

## 甜菜耐盐性筛选及其幼苗对盐胁迫的响应

陈业婷, 李彩凤\*, 赵丽影, 越鹏, 王园园, 滕祥勇, 王南博

东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030

**摘要:** 为了探讨甜菜耐盐机理、不同耐盐等级甜菜盐耐性机制差异, 对40份甜菜品种(系)用300 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl胁迫处理, 通过芽期相对盐害率和苗期盐害指数确定不同品种耐盐等级, 将不同耐盐等级材料进行NaCl浓度梯度(150、300 mmol·L<sup>-1</sup>)处理, 测定植株鲜重、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量和叶片质膜透性。试验结果如下: 40份甜菜材料经过芽期和苗期耐盐性筛选最终确定耐盐等级极强的品种(系)1份(‘KWS0143’), 耐盐等级强的品种(系)6份(‘ACERO’等), 耐盐等级中等的品种(系)14份(‘HI0183’等), 耐盐等级弱的品种(系)5份(‘OVITO’等); 在同一盐胁迫时间下, 不同耐盐等级材料的植株鲜重随盐浓度的增加呈下降趋势, 品种‘KWS0143’和‘ACERO’变化幅度较小, 品种‘OVATIO’下降幅度最大; 不同耐盐等级材料随盐浓度增加和胁迫时间延长超氧化物歧化酶(SOD)活性呈现先上升而后下降的趋势, 耐盐性极强的品种酶活性显著高于其他耐盐等级材料; 不同耐盐等级材料随盐浓度增加和胁迫时间延长丙二醛(MDA)含量和叶片质膜透性均呈上升趋势, 耐盐等级弱的品种(系)明显高于其他各个材料。

**关键词:** 甜菜; 相对盐害率; 盐害指数; 生理生化指标

## Screening of Salinity Tolerance and Response of Seedling to Salt Stress in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.)

CHEN Ye-Ting, LI Cai-Feng\*, ZHAO Li-Ying, YUE Peng, WANG Yuan-Yuan, TENG Xiang-Yong, WANG Nan-Bo

Agricultural College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

**Abstract:** To study the salt-tolerance mechanism and differences of salt-tolerant mechanism in every salt injury-tolerance, forty sugar beet varieties were used in this study. Hoagland solution culture method was applied to investigate the fresh weight, the activity of superoxide dismutase (SOD), the content of MDA and leaf plasma-membrane permeability. The results showed that ‘KWS0143’ had the best salt-tolerance; six varieties had high salt-tolerance, including ‘ACERO’; fourteen kinds of materials including ‘HI0183’ had the moderate salt-tolerance; while five kinds of materials including ‘OVITO’ had lower salt-tolerance in the shoot and seedling among forty sugar beet varieties. In the same stress periods, the seedling fresh weight of various materials was decreasing with the salt concentration increasing, however ‘KWS0143’ and ‘ACERO’ materials decreased more slowly than other salt-sensitive materials. SOD activity of varieties with different salt-tolerant grades increased primary stage and then decreased with the concentration and duration of NaCl stress increasing, and the highest salt-tolerant grade varieties had the largest SOD activity. MDA content and leaf plasma-membrane permeability in varieties with different salt-tolerant grade elevated with the increase of concentration and duration of NaCl stress. The lower salt-tolerant grade varieties, such as ‘OVATIO’ significantly had more obvious change than the other ones.

**Key words:** sugar beet; relative salt-harmed; salt-harmed index; physiological and biochemical indicator

甜菜是世界和我国第二大糖料作物, 我国甜菜播种面积占糖料作物总播种面积的40%, 主要分布在东北、华北和西北, 所以甜菜又是我国北方特有的经济作物。由于甜菜是制糖的主要原料, 因此其在种植业结构调整中起着重要作用。甜菜在栽培作物中耐盐性名列前茅, 近年来有关甜菜耐盐种质筛选方面, 已有一些报道, 当盐度为 6.0 mΩ·cm<sup>-1</sup> (电导率)时, 发芽率降低 50%, 用 1.0% NaCl 浓度

进行甜菜耐盐性筛选最终得到6份芽期耐盐性最好的品种(李雅华等2000); 也有学者研究表明NaCl浓度达到300 mmol·L<sup>-1</sup>时对甜菜种子发芽具有明显抑

收稿 2010-06-13 修定 2010-09-08

资助 国家自然科学基金(30771276)。

\* 通讯作者(E-mail: licai Feng1965@yahoo.com.cn; Tel: 0451-55190854)。

制作用,且400 mmol·L<sup>-1</sup>时病芽率达到极显著水平,以300 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl浓度对14份甜菜品种进行芽期抗盐筛选划分出抗盐胁迫和盐胁迫敏感型两个等级(史淑芝等2008);耿贵等(2004)以280 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl对37份甜菜品种进行耐盐性筛选,最终筛选出耐盐较强、中间型和盐敏感品种各10余份。

