

# NaCl 胁迫对甜高粱发芽期生理生化特性的影响

王秀玲<sup>1</sup>, 程序<sup>2</sup>, 谢光辉<sup>2</sup>, 李桂英<sup>3\*</sup>

1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193;  
3. 中国农业科学院作物科学研究所/生物质能源研究中心/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081

**摘要:** 为筛选耐盐甜高粱材料, 探讨 NaCl 胁迫对甜高粱发芽期生理生化特性的影响, 研究了 0、70、140、210 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫对吉甜 3、BJK156、甜 132、凯勒、威利、考利、吉甜 2、戴尔等 8 个甜高粱材料发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量等 8 个指标盐害系数的影响, 利用系统聚类法对甜高粱耐盐性进行聚类可分为 3 类: 耐盐性最强的是甜 132, 耐盐性中等的是 BJK156, 耐盐性较敏感的是考利、吉甜 3、吉甜 2、戴尔、凯勒、威利。进一步研究了盐胁迫对甜高粱芽苗中丙二醛、可溶性蛋白含量及过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响。结果得出: 随着盐胁迫的加重丙二醛含量逐渐增加, 可溶性蛋白含量逐渐减少。NaCl 胁迫不同程度地提高了 8 个甜高粱材料 POD、CAT、SOD 活性, 受 3 种 NaCl 质量浓度胁迫后 8 个甜高粱材料 POD、CAT、SOD 活性的变化趋势不同, 这可能是它们耐盐差异的生理原因之一。另外, 在 3 种 NaCl 浓度胁迫后甜 132 中的丙二醛增加量在 8 个材料中都是最低的, 这与系统聚类分析得出甜 132 耐盐性最强的结论相吻合。研究认为丙二醛含量的变化可以作为筛选发芽期耐盐甜高粱品种的一个指标。

**关键词:** 甜高粱; NaCl; 丙二醛; 可溶性蛋白; 过氧化物酶; 过氧化氢酶; 超氧化物歧化酶

**中图分类号:** Q945.78

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2010) 10-2285-06

作为能源作物的甜高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], 具有很强的抗旱、耐瘠、耐盐碱特性, 适宜在盐碱干旱等边际土地上种植, 而且由于生长快, 产量高和茎秆富含糖分, 被誉为“生物能源系统中最有竞争力的竞争者”<sup>[1]</sup>。

世界陆地面积的 6%, 世界耕地面积的 20%, 接近 50% 的灌溉土地被高盐害所影响<sup>[2]</sup>。中国盐渍土面积约 9913×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 而且盐碱化和次生盐渍化每年都在不断加重<sup>[3]</sup>。充分利用边际性土地, 发展生物质能源, 符合我国“不与粮争地、不与人争粮”大力发展非粮生物质能源的政策导向, 可以有效缓解耕地资源紧张和粮食安全的压力。因此研究甜高粱的耐盐性对有效利用盐渍化土地和发展生物质能源具有重要意义。

植物耐盐性是一个复杂的反应过程, 涉及组织器官结构、生理生化反应等多方面的因素, 盐胁迫下, 植物体内积累较多的活性氧, 这些活性氧若不能及时清除就会造成氧化胁迫<sup>[4]</sup>。过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)等内源活性氧清除剂, 能在逆境胁迫过程中清除植物体内过量的活性氧, 抑制膜质中不饱和脂肪酸过氧化作用产物丙二醛(MDA)的积累, 维持细胞膜的稳定性<sup>[4-5]</sup>。

目前关于盐胁迫对甜高粱生理生化特性影响的研究主要集中在苗期<sup>[6-7]</sup>, 但作物在种子萌发期对盐分最敏感<sup>[8]</sup>。种子耐盐性是进行植物耐盐性早期鉴定及进行耐盐品种早期选择的基础<sup>[9]</sup>。本文研究了盐胁迫对甜高粱发芽和对甜高粱保护酶活性等生理指标的影响, 筛选耐盐甜高粱新品种, 探讨甜高粱发芽期耐盐的生理机制, 为利用盐碱地发展生物质能源提供品种资源和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选用耐盐性不同的 8 个甜高粱材料: 甜 132、考利、戴尔、吉甜 2、吉甜 3、BJK156、威利、凯勒, 其中甜 132、吉甜 2、吉甜 3 是国内培育材料, 威利、凯勒、戴尔、考利、BJK156 是国外引进的材料。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 甜高粱芽苗的准备

