

不同甜高粱品种萌发期抗盐和抗旱性比较

杨帆, 魏晓岑, 张士超, 王宝山*

山东师范大学生命科学学院, 逆境植物山东省重点实验室, 济南250014

摘要: 选用‘凯勒’等10个品种甜高粱种子为材料, 分别用NaCl和等渗的甘露醇进行处理, 以鉴定各品种的抗盐性与抗旱性。结果表明: 不同品种甜高粱种子在100 mmol·L⁻¹ NaCl和等渗的甘露醇处理下萌发和幼苗生长都受到了不同程度的抑制; 对比盐处理组和干旱处理组, 绝大多数品种的甜高粱种子的萌发参数和幼苗生长指标都没有显著性的差异, 这说明盐胁迫抑制种子萌发的主要因素是由渗透胁迫造成的生理干旱; 利用隶属函数值法对甜高粱在萌发期的7个生长生理指标进行综合评价, 抗盐性强弱顺序为‘绿能1号’>‘济甜杂7号’>‘济甜杂10号’>‘济甜杂2号’>‘济甜杂11-6’>‘MN-3867’>‘能饲1号’>‘凯勒’>‘MN-94’>‘济甜杂12号’, 抗旱性强弱顺序为‘绿能1号’>‘济甜杂2号’>‘济甜杂11-6’>‘济甜杂10号’>‘济甜杂7号’>‘MN-3867’>‘MN-94’>‘能饲1号’>‘济甜杂12号’>‘凯勒’, 可以看出甜高粱在萌发期的抗盐性与抗旱性存在较强的正相关关系。

关键词: 甜高粱; 抗盐性; 抗旱性; 萌发

Comparison on Salt and Drought Resistances of Different Varieties of *Sorghum bicolor* at Germination Stage

YANG Fan, WEI Xiao-Cen, ZHANG Shi-Chao, WANG Bao-Shan*

Shandong Provincial Key Laboratory of Plant Stress Research, College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China

Abstract: Ten *Sorghum bicolor* varieties including ‘Keller’ were treated by NaCl and isosmotic mannitol solution to evaluate their salt and drought resistances at germination stage. The results show that the germination and seedlings growth of different varieties of *S. bicolor* in 100 mmol·L⁻¹ NaCl and isosmotic mannitol solution were restrained in different extents. The germination parameters and seedlings growth indicators of most varieties of *S. bicolor* were not significantly different by comparison of salt and drought treatment, which suggests that the main factors inhibiting seed germination was physiological drought caused by osmotic stress. Comprehensive evaluation of salt and drought tolerances of *S. bicolor* varieties at germination stage was conducted using subordinate function value method. The results show that salt resistance of 10 varieties of *S. bicolor* sorting from strong to weak is ‘Lüneng 1’>‘Jitianza 7’>‘Jitianza 10’>‘Jitianza 2’>‘Jitianza 11-6’>‘MN-3867’>‘Nengsi 1’>‘Keller’>‘MN-94’>‘Jitianza 12’ at the germination stage, and drought resistance is in the order of ‘Lüneng 1’>‘Jitianza 2’>‘Jitianza 11-6’>‘Jitianza 10’>‘Jitianza 7’>‘MN-3867’>‘MN-94’>‘Nengsi 1’>‘Jitianza 12’>‘Keller’. Therefore, there was a strong positive correlation between salt resistance and drought resistance of *S. bicolor* genotypes at germination stage.

Key words: *Sorghum bicolor*; salt resistance; drought resistance; germination

世界上有超过8亿hm²的盐渍土壤(Rengasamy 2010)。土壤盐渍化已成为全世界面临的最严峻问题之一, 是阻碍农业发展的巨大环境压力(Jamil等 2011)。世界上6%的陆地面积、20%的耕地面积和接近50%的灌溉土地都受到盐渍化影响。我国的盐渍土地分布也很广泛, 盐渍土壤面积约为3 600万hm², 占我国可利用土地面积的4.88% (王佳丽等 2011)。近年来, 随着全球气候变暖, 干旱灾害的发生也越来越频繁, 其在农业生产中造成的损失已远超其他自然灾害。据统计, 全球干旱半干旱耕

地面积占世界总耕地面积的42.9%, 而我国是全世界干旱最严重的国家之一, 干旱半干旱地区面积占到了总耕地面积的51%, 主要集中在华北、东北

收稿 2015-07-01 修订 2015-09-06

资助 国家科技支撑计划课题(2009BADA7B05)、山东省自然科学基金重点项目(ZR2014CZ002)、教育部博士点基金优先发展领域(20123704130001)和山东省高等学校科技计划(J15LE08)。