本试验通过对甜菜40份品种(系)的芽期相对盐害率和苗期盐害指数进行综合分析,确定甜菜的耐盐等级,为指导农业生产和进一步开发盐碱地服务;并研究盐胁迫下不同耐盐等级品种(系)苗期各项生理生化指标的变化,为进一步明确甜菜的耐盐机理、盐胁迫下甜菜的生理响应及进行抗盐基因工程提供理论依据。

## 材料与amp;方法

### 1 试验时间与地点

试验于2009年4月至2010年4月在黑龙江省哈尔滨市东北农业大学农业部寒地作物生理与生态重点开放实验室进行。

### 2 试验材料

甜菜(*Beta vulgaris* L.)品种由哈尔滨工业大学甜菜研究所提供。品种有:‘ACERO’、‘巴士森’、‘BETA464’、‘HI0183’、‘HI0466’、‘HI0479’、‘HI0732’、‘HM1631’、‘KWS0143’、‘KWS0149’、‘KWS4121’、‘KWS6167’、‘KWS9454’、‘OVATIO’、‘RIMA’、‘甜研八号’、

‘甜研七号’、‘甜研309’、‘双丰八号’、‘CL-5’;品系:20份(依次用阿拉伯数字表示)。

芽期耐盐性鉴定达到耐盐性中等以上的(相对盐害率<40%)材料用于苗期耐盐性鉴定。

经苗期耐盐性鉴定划分出若干个盐害等级,从各等级中选出一份品种用于生理生化指标的测定。

### 3 试验方法

**3.1 试验设计** 芽期耐盐等级的鉴定按照我国甜菜抗盐资源的鉴定方法(秦树才等2004)进行。每份供试材料选取符合甜菜种子标准的径级统一的种子400粒,处理组和对照组都设置3次重复,即分成6组(每组100粒)。先将种子用敌克松消毒处理,清水冲洗干净,再将其中的3组(处理)浸入300 mmol·L<sup>-1</sup>的NaCl溶液中,另3组浸入蒸馏水中(对照)各24 h进行浸种,然后放入培养皿中(内附滤纸并用蒸馏水湿润),为防止水分蒸发,盖上培养皿的盖子,置于25℃(曲文章等2007)培养箱中10 d,观察记录种子的发芽情况,分别计算对照和处理的发芽率、相对盐害率。按照相对盐害率即对照组平均发芽率与处理组平均发芽率的差值所占对照组平均发芽率的百分比来确定供试材料的耐盐等级:强≤20%,中≤40%,弱≤60%,不抗盐>60%,按如下公式计算。

式中CK1、CK2、CK3分别代表对照组发芽率的3次重复,T1、T2、T3分别代表处理组发芽率的3次重复。

$$\text{相对盐害率(\%)} = \frac{(\text{CK1} + \text{CK2} + \text{CK3})/3 - (\text{T1} + \text{T2} + \text{T3})/3}{(\text{CK1} + \text{CK2} + \text{CK3})/3} \times 100$$

苗期耐盐等级的鉴定按照我国甜菜抗盐资源的鉴定方法(秦树才等2004)进行,由于芽期相对盐害率>40%的材料盐害影响严重,耐盐等级为弱和不抗盐,盐渍条件下苗期存活量少,萎蔫严重,不能用于生产栽培,故而将芽期耐盐性鉴定达到耐盐性中等以上的(相对盐害率≤40%)的材料用于进行苗期耐盐性鉴定。将试验材料统一播种在盆内,待其长到4片叶时,置于光照培养箱中进行Hoagland营养液培养,光照级数4级(约200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>),日照时间13 h,温度昼28℃、夜20℃,湿度30%,培养7 d,然后加入浓度为300 mmol·L<sup>-1</sup>的NaCl溶液,

每2 d更换一次营养液,并使其始终保持在300 mmol·L<sup>-1</sup>下。结合我国甜菜抗盐资源的鉴定方法(秦树才等2004;黄建全等2009)对甜菜幼苗耐盐分级标准,待甜菜长到6片叶时每天观察幼苗生长状况并记录枯黄叶片数,依据幼苗生长情况分为6级苗:0级,无受害症状;1级(轻度),三分之一叶片的叶尖叶缘失水萎蔫;2级(中度),二分之一叶片的叶尖叶缘失水萎蔫并有焦枯;3级(重度),三分之二叶片的焦枯面积达三分之一,一半叶片脱落;4级(极重度),所有叶片焦枯面积达二分之一以上,多数叶片脱落;5级,整株枯死。

