

盐碱胁迫下不同品种甜高粱幼苗 生理特性变化及耐性评价

戴凌燕^{1,2}, 张立军¹, 阮燕晔¹, 胡 凯¹

(1. 沈阳农业大学生物科学技术学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 本研究目的在于分析甜高粱幼苗在苏打盐碱胁迫下的生理变化, 评价甜高粱品种的耐性, 比较盐碱胁迫下6个甜高粱品种幼苗生长和生理相关指标的变化。结果表明: 盐碱胁迫可降低植株总重量、株高、根长、根系活力和总叶绿素含量; 增加可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量; 提高过氧化物酶、过氧化氢酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性; 同时也增加了质膜相对透性和丙二醛的含量; 根冠比和超氧化物歧化酶活性在不同品种间有升有降。其中, 品种 M-81E 根长下降最小, 根冠比增加最大, 质膜相对透性和丙二醛含量增加最小, 超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性增加最多; 而 314B 则根冠比、株高和叶绿素含量均下降最多, 膜相对透性和丙二醛含量增加较多。隶属函数法对各品种耐性评价表明, 各品种耐盐碱性由强到弱的综合排序为: M-81E > Rio > 西蒙 > 能饲一号 > 科特尔 > 314B。研究表明, 根冠比增加, 根系活力下降小, 可溶性蛋白增加多, 超氧化物歧化酶活性增加, 过氧化氢酶活性增加量大是耐盐碱胁迫甜高粱品种的主要适应性特征。

关键词: 甜高粱; 盐碱胁迫; 生理变化; 耐性

中图分类号: S514; Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0077-07

生态环境破坏和人类不合理的耕种使盐渍化土壤面积逐年增加, 土壤盐渍化已成为土地退化的重要因素之一。目前, 全国约有 2.0×10^7 hm^2 的盐碱地和 7.0×10^6 hm^2 的盐渍化土地, 约为可耕地面积的 20%^[1]。半个世纪以来, 在干旱、半干旱地区由于大面积开垦天然植被为农田, 原有深根的多年生植被为浅根的一年生农作物所替代, 降低了地表植被蒸腾, 增加了地表水分入渗补给地下水量, 从而抬高了地下水位, 破坏了原有生态系统的水盐平衡, 导致产生大面积次生盐碱化土地^[2,3]。松嫩平原西部盐碱化土地面积 3.0×10^6 hm^2 , 是世界三大苏打盐渍土集中分布区之一; 风沙干旱地面积 1.8×10^6 hm^2 , 生态环境脆弱, 是我国北方土地荒漠化最严重的地区之一^[4]。这类以 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 为主要盐碱成分的内陆苏打盐碱土, pH 值高, 土壤理化性状不良^[5]。生长在这类土壤中的植物不仅受 Na^+ 的毒害, 同时也受低水势和高 pH 胁迫, 适于此类土壤上种植的作物种类和品种非常有限。因此, 寻找适于苏打盐碱土壤生长作物, 具有重大的生态和经济意义。甜高粱是 C_4 植物, 生物产量高, 可食用、饲用和替代燃料, 综合利用程度高, 且具有抗旱、耐涝、耐盐碱、耐瘠薄、耐高温和耐干热风等特点^[6], 在高温、

低洼和盐碱等边际性土地上可进行种植, 是适于苏打盐碱土种植的候选作物。

研究表明, 盐碱胁迫可影响植物地上部及根的生长发育^[7]; 并引起渗透调节物质积累、质膜透性改变、膜脂过氧化及抗氧化酶系统发生变化等适应性反应^[8-9]。已有关于甜高粱的研究主要集中在中性盐胁迫上^[10-13], 且发现甜高粱对逆境胁迫的耐受性在不同品种间存在差异^[13-15]。但目前甜高粱对苏打盐碱胁迫的适应性研究及品种筛选的研究鲜有报道。为此, 本研究以6个甜高粱品种为材料, 测定苏打盐碱胁迫对甜高粱幼苗总叶绿素含量、渗透调节物质及生长相关指标的影响, 旨在明确甜高粱幼苗对苏打盐碱胁迫的生理响应机制, 为盐碱土壤甜高粱种植种质的筛选和栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料培养及处理

1.1.1 材料 供试的试验材料为6个甜高粱 (*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench) 品种: 314B 和 Rio 由黑龙江省农科院育种所惠赠, 西蒙、科特尔、能饲一号和 M-81E 由河北省农林科学院谷子研究所惠赠。

收稿日期: 2011-09-05

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31101194)