选取籽粒饱满、大小一致的种子, 用 1% 的次氯酸溶液消毒 10 min, 再用蒸馏水冲洗 3 次, 摆放在直径 12 cm 并铺有两层滤纸的培养皿中, 设 70、140、210 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 3 个浓度处理, 蒸馏水 (0 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl) 为对照, 每个培养皿中放 20 mL 溶液, 3 次重复。培养皿放在人工气候箱中发芽, 白/夜温度 28°C/25°C, 湿度 60%, 光照/黑暗 12 h/12 h, 光照

基金项目: 科技部“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD07A04; 2009BADA7B01); 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目 (3-30-1)

作者简介: 王秀玲 (1973 年生), 女, 博士, 主要研究甜高粱耐盐性。E-mail: wangxl0609@163.com

\*通信作者: 李桂英 (1964 年生), 男, 研究员, 研究方向为能源作物与生物质工程。E-mail: liguiying@caas.net.cn

收稿日期: 2010-09-13

强度为 $134 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 以胚根长0.2 mm作为种子发芽标志, 从第2天到第7天每天统计发芽种子数, 第7天收获并从每个培养皿中取有代表性的5株测量根长、芽苗长、芽苗鲜质量、根鲜质量, 并计算平均值。将收获的芽苗在液氮中速冻后保存在 $-80^{\circ}\text{C}$ 冰箱中备用。

### 1.2.2 丙二醛的测定

采用硫代巴比妥酸比色法<sup>[10]</sup>, 利用紫外分光光度计(SPECORD S600)在532、600、450 nm下测定吸光度值。

可溶性蛋白的测定: 采用考马斯亮蓝G-250法<sup>[11]</sup>, 利用紫外分光光度计(SPECORD S600)在595 nm下测吸光度。

### 1.2.3 保护酶活性的测定

过氧化物酶(POD)活性测定: 采用愈创木酚显色法<sup>[11]</sup>, 利用紫外分光光度计(SPECORD S600)在470 nm波长下比色, 以每分钟内A470变化0.01为1个酶活性单位。

过氧化氢酶(CAT)活性测定: 采用紫外吸收法<sup>[10]</sup>, 利用紫外分光光度计(SPECORD S600)在240 nm波长下测吸光度, 以1 min内A240减少0.1的酶量为1个酶活单位。

超氧化物歧化酶(SOD)活性测定: 采用氮蓝四唑(NBT)法<sup>[10]</sup>, 利用紫外分光光度计(SPECORD S600)在560 nm波长下测定吸光度。SOD总活性以抑制NBT光化还原的50%为1个酶活性单位。

## 1.3 计算公式

发芽率=发芽第7天发芽种子数/供试种子数 $\times 100$

发芽指数= $\sum G_i/D_i$  ( $G_i$ 指时间 $i$ 的发芽数,  $D_i$ 指相应的发芽天数)

发芽势=4 d内发芽种子数/供试种子数 $\times 100$

活力指数= $S \times \sum G_i/D_i$  ( $S$ 指芽苗的鲜质量)

各指标的盐害系数=(对照值-处理值)/对照值 $\times 100$

## 1.4 数据处理

利用SPSS(16.0)软件进行聚类分析, Duncan法

进行多重比较, 利用excel(2003)进行数据处理与作图。

## 2 结果分析

### 2.1 8个甜高粱材料耐盐性的评价

首先计算出8个甜高粱材料在3种盐胁迫处理下发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、茎长、根长、茎鲜质量、根鲜质量8个指标的盐害系数, 然后求各指标盐害系数在3种盐浓度下的平均值(表1)。可以看出, 甜132的发芽率、活力指数、芽长、芽鲜质量、根鲜质量的盐害系数的平均值在8个材料中都是最小的, 但发芽势、发芽指数及根长盐害系数的平均值都不是最小的, 因此还不能判定甜132的耐盐性强弱。所以任何一项发芽指标盐害系数都不能客观地评价甜高粱的耐盐性, 只能把各的指标综合起来才能较全面地评价甜高粱的耐盐性。

将甜高粱材料的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、芽长、根长、芽鲜质量、根鲜质量8项指标在70、140、210  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl胁迫下的盐害系数看成24个独立的指标, 采用欧式距离, 利用系统聚类分析方法中的类间平均法评价8个甜高粱材料的耐盐性, 这样可较全面客观地评价甜高粱的耐盐性。在遗传距离为15时将8个甜高粱材料分为3类, 耐盐性强的材料为甜132, 耐盐性中等的是BJK156, 耐盐性较敏感的是考利、吉甜3、吉甜2、戴尔、凯勒、威利。