盐害指数(SI)= $\Sigma$ (盐害级值×同级株数)/(总株数×最高级值)×100。盐害指数分5级: 极强, 0<盐害指数≤20; 强, 20<盐害指数≤40; 中等, 40<盐害指数≤60; 弱, 60<盐害指数≤80 极弱, 80<盐害指数≤100。

从苗期不同耐盐等级材料中选出一份品种, 将其统一播种在花盆内, 待其长到4片叶时置于光照培养箱中进行Hoagland营养液培养, 设置一组对照, 其余在营养液基础上加入浓度依次为150 mmol·L<sup>-1</sup>和300 mmol·L<sup>-1</sup>的NaCl溶液, 每5 d更换一次营养液, 并使其浓度始终保持不变。去除心叶、根系进行整株取样; 处理后每隔5 d取样一次, 共取4次样, 取样后立即用液氮冷冻处理, 并置于-80 °C冰箱保存备用。

**3.2 生理生化指标的测定** 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)法; 丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法; 叶片质膜透性的测定采用DDS-11A型数显电导仪测定电导率(郝再彬等2002); 以上每个指标均设3次重复, 取平均值。

**3.3 精密仪器与药品规格** 由美国Beckman公司生产的DU640紫外分光光度计、德国Heraeus公司生产的低温高速离心机、德国Eppendorf公司生产的全套微量移液器、美国Thermal公司生产的超低温冰箱、美国摩尔公司生产的Milli-Q纯水系统、中国北京六一公司生产的DDS-11A型数显电导仪; 氯化硝基四氮唑蓝(NBT)购自西格玛试剂公司, 其余试剂均为国产分析纯。

**3.4 统计分析** 对原始数据应用Excel数据分析系统进行数据处理和制图, 并对平均数用Duncan's新复极差法进行测验。

## 实验结果

### 1 芽期耐盐性等级的鉴定

甜菜耐盐性是由遗传基因决定的, 不同品种(系)具有不同的耐盐能力, 芽期对盐胁迫比较敏感, 发芽力的好坏直接影响苗期的正常生长。从表1可以看出不同甜菜品种(系)间相对盐害率差异很大。经过比较芽期相对盐害率, 筛选出耐盐性强、耐盐性中等、耐盐性弱、不耐盐4个等级, 品系20号和品种‘ACERO’等13份相对盐害率很小, 盐害等级强, 占供试材料的32.5%; 品系9号、1号、

8号、2号和品种‘KWS0143’、‘HI0479’等13份相对盐害率小于30%, 达到耐盐中等级别, 该等级占供试材料的32.5%; 8份耐盐等级弱和6份不耐盐这两个等级相对盐害率比较大, 分别占供试材料的20%和15%; 由此可看出大多数甜菜种质资源还是具有很高的耐盐能力, 但在种子发芽和幼苗形态建成阶段, 甜菜不能忍受耐高盐的环境, 高浓度盐对种子发芽具有抑制作用。

在盐胁迫条件下, NaCl抑制植株地上部分干物质的积累, 生长受到抑制, 使植株变小。随盐胁迫时间的延长, 虽然生长受到一定抑制, 但多数材料仅仅是下部的叶片开始逐渐枯黄, 不同品种(系)受盐胁迫的影响程度不同。苗期耐盐性极强的‘KWS0143’(表1)仅仅是下部少数叶片枯黄, 上部叶片未受盐害影响, 群体中无死亡植株; 耐盐性中等的占54%, 耐盐等级弱的占19%, 没有耐盐性极弱的品种(系)(表1)。中等耐盐等级的品种(系)盐害指数介于耐盐性强和耐盐性弱二者之间(表1), 由此可见, 盐害指数的高低较好的反应了甜菜种质间的耐盐性差异。通过上述方法来评价甜菜不同种质资源的耐盐等级比较直观、准确, 计算也比较简便。

### 2 盐胁迫对甜菜幼苗鲜重的影响

由图1可以看出, 同一品种在未受盐胁迫时植株鲜重只是随取样时间的延伸而略有上升, 随盐浓度的增加不同耐盐等级品种植株鲜重呈下降趋势; 品种‘KWS0143’和‘ACERO’在盐胁迫条件下, 植株鲜重随取样时间的延伸变化幅度不大, 只是在盐胁迫的第20天时, 随盐浓度的增加植株鲜重差异较为明显; 品种‘HI0183’和‘OVATIO’在盐胁迫的第5天不同浓度盐胁迫下植株鲜重差异不大, 随盐浓度的增加和取样时间的延伸植株鲜重下降幅度加大, 尤以品种‘OVATIO’下降幅度最大。由此可以看出盐胁迫对各材料的幼苗鲜重均有一定程度的影响, 且不同耐盐性试材之间的幼苗鲜重变化程度不同。