作者简介: 戴凌燕(1977—), 女, 湖南衡阳人, 讲师, 在读博士, 主要研究方向为植物逆境生理方向。

通讯作者: 张立军, E-mail: lijunzhang8@yahoo.com.cn。

1.1.2 材料培养 挑取饱满甜高粱种子经 5% 的次氯酸钠消毒 10 min, 蒸馏水冲洗干净后, 水中浸泡 12 h, 置放在滤纸上发芽, 发芽后播于盛有洁净石英砂的花盆中。待幼苗长至 1 叶 1 心时, 转至温室水培法培养。挑选生长一致的幼苗移入高 17 cm, 直径 19 cm 的塑料桶中培养, 每桶 30 株苗, 培养桶外包裹双层黑遮光布以避光。用 Hoagland 营养液培养, 每 3 d 更换一次, 昼夜培养温度为 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 光周期为 14 h 光/10h 暗, 光照强度为 $60 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 每天通气 6 h, 各品种设 3 次重复。

1.1.3 盐碱胁迫处理 用 Hoagland 营养液将碱性盐 NaHCO_3 和 Na_2CO_3 按摩尔比 5:1 配制成盐浓度为 100 mmol/L 溶液作为盐碱胁迫液 (pH 9.23, 盐度 5.88%)。待甜高粱幼苗长至 3 叶 1 心时, 对照组 (CK) 仍用 Hoagland 营养液 (pH 6.69, 盐度 0.38%) 培养, 而处理组用胁迫液培养。3 d 后取样测定各项指标。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 生长指标的测定 盐碱胁迫 3 d 后, 各组随机挑选 10 株幼苗, 将幼苗地上部分和地下部分剪开, 用直尺测量不同甜高粱品种株高和根长。烘干后称量植株总重量、苗重和根重, 计算根冠比。

1.2.2 生理指标的测定 盐碱胁迫 3 d 后, 随机取各品种胁迫处理和对照各 20 株幼苗或根进行生理指标测定^[16]。根系活力测定采用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 还原法; 叶绿素含量测定采用 80% 丙酮浸提法, 在 645 nm、652 nm 和 470 nm 波长下测定吸光值; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法; 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝法; 质膜相对透性测定采用电导率法, 质膜相对透性 (%) = 外渗液电导率/煮沸电导率 $\times 100$; 脯氨酸含量测定采用酸性茚三酮比色法, 在 520 nm 波长下测定吸光度值; 丙二醛 (MDA) 含量测定采用硫代巴比妥酸比色法, 在 532、600 nm 和 450 nm 波长处测定吸光度值; 过氧化物酶 (POD) 活性测定采用愈创木酚氧化法, 以 OD_{470} 每分钟变化 0.01 为 1 个酶活力单位 (U); 超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH - Px) 测定采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒^[17]。SOD 活性为每 g 地上部组织在 1 mL 反应液中 SOD 抑制率达 50% 时所对应的 SOD 量为一个酶活力单位 (U); CAT 活性为每 g 地上部组织在 1 mL 反应液中每秒钟分解 $1 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ 的量为一个酶活力单位 (U); GSH - Px 活性为每 g 地上部组织每分钟扣除非酶反应的作用, 使反应体系中 GSH - Px 浓度

降低 $1 \mu\text{mol/L}$ 为一个酶活力单位 (U)。各指标的变化幅度为同一品种处理与对照间的差值与对照的比值。

1.2.3 耐盐碱性综合评价 采用隶属函数法进行多指标综合评价甜高粱品种对盐碱胁迫的耐受性。隶属函数值 $R(x_i) = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$, 式中 x_i 为指标测定值, x_{\min} 、 x_{\max} 为所有参试材料某一指标的最小值和最大值, 最后再将每一品种各个指标的隶属值累加求其平均值^[18]。通过比较 6 种甜高粱的隶属值总平均值大小, 最终确定其耐盐碱性的强弱。

1.2.4 数据统计分析 所得数据均用 SPSS 16.0 和 EXCEL 2007 软件进行统计分析, 采用单因素方差分析 (ANOVA) 和新复极差法 (Duncan) 比较不同品种间的差异显著性, $P < 0.05$ 时有统计学意义, 数值为平均值 \pm 标准差。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗生长指标的影响

盐碱胁迫对甜高粱幼苗的生长有较大影响, 胁迫降低了 6 个甜高粱品种植株总重量、株高和根长, 但对根冠比的影响在不同品种间存在着较大的差异。图 1 显示, 盐碱胁迫下 314B 和科特尔品种根冠比下降, 降幅较小; 但胁迫却使品种西蒙、Rio、能饲一号和 M-81E 的根冠比增加, 能饲一号和 M-81E 分别增加了 46.08% 和 75.47%。胁迫使 6 个品种甜高粱幼苗的植株总重量均下降, 且降幅较大, 在 33.0% ~ 60.3% 范围内, 其中品种 Rio 下降最多。胁迫降低了甜高粱幼苗的株高, 品种 314B、Rio 和能饲一号降幅较大, 科特尔品种降幅最小。胁迫也降低了甜高粱幼苗的根长, 品种西蒙、Rio、科特尔和能饲一号降幅较大, 4 个品种的降幅差异不显著 ($P > 0.05$), 品种 M-81E 根长与其对照相比, 下降最少, 仅为 5.4%。

