

刘海波,魏玉清,周维松,等. NaCl 胁迫对萌发期甜高粱和春小麦生理生化特性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):106-111.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.028

# NaCl 胁迫对萌发期甜高粱和春小麦 生理生化特性的影响

刘海波<sup>1</sup>, 魏玉清<sup>1</sup>, 周维松<sup>2</sup>, 邹程<sup>1</sup>

(1. 北方民族大学生物科学与工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏泰益欣生物科技有限公司, 宁夏银川 750200)

**摘要:**以甜高粱品种 M81-E 和春小麦品种宁春 42 号为试验材料,研究水培条件下 5 种不同浓度 NaCl 胁迫(0、50、100、150、200 mmol/L)对萌发期甜高粱和春小麦抗氧化酶 SOD、POD、CAT、MDA、APX 活性,研究有机渗透调节物质可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸含量变化的影响。研究结果:(1)NaCl 胁迫下甜高粱和春小麦脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质含量均随盐浓度升高而增加;(2)MDA 含量与盐浓度和处理时间呈正相关,抗氧化酶活性随盐浓度升高呈先增加后降低的趋势,表现为低盐浓度促进、高盐浓度产生抑制作用;(3)萌发早期甜高粱同工酶 P5 条带消失、S3 条带出现,春小麦同工酶 P6、S4、S5 条带出现、C1 条带消失;(4)甜高粱与春小麦相比,在低盐( $\leq 50$  mmol/L)胁迫下甜高粱 MDA、脯氨酸、可溶性糖含量与对照差异不显著,抗氧化酶活性显著高于对照。结果表明,NaCl 胁迫下甜高粱、春小麦均能通过调整自身有机渗透调节物质、保护酶活性来保证细胞膜的完整性,维持细胞正常代谢,其中甜高粱表现出较强的耐盐性;同时在盐胁迫早期,甜高粱主要通过调控 POD、SOD 基因表达来提高其耐盐性,而春小麦主要通过 POD、SOD、CAT 基因表达来调控。

**关键词:**甜高粱;春小麦;丙二醛;渗透调节物质;抗氧化酶;同工酶

**中图分类号:** S514.01;S512.1<sup>+</sup>20.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0106-05

土壤盐渍化严重影响农业生产和生态环境,成为阻碍农牧业快速发展的因素之一。盐渍化土壤目前广泛分布于全世界 100 多个国家和地区,中国是世界盐碱地大国,各类盐渍土面积约  $3.46 \times 10^7$   $\text{hm}^2$ ,耕地盐碱化面积  $7.6 \times 10^6$   $\text{hm}^2$ ,约占总耕地面积的 1/5。随着干旱频繁发生、化肥使用和灌溉农业的发展,次生盐碱地面积还在逐年扩大<sup>[1]</sup>。随着我国工业化进程不断发展,耕地资源日渐匮乏。盐渍化土地作为潜在土地资源受到各国科学家的重视。甜高粱作为新兴的糖料、饲料和绿色能源作物,具有抗旱、耐涝、耐盐的优良特性<sup>[2]</sup>,因此盐碱地种植甜高粱得到大力推广,为此研究甜高粱抗盐性机制的十分重要。盐胁迫降低土壤溶液水势,对植物造成渗透胁迫,可引发膜质过氧化作用,其中脂质氧化终产物丙二醛(MDA)在体外影响线粒体呼吸链复合物及线粒体内关键酶活性,MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一,可通过 MDA 了解膜脂过氧化的程度,以间接测定膜系统受损程度以及植物的抗逆性;植物体为克服吸水困难,可通过调节渗透物质如蛋白质、可溶性糖、脯氨酸等调节细胞的渗透势,维持细胞膜和细胞结构的稳定;同时盐胁迫对植物有明显的毒害与胁变作用,使植物体内活性氧自由基大量积累,破坏膜结构,引起蛋白质和核酸等生物大分子变性,也能引起 DNA 结构的

定位损伤<sup>[3]</sup>。在长期进化过程中,为了适应逆境胁迫,植物体形成了主要包括过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)等重要保护酶的酶促防御体系,它们能有效清除活性氧自由基,对于保护植物免遭逆境伤害有重要作用<sup>[4-5]</sup>。同工酶是指催化功能相同而结构及理化性质不同的一组特异性蛋白质,其酶谱差异主要由基因决定<sup>[6-7]</sup>。同工酶是基因表达的直接产物,具有较高的稳定性,可以直观地反映出品种间的基因差异,同工酶酶谱资料可作为物种鉴定以及研究植物分类、进化、遗传与变异的重要指标<sup>[8-9]</sup>。同工酶不仅与个体发育有关,也与对不同环境条件的适应抵抗能力有关。相关研究表明,植物在遭受逆境胁迫时,体内一些酶的同工酶会发生变化<sup>[10]</sup>。