* 通讯作者(E-mail: bswang@sdsnu.edu.cn; Tel: 0531-86180197)。

和西北等地(武维华2003)。合理地开发利用盐渍化和干旱半干旱土地已成为促进农业发展的有效途径之一。

甜高粱(*Sorghum bicolor*)隶属禾本科(Poaceae)高粱属,是生物学产量较高的C₄作物之一(刘公社等2009)。它本身具有较高的籽粒产量,且其茎秆产量高、出汁率高、含糖量高,可作为优良的饲料、糖料原料,是一种极具开发潜力的新型能源作物(黎大爵2002)。目前,甜高粱主要种植在干旱半干旱地区或盐碱地中,虽然甜高粱本身具有较强的抗盐抗旱特性,但恶劣的环境仍对其产量有很大的制约。前人对不同品种甜高粱抗盐性筛选方面的研究较多(王秀玲等2011;邓川2013;孙璐2012;周美利等2012);对抗旱性筛选方面的研究较少。但是,我国北方盐碱地甜高粱播种及苗期同时存在盐渍和干旱的问题。萌发期是种子对盐碱等最敏感的时期(Almansouri等2001),一般情况下,如果植物可以度过萌发期都能够完成生活史。因此,甜高粱萌发期抗盐性和抗旱性指标筛选及评价是种质筛选、育种及盐碱地种植的关键。

植物在抗盐性与抗旱性之间是否具有相关性,前人也做了一些研究。刘卓(2008)对15个品种的首蓆的抗盐性与抗旱性进行了鉴定,结果表明,同一品种首蓆的抗盐性与抗旱性并不一定相同,如抗盐性较强的品种‘WL-525’就属于弱抗旱性品种,抗旱性强的‘敖汉’就属于抗盐性较弱的品种,当然也存在抗盐性与抗旱性都强的品种,如‘宁苜1号’、‘龙牧801号’。李姝晋(2005)对不同品种水稻的耐盐性与抗旱性进行了比较研究,结果表明水稻对盐胁迫和干旱的耐性具有很高的相关性,即耐盐的品种抗旱性也很强。可见,一种植物不同品种在抗盐性与抗旱性之间是否存在联系是不确定的。本文选择了几个新培育的甜高粱品种进行实验(如‘济甜杂11-6’、‘济甜杂7号’、‘济甜杂2号’等),比较研究甜高粱在萌发期的抗盐性与抗旱性之间的关系及其内在联系,这对于选育既抗盐又抗旱的甜高粱品种具有重要意义。

材料与方 法

1 材料与处理

本实验选用了10个甜高粱(*Sorghum bicolor* L.

Moench.)品种,均为本实验室采自山东省东营市垦利县黄河三角洲的盐碱地实验田,由山东省农业科学研究院提供。品种名称和来源见表1。

表1 不同品种甜高粱的名称及来源

Table 1 The names and sources of different varieties of *S. bicolor*

品种名称	来源
‘凯勒’	美国
‘济甜杂11-6’	山东省农科院
‘济甜杂7号’	山东省农科院
‘济甜杂2号’	山东省农科院
‘能饲1号’	河北谷子所
‘济甜杂12号’	山东省农科院
‘MN-3867’	美国
‘济甜杂10号’	山东省农科院
‘绿能1号’	内蒙古
‘MN-94’	美国

挑选大小一致、籽粒饱满的甜高粱种子经0.1% HgCl₂消毒15 min,用蒸馏水冲洗5~7次,将培养皿用蒸馏水冲洗干净并烘干后,铺上2层滤纸,用镊子将种子整齐地摆放在培养皿中。每个培养皿摆放种子15粒,每个重复4个皿,用蒸馏水、100 mmol·L⁻¹ NaCl溶液和等渗的甘露醇溶液分别进行处理,每个处理3个重复,放于25 °C恒温室中培养,黑暗处理,每天更换培养液,以保证培养环境的恒定。开始可以盖盖,种子萌发后将培养皿盖打开,放于光下培养,光照/黑暗时间为8 h/16 h。每天统计萌发率等指标。第10天进行各生长指标的测定。其中,100 mmol·L⁻¹ NaCl溶液的渗透势为-496.98 kPa,等渗的甘露醇溶液的浓度为183.9 mmol·L⁻¹。

2 发芽测定指标

发芽指标的测定:参照中华人民共和国国家标准《农作物种子检验规程》GB/T 3543.4-1995,按以下公式计算发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数。种子发芽以胚根露出种皮2 mm为标准。发芽率:前7 d所有萌发的种子数占总数的百分比,发芽率(GR)= $\sum(G_t/T) \times 100\%$;发芽指数(GI)= $\sum(G_t/D_t)$;活力指数(VI)= $\sum(G_t/D_t) \times S$ (幼苗平均芽鲜重);盐害率=(对照值-处理值)/对照值 $\times 100\%$,其中,T为种子总数,G_t为在t日的发芽数,D_t为相应的发芽日数,S为幼苗平均根鲜重(单位g)。