### 2.2 NaCl胁迫对甜高粱芽苗中丙二醛含量的影响

丙二醛是细胞膜不饱和脂肪酸发生过氧化作用的终产物, 其含量的多少可作为细胞膜质损伤程度的参数。从图2可以看出, 盐胁迫不同程度地提高了8个甜高粱材料芽苗中丙二醛的含量, 且随着盐胁迫浓度的增大, 丙二醛的含量逐渐增大。说明盐胁迫对甜高粱芽的细胞膜均有不同程度的损伤, 而且随着盐浓度的增加损伤越来越大。在70  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 质量浓度下, 考利、戴尔、威利、凯勒、吉甜2、吉甜3、BJK156、甜132丙二醛含量分别比对照增大了101%、62.8%、31.2%、32.1%、7.3%、9.3%、29.8%、4.4%。在140  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 质量浓度下,

表1 8个甜高粱材料各测试性状盐害系数的平均值

Table 1 Average value of salt toxicity coefficient of all traits of eight sweet sorghum varieties

材料	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	芽长	根长	芽鲜质量	根鲜质量
甜132	15.77	12.16	21.91	46.17	42.16	48.84	42.24	44.05
威利	22.62	21.57	32.26	63.16	52.31	61.26	49.78	56.30
吉甜3	30.95	22.92	29.79	60.18	44.29	49.97	47.65	54.57
BJK156	22.22	12.04	17.56	50.72	53.29	68.11	43.06	54.82
戴尔	28.69	26.48	36.83	62.70	53.21	56.00	50.32	45.78
凯勒	18.58	20.73	32.46	65.41	54.99	56.94	53.07	60.28
考利	20.77	19.67	18.48	55.68	52.20	48.64	51.12	48.95
吉甜2	29.22	26.75	38.45	62.87	53.37	55.76	47.19	53.04

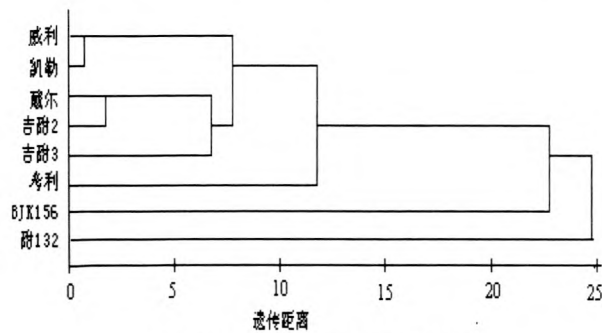
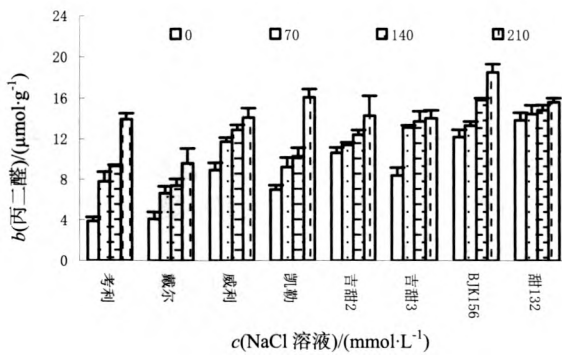


图1 8个甜高粱材料耐盐性聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of eight sweet sorghum varieties for salt tolerance



柱形图数据为 5 次的平均值±标准差

图2 不同质量浓度的 NaCl 胁迫对甜高粱幼苗中丙二醛含量的影响  
Fig.2 Effect of different NaCl concentrations on MDA content in sweet sorghum sprouts

考利、戴尔、威利、凯勒、吉甜2、吉甜3、BJK156、甜132丙二醛含量分别比对照显著( $P < 0.05$ )增大了140%、80.5%、44.2%、47.5%、17%、29.8%、52.2%、7.2%。在210  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 质量浓度下,考利、戴尔、威利、凯勒、吉甜2、吉甜3、BJK156、甜132丙二醛含量极显著( $P < 0.01$ )增大了260%、134%、58%、130%、34.5%、67.3%、52.2%、12.8%。在3种盐浓度下考利丙二醛含量的增加量均为最大,而甜132丙二醛含量的增加量均为最小,说明盐胁迫对甜132芽苗细胞膜伤害程度最小,而对考利芽苗细胞膜损害程度最重。

