oq	2.92	0.51	0.01	8.93Oq
平均 Mean	6.84Aa	2.84Bb	0.71Cc		1.94Aa	0.99Bb	0.18Cc	

注: 同列大写或小写字母表示不同材料之间差异极显著 ($P < 0.01$) 或差异显著 ($P < 0.05$); 最后一行大写或小写字母表示不同处理之间差异极显著 ($P < 0.01$) 或差异显著 ($P < 0.05$); CK. 对照; 表 3 ~ 5 同。

Note: The different capital or small letters in the same column are significantly different among tested materials at the 0.01 or 0.05 level; the different capital or small letters in the last row are significantly different among treatments at the 0.01 or 0.05 level; CK. Check; the same as Fig. 3 ~ 5.

2.3 盐害指数评价

盐害指数越高, 盐分伤害程度越大, 耐盐性越差。盐害指数主要体现了盐胁迫下的目测各类苗的存活状况, 比较直观简单。从表 5 可以看出, 按照盐害指数由小到大顺序和相应分级标准可划分为两类: 盐害敏感材料(4 级) 包括 D12、D16、D5、D2、D15、D4、D13、D9、D7、D34、D28、D30、D58、D27、D24、D8、D21、D49、D32、D14、D17、D18、D43、D47、D56、D57、D26、D48、D39、D41、D33 共 31 份材料, 高度敏感材料(5 级) 包括 D44、D50、D45、D55、D51、D37、D53、D52、D38、D54、D11、D23、D59 共 13 份材料。

2.4 耐盐指数评价

耐盐指数综合考虑了材料的耐盐性和丰产性, 能够反映盐害胁迫下产量的稳定性和材料的产量水平。耐盐指数越高的材料是生产中适宜选择的丰产性好的耐盐材料。从表 5 来看, 不同材料之间的耐盐指数差异性极显著 ($P < 0.01$), 显示出不同材料的耐盐性明显不同。按照耐盐指数(表 5), 各个材料耐盐性由强到弱顺序为: D2、D5、D16、D21、D7、D17、D12、D9、D43、D4、D28、D58、D56、D32、D18、D49、D15、D14、D30、D24、D13、D34、D44、D8、D27、D38、D33、D47、D57、D41、D39、D48、D50、D52、D45、D26、D55、D37、D53、D51、D23、D54、D59、D11。

表3 盐胁迫下对株高、叶片数、存活率及其耐盐系数 α 的影响Tab.3 The effects of plant height and leaf number and α and salt tolerance coefficient under salt stress