本试验以甜高粱、春小麦为材料,对其萌发期盐胁迫下丙二醛含量,有机渗透调节物质可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸含量,抗氧化酶 SOD、POD、CAT、APX 活性,抗氧化酶同工酶进行了比较研究,希望通过与春小麦的比较研究,盐胁迫下甜高粱植株独特的渗透调节物质变化规律和抗氧化酶系统的响应机制,为探索甜高粱耐盐的生理生化机制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选用耐盐性甜高粱 M81-E,辽宁省农业科学院高粱研究中心提供;春小麦宁春 42 号,北方民族大学生物科学与工程学院提供。

### 1.2 方法

1.2.1 种子预处理 选择籽粒圆润饱满、成熟无病害、大小一致的甜高粱和春小麦种子,蒸馏水清洗数次,用 10% 的次

收稿日期:2015-11-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31060180);北方民族大学研究生创新项目。

作者简介:刘海波(1990—),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事植物生理生态研究。E-mail:15209612625@163.com。

通信作者:魏玉清,博士,教授,主要从事植物逆境生理与生物质能源教学与科研。E-mail:weiyuqing@126.com。

氯酸钠溶液消毒 20 min, 蒸馏水冲洗 5 次, 25 ℃ 蒸馏水中黑暗浸种吸胀 4 h。

1.2.2 种子培养 用蒸馏水将 NaCl 分别配制成 4 种不同盐浓度溶液, 分别为 T1 (50 mmol/L)、T2 (100 mmol/L)、T3 (150 mmol/L)、T4 (200 mmol/L), 以蒸馏水为对照。将吸胀后的种子置于放有 2 层滤纸直径为 12 cm 的玻璃培养皿中。每个培养皿放置 30 粒种子, 分别加入蒸馏水及 4 种不同浓度 NaCl 溶液 10 mL, 重复 3 次, 置于人工气候箱中培养催芽, 昼一夜温度为 28 ℃—25 ℃, 湿度 60%, 及时补充溶液。

### 1.3 测定方法

1.3.1 酶液的制取 称取 0.5 g 鲜叶, 冰浴条件下加 0.1 mol/L Tris-HCl 缓冲液 (pH 值 8.0, 每 100 mL 内含半胱氨酸 0.073 g、维生素 C 0.105 g、EDTA-Na<sub>2</sub> 0.075 g、甘油 10 mL、1 mol/L HCl 5.84 mL) 2 mL, 研磨至匀浆, 然后在低温冷冻离心机中 4 ℃、13 000 r/min 离心 20 min, 上清液即为酶提取液。

1.3.2 生理指标测定 分别于萌发后 3、5、7 d 取胚芽进行各项指标的测定, 重复 3 次。丙二醛含量测定采用硫代巴比妥酸 (TBA) 比色法; 脯氨酸含量测定采用酸性茚三酮法; 可溶性糖含量测定采用蒽酮法; 超氧化物歧化酶活性测定采用氮蓝四唑 (NBT) 光还原法, 以抑制 NBT 光还原的 50% 作为一个酶活单位 (U); 过氧化物酶活性测定采用愈创木酚显色法, 以每分钟内  $D_{470\text{ nm}}$  变化为 1 个过氧化物酶活力单位 (U); 过氧化氢酶活性测定采用紫外吸收比色法, 以每分钟内  $D_{240\text{ nm}}$  变化 0.01 为 1 个酶活力单位 (U); 抗坏血酸过氧化物酶活性测定参考孙云的方法<sup>[11]</sup>, 以每分钟氧化 1  $\mu\text{mol}$  AsA 的酶量作为 1 个酶活性单位 (U); 可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法。1.3.3 同工酶分析 对萌发后 3 d 的甜高粱、春小麦胚芽采用垂直平板聚丙烯酰胺凝胶电泳 (PAGE) 进行同工酶分析, 分离胶浓度 CAT 为 7.5%, POD、SOD、APX 为 10%, 浓缩胶浓度为 3%。SOD 同工酶染色采用四氮哇蓝 (NBT) 法<sup>[12]</sup>染色; POD 同工酶染色采用联苯胺法<sup>[12]</sup>染色; CAT 同工酶染色采用淀粉法<sup>[13]</sup>染色; APX 同工酶染色参考邵巍等的方法<sup>[14-15]</sup>。

### 1.4 数据统计

凝胶板染色后立即照相, 根据胶板计算迁移率, 迁移率 = 固定染色后凝胶中酶蛋白区带的迁移距离/固定染色中指示剂的迁移距离, 然后根据记录进行分析。

数据采用 3 个重复的“平均值 ± 标准误差”, 采用 SPSS 20.0 进行数据分析, 用 Photoshop CS 2.0、GraphPad Prism 5.0 和 Microsoft Excel 2003 进行数据处理与作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对甜高粱、春小麦萌发期渗透调节物质含量的影响

2.1.1 脯氨酸含量 NaCl 胁迫下甜高粱脯氨酸含量高于春小麦 (图 1-A), 说明萌发期甜高粱的耐盐性强于春小麦。甜高粱脯氨酸含量随盐浓度升高呈增加的趋势, 低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下处理组与对照差异不显著, 中度、重度盐 (≥100 mmol/L) 胁迫下处理组与对照间差异显著; 春小麦脯氨酸含量与甜高粱呈现不同的变化趋势, 春小麦在低盐 (50 mmol/L) 胁迫下, 脯氨酸含量高出对照 108.93% ~