3 生长指标的测定

(1)根长、株高: 将植株的叶和根拉直后用米尺测量, 精确到0.01 m, 每个处理9个重复。

(2)鲜重: 将幼苗冲洗干净, 用吸水纸迅速擦干, 称取鲜重并记录, 每个处理9个重复。

4 综合评价方法

利用模糊数学中求隶属函数的方法(戴凌燕等2011)进行各指标抗盐性综合评价, 其公式为: $A, X_{ij}=(x_{ij}-x_{jmin})/(x_{jmax}-x_{jmin})$; $B, X_i=(1/n)\sum X_{ij}$ 。其中 X_{ij} 表示*i*种类*j*指标的抗盐隶属函数值, x_{ij} 为*i*种类*j*指标的测定值, x_{jmin} 和 x_{jmax} 分别表示各种类指标的最小和最大测定值, n 表示抗性测定指标总和。先求出各个指标的盐害率的隶属值, 再把每一指标的盐害率的隶属值累加求平均值, 最后再将各品种不同指标的盐害率的隶属值累加求其平均值, 平均值越大则表明其抗盐性越弱。同理可求出旱害率的隶属函数值。

5 数据分析

用Excel 2003和SPSS 17.0软件进行统计分析, 计算各处理组不同性状的平均值, 并进行方差分析、显著性分析。

实验结果

1 盐胁迫和干旱胁迫对不同品种甜高粱发芽率、发芽指数和活力指数的影响

在盐胁迫和干旱胁迫下, 甜高粱种子的发芽率、发芽指数、活力指数都有明显的下降(表2)。但相比而言, 此浓度的盐溶液对各品种的甜高粱发芽率的影响并不明显, 只有品种‘济甜杂12号’和‘MN-94’的发芽率显著下降, 而等渗的甘露醇溶液并未对甜高粱种子的发芽率产生显著影响, 说明这两个品种萌发对盐胁迫较为敏感。而盐处理和干旱处理使绝大多数的甜高粱种子的发芽指数都产生了显著的下降, 只有‘绿能1号’没有产生显著的变化。对于品种‘凯勒’、‘济甜杂11-6’、‘能饲1号’、‘济甜杂12号’、‘MN-3867’、‘济甜杂10号’来说, 盐胁迫和等渗的干旱胁迫对其发芽指数的影响比较一致, 这说明渗透胁迫是造成这些甜高粱种子萌发迟缓的主要原因。而对于品种‘济甜杂7号’、‘济甜杂2号’、‘MN-94’来说, 盐胁迫对甜高

粱种子发芽指数的影响显著高于等渗的干旱胁迫, 说明这几个品种的甜高粱种子不仅受到渗透胁迫的影响, 而且还受到离子胁迫的影响。同样, 从甜高粱种子的活力指数来看, 在盐胁迫和干旱胁迫下种子的活力指数都有显著的下降, 并且盐胁迫和干旱胁迫对大多数甜高粱种子活力指数的影响程度比较一致, 这也说明了对种子萌发的抑制作用主要是由渗透胁迫造成的。

2 盐胁迫和干旱胁迫对不同品种甜高粱幼苗根长、芽长的影响

为了进一步探究盐胁迫和干旱胁迫对甜高粱幼苗长势的影响, 我们测定了处理10 d时甜高粱幼苗的根长和芽长, 如图1所示。按与对照相比下降百分数将甜高粱分为抗盐性强、中等抗盐和盐敏感3类, 下降百分比小于等于30%为抗盐性强的品种, 30%~50%为中等抗盐品种, 大于50%为盐敏感品种, 同理, 也可分为抗旱性强、中等抗旱和干旱敏感3类。

以根长来看, 通过计算可得, 抗盐性强的品种有‘绿能1号’, 中等抗盐的有‘济甜杂11-6’、‘济甜杂7号’、‘MN-3867’, 盐敏感的有‘凯勒’、‘济甜杂2号’、‘能饲1号’、‘济甜杂10号’、‘济甜杂12号’、‘MN-94’; 抗旱性强的有‘济甜杂11-6’、‘济甜杂7号’、‘济甜杂2号’、‘MN-3867’、‘济甜杂10号’、‘绿能1号’, 干旱敏感的有‘凯勒’、‘能饲1号’、‘济甜杂12号’、‘MN-94’。当以根长为指标来评价各品种的抗盐性和抗旱性时, 发现各品种的抗盐性与抗旱性表现基本一致。并且, 对于大多数品种的甜高粱来说, 盐胁迫对根长的影响要显著高于等渗的干旱胁迫的影响。