代号 Code	株高/mm Plant height				叶片数/个 Leaf number				存活率/% Survival rate			
	CK	0.3%	0.4%	α /%	CK	0.3%	0.4%	α /%	CK	0.3%	0.4%	α /%
D2	155.8	63.9	46.0	35.92	5.7	6.0	4.9	95.41	100	95.0	35.0	65.00
D4	159.0	69.7	49.8	39.03	5.1	5.5	3.5	88.27	98.3	88.3	10.0	50.00
D5	143.9	56.2	47.3	35.89	5.5	5.7	6.9	115.84	100	90.0	23.3	56.67
D7	137.6	52.4	30.2	29.92	5.8	5.6	4.6	88.23	100	95.0	41.7	68.33
D8	144.9	41.2	20.9	21.51	6.2	6.0	3.8	81.34	100	83.3	8.3	45.83
D9	135.4	62.3	46.9	40.11	6.8	7.0	5.0	89.10	100	88.3	11.7	50.00
D11	145.5	35.7	0.0	12.45	7.3	0.0	0.0	0.00	96.7	1.9	0.0	0.93
D12	161.7	90.1	47.5	42.45	7.4	7.3	5.7	87.46	91.7	91.4	1.7	50.88
D13	105.5	32.9	24.2	27.20	6.6	5.6	4.3	74.83	98.3	86.7	3.3	45.83
D14	109.9	27.5	19.8	21.66	6.7	5.1	4.3	71.69	100	83.3	15.0	49.17
D15	133.6	47.7	39.5	33.61	6.8	5.7	5.2	80.09	100	93.3	31.7	62.50
D16	115.0	50.5	36.6	37.86	7.4	6.1	5.5	78.27	100	98.3	31.7	65.00
D17	121.6	38.5	35.9	30.93	5.8	6.9	6.0	112.83	100	95.0	26.7	60.83
D18	120.6	41.3	44.5	35.74	5.4	6.2	6.2	114.96	100	93.3	18.3	55.83
D21	116.4	44.0	35.8	34.18	5.9	6.2	5.5	100.47	100	93.3	31.7	62.50
D23	142.6	0.0	0.0	0.00	6.0	0.0	0.0	0.00	100	0.0	0.0	0.00
D24	106.4	35.3	27.2	29.91	5.6	5.1	5.0	90.24	100	100	8.3	54.17
D26	130.1	44.0	59.0	39.44	5.9	4.5	4.7	77.96	100	71.7	8.3	40.00
D27	120.1	49.7	50.6	41.49	6.0	4.9	4.9	81.50	100	88.3	8.3	48.33
D28	109.8	46.9	40.4	40.52	6.3	6.0	6.0	96.15	95.0	88.1	22.0	57.98
D30	127.3	52.7	21.1	28.95	5.8	6.3	5.5	101.63	100	90.0	3.3	46.67
D32	139.2	58.7	57.3	41.95	6.6	6.5	5.7	93.57	100	95.0	20.0	57.50
D33	121.1	64.8	19.5	34.90	5.8	5.3	3.0	71.30	100	75.0	1.7	38.33
D34	122.3	56.9	42.9	41.61	6.8	6.7	6.1	93.37	100	95.0	8.3	51.67
D37	90.4	30.2	25.0	31.10	7.6	4.9	4.0	58.57	98.3	53.9	3.3	29.21
D38	87.8	46.0	33.3	45.31	6.6	5.6	5.0	80.66	98.3	53.3	1.7	27.85
D39	137.2	44.5	21.7	24.04	7.2	5.5	4.3	68.12	100	56.7	3.3	30.00
D41	110.8	38.8	13.3	24.07	6.9	5.2	3.5	63.30	98.3	85.0	3.3	44.91
D43	112.0	59.1	23.2	36.53	6.3	5.0	4.8	77.63	98.3	96.7	11.7	55.31
D44	117.8	39.1	45.2	35.72	6.8	5.3	5.2	77.42	96.7	80.0	5.0	44.30
D45	103.5	23.9	0.0	11.47	6.3	5.0	6.0	87.03	98.3	74.1	1.7	38.63
D47	112.1	30.2	26.0	25.01	6.2	5.1	6.7	95.17	98.3	90.0	6.7	49.17
D48	115.4	34.6	15.0	21.44	6.1	5.0	4.8	80.76	100	88.3	10.0	49.17
D49	157.5	68.7	14.0	26.31	6.5	5.7	4.2	75.77	100	91.7	11.7	51.67
D50	152.2	37.0	40.0	25.30	6.6	5.0	4.6	72.14	100	79.6	5.0	42.32
D51	125.6	32.3	15.0	19.22	6.2	4.4	4.0	68.42	100	58.3	1.7	30.00
D52	111.0	58.8	45.0	46.80	6.0	5.1	4.5	80.41	98.3	56.7	1.7	29.65
D53	121.4	57.4	3.0	25.18	7.1	4.6	4.7	66.15	100	71.1	0.0	35.56
D54	124.1	56.7	0.0	23.43	6.2	5.0	0.0	40.38	98.3	48.3	0.0	24.69
D55	123.8	0.0	0.0	0.00	6.7	5.2	4.0	68.77	96.7	63.3	5.0	35.37
D56	126.5	29.7	40.0	28.05	6.5	6.3	5.3	89.76	100	83.3	1.7	42.50
D57	146.9	33.2	10.0	14.63	6.3	5.5	4.7	79.97	100	89.7	0.0	44.87
D58	168.8	18.5	60.8	23.45	6.6	6.5	6.6	98.05	100	90.0	16.7	53.33
D59	162.0	31.7	0.0	10.16	7.8	4.9	0.0	31.56	98.3	6.7	0.0	3.33
平均 Mean	128.0Aa	43.9Bb	28.95Cc		6.40Aa	5.35Bb	4.52Cc		99.1Aa	77.2Bb	10.5Cc	

表 4 不同评价指标与盐浓度的相关性分析

Tab.4 The correlation analysis between evaluative indexes and salt concentration

评价指标 Evaluative indexes	盐浓度 Salt concentration	地上生物量 Aboveground biomass	地下生物量 Underground biomass	株高 Plant height	叶片数 Leaf number
地上生物量 Aboveground biomass	-0.908 1 ^{**}				
地下生物量 Underground biomass	-0.902 9 ^{**}	0.894 3 ^{**}			
株高 Plant height	-0.919 3 ^{**}	0.880 6 ^{**}	0.855 3 ^{**}		
叶片数 Leaf number	-0.501 4 ^{**}	0.592 2 ^{**}	0.602 7 ^{**}	0.586 7 ^{**}	
存活率 Survival rate	-0.781 7 ^{**}	0.845 1 ^{**}	0.890 7 ^{**}	0.715 7 ^{**}	0.621 6 ^{**}