776.27%, 与对照差异显著, 表明低浓度盐胁迫下甜高粱未受到伤害。

2.1.2 可溶性糖含量 NaCl 胁迫下甜高粱、春小麦可溶性糖含量随盐浓度升高呈增加的趋势 (图 1-B), 甜高粱在低盐 (50 mmol/L) 胁迫下处理组与对照差异不显著, 中度、重度盐 (≥100 mmol/L) 胁迫下, 处理组与对照间差异显著。春小麦低盐 (50 mmol/L) 胁迫下, 在胁迫前期处理后 3 d 处理组与对照差异不显著, 随处理时间延长, 胁迫后期处理后 5~7 d 处理组与对照差异显著, 表明低浓度盐胁迫下甜高粱未受到伤害。

2.1.3 可溶性蛋白质含量 NaCl 胁迫下甜高粱、春小麦可溶性蛋白质含量随着处理时间的延长而逐渐降低 (图 1-C), 在胁迫后期处理后 7 d, 蛋白质含量迅速下降, 说明植株的正常代谢功能失调。与春小麦相比, 甜高粱可溶性蛋白含量下降幅度较低, 说明甜高粱可溶性蛋白的盐敏感性较低。甜高粱和春小麦可溶性蛋白含量随盐浓度增加而逐渐升高, 表明盐胁迫显著增加可溶性蛋白含量。

### 2.2 NaCl 胁迫对萌发期甜高粱、春小麦 MDA 含量的影响

NaCl 胁迫下甜高粱、春小麦 MDA 含量均随盐浓度升高呈增加的趋势 (图 1-D)。低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下处理组与对照差异不显著, 而春小麦 MDA 含量显著高于对照, 说明轻度盐胁迫下, 甜高粱耐盐性强于春小麦。在中度、重度盐浓度 (≥100 mmol/L) 胁迫下, 随着胁迫时间的延长, 甜高粱和春小麦 MDA 含量与对照均差异显著, 说明随着盐浓度增加和胁迫时间的延长, 甜高粱和春小麦膜透性受损严重, 膜质过氧化加剧, 抗逆性下降。

### 2.3 NaCl 胁迫对甜高粱、春小麦萌发期抗氧化酶活性的影响

2.3.1 POD 活性 NaCl 胁迫下甜高粱和春小麦 POD 活性随盐浓度升高呈先增加后降低的趋势 (图 2-A), 甜高粱低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下 POD 活性高出对照 39.8% ~ 161.0%, 与对照差异显著; 春小麦低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫与对照差异不显著; 在中度、重度盐浓度 (≥100 mmol/L) 胁迫下, 随着胁迫时间的延长, 甜高粱、春小麦处理组显著低于对照, 表明低盐胁迫能显著增加 POD 活性, 高盐浓度胁迫抑制 POD 活性, 且甜高粱比春小麦响应快。

2.3.2 SOD 活性 NaCl 处理下甜高粱、春小麦 SOD 活性随盐浓度升高而增加 (图 2-B), 甜高粱低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下 CAT 活性高出对照 73.36% ~ 171.12%, 与对照差异显著; 春小麦低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下与对照差异不显著, 表明盐胁迫能显著增加 SOD 活性, 甜高粱比春小麦响应较快。

2.3.3 CAT 活性 NaCl 处理下甜高粱、春小麦 CAT 活性随盐浓度增加呈先增加后降低的趋势 (图 2-C), 甜高粱低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下 CAT 活性高出对照 84.67% ~ 141.03%, 与对照差异显著, 春小麦低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下高出对照 13.72% ~ 80.85%, 与对照差异显著; 在中度、重度盐 (≥100 mmol/L) 胁迫下, 随着胁迫时间的延长, 甜高粱、春小麦处理组显著低于对照, 说明低浓度盐胁迫显著增加 CAT 活性, 中度、重度盐胁迫抑制 CAT 活性。