以芽长来看, 通过计算可得, 抗盐性强的有‘济甜杂7号’、‘MN-3867’、‘绿能1号’, 中等抗盐的有‘能饲1号’、‘济甜杂12号’、‘MN-94’、‘济甜杂11-6’、‘济甜杂2号’、‘济甜杂10号’, 盐敏感的有‘凯勒’; 抗旱性强的有‘济甜杂2号’、‘MN-3867’、‘绿能1号’, 中等抗旱的有‘能饲1号’、‘济甜杂12号’、‘MN-94’、‘济甜杂11-6’、‘济甜杂7号’、‘济甜杂10号’, 干旱敏感的有‘凯勒’。当以芽长为指标来评价各品种的抗盐性和抗旱性时, 发现各品种的抗盐性与抗旱性表现也基本一致。

表2 不同品种甜高粱用100 mmol·L⁻¹ NaCl和等渗的甘露醇处理5 d种子发芽指标及相对值
Table 2 Seed germination traits and relative values of different varieties of *S. bicolor* in 100 mmol·L⁻¹ NaCl and isotonic mannitol solution for 5 days

品种	处理类型	发芽率/%	发芽指数	活力指数
‘凯勒’	对照	97.78±3.85 ^a (100%)	13.50±0.87 ^a (100%)	1.12±0.07 ^a (100%)
	NaCl	93.33±6.67 ^a (95.45%)	9.94±1.08 ^b (73.66%)	0.34±0.04 ^b (30.58%)
	甘露醇	100.00±0.00 ^a (102.27%)	10.50±1.00 ^b (77.78%)	0.32±0.03 ^b (28.61%)
‘济甜杂11-6’	对照	97.78±3.85 ^a (100%)	11.17±0.58 ^a (100%)	1.19±0.06 ^a (100%)
	NaCl	91.11±7.70 ^b (93.18%)	7.44±0.77 ^b (66.67%)	0.42±0.04 ^b (34.90%)
	甘露醇	93.33±0.00 ^a (95.45%)	7.94±0.19 ^b (71.14%)	0.44±0.01 ^b (36.68%)
‘济甜杂试7号’	对照	97.78±3.85 ^a (100%)	14.67±0.58 ^a (100%)	1.34±0.05 ^a (100%)
	NaCl	88.89±3.85 ^a (90.91%)	9.28±0.63 ^c (63.26%)	0.56±0.04 ^b (41.98%)
	甘露醇	95.56±7.70 ^a (97.73%)	11.00±0.50 ^b (75.00%)	0.50±0.02 ^b (37.50%)
‘济甜杂2号’	对照	97.78±3.85 ^a (100%)	12.67±0.58 ^a (100%)	1.06±0.05 ^a (100%)
	NaCl	91.11±3.85 ^a (93.18%)	9.17±0.29 ^c (72.37%)	0.47±0.01 ^b (44.87%)
	甘露醇	95.56±7.70 ^a (97.73%)	11.6±0.54 ^b (91.67%)	0.51±0.02 ^b (48.58%)
‘能饲1号’	对照	95.56±3.85 ^a (100%)	12.33±0.29 ^a (100%)	1.12±0.03 ^a (100%)
	NaCl	91.11±3.85 ^a (95.35%)	11.00±0.50 ^b (89.19%)	0.58±0.03 ^b (51.55%)
	甘露醇	91.11±7.70 ^a (95.35%)	11.17±0.29 ^b (90.54%)	0.42±0.01 ^c (37.38%)
‘济甜杂12号’	对照	91.11±3.85 ^a (100%)	13.33±0.58 ^a (100%)	1.21±0.05 ^a (100%)
	NaCl	75.56±3.85 ^b (82.93%)	7.61±0.35 ^b (57.08%)	0.39±0.02 ^b (32.47%)
	甘露醇	82.22±7.70 ^{ab} (90.24%)	8.94±0.96 ^b (67.08%)	0.45±0.05 ^b (36.93%)
‘MN-3867’	对照	93.33±6.67 ^a (100%)	12.83±1.26 ^a (100%)	1.08±0.11 ^a (100%)
	NaCl	82.22±7.70 ^a (88.10%)	7.17±1.04 ^b (55.84%)	0.31±0.05 ^b (28.75%)
	甘露醇	86.67±0.00 ^a (92.86%)	8.33±0.29 ^b (64.94%)	0.31±0.01 ^b (28.29%)
‘济甜杂10号’	对照	95.56±3.85 ^a (100%)	13.00±0.50 ^a (100%)	1.21±0.05 ^a (100%)
	NaCl	93.33±6.67 ^a (97.67%)	9.61±0.35 ^b (73.93%)	0.51±0.02 ^b (42.25%)
	甘露醇	93.33±6.67 ^a (97.67%)	9.28±0.51 ^b (71.36%)	0.46±0.03 ^b (38.23%)
‘绿能1号’	对照	100.00±0.00 ^a (100%)	15.00±0.00 ^a (100%)	1.39±0.00 ^a (100%)
	NaCl	100.00±0.00 ^a (100%)	14.50±0.00 ^a (96.67%)	1.04±0.00 ^b (74.89%)
	甘露醇	100.00±0.00 ^a (100%)	15.00±0.00 ^a (100%)	0.78±0.00 ^c (55.86%)
‘MN-94’	对照	97.78±3.85 ^a (100%)	14.33±0.29 ^a (100%)	0.81±0.02 ^a (100%)
	NaCl	82.22±7.70 ^b (84.09%)	6.22±1.80 ^c (43.41%)	0.23±0.07 ^b (28.92%)
	甘露醇	93.33±0.00 ^a (95.45%)	9.56±0.39 ^b (66.67%)	0.26±0.01 ^b (32.35%)