注: ^{**} 表示指标之间差异极显著 ($P < 0.01$) $r = 0.223\ 5$ 。Note: ^{**} Means that it is significantly different among index ($P < 0.01$) $r = 0.223\ 5$ 。

表 5 盐胁迫下不同材料的耐盐性评价

Tab.5 The salt tolerance evaluation of different materials under salt stress

代号 Code	盐害 指数 / % Salt injury index	级别 Rank	耐盐指数 PSI Salt tolerance index	排序 Order	隶属函数值 $\mu(x_i)$ Subjection function value					综合评 价值 D Evaluative value D		排序 Order
					地上生物量 Aboveground biomass	地下生物量 Underground biomass	株高 Plant height	叶片数 Leaf number	存活率 Survival rate			
D2	63.0	4	0.824Aa	1	1.000 0	0.893 5	0.767 5	0.823 6	0.951 3	0.893		2
D4	65.8	4	0.464BCDEFbdef	10	0.712 4	0.941 0	0.834 0	0.762 0	0.731 7	0.797		10
D5	62.5	4	0.705ABab	2	0.948 5	1.000 0	0.766 9	1.000 0	0.829 4	0.908		1
D7	70.2	4	0.647ABCDabcd	5	0.853 2	0.988 5	0.639 3	0.761 7	1.000 0	0.851		3
D8	73.2	4	0.294EFGHIJfghijk	24	0.610 1	0.707 4	0.459 6	0.702 2	0.670 7	0.626		24
D9	69.5	4	0.593ABCDEabede	8	0.869 8	0.889 0	0.857 1	0.769 2	0.731 7	0.829		7
D11	91.0	5	0.003Jm	44	0.000 0	0.033 8	0.266 0	0.000 0	0.013 6	0.065		44
D12	60.0	4	0.594ABCDEabede	7	0.775 9	0.801 7	0.907 1	0.755 0	0.744 6	0.800		9
D13	67.3	4	0.339CDEFGHIJefghij	21	0.688 6	0.641 0	0.581 2	0.646 0	0.670 7	0.647		22
D14	74.5	4	0.358BCDEFGHlefghi	18	0.662 2	0.594 5	0.462 8	0.618 9	0.719 6	0.612		27
D15	65.5	4	0.370BCDEFGHlefghi	17	0.616 7	0.839 1	0.718 2	0.691 4	0.914 7	0.754		14
D16	60.0	4	0.686ABCab	3	0.926 2	0.683 9	0.8090	0.6757	0.9513	0.817		8
D17	75.5	4	0.646ABCDabcd	6	0.928 2	0.721 3	0.660 9	0.974 0	0.890 2	0.831		6
D18	76.2	4	0.378BCDEFGHefgh	15	0.636 6	0.807 9	0.763 7	0.992 4	0.817 1	0.792		11
D21	73.2	4	0.666ABCabc	4	0.815 9	0.872 4	0.730 3	0.867 3	0.914 7	0.838		5
D23	92.3	5	0.044HIJklm	41	0.304 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.071		43
D24	73.0	4	0.348CDEFGHIJefghi	20	0.684 8	0.426 1	0.639 1	0.779 0	0.792 8	0.659		18
D26	78.2	4	0.113FGHIJhijklm	36	0.422 4	0.297 8	0.842 7	0.673 0	0.585 4	0.556		31
D27	72.2	4	0.279EFGHIJfghijkl	25	0.606 8	0.365 7	0.886 5	0.703 6	0.707 3	0.651		21