2.2 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗生理指标的影响

2.2.1 对不同品种甜高粱幼苗根系活力的影响

如表 1, 不同品种在没有盐碱胁迫的条件下, 根系活力差异明显, 品种 314B 和 Rio 的根系活力较大, 品种科特尔的根系活力最低。在盐碱胁迫下, 各品种的根系活力均下降, 品种科特尔降幅最大, 但与 314B、Rio 和能饲一号比较差异不显著, 西蒙降幅最小, 且与 Rio 和 M-81E 差异不显著 ($P > 0.05$)。

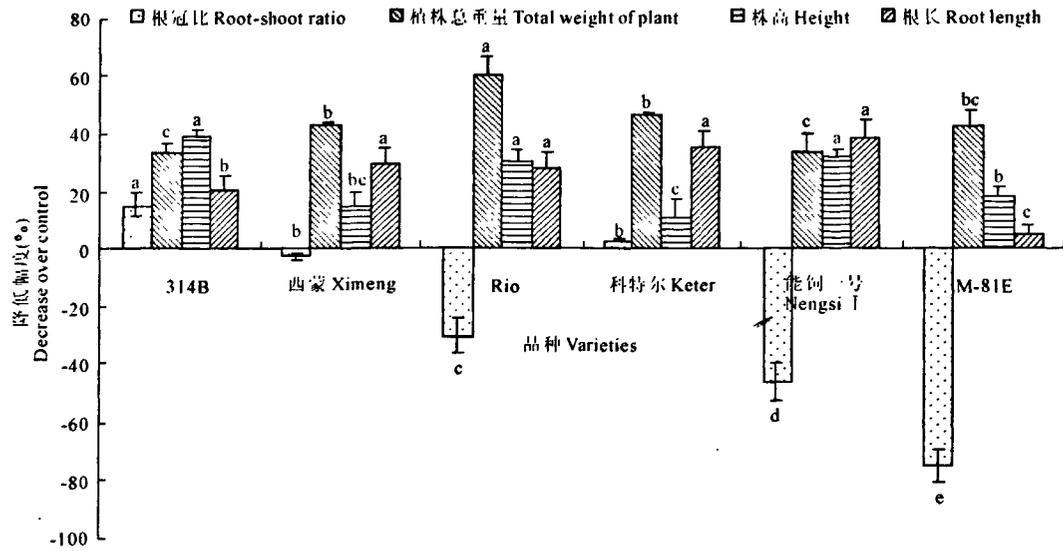


图 1 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗各生长指标降低幅度的影响

Fig.1 Effect of saline-sodic stress on the changes of several growth indexes of sweet sorghum seedlings among different varieties
注:图中标以不同字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。

Note: Different letters marked in the figure mean significance at 0.05 level. The same is below.

表 1 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗根系活力的影响

Table 1 Effect of saline-sodic stress on root vigor of sweet sorghum seedlings among different varieties

品种 Varieties	根系活力 Root vigor [$\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$]		降低幅度 (%) Decrease over control
	CK Control	盐碱胁迫 Stress	
314B	17.203 ± 1.607 a	11.105 ± 1.860 ab	35.265 ± 10.737 a
西蒙 Ximeng	12.277 ± 1.090 b	10.758 ± 1.481 ab	12.622 ± 4.326 b
Rio	16.985 ± 2.253 ab	12.080 ± 2.280 a	29.016 ± 7.312 ab
科特爾 Keter	7.440 ± 1.355 c	4.420 ± 1.128 c	40.950 ± 6.533 a
能饲一号 Nengsi I	13.900 ± 1.982 b	9.021 ± 1.643 b	35.109 ± 6.418 a
M-81E	12.785 ± 1.960 b	9.364 ± 0.712 ab	22.295 ± 5.405 b

注:表中同一列标以不同字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。

Note: Different letters marked within the same column mean significance at 0.05 level. The same is below.