### 3 盐胁迫对甜菜幼苗超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

SOD是植物体内的主要保护酶系统, 在逆境中活性增强或维持较高的水平, 才能清除超氧自由基使之保持较低的水平, 维持细胞膜的稳定性和完整性。从图2可以看出, 各供试材料随盐浓度的增加和胁迫时间的延长SOD活性表现出先上升后下降

表1 甜菜不同品种(系)芽、苗期耐盐性鉴定结果

Table 1 Identifying results of salt-tolerance in shoot germination and seedling stage of sugar beet

品种(系)	芽期相对盐害率/%	芽期耐盐性等级	苗期盐害指数	苗期耐盐性等级
品系 20	2.47	强	48	中
‘ACERO’	5.32	强	28	强
‘巴士森’	6.19	强	57	中
‘KWS0149’	6.70	强	30	强
品系 19	6.70	强	47	中
品系 15	8.57	强	59	中
‘OVATIO’	10.20	强	63	弱
‘KWS4121’	12.22	强	26	强
品系 11	13.51	强	43	中
‘RIMA’	13.83	强	45	中
品系 5	15.91	强	53	中
品系 4	16.99	强	55	中
‘H10732’	17.58	强	40	中
品系 9	20.25	中	56	中
品系 1	22.68	中	46	中
‘KWS6167’	23.86	中	50	中
品系 8	24.71	中	61	弱
品系 2	26.83	中	35	强
‘KWS0143’	27.78	中	2	极强
‘H10479’	28.95	中	64	弱
‘HM1631’	30.95	中	66	弱
‘甜研八号’	32.18	中	32	强
‘H10183’	31.58	中	52	中
‘BETA464’	33.33	中	60	弱
‘双丰八号’	33.45	中	60	中
‘CL-5’	33.59	中	25	强
品系 6	40.21	弱		
品系 7	40.89	弱		
品系 17	41.18	弱		
‘KWS9454’	41.33	弱		
‘甜研七号’	42.67	弱		
‘H10466’	44.83	弱		
品系 3	52.31	弱		
品系 13	59.52	弱		
品系 14	61.73	不抗		
品系 18	63.27	不抗		
‘甜研 309’	63.79	不抗		
品系 10	70.69	不抗		
品系 16	79.41	不抗		
品系 12	86.36	不抗		

的趋势;不同耐盐等级甜菜品种SOD活性在正常情况下略有差异;当盐浓度从 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到 $300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,各耐盐等级材料SOD活性明显下降,随胁迫时间的延长各不同耐盐等级甜菜品种总体趋势表现为随浓度的上升SOD活性持续缓慢增加,耐盐等级极强的品种‘KWS0143’的SOD活性增加幅

度大于其他各耐盐等级品种,说明盐诱导甜菜叶片中SOD活性的增加;在同一盐浓度处理下,随胁迫时间的延长,各耐盐等级材料SOD活性呈下降趋势,‘OVATIO’的酶活性最小,‘KWS0143’的酶活性最大,‘H10183’和‘ACERO’介于二者之间,表明耐盐性强的甜菜品种能有效地清除超氧自由基从而阻