D28	70.6	4	0.448BCDEFbdef	11	0.707 1	0.953 2	0.865 8	0.830 0	0.848 5	0.839		4
D30	71.0	4	0.352CDEFGHlefghi	19	0.589 3	0.926 4	0.618 6	0.877 3	0.683 0	0.730		15
D32	73.7	4	0.404BCDEFGdefg	14	0.694 5	0.586 1	0.896 4	0.807 8	0.841 5	0.761		12
D33	80.0	4	0.208FGHIJfghijklm	27	0.440 1	0.915 8	0.745 7	0.615 5	0.561 0	0.654		20
D34	70.3	4	0.337CDEFGHIJefghij	22	0.678 2	0.483 0	0.889 1	0.806 0	0.756 2	0.718		16
D37	85.2	5	0.078GHIJklm	38	0.316 3	0.142 0	0.664 5	0.505 6	0.427 5	0.405		38
D38	90.0	5	0.228FGHIJfghijklm	26	0.588 4	0.410 8	0.968 2	0.696 3	0.407 6	0.614		26
D39	78.7	4	0.167FGHIJghijklm	31	0.388 4	0.393 8	0.513 7	0.588 1	0.439 0	0.458		35
D41	79.2	4	0.173FGHIJfghijklm	30	0.470 2	0.387 8	0.514 3	0.546 4	0.657 3	0.511		34
D43	76.5	4	0.581ABCDEabede	9	0.960 0	0.512 2	0.780 6	0.670 1	0.809 5	0.755		13
D44	80.8	5	0.307DEFGHIJfghijk	23	0.610 3	0.421 6	0.763 2	0.6683	0.6483	0.620		25
D45	84.0	5	0.120FGHIJhijklm	35	0.416 2	0.223 0	0.245 1	0.751 3	0.565 3	0.425		36
D47	76.5	4	0.204FGHIJfghijklm	28	0.501 8	0.392 1	0.534 4	0.821 6	0.719 6	0.581		28
D48	78.2	4	0.160FGHIJghijklm	32	0.350 8	0.646 8	0.458 1	0.697 2	0.719 6	0.562		30
D49	73.3	4	0.376BCDEFGHlefghi	16	0.597 7	0.622 3	0.562 2	0.654 1	0.756 2	0.636		23
D50	82.1	5	0.159FGHIJghijklm	33	0.321 2	0.511 3	0.540 6	0.622 8	0.619 3	0.513		33
D51	85.0	5	0.045HIJklm	40	0.178 6	0.237 4	0.410 7	0.590 6	0.439 0	0.356		39
D52	87.7	5	0.131FGHIJghijklm	34	0.419 5	0.338 1	1.000 0	0.694 1	0.433 9	0.571		29
D53	85.5	5	0.068GHIJklm	39	0.270 3	0.266 4	0.538 0	0.571 0	0.520 4	0.422		37
D54	90.3	5	0.031IJlm	42	0.192 3	0.092 6	0.500 6	0.348 6	0.36 13	0.294		41
D55	84.5	5	0.083GHIJijklm	37	0.352 1	0.116 3	0.000 0	0.593 7	0.517 6	0.302		40
D56	77.2	4	0.409BCDEFGcdefg	13	0.750 4	0.674 1	0.599 4	0.774 9	0.622 0	0.683		17
D57	77.5	4	0.201FGHIJfghijklm	29	0.527 2	0.539 6	0.312 6	0.690 3	0.656 7	0.537		32
D58	71.0	4	0.413BCDEFGcdefg	12	0.61 16	0.607 4	0.501 1	0.846 4	0.780 5	0.659		18
D59	99.2	5	0.005Jm	43	0.011 5	0.000 2	0.217 1	0.272 4	0.0487	0.101		42
权重					0.232	0.206	0.207	0.163	0.193			