2.2.2 对不同品种甜高粱幼苗总叶绿素含量的影响 如表 2,不同品种总叶绿素在没有盐碱胁迫的条件下差异明显,6 个品种各不相同。盐碱胁迫后,

各品种的总叶绿素含量均下降,品种 314B 和能饲一号降幅最大,西蒙和 Rio 降幅最小,科特爾和 M-81E 居中。

表 2 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗总叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of saline-sodic stress on total chlorophyll content of sweet sorghum seedlings among different varieties

品种 Varieties	总叶绿素含量(a + b) Total chlorophyll content(mg/g)		下降幅度 (%) Decrease over control
	CK Control	盐碱胁迫 Stress	
314B	1.168 ± 0.027 e	0.714 ± 0.006 e	38.870 ± 1.855 a
西蒙 Ximeng	1.315 ± 0.011 b	1.132 ± 0.027 a	13.912 ± 2.480 c
Rio	1.124 ± 0.125 f	0.962 ± 0.018 c	14.342 ± 2.587 c
科特爾 Keter	1.255 ± 0.019 d	0.871 ± 0.007 d	30.543 ± 0.853 b
能饲一号 Nengsi I	1.607 ± 0.011 a	1.004 ± 0.012 b	37.524 ± 0.381 a
M-81E	1.284 ± 0.003 c	0.855 ± 0.015 d	33.405 ± 1.233 b

2.2.3 对不同品种甜高粱幼苗可溶性糖及蛋白质含量的影响 盐碱胁迫增加了 6 个甜高粱品种幼苗

可溶性糖及蛋白质的含量。如图 2,6 个品种可溶性蛋白增幅变化较大,西蒙和 M-81E 增加较多,分别

为 278.5% 和 177.8%, Rio 增加的最少, 仅为 17.4%。各品种可溶性糖增幅在 36.4% ~ 79.8% 范

围内, 科特尔可溶性糖增加的最多, 314B 增加的最少。

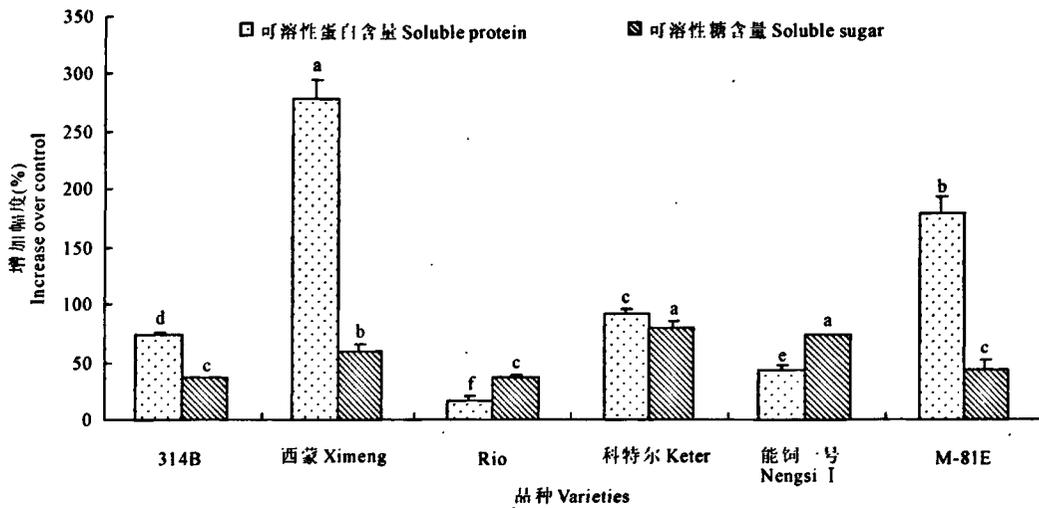


图 2 盐碱胁迫对不同品种甜高粱可溶性糖及蛋白质含量增加幅度的影响

Fig.2 Effect of saline-sodic stress on increased degree of content of soluble sugar and protein of sweet sorghum seedlings among different varieties

2.2.4 对不同品种甜高粱幼苗脯氨酸含量的影响
植物一旦遇到逆境胁迫, 体内大量积累脯氨酸。如表 3, 未胁迫的甜高粱幼苗体内脯氨酸含量较少,

但经盐碱胁迫后, 各品种脯氨酸增加到 3.2 ~ 10.4 倍。其中科特尔和西蒙增幅最大, 能饲一号和 M-81E 增幅最小。

表 3 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗脯氨酸含量的影响

Table 3 Effect of saline-sodic stress on content of proline of sweet sorghum seedlings among different varieties