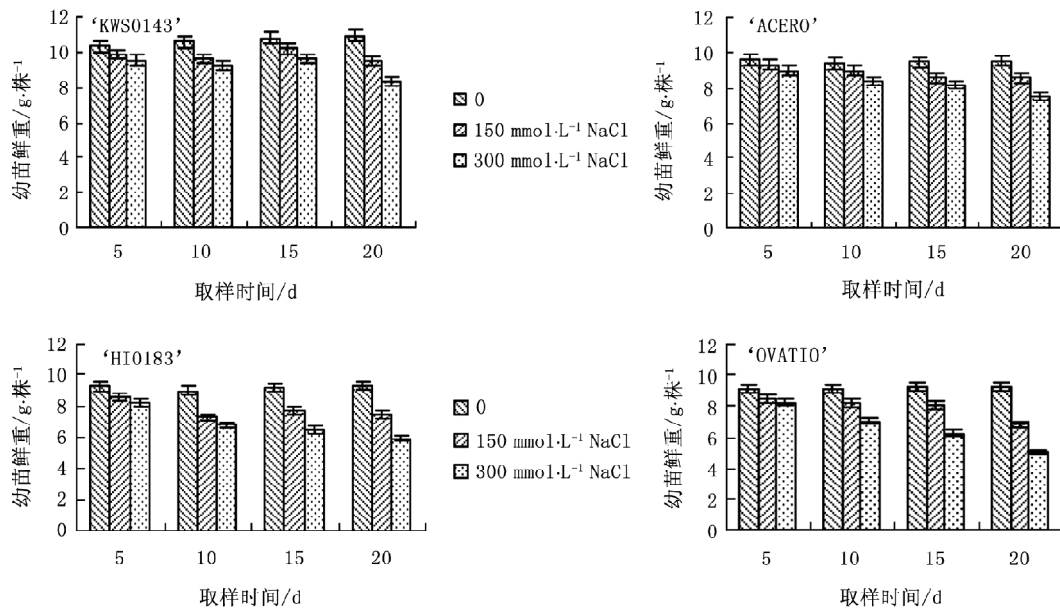


图1 盐胁迫对甜菜幼苗鲜重的影响

Fig.1 Effects of salt stress on fresh weight of sugar beet seedlings

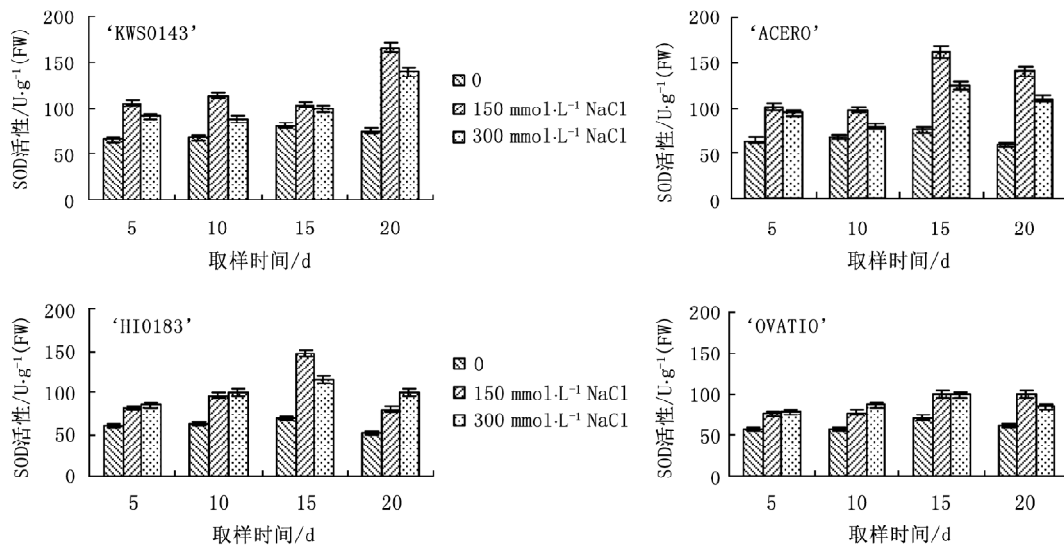


图2 盐胁迫对甜菜幼苗 SOD 活性的影响

Fig.2 Effects of salt stress on SOD activity of sugar beet seedlings

止膜的过氧化和被破坏,而耐盐性弱的甜菜品种清除超氧自由基的能力较弱,具有较低的耐盐性。

#### 4 盐胁迫对甜菜幼苗丙二醛(MDA)含量的影响

由图3可以看出,对照各个取样日期中不同耐盐等级的MDA含量差别不大,只是随取样日期的增加MDA含量略有增加;随胁迫时间的延长和盐浓度的增加不同耐盐等级品种间丙二醛含量变化出现明

显差异,‘OVATIO’的丙二醛含量最大,‘KWS0143’的丙二醛含量最小,‘HI0183’和‘ACERO’介于二者之间,即耐盐等级极强的品种‘KWS0143’在整个胁迫过程中受伤害程度较小,膜脂过氧化程度较轻,而耐盐等级弱的品种‘OVATIO’膜脂过氧化程度最重,说明在同等盐浓度胁迫下,其脂质过氧化反应水平明显高于其他耐盐等级品种,这与盐害指数结

果基本一致。

### 5 盐胁迫对甜菜幼苗叶片质膜透性的影响

叶片质膜透性可用电解质渗透率(electrolytic leakage)表示,是反映植物叶片受到逆境伤害和细胞

膜稳定性的一个重要指标。如图4所示,对照各个取样时期中叶片质膜透性相差不大,随盐胁迫时间的延长,各耐盐等级材料叶片质膜透性均增加,耐盐等级最弱的品种‘OVATIO’电解质渗透率最大,