括号内数字为处理占对照的百分数。图中数字为3个重复的平均值±标准偏差, 同一品种不同处理之间小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$), 下表同。

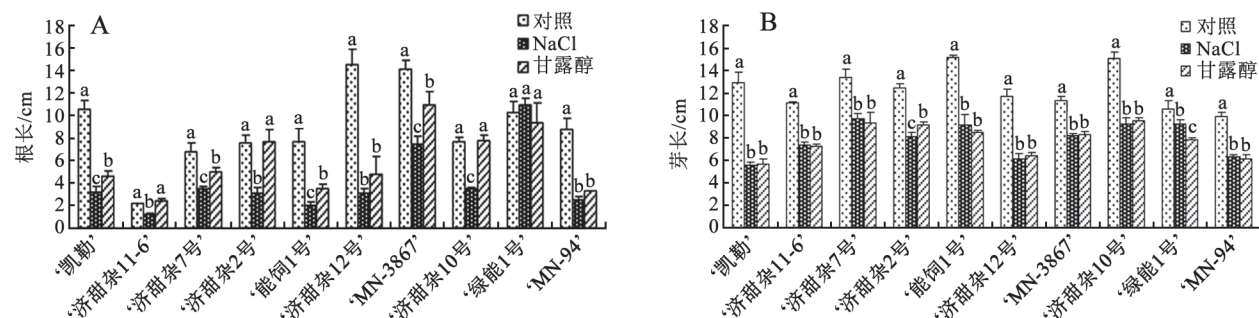


图1 100 mmol·L⁻¹ NaCl和等渗甘露醇溶液处理10 d对不同品种甜高粱幼苗根长(A)和芽长(B)的影响

Fig.1 The root lengths (A) and sprout lengths (B) of different varieties of *S. bicolor* seedling in 100 mmol·L⁻¹ NaCl and isotonic mannitol solution for 10 days

同一品种各柱形上不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下图同。

3 盐胁迫和干旱胁迫对不同品种甜高粱幼苗芽鲜重和根鲜重的影响

对单株甜高粱幼苗的芽和根鲜重进行称量,结果如图2。盐胁迫和干旱胁迫使芽和根鲜重显著降低,但对不同品种甜高粱的抑制程度存在一定的差异。对比盐处理组和干旱处理组,大多数

品种的芽鲜重之间的差异很小,有些品种干旱处理组的芽鲜重要明显低于盐处理组,如‘济甜杂7号’、‘能饲1号’、‘绿能1号’、‘MN-94’等,而大多数品种在盐胁迫下的根鲜重要显著低于在干旱胁迫下的根鲜重。

以芽鲜重来,通过计算可得,抗盐性强的有

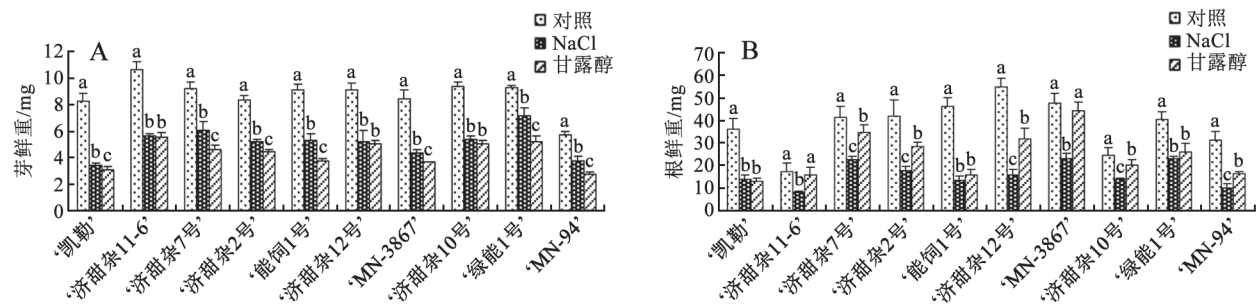


图2 100 mmol·L⁻¹ NaCl和等渗甘露醇处理10 d对不同品种甜高粱幼苗芽鲜重(A)和根鲜重(B)的影响

Fig.2 Fresh weights of shoots (A) and roots (B) of different varieties of *S. bicolor* seedling in 100 mmol·L⁻¹ NaCl and isotonic mannitol solution for 10 days