品种 Varieties	脯氨酸含量 Proline content ($\mu\text{g/g}$)		增加幅度 (%) Increase over control
	CK Control	盐碱胁迫 Stress	
314B	57.133 \pm 7.293 d	289.780 \pm 16.519 d	410.389 \pm 37.780 bc
西蒙 Ximeng	110.137 \pm 8.778 a	1045.972 \pm 49.409 a	855.371 \pm 112.124 a
Rio	81.455 \pm 13.046 bc	544.445 \pm 70.686 c	571.938 \pm 59.374 b
科特尔 Keter	68.227 \pm 15.478 cd	708.273 \pm 57.774 b	975.863 \pm 261.245 a
能饲一号 Nengsi I	82.803 \pm 9.402 bc	268.628 \pm 49.470 d	226.726 \pm 69.912 c
M-81E	88.841 \pm 11.462 b	354.787 \pm 47.798 d	299.751 \pm 30.128 c

2.2.5 对不同品种甜高粱幼苗质膜相对透性及丙二醛含量的影响
盐碱胁迫增加了 6 个甜高粱品种幼苗叶片质膜相对透性和 MDA 的含量, 各品种两指标增加幅度如图 3。6 个品种经胁迫后质膜相对透性增加了 2.4 ~ 4.5 倍, 314B、科特尔和能饲一号增加量最大, 说明质膜受损伤最严重, M-81E 质膜受到伤害最小。各品种丙二醛含量增幅在 87.2% ~ 195.9% 范围内, 314B 和西蒙增加的最多, 两者间无显著性差异, 能饲一号和 M-81E 增加的最少。

2.2.6 对不同品种甜高粱幼苗保护酶活性的影响
盐碱胁迫使甜高粱幼苗体内保护性酶 POD、CAT 和 GSH-Px 活性都增加, 而 SOD 活性的变化在 6 个品种间存在很大差别。如图 4, 314B、Rio 和科特尔 3

个品种在胁迫后, SOD 活性下降, Rio 下降的最多; 西蒙、能饲一号和 M-81E 3 个品种的 SOD 活性增加, M-81E 增加的最多, 为 119.0%。POD 活性变化范围较大, 从增加 83.5% 到 630.9%, 能饲一号增加的最少, 314B 增加的最多。胁迫使 M-81E CAT 活性增加最多达 439.6%, 而能饲一号仅增加 135.1%。Rio 的 GSH-Px 活性增加最大, 为 431.9%, 科特尔和 M-81E 增加的最少, 314B、西蒙和能饲一号居中。

2.3 不同品种甜高粱幼苗耐盐碱胁迫能力分析

以根冠比、根系活力、总叶绿素含量、丙二醛含量和质膜相对透性等 5 个指标的变化幅度为依据, 用隶属函数法分析 6 个甜高粱品种对盐碱胁迫的耐受程度, 变化幅度越小, 说明在盐碱胁迫下受影响较

小,即耐性较强,结果如表 4。甜高粱对盐碱胁迫的耐受性在不同品种间差异明显。根据 6 个品种的总平均隶属值来看,其耐盐碱性由强到弱的综合排序为:M-81E>Rio>西蒙>能饲一号>科特尔>314B。

从总平均隶属值大小分析,可将 6 个甜高粱品种划分为:高耐盐碱性品种为 M-81E,中耐盐碱性品种为 Rio 和西蒙,耐性较差品种为科特尔和能饲一号,耐性最差品种为 314B。

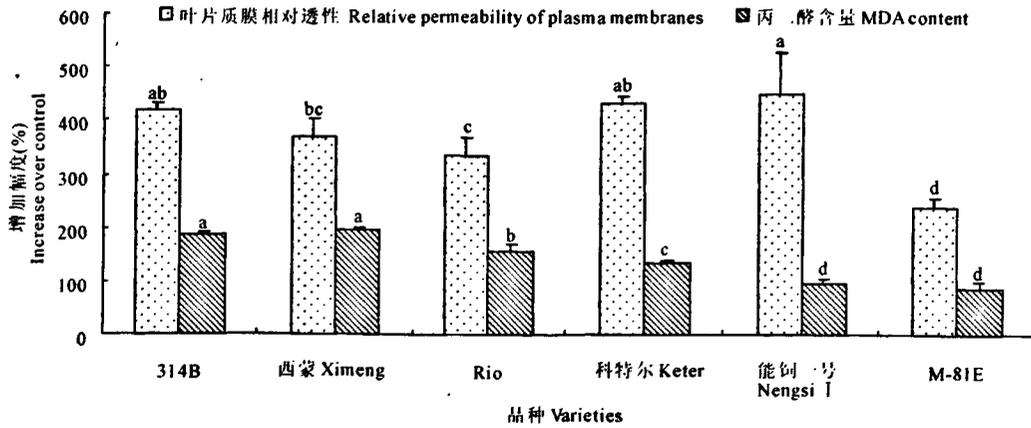


图 3 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗质膜相对透性及 MDA 含量增加幅度的影响
Fig.3 Effect of saline-sodic stress on relative permeability of plasma membranes and content of MDA of sweet sorghum seedlings among different varieties