### 2.3 NaCl 胁迫对甜高粱芽苗中可溶性蛋白含量的影响

从图3可以看出盐胁迫后8个甜高粱材料芽苗中可溶性蛋白含量都减小,且随着盐质量浓度的增加可溶性蛋白含量减少,说明盐胁迫影响了甜高粱芽苗的蛋白质代谢,且质量浓度越大影响越大。在210  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 质量浓度下,考利、戴尔、威利、凯勒、吉甜2、吉甜3、BJK156、甜132可溶性蛋白含量较对照极显著( $P < 0.01$ )减少了43.3%、63.2%、38.7%、40.8%、73.3%、62.4%、28.7%、28%。吉

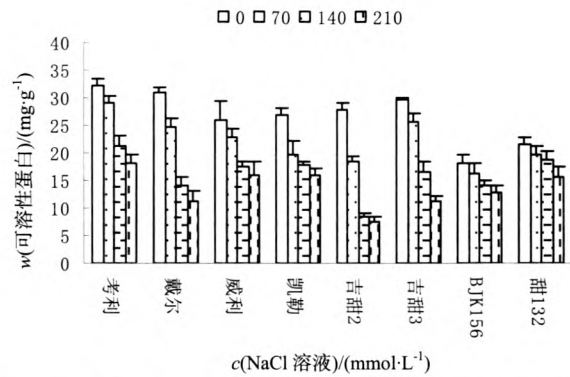


图3 不同质量浓度的 NaCl 胁迫对甜高粱芽中可溶性蛋白含量的影响

Fig.3 Effect of different NaCl concentrations on soluble protein content in sweet sorghum sprouts

甜2可溶性蛋白含量比对照的减少量最大,甜132比对照的减少量最小。说明210  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫对甜132芽苗细胞中可溶性蛋白的代谢影响较小,对吉甜2芽苗细胞中可溶性蛋白的代谢影响较大。

### 2.4 NaCl 胁迫对甜高粱芽苗中过氧化物酶活性的影响

POD是植物内源的活性氧清除剂,属于保护酶系统,在逆境中维持较高的酶活性,才能有效地清除活性氧使之保持较低水平,从而减少其对膜结构和功能的破坏。从图4可以看出盐处理后所试甜高

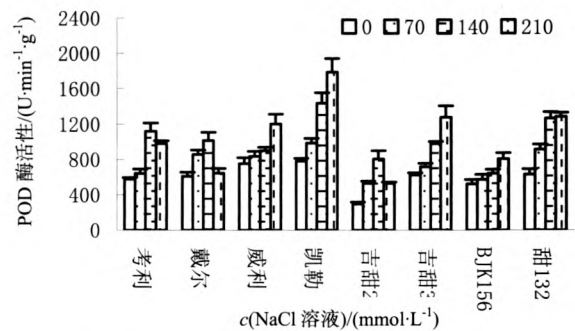


图4 不同质量浓度的 NaCl 胁迫对甜高粱芽中 POD 活性的影响

Fig.4 Effect of different NaCl concentrations on POD activity in sweet sorghum sprouts

粱材料芽苗中POD活性都较对照升高。其中,随着盐胁迫浓度的增大,吉甜3、BJK156、甜132、凯勒、威利、考利这6个材料芽苗中POD活性逐渐升高,在210  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐质量浓度下达到最大值,且分别比对照极显著( $P < 0.01$ )增加105.3%、55.2%、103.8%、128.6%、59.9%、69.8%。戴尔、吉甜2的POD活性先升高后降低,在140  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl质量浓度下POD活性达到最大值,且分别比对照极显著( $P < 0.01$ )增加67.1%、173.3%。可以看出凯勒在210  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫下POD活性比对照增加量是最大的,且凯勒

在 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫下POD活性值也是最高的,在3种盐胁迫下甜132芽苗中POD酶活性的值和变化量都不是最大的。

### 2.5 NaCl胁迫对甜高粱芽苗中过氧化氢酶活性的影响

CAT是植物内源的活性氧清除剂,清除逆境中产生的 $\text{H}_2\text{O}_2$ ,从而减少其对膜结构和功能的破坏。从图5可以看出盐胁迫后CAT活性都比对照增大。其