2.3.4 APX 活性 NaCl 处理下甜高粱、春小麦 APX 活性随盐浓度升高呈先增加后降低的趋势 (图 2-D), 甜高粱低盐浓度 (50 mmol/L) 胁迫下 APX 活性高出对照 27.56% ~ 213.05%,

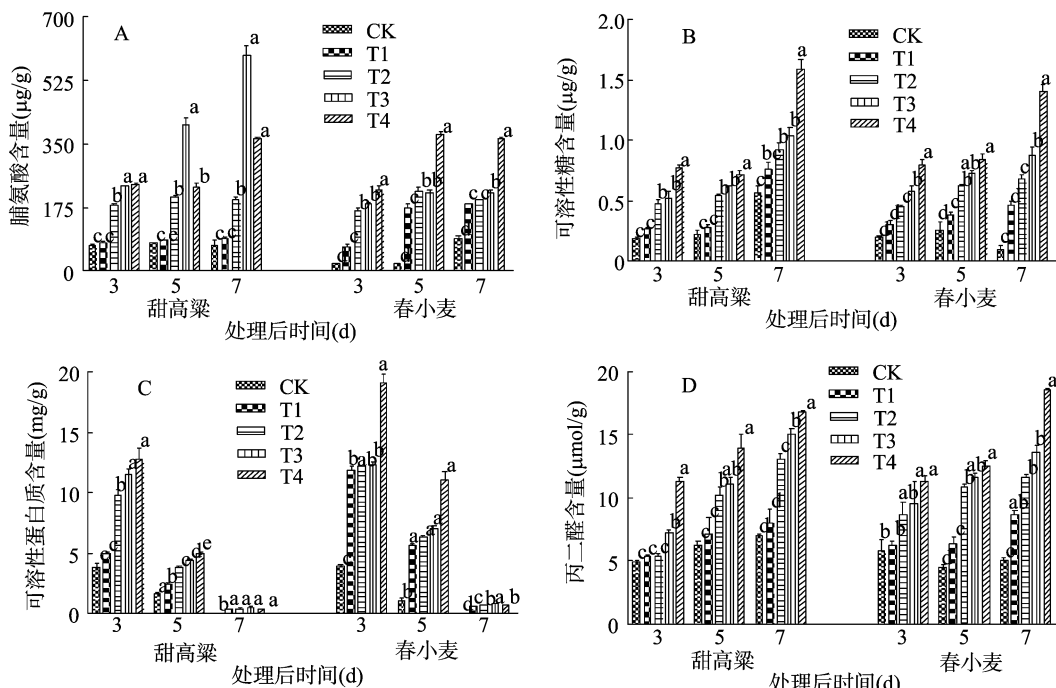


图1 NaCl 胁迫对甜高粱、春小麦丙二醛和渗透调节物质含量的影响

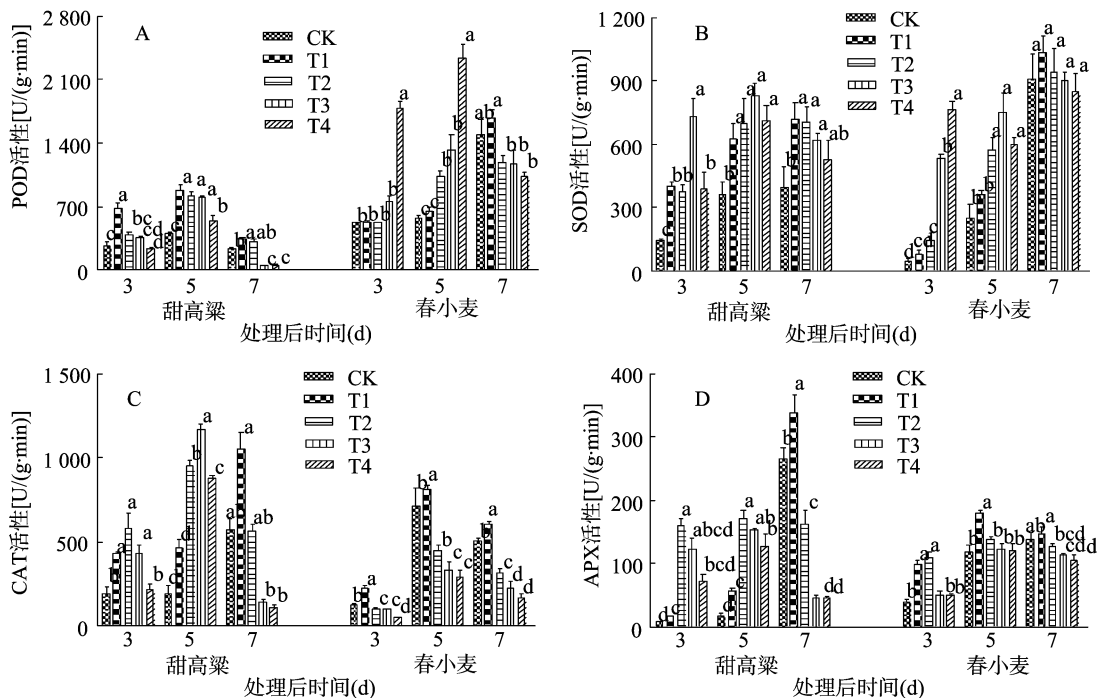


图2 NaCl 胁迫对甜高粱、春小麦抗氧化酶活性的影响

与对照差异显著;春小麦低盐浓度(50 mmol/L)胁迫下,在胁迫初期处理后3~5 d高出对照135.76%~143.33%,与对照差异显著,胁迫后期处理7 d与对照差异不显著;在中度、重度盐浓度( $\geq 100$  mmol/L)胁迫下,随着胁迫时间的延长,甜高粱、春小麦于胁迫后期处理7 d处理组显著低于对照;表明低浓度盐胁迫显著增加APX活性,中度、重度盐胁迫抑制APX活性。