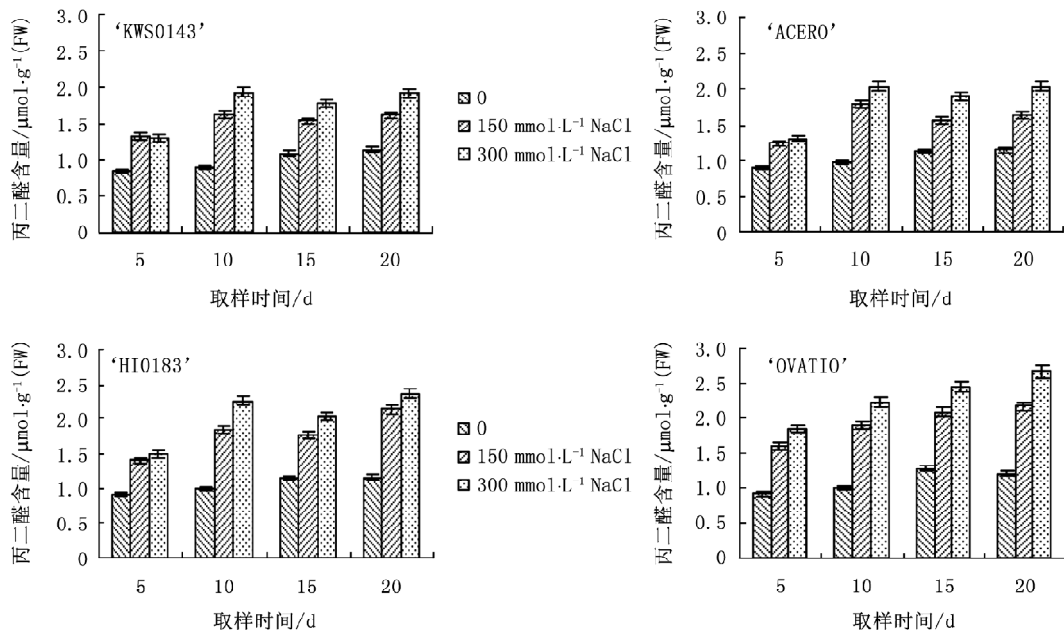


图3 盐胁迫对甜菜幼苗丙二醛含量的影响

Fig.3 Effects of salt stress on MDA content of sugar beet seedlings

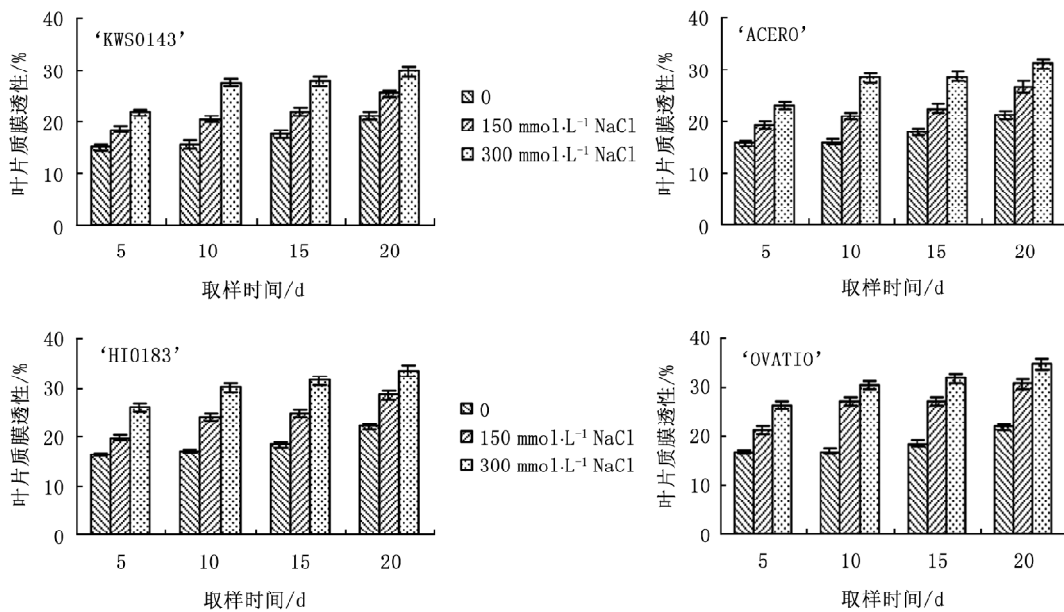


图4 盐胁迫对甜菜幼苗叶片质膜透性的影响

Fig.4 Effects of salt stress on plasma-membrane permeability of sugar beet seedlings

显著高于其他各耐盐等级品种, 细胞膜受损严重; 而‘KWS0143’叶片质膜透性最低; 这表明‘KWS0143’在盐胁迫下细胞膜破坏程度较轻, 这与盐害指数结果基本一致。表明不同甜菜耐盐等级品种盐分进入植株体内, 在体内大量积累, 对细胞膜产生伤害, 导致电解质外渗, 引起电导率的上升, 而且可能由于耐盐性较弱的品种细胞膜稳定性较差, 故所受伤害更重。由此可得出在幼苗生长发育过程中, 耐盐性强的品种膜透性增幅较小, 反之越大。