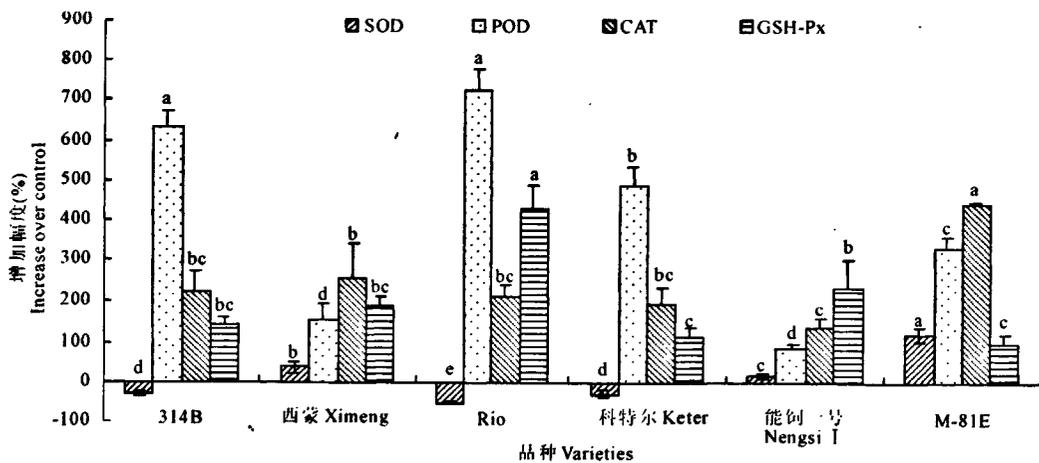


图 4 盐碱胁迫对不同品种甜高粱幼苗保护酶活性增加幅度的影响
Fig.4 Effect of saline-sodic stress on increased degree of protective enzyme activity of sweet sorghum seedlings among different varieties

表 4 6 个甜高粱品种耐盐碱能力综合评价

Table 4 The comprehensive tolerant evaluation of the six varieties of sweet sorghum to saline-sodic stress

品种 Varieties	根/冠 Root-shoot ratio	根系活力 Root vigor	总叶绿素含量 Chlorophyll	丙二醛 MDA	质膜相对透性 Relative permeability	平均 Mean	排名 Ranking
314B	1.00	0.80	1.00	0.93	0.85	0.92	6
西蒙 Ximeng	0.80	0.00	0.00	1.00	0.61	0.48	3
Rio	0.50	0.58	0.02	0.67	0.44	0.44	2
科特尔 Keter	0.86	1.00	0.67	0.42	0.91	0.77	5
能饲一号 Nengsi I	0.32	0.79	0.95	0.07	1.00	0.63	4
M-81E	0.00	0.34	0.78	0.00	0.00	0.22	1

3 讨 论

根合成激素等有机物质供地上部生长发育需要,根与地上部的相关性强弱和根部活动的好坏直接影响到整个植株的生长发育。本研究中盐碱胁迫降低了 6 个甜高粱品种植株总重量、株高、根长和根系活力,即抑制了地上部和根的生长,王宝山等在研究中性盐(NaCl)对高粱不同器官离子含量的影响时也得出相同结论^[19]。本研究中,盐碱胁迫使 6 个甜高粱品种的叶绿素含量均降低,胁迫降低了光合作用,抑制了植物的生长,与甜高粱植株各生长指标的降低相一致。

在盐碱胁迫下,植株因大量失水或吸水困难而产生渗透胁迫,所以植物细胞的渗透调节作用是植物适应胁迫、提高抗逆性的基础。已有关于甜高粱的研究表明,甜高粱作为非盐生植物针对 NaCl 胁迫产生的渗透调节物质主要以有机物质为主,如可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸等。本研究中,盐碱胁迫均引起 6 个甜高粱品种可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量增加。

盐碱胁迫下,植物在呼吸和光合作用过程中,线粒体、叶绿体和过氧化物酶体均可积累过量的 ROS,这些 ROS 若不能及时清除就会产生膜脂过氧化作用。本研究中,盐碱胁迫使 6 个甜高粱品种质膜相对透性和丙二醛含量均增加。而胁迫也会诱发体内保护酶系统(包括 SOD、POD、CAT 和 GSH-Px 等)加速清除 ROS 的进程^[14,20]。本研究中,盐碱胁迫引起 6 个甜高粱品种体内保护酶 POD、CAT 和 GSH-Px 活性都增加,而 SOD 活性有增有减。GSH-Px 是动物清除 ROS 的主要酶,近年来发现其在植物抵御外界胁迫中也起了很重要的作用^[21]。本研究中发现 GSH-Px 在甜高粱抵抗盐碱胁迫中也起到一定的作用,但在整体保护酶系统中的作用不甚明显。