‘绿能1号’,中等抗盐的有‘济甜杂11-6’、‘济甜杂7号’、‘济甜杂2号’、‘能饲1号’、‘济甜杂12号’、‘MN-3867’、‘济甜杂10号’、‘MN-94’,盐敏感的有‘凯勒’;中等抗旱的有‘济甜杂11-6’、‘济甜杂7号’、‘济甜杂2号’、‘济甜杂12号’、‘济甜杂10号’、‘绿能1号’,干旱敏感的有‘凯勒’、‘能饲1号’、‘MN-3867’、‘MN-94’。当以芽鲜重为指标来评价各品种的抗盐性和抗旱性时,发现各品种的抗盐性与抗旱性表现并不一致。

以根鲜重来看,通过计算可得,中等抗盐的有‘济甜杂7号’、‘济甜杂10号’、‘绿能1号’,盐敏感的有‘凯勒’、‘济甜杂11-6’、‘济甜杂2号’、‘能饲1号’、‘济甜杂12号’、‘MN-3867’、‘MN-94’;抗旱性强的有‘济甜杂11-6’、‘济甜杂7号’、‘MN-3867’、‘济甜杂10号’,中等抗旱的有‘济甜杂2号’、‘济甜杂12号’、‘绿能1号’、‘MN-94’,干旱敏感的有‘凯勒’、‘能饲1号’。当以芽鲜重为指标来评价各品种的抗盐性和抗旱性时,发现各品种的抗盐性与抗旱性表现基本一致。

4 不同品种甜高粱在萌发期抗盐性与抗旱性综合评价

植物的抗盐性和抗旱性是一个综合的数量性状,为了更准确地评价这10个甜高粱品种抗盐性

与抗旱性的强弱,进一步利用模糊数学的隶属函数法对供试甜高粱品种的抗盐性与抗旱性进行综合评价,如表3、4所示。表中各指标的隶属函数值为各指标盐害率/旱害率的平均值,总隶属函数值为各指标隶属函数值的平均值。

由表3可知,通过对10个品种甜高粱在100 mmol·L⁻¹ NaCl处理下的发芽率、发芽指数、活力指数、根长、株高、根鲜重、芽鲜重7个性状盐害率的总隶属函数值进行比较,可以得出这10个甜高粱品种在萌发期的抗盐性强弱排序为‘绿能1号’>‘济甜杂7号’>‘济甜杂10号’>‘济甜杂2号’>‘济甜杂11-6’>‘MN-3867’>‘能饲1号’>‘凯勒’>‘MN-94’>‘济甜杂12号’。

通过表4可知,在统计了10个品种的甜高粱在干旱处理下的发芽率、发芽指数、活力指数、根长、株高、根鲜重、芽鲜重等7个性状的旱害率的总隶属函数值进行比较,可以得出这10个甜高粱品种在萌发期的抗旱性强弱排序为‘绿能1号’>‘济甜杂2号’>‘济甜杂11-6’>‘济甜杂10号’>‘济甜杂7号’>‘MN-3867’>‘MN-94’>‘能饲1号’>‘济甜杂12号’>‘凯勒’。

由以上结果得出,在萌发期既抗盐又抗旱的甜高粱品种:‘绿能1号’;中等抗盐抗旱品种:‘MN-

表3 不同品种甜高粱各指标盐害率的隶属函数值及抗盐能力综合评价

Table 3 Subjection values and comprehensive evaluation of the salt damage rates in different *S. bicolor* varieties

品种	发芽率	发芽指数	活力指数	根长	株高	根鲜重	芽鲜重	总隶属函数值	抗盐能力排序
‘绿能1号’	0.0000	0.0333	0.2511	0.0000	0.1245	0.4200	0.2252	0.1506	1
‘济甜杂7号’	0.0909	0.3674	0.5802	0.4911	0.2720	0.4556	0.3364	0.3705	2
‘济甜杂10号’	0.0233	0.2607	0.5775	0.5459	0.3838	0.4392	0.4286	0.3800	3
‘济甜杂2号’	0.0682	0.2763	0.5513	0.5937	0.3435	0.5720	0.3800	0.3979	4
‘济甜杂11-6’	0.0682	0.3333	0.6510	0.4630	0.3375	0.5243	0.4766	0.4077	5
‘MN-3867’	0.1190	0.4416	0.7125	0.4724	0.2743	0.5114	0.3537	0.4121	6
‘能饲1号’	0.0465	0.1081	0.4845	0.7429	0.3953	0.7052	0.4220	0.4149	7
‘凯勒’	0.0455	0.2634	0.6942	0.7008	0.5672	0.6106	0.5849	0.4952	8
‘MN-94’	0.1591	0.5659	0.7108	0.7175	0.3669	0.6738	0.3338	0.5040	9
‘济甜杂12号’	0.1707	0.4292	0.6753	0.7873	0.4795	0.7134	0.4851	0.5344	10