## 讨 论

盐胁迫使植株发育迟缓, 根系生长不良, 甜菜不同种质资源具有不同的耐盐能力, 苗期耐盐性是甜菜耐盐性的重要组成部分, 而对于生产实践来说苗期的耐盐性也尤为重要。程大友等(1996)研究表明低浓度氯化钠在一定程度上能促进甜菜种子萌发, 氯化钠临界发芽浓度为 17‰, 并可以用来鉴定甜菜不同品种(系)的耐盐性。用盐害指数对小麦(马雅琴 2004)、水稻(郭望模等 2003)、南瓜(李卫欣等 2006)、大豆(孙薇 2007)、玉米(高英等 2007)、黄瓜(张景云 2007)、大白菜(薛莉等 2007)等进行苗期耐盐性鉴定时也采用营养液培养幼苗的方式, 并取得较好的试验结果。本试验研究表明芽期耐盐性强的品种‘巴士森’、‘RIMA’和‘HI0732’, 品系 19 号、15 号、5 号和 4 号在苗期表现出中等耐盐等级, 而品种‘OVATIO’则表现出耐盐性弱等级; 芽期中等耐盐等级的品系 2 号和品种‘甜研八号’、‘CL-5’在苗期表现为耐盐性强的品种, 说明甜菜芽期耐盐性和苗期耐盐性之间没有必然的联系, 其根本原因可能是甜菜芽期的耐盐性体现的是种子吸水膨胀的能力, 主要机理是生物体抵抗渗透胁迫, 与苗期的耐盐机理不一样。马淑时和王伟(1994)、盖如玉(2007)分别对 42 份和 941 份大豆材料进行耐盐碱筛选分析得出芽期耐盐性和苗期耐盐性关系不大。所以在进行甜菜种子资源的耐盐性鉴定时不能单一的在某个时期进行鉴定, 农业生产上主要考虑农艺和产质量性状, 不完全只强调某一时期的耐盐性, 所以进行甜菜种质资源的耐盐性鉴定时要芽期和苗期综合考虑。

SOD具有催化超氧自由基生成 $H_2O_2$ 和 $O_2$ 的功能(Lin 和 Kao 2000), 从而对细胞膜系统损伤起到

一定的保护作用, 活性氧清除系统是植物对不同逆境下伤害大分子物质及其破坏细胞结构作出的应激反应, 使植物在逆境中能有效缓解活性氧对植物造成的伤害(陈一舞等 1997)。不同耐盐等级甜菜品种随着胁迫时间的延长SOD酶活性持续缓慢增加, 说明盐诱导甜菜叶片中SOD酶活性的增加, 且随耐盐等级的升高而增加, 表明耐盐性强的甜菜品种能有效地清除超氧自由基, 从而减轻膜脂过氧化, 耐盐性弱的品种叶片细胞膜系统受到严重损伤, 酶活性受到抑制, 清除自由基的能力也逐渐降低, 这样盐离子对甜菜幼苗的毒害作用就会逐渐加大, 最后导致植株枯萎。这与前人在研究蚕豆(时丽冉 2009)、冷季草坪(张喜焕等 2007)和小麦(Mandhanian 等 2006)在受盐胁迫时 SOD 的变化趋势相同。

植物遭受逆境伤害时往往发生膜质过氧化作用, 而丙二醛是膜质过氧化的最终产物, 对细胞膜结构和功能造成破坏, 其含量大小可以反映植物遭受逆境伤害的程度, 可作为耐盐性强弱的鉴定指标, 含量越高表明受伤害程度越大(曹莹等 2005)。耐盐性较弱的甜菜品种细胞膜脂受伤害的程度大, 而耐盐性强的品种由膜脂过氧化作用所形成的MDA积累缓慢, 细胞膜受到的损伤程度较小, 细胞膜稳定性较好。这与前人以大豆(许东河等 1993)、苜蓿(Wang 和 Han 2009; Wang 等 2009)为材料研究盐胁迫下 MDA 含量的变化结果一致。

在研究植物对盐渍胁迫的响应时, 膜系统通常被认为是最关键和最敏感的部位, 当质膜的选择性因逆境伤害而明显改变或丧失时, 引发或加剧膜脂过氧化, 使膜的半透性丧失, 细胞内的物质尤其是电解质大量外渗, 导致组织渗透液的电导率增大, 通过测定外渗电导率的变化, 就可以反映质膜在逆境中膜透性的变化和组织受伤的程度及所测材料抗逆性的大小。通过研究表明, 甜菜经不同盐浓度处理后质膜透性增长随盐浓度的升高而增加, 随着时间的推移, 耐盐性强的品种对盐渍条件的适应性要强于耐盐性弱的品种, 耐盐性相对弱的质膜透性变化大, 膜受损程度增加。这与Gulen等(2006)和Mandhanian等(2006)在草莓和小麦上的研究得出的结论吻合。