2.5 标准差系数赋予权重法综合评价

山羊豆的耐盐性是一个较为复杂的性状,用不同单项指标的耐盐系数来评价植物耐盐性,缺乏准确性和一致性,因此,鉴定一个材料的耐盐性应采用若干性状的综合评价。由于各指标的计量单位不同,数据量纲不一致,不同量纲之间不便于比较,又由于各指标变量与耐盐性的关系存在着正相关和负相关的情况,因此,在进行综合分析之前对原始数据进行同趋势化和无量纲化处理。根据各个指标和耐盐性的密切度进行权重分配,这样各性状因数值大小和变化幅度的不同而产生的差异即可消除^[13]。选择盐胁迫下与耐盐性密切相关的地上生物量、地下生物量、株高、叶片数、存活率5个指标,对山羊豆耐盐性进行了综合评价。首先将各指标的耐盐系数进行标准化处理,得到相应的隶属函数值,在此基础上,依据各综合指标的相对重要性(权重)进行加权,便可得到各材料耐盐性的综合评价值(表5)。

根据综合评价值(表5)对参试材料耐盐性强弱进行了排序,由强到弱顺序为 D5、D2、D7、D28、D21、D17、D9、D16、D12、D4、D18、D32、D43、D15、D30、D34、D56、D58、D24、D33、D27、D13、D49、D8、D44、D38、D14、D47、D52、D48、D26、D57、D50、D41、D39、D45、D53、D37、D51、D55、D54、D59、D23、D11。

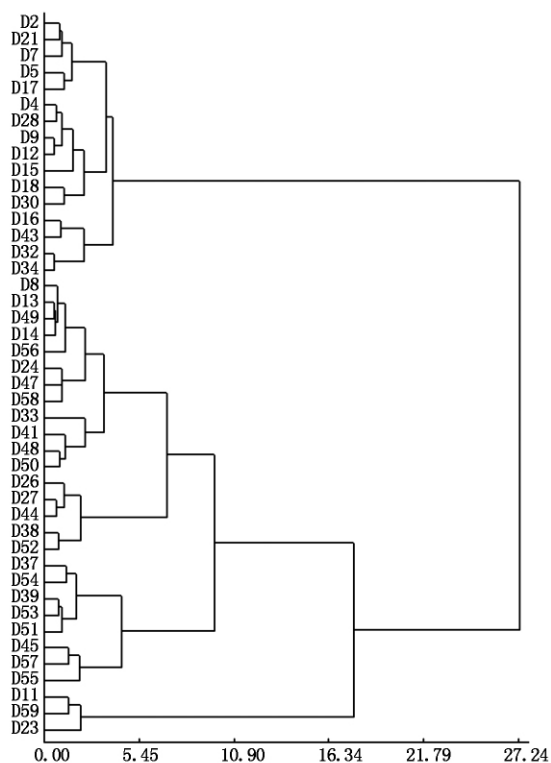


图1 山羊豆种质耐盐性的分级聚类图

Fig.1 The clustering analysis the salt tolerance of *Galega L.* germplasms

2.6 聚类分析

以各单项指标的耐盐系数为依据,对其进行标准化处理,以欧氏距离的平方为相似尺度,采用离差平方和法(Ward)对数据进行聚类分析,聚类结果如图1所示。根据聚类输出结果,可将44份山羊豆种质的耐盐性分为5类。第1类有D2、D21、D7、D5、D17、D4、D28、D9、D12、D15、D18、D30、D16、D43、D32、D34,第2类有D8、D13、D49、D14、D56、D24、D47、D58、D33、D41、D48、D50,第3类有D26、D27、D44、D38、D52,第4类有D37、D54、D39、D53、D51、D45、D57、D55,第5类有D11、D23、D59。结果和标准差系数赋予权重法具有较强的一致性,但聚类分析是将耐盐性相同的种质聚为一类,而同一类不同材料的耐盐能力无定量表达,鉴定结果不够全面。如果将聚类结果与标准差系数赋予权重法结合起来,可以更好地评价材料耐盐性。结果表明,多数材料耐盐性为第1类和第2类,第5类较少。

3 结论与讨论

3.1 盐胁迫环境及时期

本试验采用盐溶液浇灌的土培法,该法较水培条件更接近实际,首先植物在土壤中受到盐胁迫的影响与水培法是不尽相同的,水培法和实际土壤环境明显存在差别,其次是盐碱土由多种盐分组成,且呈偏碱性,因此,采用NaCl单盐溶液浇灌的土培法优于水培法,缺点是不存在偏碱性的复盐条件;许多牧草耐盐性评价研究选择苗期进行^[14-15]。植物不同生育期对盐胁迫敏感性不同,一般幼苗时期很敏感^[16],因此,选择苗期开展耐盐性评价是可行的;盐胁迫0.5%浓度下山羊豆全部死亡,说明山羊豆耐盐性在0.4%以内,耐盐性一般,因此,耐盐性评价范围宜在0~0.4%之间,和苜蓿相比耐盐性较差,这一结果和沙伟^[9]的试验及其他相关报导不大一致,可能与所选材料耐盐性是否具有代表性有关,因此有待于进一步商榷。

3.2 耐盐性评价适宜指标

地上生物量、地下生物量、株高、叶片数、存活率在盐处理环境中比对照明显减小,由此可见,在盐胁迫下对山羊豆的伤害主要表现在,山羊豆的生长受到明显抑制,生物量下降,株高变矮,下部叶片枯萎,最终导致死亡;以上5个指标与盐浓度和耐盐指数相关性均极显著,因此适宜作为耐盐性评价指标。