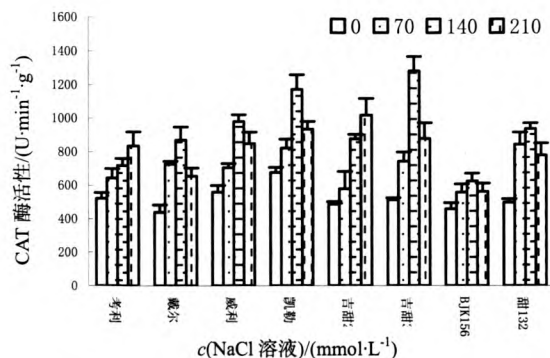


图5 NaCl胁迫对8个甜高粱材料芽苗中CAT活性的影响

Fig.5 Effect of different NaCl concentrations on CAT activity in sweet sorghum sprouts

中,随着盐浓度的增大,考利、吉甜2这两个甜高粱材料CAT活性逐渐升高,在 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 质量浓度下达到最大值,且分别比对照极显著( $P<0.01$ )增加60.5%、109.0%。戴尔、BJK156、甜132、威利、吉甜3、凯勒这6个甜高粱材料CAT活性先升高而后又降低,在 $140\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl质量浓度下达到最大值,且分别比对照极显著( $P<0.01$ )增加97.5%、36.0%、88.5%、75.0%、149.4%、73.2%。可以看出在3种盐胁迫下甜132芽苗中CAT酶活性的值和变化量都不是最大的。吉甜3在 $140\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫下CAT活性值也是最高的。

### 2.6 NaCl胁迫对甜高粱芽苗中超氧化物歧化酶活性的影响

SOD是抗氧化系统中一种极为重要的酶,在酶保护系统中处于核心地位。NaCl胁迫对8个甜高粱材料SOD活性影响如图6所示,可以看出盐胁迫后甜高粱芽中SOD活性都较对照升高。其中,随着盐浓度的增大,甜132、吉甜3、威利、吉甜2、考利、BJK156这6个材料芽中SOD活性逐渐升高,在 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 达到最大值,且分别比对照极显著( $P<0.01$ )增加73.6%、68.6%、67.7%、65.6%、87.1%、123.1%。而戴尔、凯勒这两个材料芽中SOD活性是先升高后降低的,在 $140\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐浓度下达到峰值,且分别比对照极显著( $P<0.01$ )增加186.2%、72.9%。可看

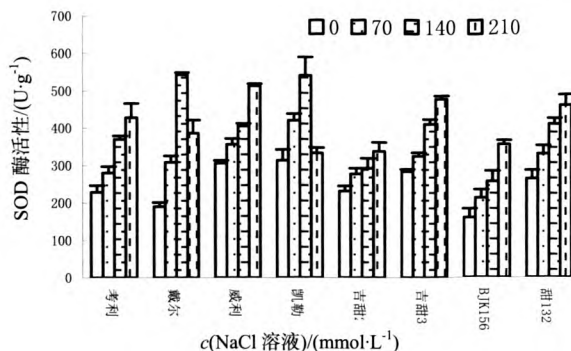


图6 NaCl胁迫对8个甜高粱材料芽苗中SOD活性的影响

Fig.6 Effect of different concentrations of NaCl on SOD activity in sweet sorghum sprouts

出在 $210\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫下BJK156 SOD活性较对照的增加量是最大的,而戴尔在 $140\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐胁迫下SOD活性值是最高的。在3种盐胁迫下甜132芽苗中SOD酶活性的值和变化量都不是最大的。

### 3 结论与讨论

本研究利用系统分类方法对甜高粱在3种盐胁迫下8项发芽指标盐害系数进行聚类分析,把8个甜高粱材料分为3类,其中耐盐性最强的为甜132,耐盐性中等的是BJK156,耐盐性较敏感的是考利、吉甜3、吉甜2、戴尔、凯勒、威利。