#### 2.4 NaCl 胁迫对甜高粱、春小麦萌发期抗氧化酶同工酶的影响

对甜高粱、春小麦萌发第3天进行抗氧化同工酶测定,测

定结果见图3。在POD同工酶方面,甜高粱处理组P6、P7、P8、P9条带与对照组比较色度加深,P5条带色度随处理浓度增加而变浅并逐渐消失;春小麦处理组P2、P3、P6条带色度与对照组比较加深,并出现新条带P9。在SOD同工酶方面,甜高粱处理组S2、S4条带与对照组比较色度明显加深,并出现新条带S3;春小麦处理组S3条带色度与对照组比较变深,并出现新的条带S4、S5。在CAT同工酶方面,甜高粱C1、C2条带在(50 mmol/L)处理下色度最深、宽度最大;春小麦C1条带在200 mmol/L处理下较对照颜色浅,C2条带随处理浓

度增加逐渐消失。在 APX 同工酶方面,甜高粱 A1 条带在 100 mmol/L 处理下色度最深,其他条带与对照组比较变化不

明显;春小麦 A1、A3 条带颜色随盐浓度增加呈先加深后变浅趋势,在 100 mmol/L 处理下达最深。

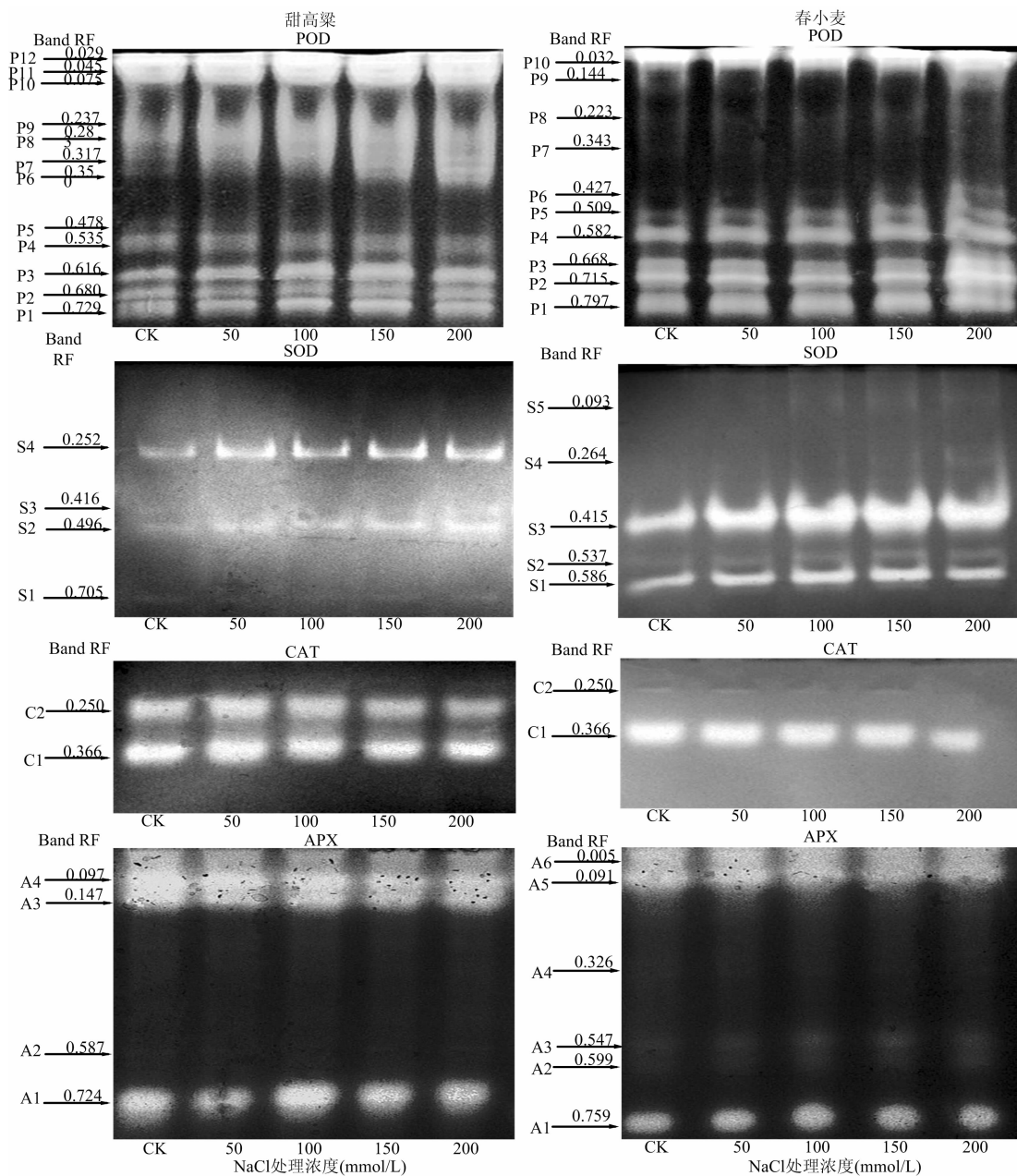


图3 NaCl 胁迫对甜高粱、春小麦抗氧化酶同工酶的影响

### 3 讨论与结论

#### 3.1 NaCl 胁迫下甜高粱、春小麦有机渗透调节物质含量变化特征

脯氨酸是植物体内重要的渗透调节物质,具有维持细胞的渗透势、防止细胞脱水、稳定并保护生物大分子的结构等功能,脯氨酸含量的增加是植物适应盐渍环境的特征之一<sup>[16]</sup>。本试验结果表明,甜高粱、春小麦在 NaCl 胁迫下通过增加脯氨酸的含量来保持一定的含水量和膨压,维持细胞的正常生理功能,且积累量与胁迫时间和胁迫程度有关,说明甜高粱、春小麦都能有效积累脯氨酸提高抗盐能力;在低盐浓度 ( $\leq 50$  mmol/L) 胁迫下甜高粱脯氨酸含量与对照无显著变