3.3 耐盐性适宜评价方法

试验采用了4种不同的评价方法对山羊豆耐盐性进行了评价。盐害指数真实反映和定性评价了受

害植物的形态伤害程度、存活情况以及长势,分类苗调查采用目测方法,存在一定的人为误差,因此是模糊评价方法之一,同时盐害指数借鉴了农作物耐盐性分级标准,对于山羊豆该分级标准不一定适合;而聚类分析则很好地克服了这一点;聚类分析可以将参试材料按照性质上的亲疏程度客观的进行分类,但是对同类内各个材料的耐盐性缺乏定量表达,而且仅限于参试材料范围内;耐盐指数评价除考虑了材料自身的耐盐性之外,还考虑了其丰产性,因此结果更便于生产上利用,适宜筛选产量高的耐盐品种,试验结果准确度较高,缺点是只考虑了单个指标;标准差系数赋予权重法对各个指标的耐盐系数进行了综合评价,评价结果和耐盐指数具有高度一致性,在所有评价方法中,评价准确度与科学性最高。因此,标准差系数赋予权重法与聚类方法相结合是最佳的耐盐性评价方法,可用于苗期耐盐性鉴定和大量材料的初步筛选。

3.4 山羊豆耐盐性综合评价结果

依据标准差系数赋予权重法以及聚类分析,可将本试验中参试材料耐盐性分为5类:相对来说,高度耐盐材料较多,包括16份材料(D5、D2、D7、D28、D21、D17、D9、D16、D12、D4、D18、D32、D43、D15、D30、D34),耐盐材料有8份(D56、D58、D24、D33、D13、D49、D8、D48),中等耐盐材料有7份(D44、D38、D14、D47、D52、D48、D26),盐害敏感材料10份(D57、D50、D41、D39、D45、D53、D37、D51、D55、D54),盐害高度敏感材料3份(D59、D23、D11)。

参考文献:

- [1] 张自和,于应文. 东方山羊豆在俄罗斯的研究和应用[J]. 草业科学, 2005, 23(1): 26-33.
- [2] 王俊娥,王赞,王运琦,等. 山羊豆种质资源形态多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(2): 201-205.
- [3] 张新宇,王赞,赵茂林,等. 两种山羊豆属植物花粉

形态与花粉母细胞减数分裂行为观察[J]. 植物研究, 2008, 28(5): 540-546.

- [4] 张忠祥. 东方山羊豆在陇东半干旱雨养农区的引种适应性[J]. 草业科学, 2008, 25(7): 123-125.
- [5] 田聪,张清斌,顾祥,等. 优良豆科牧草东方山羊豆研究现状与趋势分析[J]. 草食家畜, 2009(4): 64-67.
- [6] 李春艳,宋清晓,刘建宁,等. 东方山羊豆肌醇-1-磷酸合酶基因的克隆与分析[J]. 家畜生态学报, 2010, 31(5): 17-22.
- [7] 宋清晓,王学敏,高洪文,等. 东方山羊豆盐诱导抑制差减杂交文库构建及其表达序列标签分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(6): 777-783.
- [8] 穆尼热,张清斌,赵茂林,等. 新引1号东方山羊豆染色体核型分析[J]. 草业科学, 2009, 26(10): 94-96.
- [9] 沙伟,侯云杰,罗新义. 盐胁迫对东方山羊豆生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2008(4): 24-26.
- [10] 郝伟伟,师帅,禚丽芳,等. PEG胁迫下东方山羊豆抗旱生理特性的研究[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2008, 24(2): 10-13.
- [11] 沙伟,师帅,罗新义,等. 低温胁迫对东方山羊豆幼苗生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2007(11): 59-60.
- [12] 马雅琴,翁跃进. 引进春小麦种质耐盐性的鉴定评价[J]. 作物学报, 2005, 31(1): 58-64.
- [13] 李源,刘贵波,高洪文,等. 紫花苜蓿种质耐盐性综合评价及盐胁迫下的生理反应[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 79-86.
- [14] 许能祥,顾洪如,冯柏青,等. 16个引进多花黑麦草品种苗期耐盐评价[J]. 草地学报, 2010, 18(3): 223-227.
- [15] 贾亚雄,李向林,袁庆华,等. 披碱草属野生种质资源苗期耐盐性评价及相关生理机制研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 299-3007.
- [16] 覃广全,陈平,苏东海. 盐胁迫对4种禾本科牧草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(3): 205-206.