植物在逆境下发生膜质过氧化作用,丙二醛是细胞膜不饱和脂肪酸发生过氧化作用的终产物,其含量的多少可作为细胞膜损伤程度的参数。本研究得出随着盐胁迫程度的加重,甜高粱芽苗细胞中丙二醛的含量逐渐增加,表明芽苗细胞膜受伤害的程度越来越大,这与吕金印<sup>[6]</sup>、马丽<sup>[12]</sup>研究结论相一致。本研究还得出盐胁迫后8个甜高粱材料芽苗细胞中可溶性蛋白含量降低,这与盐胁迫对棉花新陆早13幼苗中蛋白质含量下降的结论<sup>[12]</sup>相一致。研究认为盐胁迫对蛋白质代谢的影响表现为盐分抑制氮的吸收,同时植株体内的蛋白质、氨基酸合成速率降低,分解速率加速,导致蛋白质含量下降<sup>[12]</sup>。但也有研究认为盐胁迫使棉花品种赣棉11<sup>[12]</sup>、甜高粱品种M-81E<sup>[6,13]</sup>可溶性蛋白含量升高。因此盐胁迫对植物可溶性蛋白质含量的影响因植物种类和品种不同而不同<sup>[14]</sup>。

值得注意的是,在8个甜高粱材料中,受3种盐胁迫,甜132芽苗细胞中丙二醛的增加量都是最低的,说明甜132芽苗细胞膜质受损伤的程度最轻,甜132耐盐性最强。这与通过甜高粱发芽指标盐害系数进行系统聚类分析得出的结论相吻合。

SOD、CAT和POD作为植物内源的活性氧清除剂,属于保护酶系统,在逆境中维持较高的酶活性,才能有效地清除活性氧使之保持较低水平,从而减

少其对膜结构和功能的破坏<sup>[4]</sup>。当植物受到盐胁迫时,叶片中活性氧生成大于清除,SOD、CAT、POD活性发生变化。本试验中得出,NaCl胁迫后甜高粱芽苗中POD、CAT、SOD活性升高,盐胁迫使抗氧化酶活性的提高在小麦<sup>[15-16]</sup>、水稻<sup>[17]</sup>也得到了证明,同时在洋姜<sup>[4]</sup>、苜蓿<sup>[18]</sup>、番茄<sup>[19]</sup>上也得出了相似的结论。

试验发现甜高粱受到盐胁迫时保护酶系统活性都较对照升高,以避免活性氧对膜的伤害。随着盐质量浓度的增大,有些材料保护酶活性先升高到峰值后又下降,但都比对照大,可能是NaCl能够诱导POD、CAT、SOD活性的升高以保护其细胞自身结构不被破坏。但随着盐质量浓度的增加,叶片细胞内氧自由基含量的增加导致膜脂过氧化加剧,使酶活力下降,降低对细胞的保护作用。而另一些材料的保护酶活性却一直增加,能够维持较高的酶活性,保持活性氧代谢平衡,更好地保护膜结构的功能。而且对特定的甜高粱材料在一定浓度的盐胁迫下POD活性的增加伴随着CAT或(和)SOD活性的增加或减少,这表明甜高粱抗氧化酶系统是相互协调的<sup>[21]</sup>。总之,盐胁迫对不同的甜高粱材料不同的抗氧化酶活性的变化趋势是不同的,这可能就是不同甜高粱材料耐盐差异的生理原因之一。

在盐胁迫下,耐盐的棉花品种能保持较高的SOD活性和POD活性,说明棉花品种间耐盐性差异与保护酶活性的变化密切相关<sup>[12]</sup>。陈海燕等<sup>[22]</sup>研究认为耐盐水稻根中CAT、POD活性高于盐敏感品种。Mandhanian等<sup>[16]</sup>研究认为盐胁迫后耐盐和盐敏感小麦叶片中CAT活性都升高,耐盐小麦较盐敏感小麦POD活性高。Xue等<sup>[4]</sup>发现NaCl胁迫显著地提高了耐盐洋姜品种的POD、CAT、SOD活性,而对盐敏感洋姜品种POD、CAT、SOD活性变化并不显著。这些都说明了NaCl胁迫对抗氧化酶的影响与植物的耐盐性有一定的相关性<sup>[22]</sup>。本试验得出耐盐性较强的甜132材料POD、CAT活性值都比耐盐性敏感的凯勒低,SOD活性值只在210 mmol·L<sup>-1</sup>质量浓度下高于凯勒的值。而甜132材料POD、CAT活性值都高于耐盐性敏感的戴尔的值,SOD值只在140 mmol·L<sup>-1</sup>质量浓度下低于戴尔的值,说明单一(两)种抗氧化酶活性变化还不能说明甜高粱耐盐性的强弱,因为植物抗氧化系统包括酶系统(SOD、POD、CAT、APX等)和非酶系统(植物体内一些还原性物质如抗坏血酸、胡萝卜素、谷胱甘肽等)<sup>[5]</sup>,另外一些小分子糖、多元醇、甜菜碱、脯氨酸等也有一定的清除细胞内自由基伤害的作用<sup>[22]</sup>。因此本研究认为盐胁迫使甜高粱POD、CAT、SOD活性增大,但耐盐性强的材料不一定保持较高的POD、CAT、SOD