化,表明正常生理未受到显著影响,而春小麦已受到伤害,表明甜高粱耐盐性强于春小麦。

可溶性糖是合成其他有机溶质的碳架和能量来源,同时对细胞膜、原生质胶体起稳定作用,对酶类起保护作用<sup>[17]</sup>。可溶性糖主要在胁迫的中后期才开始积累,与其他渗透调节物质相比表现出一定的滞后性,但糖的物理化学性质决定了它的渗透调节能力高于其他渗透调节物质<sup>[18]</sup>。本试验结果表明,甜高粱、春小麦在 NaCl 胁迫下可溶性糖含量升高,且在胁迫后期,处理后 7 d 不同处理组可溶性糖含量大量增加,表明长时间盐分胁迫状态下,可溶性糖在渗透调节中起主要作用;同时在低盐浓度 ( $\leq 50$  mmol/L) 胁迫下甜高粱脯氨酸含量与对照无显著变化,表明甜高粱在低盐浓度胁迫下正常生

理未受到显著影响。

可溶性蛋白含量的提高可帮助植物细胞保持较低的渗透势来抵抗水分胁迫导致的伤害,可溶性蛋白含量的多少是衡量植物总代谢水平的重要指标之一<sup>[19-20]</sup>。本试验结果与戴凌燕的研究结果<sup>[3]</sup>相一致,甜高粱、春小麦的可溶性蛋白含量随着盐胁迫程度的加剧呈增加的趋势。说明在盐胁迫初期植物体内的可溶性蛋白增加以增强渗透调节能力,而在盐胁迫后期,处理后7 d胁迫已超过其忍耐的阈值,其体内蛋白酶活性增加,水解加快,盐胁迫使RNA转录和翻译受到抑制,因而蛋白质含量降低。

### 3.2 NaCl胁迫下甜高粱、春小麦丙二醛含量和保护酶系统变化特征

盐害不仅破坏植物细胞代谢,而且导致体内生理功能发生改变,自由基增加引发膜质过氧化作用,而膜质过氧化作用的最终产物之一就是MDA,其含量多少可作为细胞膜质损伤程度的参数和筛选植物抗逆品种的一个工具<sup>[21-22]</sup>。相关研究表明,盐胁迫下植物细胞膜透性增加,耐盐性较强的植物细胞膜稳定性强,膜透性增加较少,所受伤害较低,而耐盐性弱的植物则相反<sup>[23]</sup>。盐胁迫下本试验中甜高粱、春小麦MDA含量变化与姜慧等在甜高粱上的研究结论<sup>[24-26]</sup>相一致,表现为随盐胁迫程度增加而增加,说明盐胁迫使细胞膜受到损伤,损伤程度与盐处理浓度呈正相关;且在低盐浓度( $\leq 50$  mmol/L)胁迫下甜高粱MDA与对照差异不显著,表明甜高粱细胞膜质未受到损伤,耐盐性强于春小麦。

抗氧化酶是植物在逆境条件下防御自由基氧化损伤最重要的酶促系统<sup>[27]</sup>。SOD、CAT、POD、APX等是植物内源的活性氧清除剂,在逆境胁迫下只有保持较高的酶活性才能有效地清除活性氧,减少其对膜结构和功能的破坏。当植物受盐胁迫后,叶片中生成大量活性氧,SOD、CAT、POD、APX等抗氧化酶活性发生改变,在一定盐浓度胁迫下POD活性的增加伴随着CAT、SOD、APX增加或减少,表明抗氧化酶系统是相互协调的<sup>[28]</sup>。本试验结果表明,甜高粱、春小麦SOD、CAT、POD、APX活性随盐浓度升高呈先增加后降低的趋势,这与王秀玲等在甜高粱的研究结果<sup>[25]</sup>相一致。同时研究发现,在盐处理后,甜高粱、春小麦中SOD、CAT、POD、APX对盐胁迫的响应不尽相同,在中度、重度盐浓度( $\geq 100$  mmol/L)胁迫下CAT、POD、APX活性低于CK,而SOD活性高于CK,表明中度、重度盐胁迫下甜高粱、春小麦细胞膜虽然受到一定损伤,但未超过SOD活性的忍耐限度,仍具有较高的活性来清除氧自由基。在低盐浓度( $\leq 50$  mmol/L)胁迫下SOD、CAT、POD、APX活性均高于CK,说明甜高粱、春小麦在盐胁迫下具有较好的清除活性氧能力,轻度盐胁迫下主要靠4种抗氧化酶协同作用来清除自由基,共同抵御盐害,在中度、高度盐胁迫下主要靠SOD清除氧自由基。