发芽率、发芽指数、活力指数、根长、株高、根鲜重和芽鲜重的盐害率的隶属函数值均为相对值, 下表同。

表4 不同品种甜高粱各指标旱害率的隶属函数值及抗旱能力综合评价

Table 4 Subjection values and comprehensive evaluation of the drought damage rates in different *S. bicolor* varieties

品种	发芽率	发芽指数	活力指数	根长	株高	根鲜重	芽鲜重	总隶属函数值	抗旱能力排序
‘绿能1号’	0.0000	0.0000	0.4414	0.0859	0.2604	0.3514	0.4414	0.2258	1
‘济甜杂2号’	0.0227	0.0833	0.5142	0.0000	0.2597	0.3220	0.4700	0.2388	2
‘济甜杂11-6’	0.0455	0.2886	0.6332	0.0000	0.3412	0.0825	0.4844	0.2679	3
‘济甜杂10号’	0.0233	0.2864	0.6177	0.0000	0.3705	0.1824	0.4643	0.2778	4
‘济甜杂7号’	0.0227	0.2500	0.6250	0.2574	0.3034	0.1633	0.5000	0.3031	5
‘MN-3867’	0.0714	0.3506	0.7171	0.2249	0.2673	0.0738	0.5644	0.3242	6
‘MN-94’	0.0455	0.3333	0.6765	0.0000	0.3790	0.4759	0.5147	0.3464	7
‘能饲1号’	0.0465	0.0946	0.6262	0.5429	0.4440	0.6546	0.5872	0.4280	8
‘济甜杂12号’	0.0976	0.3292	0.6307	0.6713	0.4539	0.4207	0.4495	0.4361	9
‘凯勒’	0.0000	0.2222	0.7139	0.5625	0.5611	0.6359	0.6322	0.4754	10

3867’; 对盐和旱都敏感的品种: ‘济甜杂12号’。

通过SPSS 17.0软件对10个品种的甜高粱的抗盐性与抗旱性的总隶属函数值进行相关性分析, 得出相关系数 $r=0.702$, 表明两者之间具有较强的正相关关系。

讨 论

在农业生产中, 植物往往会受到多种逆境的共同作用, 当植物遭遇逆境时, 不同的逆境会对植物体产生不同的影响。对于植物的抗盐性与抗旱性来说, 两者看似是完全不同的两种胁迫, 但是它们对于植物不同生长发育阶段有不同的影响。前人对植物不同品种抗盐性和抗旱性进行了研究(张岩2008; 刘卓2008; 孙茜2014), 但并没有将抗盐性与抗旱性进行比较, 也没有探讨抗盐性与抗旱性之间的关系。本实验使用等渗的NaCl和甘露醇溶

液对甜高粱种子进行萌发实验, 这就为比较甜高粱的抗盐性与抗旱性提供了可能。

通过比较甜高粱在等渗的NaCl和甘露醇溶液处理下的萌发情况, 可以发现这两种胁迫都对种子的萌发产生了显著的抑制作用, 在对种子萌发率影响并不明显的情况下, 种子的发芽指数、活力指数都产生了显著的下降。对于大部分品种的甜高粱来说, 两种处理对发芽指数和活力指数的影响效果几乎是一致的。上述实验结果证明了盐胁迫下甜高粱种子萌发受到抑制主要是渗透胁迫造成的。

植物体接受盐胁迫和干旱胁迫的部位都是根部, 但是根部对盐胁迫和干旱胁迫的响应是不一致的。通过对比盐胁迫和干旱胁迫下甜高粱幼苗的根的生长, 我们发现盐胁迫下的根的长势要明显弱于干旱胁迫下根的长势, 干旱胁迫下的甜高

梁幼苗的根长和干鲜重都要显著高于盐胁迫下的根。在测定了根中的 Na^+ 后发现, 盐胁迫下根中的 Na^+ 浓度要显著高于干旱胁迫下根中的 Na^+ 浓度(结果未显示), 这说明盐胁迫造成了根部细胞膜透性的增大, 使大量 Na^+ 进入根中, 过多的 Na^+ 对根部造成了毒害, 阻碍了根部生长。而干旱胁迫下根部只是受到外界渗透压的影响, 根部的响应机制是促进根部的生长, 使根能够吸收更深土层中的水分, 为了进一步减少干旱条件下水分的流失, 植物会进行调控, 减弱其地上部分的生长。实验中测得干旱条件下的根冠比要显著高于盐胁迫条件下的根冠比, 而较高的根冠比可以增强植物抗旱的能力, 这种现象也就解释了甜高粱对待盐胁迫和干旱胁迫不同的响应机制。