酶活性,耐盐性弱的材料也不一定有低的POD、CAT、SOD酶活性。POD、CAT、SOD 3种抗氧化酶活性的大小只是影响甜高粱耐盐性的一个方面。

综合以上分析,任何单一发芽指标都不能代表甜高粱发芽期耐盐性的强弱,POD、CAT、SOD任何一(两)种或三种酶活性的变化也都不能说明甜高粱发芽期的耐盐性,有研究<sup>[22]</sup>认为抗氧化酶活性与遭受的胁迫程度只是有很好的相关性。而盐胁迫对甜高粱可溶性蛋白含量的影响因植物种类和品种不同而不同<sup>[14]</sup>,本研究得出只有盐胁迫后丙二醛含量的变化能够反映甜高粱发芽期耐盐性的强弱,丙二醛含量的增加量小的甜高粱耐盐性强,反之耐盐性就弱。

### 参考文献:

- [1] 黎大爵. 亟待开发的甜高粱酒精燃料[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(4): 48-51.  
LI Dajue. Ethanol fuel from sweet sorghum desiderates development[J]. Review of China Agricultural Science and Technology[J]. 2003, 5(4): 48-51.
- [2] FAO. FAO land and plant nutrition management service [2008-4-25]. Available online at. <http://www.fao.org/ag/agl/spush/>.
- [3] 牛东玲, 王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(6): 449-455.  
NIU Dongling, WANG Qiji. Research progress on saline-alkali field control[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(6): 449-455.
- [4] XUE Y F, LIU Z P. Antioxidant enzymes and physiological characteristics in two Jerusalem artichoke cultivars under salt stress[J]. Russian journal of plant physiology, 2008, 55(6): 776-781.
- [5] YASAR F, ELLIALTIOGLU S, YILDIZ K. Effect of salt stress on antioxidant defense systems, lipid peroxidation, and chlorophyll content in green bean[J]. Russian journal of plant physiology, 2008, 55(6): 782-786.
- [6] 吕金印, 赵晖, 冯万健. NaCl 胁迫对甜高粱幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 133-137.  
LU Jinyin, ZHAO Hui, FENG Wanjian. Effects of NaCl stress on activities of protective enzyme and physiological characteristics in sweet sorghum seedlings[J]. Agricultural Research in the Arid Area, 2008, 26(6): 133-137.
- [7] 吴发远, 葛江丽. NaCl 胁迫对甜高粱幼苗抗性酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(6): 136-139.  
WU Fayuan, GE Jiangli. Effect of salt stress on Resistance Enzymes Activity in Sweet Sorghum Seedling[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007: 136-139.
- [8] 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.  
DONG Zhigong, CHEN Zhihui. Salt tolerance and assessment of salt tolerance indices of tomato varieties in sprout stage and seeding stage[J]. Acta ecologica sinica, 2009, 29(3): 1348-1355.
- [9] LEVITT J. Response of Plants to Environmental Stress[M]. New York: Academic press, 1980: 300-590.
- [10] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.  
ZOU Qi. The Experimental Guide for Plant Physiology[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000.
- [11] 张立军, 樊金娟. 植物生理学实验指程[M]. 北京: 中国农业大学