### 3.3 NaCl胁迫下甜高粱、春小麦抗氧化酶基因表达的变化特征

同工酶作为基因表达的直接产物,具有很高的稳定性,是植物体内最活跃的酶之一,其合成和活性始终受到遗传基因的控制和调节。逆境引起基因变异而使酶活性及其结构发生改变,从而导致同工酶酶谱的变化<sup>[29]</sup>。本试验结果,盐胁迫下甜高粱、春小麦抗氧化酶同工酶的表达不尽相同,甜高粱同工酶P5条带消失、S3条带出现,表明甜高粱抗盐害主要受

POD、SOD基因表达进行调控;春小麦同工酶P6、S4、S5条带出现、C1条带消失,表明其抗盐害主要受POD、CAT、SOD基因表达进行调控;说明盐胁迫使原来的一些同工酶合成被抑制或降解,同时可能活化了某些基因或增加了某些基因的表达,甚至诱导某些基因产生新的谱带,预示着甜高粱、春小麦的抗盐害受抗氧化酶基因表达调控,盐胁迫浓度是抗盐害基因启动和增强的诱变因子。

综上所述,甜高粱、春小麦萌发期生理生化特性与盐胁迫关系密切,都能通过调整自身有机渗透调节物质来保证植物正常所需水分;提高保护酶活性,从而有效防止活性氧对植株造成的伤害来保证正常细胞代谢;同时甜高粱幼苗在低盐浓度胁迫下未受到伤害,对盐胁迫不敏感,其耐盐性强于春小麦。盐胁迫早期,甜高粱主要通过调控POD、SOD基因表达来提高其抗盐性,而春小麦主要通过调控POD、SOD、CAT基因表达。

### 参考文献:

- [1]王越,赵辉,马凤江,等. 盐碱地与耐盐碱牧草[J]. 山西农业科学,2006,34(1):55-57.
- [2]高凤菊,曹鹏鹏,王乐政,等. 盐胁迫对不同类型甜高粱种子萌发的影响[J]. 农业与技术,2011,31(4):19-23.
- [3]戴凌燕. 甜高粱苗期对苏打盐碱胁迫的适应性机制及差异基因表达分析[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2012.
- [4]张梅,刘君,杨志民,等. 高温胁迫对草地早熟禾抗氧化酶活性及其同工酶图谱的影响[J]. 草地学报,2014,22(6):1308-1317.
- [5]桑子阳,马履一,陈发菊. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2011,31(1):109-115.
- [6]刘海学,王昱,季静,等. 16个向日葵品种过氧化物酶同工酶分析[J]. 中国油料作物学报,2007,29(2):170-173.
- [7]隋益虎,李敏,胡能兵,等. 32份辣椒种质遗传多样性的同工酶分析[J]. 西北植物学报,2014,34(5):908-914.
- [8]吕维红,张文岭,李岩. 不同采收期黄芩根的四种同工酶电泳研究[J]. 河北中医药学报,2014,29(4):42-44.
- [9]李岩,董喜存,李文建,等. 碳离子辐照对甜高粱幼苗保护酶同工酶表达的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(35):17440-17441,17444.
- [10]吴嵩民,夏正俊,顾本康. 棉花不同生育期SOD同工酶与品种抗黄萎病性相关性的研究[J]. 棉花学报,1998,10(2):96-100.
- [11]孙云. 茶叶抗坏血酸过氧化物酶(APX)的生理学与分子生物学研究[D]. 福州:福建农林大学,2009.
- [12]胡能书,万贤国. 同工酶技术及其应用[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1985:73-116.
- [13]赵旌旌,丁宝莲. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:265-266.
- [14]邵巍,赖钟雄,赖呈纯,等. 龙眼胚性培养物APX同工酶的分析方法建立及其在龙眼体胚发生过程中的变化[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2008,37(2):140-144.
- [15]Mittler R, Zilinskas B A. Detection of ascorbate peroxidase activity in native gels by inhibition of the ascorbate-dependent reduction of nitroblue tetrazolium[J]. Analytical Biochemistry, 1993, 212(2):540-546.
- [16]田晓艳,刘延吉,郭迎春. 盐胁迫对NHC牧草Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Pro、可溶性糖及可溶性蛋白的影响[J]. 草业科学,2008,25(10):34-38.