植物的抗盐性与抗旱性都是一个复合性状的综合体现, 为了更准确地评价10个甜高粱品种的抗盐性与抗旱性的强弱, 选取正确的模型来对甜高粱的抗盐性与抗旱性进行评价就显得尤为重要。王秀玲等(2010)用模糊数学隶属函数方法综合评价了甜高粱发芽率、发芽指数等8项指标的盐害率, 对多个品种甜高粱的耐盐性进行了排序, 并将这8个指标作为耐盐性筛选的候选指标。张士超等(2015)用隶属函数法对在萌发期的甜高粱的发芽率等13个生长生理指标进行了综合评价, 从而筛选出耐盐的甜高粱品种。戴凌燕等(2011)在不同盐碱浓度处理下对7个甜高粱品种进行比较研究, 并采用隶属函数法对耐盐性进行评价, 提出在植物耐盐性鉴定中须运用多个指标进行综合评价。所以, 我们认为利用模糊数学的隶属函数法对不同甜高粱品种的抗盐性与抗旱性进行鉴定是一种可行的评价方法。本实验综合了萌发期的发芽率、发芽指数等7个指标, 通过对它们的盐害率和旱害率的隶属函数值的平均值进行比较, 来对不同品种甜高粱的抗盐性与抗旱性的强弱进行评价。通过抗盐性与抗旱性的强弱排序来看, ‘绿

能1号’、‘济甜杂7号’都属于抗盐性与抗旱性比较强的甜高粱品种, ‘济甜杂12号’、‘凯勒’、‘MN-94’都属于抗盐性与抗旱性比较差的品种。整体来看, 萌发期的甜高粱在抗盐性与抗旱性存在正相关关系, 抗盐性强的品种抗旱性一般也强。

参考文献

- 戴凌燕, 张立军, 张成才(2011). 苏打盐碱胁迫对甜高粱种子萌发的影响及品种耐性综合评价. 种子, 30 (10): 28~32
- 邓川(2013). 甜高粱抗旱耐盐碱种质资源筛选及其离体培养再生能力评价[博士学位论文]. 长春: 吉林大学
- 黎大爵(2002). 甜高粱可持续农业生态系统研究. 中国农业科学, 35 (8): 1021~1024
- 李姝晋(2005). 水稻耐盐、抗旱性生理研究及耐盐性的遗传分析、SSR标记定位及其初步利用[硕士学位论文]. 雅安: 四川农业大学
- 刘公社, 周庆源, 宋松泉, 景海春, 谷卫彬, 李晓峰, 苏蔓, Srinivasan R (2009). 能源植物甜高粱种质资源和分子生物学研究进展. 植物学报, 44 (3): 253~261
- 刘卓(2008). 不同苜蓿品种耐盐性、抗旱性比较的研究[硕士学位论文]. 吉林: 吉林农业大学
- 孙璐(2012). 高粱耐盐品种筛选及耐盐机制研究[博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学
- 孙茜(2014). 四种葡萄砧木抗旱、耐盐碱性的比较研究[硕士学位论文]. 银川: 宁夏大学
- 王佳丽, 黄贤金, 钟大洋, 陈志刚(2011). 盐碱地可持续利用研究综述. 地理学报, 66 (5): 673~684
- 王秀玲, 程序, 李桂英(2010). 甜高粱耐盐材料的筛选及芽苗期耐盐性相关分析. 中国生态农业学报, 18 (6): 1239~1244
- 武维华(2003). 植物生理学. 北京: 科学出版社
- 张士超, 袁芳, 杨帆等(2015). 隶属函数法对萌发期甜高粱品种耐盐性评价. 中国科技论文在线精品论文, 8 (7): 685~694
- 张岩(2008). 几种狗牙根品种(系)抗旱及抗盐性研究[硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学
- 周美利, 程然然, 范海, 王宝山(2012). 不同品种(系)甜高粱萌发期和苗期耐盐性研究. 现代农业科技, (4): 57~59
- Almansouri M, Kinet JM, Lutts S (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Plant Soil, 231 (2): 243~254
- Jamil A, Riaz S, Ashraf M, Foolad MR (2011). Gene expression profiling of plants under salt stress. Crit Rev Plant Sci, 30 (5): 435~458
- Rengasamy P (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. Funct Plant Biol, 37 (7): 613~620