盐碱胁迫对植物造成伤害是多重的,植物耐盐碱性的表现也应是多种代谢途径的综合体现。因此,使用单一指标难以全面准确地反映各品种耐盐碱性的强弱,必须运用多个指标进行综合评价^[22]。目前,用隶属函数法对植物抗逆性进行综合评价的研究较多^[23,24]。本研究以反映甜高粱耐受盐碱胁迫后的根冠比、根系活力、总叶绿素含量、丙二醛含量和质膜相对透性等 5 个指标的变化幅度为基础,用隶属函数法分析了 6 个甜高粱品种对胁迫的耐受程度。综合本研究中形态指标及生理指标情况可发现,抗性强的品种 M-81E 在抵抗胁迫过程中表现出,根冠比增加,根系活力下降较小,可溶性蛋白增

幅大,SOD 活性增加,CAT 活性增加程度大,质膜相对透性及丙二醛含量虽增加,但幅度较小。抗性强的品种 SOD 活性增加,CAT 活性增加幅度大,说明甜高粱植株体内 SOD 和 CAT 两种保护酶在抵御盐碱胁迫过程中产生的 ROS 自由基发挥着重要的作用。耐性较差的品种科特在胁迫下可溶性糖和脯氨酸含量增加最大,Claudian 等也认为盐敏感的甜高粱品种可溶性糖和脯氨酸增加的趋势更加显著^[10]。但抗逆性强的品种 M-81E 表现出可溶性蛋白增加量大,脯氨酸增加量小的特征。王颖等认为,在耐盐性上,游离脯氨酸含量可能没有某些胁迫蛋白质的贡献大^[25]。从脯氨酸在逆境条件下的积累途径来看,脯氨酸可能有适应性的意义,也可能是细胞结构和功能受损伤的表现,是一种伤害的体现^[26,27]。本研究中,抗性强的品种 M-81E 脯氨酸增加可能是适应胁迫的表现,而抗性差的品种科特脯氨酸过量增加,可能存在适应胁迫的意义,更可能是胁迫后受伤害的表现。

综上所述,甜高粱不同品种对盐碱胁迫的耐受能力存在差异显著性。且甜高粱在盐碱胁迫后,其生长变化、渗透调节机制及 ROS 清除的抗性酶系统变化等都与中性盐胁迫的结果相似。但盐碱胁迫除具有与中性盐相同的渗透胁迫和 Na⁺ 毒害外,还有高 pH 危害,因此,还应进一步研究甜高粱对高 pH 环境的调节能力,诸如有机酸的积累和 Na⁺ 的吸收及在植株体内的积累和分布等。

参 考 文 献:

- [1] 阮成江,谢庆良.盐胁迫下沙棘的渗透调节效应[J].植物资源与环境学报,2002,11(2):45-47.
- [2] Angus J F, Stapper M, Van Herwaarden A F. Soil water extraction by dryland crops, annual pastures, and lucerne in south-eastern Australia [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2001,52(2):183-192.
- [3] Clarke C J, George R J, Bell R W, et al. Major faults and the development of dryland salinity in the western wheatbelt of Western Australia [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 1998,2(1):77-91.
- [4] 李取生,李秀军,李晓军,等.松嫩平原苏打盐碱地治理与利用[J].资源科学,2003,25(1):15-20.
- [5] 王志春,杨福,陈渊,等.苏打盐碱胁迫下水稻体内的 Na⁺、K⁺ 响应[J].生态环境,2008,17(3):1198-1203.
- [6] 邹建秋,宋仁本,卢庆善,等.新型绿色可再生能源作物—甜高粱及其育种策略[J].杂粮作物,2003,23(3):134-135.
- [7] 时丽冉.混合盐碱胁迫对玉米种子萌发的影响[J].衡水学院学报,2007,9(1):13-15.
- [8] Lin Chuan Chi, Kao Ching Huei. Effect of NaCl stress on H₂O₂ metabolism in rice leaves[J]. Plant Growth Regulation, 2000,30:151-155.