余康宁,陶诗顺,马 鹏,等. 油后直播栽培杂交稻穗粒结构分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):111-113.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.029

# 油后直播栽培杂交稻穗粒结构分析

余康宁,陶诗顺,马 鹏,段转宁

(西南科技大学生命科学与工程学院,四川绵阳 621000)

**摘要:**以 4 个杂交稻品种为材料进行了田间试验,研究油后直播栽培杂交稻的穗粒结构。结果表明,杂交稻油后直播栽培的产量潜力主要集中在一次分蘖穗上,穗着粒数、穗实粒数影响不同是有效穗产量贡献的重要因素,结实率、千粒质量是影响二次分蘖穗不同穗位粒质量的主要因素。不同水稻品种有效穗、不同穗位经济性状也存在一定差异。选用适宜的品种和争取较多的一次分蘖、提高二次分蘖穗的成穗质量是油后直播杂交稻高产的重要保证。

**关键词:**杂交稻;油后直播;穗粒结构

**中图分类号:** S511.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0111-03

近年来,在四川中东部稻区,于油菜(或小麦)收获后直播杂交水稻已作为一项轻简高效技术在生产上示范应用。已有文献报道了杂交稻油、麦后直播栽培的播期效应、成株密度和播种量对其产量的影响等<sup>[1-3]</sup>。与当地育秧移栽相比,油后直播杂交稻播种期要推迟 30~40 d,全生育期相对缩短,同时抽穗后较低的温度条件也可能在一定程度上影响其灌浆结实<sup>[4-6]</sup>。具有合理的穗粒结构是水稻高产的基础。因此,在油、麦后直播条件下,杂交稻能否形成较为合理穗粒结构就是一个直接关系其产量的重要问题。本试验以几个不同杂交稻品种为材料,对油后直播杂交稻的穗粒结构特点进行比较和分析,以期对杂交稻油、麦后直播栽培技术的进一步完善提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

用 F 优 498、德香 4103、D 优 17、花香 7 号 4 个杂交稻品

收稿日期:2015-12-17

基金项目:国家科技支撑计划重大项目(编号:2013BAD07B13)。

作者简介:余康宁(1991—),男,湖北广水人,硕士研究生,主要从事水稻栽培技术研究。E-mail:1132625587@qq.com。

通信作者:陶诗顺,教授。E-mail:tss2203@.com。

[17]刘 华,舒孝喜,赵 银,等. 盐胁迫对碱茅生长及碳水化合物含量的影响[J]. 草业科学,1997,14(1):18-20.

[18]胡 义,胡庭兴,陈 洪,等. 干旱胁迫及复水对香樟幼树生理特性及生长的影响[J]. 西北植物学报,2015,35(2):294-301.

[19]罗 群,唐自慧,李路娥,等. 干旱胁迫对 9 种菊科杂草可溶性蛋白质的影响[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2006,29(3):356-359.

[20]刘惠芬,高玉葆,张 强,等. 不同种群羊草幼苗对土壤干旱胁迫的生理生态响应[J]. 南开大学学报:自然科学版,2004,37(4):105-110.

[21]Cavalcanti F R,Oliveira J A,Martins - Miranda A S,et al. Superoxide dismutase,catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt - stressed cowpea leaves[J]. New Phytologist,2004,163(3):563-571.

[22]何若韫. 植物低温逆境生理[M]. 北京:中国农业出版社,1995.

种为材料。

### 1.2 试验方法

试验于 2014 年在西南科技大学校内试验基地进行,试验地前作为油菜,肥力中等、均匀一致。油菜收获后将秸秆翻埋还田。水稻于 5 月 20 日播种,播种前将水稻种子浸泡 3 d,不催芽。实行定距摆播,行距 36 cm,穴距 16 cm,折 17.85 万穴/hm<sup>2</sup>,每穴播 2~3 粒种子。4 叶期定苗,每穴保留单株。每品种种植面积 16 m<sup>2</sup>,田间管理按油后直播配套栽培技术进行<sup>[7]</sup>。

### 1.3 测定方法

成熟时,调查每品种 50 株平均有效穗数,并在每品种中选其有效穗接近该品种平均穗数的植株 10 株将其整株连根收取,在室内挂藏风干后将各株分离为主茎穗、一次分蘖穗、二次分蘖穗,分析其有效穗组成和有效茎质量等,并将每穗按其一次枝梗数量、按着生部位分为上部(包括穗上部 1/3 的一次枝梗)、中部(包括穗中部 1/3 的一次枝梗)、下部(包括穗下部 1/3 的一次枝梗),分析比较不同穗位的经济性状。

## 2 结果与分析

### 2.1 有效穗及其组成

杂交稻有效穗数及其组成结果见表 1。在本试验所设种

[23]王宝山,姚敦义. 盐胁迫对盐枣愈伤组织膜透性,膜脂过氧化和 SOD 活性的影响[J]. 河北农业大学学报,1993,16(3):20-24.

[24]姜 慧. 甜高粱对盐胁迫的生理生化响应[D]. 沈阳:沈阳师范大学,2012.

[25]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.

[26]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.

[27]史鹏辉,刘自刚,张亚宏,等. 23 份油菜的抗氧化酶特性及过氧化物同工酶分析[J]. 西北农业学报,2014,23(1):113-119.

[28]陈海燕,崔香菊,陈 熙,等. 盐胁迫及 La<sup>3+</sup> 对不同耐盐性水稻根中抗氧化酶及质膜 H<sup>+</sup> - ATPase 的影响[J]. 作物学报,2007,33(7):1086-1093.

[29]周瑞莲,杨淑琴,黄清荣,等. 小叶锦鸡儿抗沙埋生长与抗氧化酶及同工酶变化的关系[J]. 生态学报,2015,35(9):3014-3022.