- 出版社, 2007.
- ZHANG Lijun, FAN Jinjuan. The Experimental Guide for Plant Physiology[M]. Beijing: Higher China Agriculture University, 2007.
- [12] 马丽, 侯振安, 梁永超, 等. NaCl 胁迫对棉花幼苗生理特性的影响[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2008, 26(2): 180-184.
- MA Li, HOU Zhenan, LIANG Yongchao, et al. Effects of NaCl stress on physiological characteristics of different cotton cultivars in seedling stage[J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2008, 26(2): 180-184.
- [13] CHAI Y Y, JIANG C D, SHI L, et al. Effects of exogenous spermine on sweet sorghum during germination under salinity[J]. Biologia Plantarum, 2010, 54(1): 145-148.
- [14] GULEN H, TURHAN E, ERIS A. Changes in peroxidase activities and soluble proteins in strawberry varieties under salt-stress[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2006, 28(2): 109-116.
- [15] SAIRAM R K, SRIVASTAVA G C, AGARWAL S, et al. Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes[J]. Biologia Plantarum, 2005, 49(1): 85-91.
- [16] MANDHANIA S, MADANS S, SAWHNEY V. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings[J]. Biologia Plantarum, 2006, 50(2): 227-231.
- [17] SOHN Y G, LEE B H, KANG K Y, et al. Effects of NaCl Stress on germination, antioxidant responses, and proline content in two rice cultivars[J]. Journal of Plant Biology, 2005, 48(2): 201-208.
- [18] WANG X S, HAN J G. Changes of proline content, activity, and active isoforms of antioxidative enzymes in two alfalfa cultivars under salt stress[J]. Agricultural Sciences in China, 2009, 8(4): 431-440.
- [19] RAHNAMA H, EBRAHIMZADEH H. The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedlings[J]. Biologia plantarum, 2005, 49(1): 93-97.
- [20] DAI Q L, CHEN C H, FENG B, et al. Effects of different NaCl concentration on the antioxidant enzymes in oilseed rape (*Brassica napus* L.) seedlings[J]. Plant Growth Regulation, 2009, 59(3): 273-278.
- [21] 陈海燕, 崔香菊, 陈熙, 等. 盐胁迫及  $La^{3+}$  对不同耐盐性水稻根中抗氧化酶及质膜  $H^{+}$ -ATPase 的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1086-1093.
- CHEN Haiyan, CUI Xiangju, CHEN Xi, et al. Effects of salt stress and  $La^{3+}$  on antioxidative enzymes and plasma membrane  $H^{+}$ -atpase in roots of two rice cultivars with different salt tolerance[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(7): 1086-1093.
- [22] 廖岩, 彭友贵, 陈桂珠. 植物耐盐机理研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 2077-2089.
- LIAO Yan, PENG Youliang, CHEN Guizhu. Research advance in plant salt tolerance mechanism[J]. Acta ecologica sinica, 2007, 27(5): 2077-2089.

## Effect of NaCl stress on physiological characteristics of sweet sorghum in sprout stages

WANG Xiuling<sup>1</sup>, CHEN Xu<sup>2</sup>, XIE Guanghui<sup>2</sup>, LI Guiying<sup>3\*</sup>

1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Institution of crop sciences, Chinese academy of agricultural sciences//Institution of biomass energy// Important Scientific Engineering of Gene Resource and Gene Improvement of China's Crops, Beijing 100081, China

**Abstract:** Saline resistance at the sprouting stage is very important for sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] production in saline region. In order to understand the biological and physiological characteristics of sweet sorghum at sprouting stage under saline stress and provide a reference for its breeding or cultivation, effect of NaCl stress with three concentrations of 70, 140, 210 mmol·L<sup>-1</sup> on morphological parameters of eight sweet sorghum genotypes were investigated and water as control. Seeds were germinated under NaCl in climate incubator for 7 days. Comprehensive evaluation on salt tolerance of sweet sorghum varieties was studied by cluster analysis. The eight tested varieties were classified into three salt tolerance groups, Tian132 in salt tolerant group, BJK156 in intermediate group, Cowley, Jitian3, Jitian2, Dale, Keller, Wary in salt sensitive group. Effects of NaCl on the Malondialdehyde (MDA) and soluble protein contents and the activities of peroxidase (POD), catalase (CAT) and superoxide-dismutase (SOD) were also investigated in sprouts of sweet sorghum. The results showed that the MDA content increased and the soluble protein content decreased after NaCl stress. The activities of POD, CAT and SOD enhanced in stressed sprouts of all genotypes as compared to the controls. Changes in the activities of POD, CAT and SOD of eight sweet sorghum genotypes in response to three NaCl concentrations were different, that might be one of the physiological causes of salt resistance difference among sweet sorghum genotypes. Moreover, the increased amount of the MDA content in Tian132 was the lowest in response to NaCl stress, as compared to their controls. This result was in accordance with cluster analysis by morphological traits. Increasing amount of MDA content after salt stress may be one of the indexes of screening sweet sorghum varieties for salt tolerance.

**Key words:** sweet sorghum; NaCl; malondialdehyde; soluble protein; peroxidase; catalase; superoxide-dismutase