## 参考文献

- 曹莹, 黄瑞冬, 曹志强(2005). 铅胁迫对玉米生理生化特性的影响. 玉米科学, 13 (3): 61~64

- 陈一舞, 邵桂花, 常汝镇(1997). 盐胁迫对大豆幼苗子叶各细胞器超氧化物歧化酶(SOD)的影响. 作物学报, 23: 214~219
- 程大友, 张义, 陈丽(1996). 氯化钠胁迫下甜菜种子的萌发. 中国糖料, (2): 21~23
- 盖如玉(2007). 大豆种质资源的耐盐性鉴定和多样性分析[硕士论文]. 北京: 中国农业科学院, 16~20
- 高英, 同延安, 赵营, 樊红柱(2007). 盐胁迫对玉米发芽和苗期生长的影响. 中国土壤与肥料, (2): 30~34
- 耿贵, 周建朝, 陈丽, 刘凤海, 王志学(2004). 氯化钠胁迫下甜菜不同品种(系)种子发芽率和幼苗生长的差异. 中国糖料, (2): 14~18
- 郭望模, 傅亚萍, 孙宗修, 郑镇一(2003). 盐胁迫下不同水稻种质形态指标与耐盐性的相关分析. 植物遗传资源学报, 4 (3): 245~251
- 郝再彬, 苍晶, 徐仲(2002). 植物生理实验技术. 哈尔滨: 哈尔滨出版社, 185~197
- 黄建全, 商佳胤, 张小玉, 李树海, 胡忠惠, 田淑芬(2009). 盐胁迫下两种盆栽枣耐盐性的初步研究. 河北林业科技, (2): 1~3
- 李卫欣, 陈贵林, 赵利, 任良玉, 王冉, 吕桂云(2006). NaCl胁迫下不同南瓜幼苗耐盐性研究. 植物遗传资源学报, 7 (2): 192~196
- 李雅华, 崔平, 王艳玲(2000). 甜菜种质芽期耐盐性及鉴定方法的研究. 中国糖料, (1): 5~8
- 马淑时, 王伟(1994). 大豆品种资源的抗盐碱性研究. 吉林: 吉林农业科学, 69~71
- 马雅琴(2004). 小麦(*Triticum aestivum* L.)种质资源的耐盐性鉴定及其相关基因的挖掘[博士论文]. 北京: 中国农业科学院, 24~26
- 秦树才, 李刚, 李实(2004). 我国甜菜抗盐资源的鉴定方法. 中国糖料, (2): 43~47
- 曲文章, 曲扬, 高妙真(2007). 不同浸种处理对甜菜种子发芽率的影响. 中国甜菜糖业, (7): 15~19
- 时丽冉(2009). 盐胁迫下蚕豆幼苗抗氧化酶动态变化研究. 农业科技通讯, (3): 35~36
- 史淑芝, 崔杰, 鲁兆新, 程大友, 罗成飞(2008). 甜菜种质资源耐盐性筛选. 中国甜菜糖业, (4): 7~9
- 孙薇(2007). 河南和山西野生大豆耐盐鉴定及耐盐相关性分析[硕士论文]. 北京: 中国农业科学院, 19~24
- 许东河, 李东艳, 陈于和(1993). 盐胁迫对大豆膜透性、丙二醛含量及过氧化物酶活性的影响. 华北农学报, 8 (增刊): 78~82
- 薛莉, 张凤兰, 于拴仓, 朱月林, 余阳俊, 张德双, 赵岫云, 徐家炳(2007). 盐胁迫对大白菜幼苗生理生化特性的影响. 中国农学通报, 23 (8): 287~293
- 张景云(2007). 黄瓜不同抗盐生理生化特性的研究[硕士论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 16~20
- 张喜焕, 陈翠果, 李永进(2007). 盐胁迫对两种冷季型草坪草保护酶活性及膜质过氧化的影响. 北方园艺, (9): 173~175
- Gulen H, Turhan E, Eris A (2006). Changes in peroxidase activities and soluble proteins in strawberry varieties under salt-stress. *Physiol Plant*, 28 (2): 109~116
- Lin CC, Kao CH (2000). Effect of NaCl stress on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> metabolism in rice leaves. *Plant Growth Regul*, 30: 151~155
- Mandhanja S, Madan S, Sawhney V (2006). Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biol Plant*, 50 (2): 227~231
- Wang XS, Han JG (2009). Changes of proline content, activity and active isoforms of antioxidative enzymes in two alfalfa cultivars under salt stress. *Agric Sci Chin*, 8 (4): 431~440
- Wang WB, Kim YH, Lee HS, Kim KY, Deng XP, Kwak SS (2009). Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stresses. *Plant Physiol Biochem*, 47: 570~577