- [9] Shalata A, Tal M. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii*[J]. *Physiologia Plantarum*, 1998, 104(2):169-174.
- [10] Claudivan F de L., Jose C, Marco Antonio O, et al. Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 54:69-76.
- [11] Godfrey W N, John C O, Erwin B. Sorghum and salinity: I. response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity[J]. *Crop Science*, 2004, 44:797-805.
- [12] 王秀玲,程 序,谢光辉,等. NaCl胁迫对甜高粱发芽期生理生化特性的影响[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(10):2285-2290.
- [13] Claudivan F de L, Cambraia J, Oliva M A, et al. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2003, 49:107-120.
- [14] 吕金印,郭 涛.水分胁迫对不同品种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*, 2010, 28(4):89-93.
- [15] 从靖宇,杨冠宇,张 焱,等.不同品种甜高粱幼苗耐渗透胁迫能力的研究[J]. *华北农学报*, 2010, 25(4):136-140.
- [16] 张立军,樊金娟.植物生理学实验教程[M].北京:中国农业大学出版社,2007:19-101.
- [17] 杨 瑾,王 铭,李 涛,等.氯胁迫对两生红球藻色素积累与抗氧化系统的影响[J]. *植物生理学报*, 2011, 47(2):147-152.
- [18] 陈德明,俞仁培,杨幼松.盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价[J]. *土壤学报*, 2002, 39(3):368-373.
- [19] 王宝山,邹 琦,赵可夫. NaCl胁迫对高粱不同器官离子含量的影响[J]. *作物学报*, 2000, 26(6):845-850.
- [20] Zhang L X, Kirkham M B. Drought-stress-induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species[J]. *Plant Cell Physiology*, 1994, 35(5):785-791.
- [21] 苗雨晨,白 玲,苗 琛,等.植物谷胱甘肽过氧化物酶研究进展[J]. *植物学通报*, 2005, 22(3):350-356.
- [22] 石永红,万里强,刘建宁,等.多年生黑麦草抗旱性主成分及隶属函数分析[J]. *草地学报*, 2010, 18(5):669-672.
- [23] 许桂芳,张朝阳,向佐湘.利用隶属函数法对4种珍珠菜属过路黄抗旱性的综合评价[J]. *浙江农业学报*, 2009, 21(1):59-62.
- [24] 张朝阳,许桂芳.利用隶属函数法对4种地被植物的耐热性综合评价[J]. *草业科学*, 2009, 26(2):57-60.
- [25] 王 颖,杜荣寿,赵素然.高粱在盐胁迫下特定蛋白的表达及与耐盐性关系的研究[J]. *作物学报*, 1999, 25(1):76-81.
- [26] 汤章城.逆境条件下植物游离脯氨酸的累积及其可能的意义[J]. *植物学生理学通讯*, 1984, (4):27-32.
- [27] Moran J F, Becana M, Iturbe-Ormaetxe I, et al. Drought induces oxidative stress in pea plants[J]. *Planta*, 1994, 194(3):346-352.

Research on physiological characteristics and the assessment of tolerance of different varieties of sweet sorghum seedlings to saline-sodic stress

DAI Ling-yan^{1,2}, ZHANG Li-jun¹, RUAN Yan-ye¹, HU Kai¹

(1. College of Biology Science and Technology, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;

2. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: In order to study the physiological changes to the saline-sodic stress based on the composition of Na_2CO_3 and NaHCO_3 and assess the tolerance of different varieties of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (Linn.) Moench), the paper was determined the relative indexes of seedling growth and physiology in the six varieties of sweet sorghum seedlings with condition of saline-sodic stress. The results showed that compared with the respective control group, under saline-sodic stress, the sweet sorghum seedlings was decreased the total weight of plant, height, root vigor and total chlorophyll content, but increased the content of soluble sugar, soluble protein and proline, improved the activity of peroxidase, catalase and glutathione peroxidase. Meanwhile, plants were increased the relative permeability of plasma membranes and content of malonaldehyde. However, root-shoot ratio and activity of superoxide dismutase were showed higher or lower among the different varieties. M-81E displayed that root length was down slightly, root-shoot ratio was increased furthest, the relative permeability of plasma membranes and content of malonaldehyde were added least, superoxide dismutase and catalase were enhanced furthest. But, 314B displayed that root-shoot ratio, height and total chlorophyll content were decreased most, the relative permeability of plasma membranes and content of malonaldehyde were added more. The assessment of the sweet sorghum tolerance to saline-sodic stress with the method of subordinate function values showed that the 6-varieties of sweet sorghum were ordered in sequence from the strong to weak: M-81E > Ximeng > Rio > Nengsi I > Ke-teer > 314B. The conclusions can reflect that the main adaptable characterizations from sweet sorghum seedlings resisting the condition of saline-sodic stress, were the root-shoot ratio increased, the root vigor decreased lesser, the content of soluble protein increased more, the activity of superoxide dismutase and catalase increased more.

Keywords: sweet sorghum; saline-sodic stress; physiological characteristics; tolerance