

钠盐胁迫对不同辣度辣椒的耐受性影响研究初探

郭茜茜¹, 吴 鹏^{1*}, 陈柏杰², 赵凌侠³, 潘 林¹, 张宝成⁴, 胡创然¹

(1. 齐齐哈尔大学生命科学与农林学院/抗性基因工程与寒地生物多样性保护黑龙江省重点实验室, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 哈尔滨市农业科学院, 哈尔滨 150028; 3. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240; 4. 佳木斯大学基础医学院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘 要:土壤盐渍化是影响我国农业生产的主要非生物胁迫, 严重影响了农作物的生长并导致减产。本研究选取适合黑龙江省西部地区生产和消费, 有代表性的2个辣椒品种“农家辣妹子”(高辣度)和“特大甜椒王”(低辣度)为实验材料, 分析不同辣度辣椒品种在低、中、高浓度钠盐胁迫下株高、茎粗、过氧化物酶(POD)活性、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量的变化。研究结果表明:低、中浓度钠盐胁迫可以提高高辣度“农家辣妹子”的株高和茎粗生长、POD活性和叶片中渗透调节物质(可溶性糖和可溶性蛋白)的含量, 而对低辣度“特大甜椒王”则产生不同程度的抑制。因此, 高辣度“农家辣妹子”耐盐性较好, 可耐低、中钠盐胁迫, 低辣度“特大甜椒王”不耐盐。另外, POD、可溶性糖和可溶性蛋白可作为不同辣度辣椒对钠盐胁迫的逆境抗性响应指标, 为选育耐钠盐胁迫辣椒新品种提供鉴定参考和理论依据。

关键词:辣椒; 钠盐胁迫; POD; 可溶性糖; 可溶性蛋白

中图分类号:S641.3

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2021)04-0069-06

Preliminary Study on the Effect of Sodium Salt Stress on the Tolerance of Pepper with Different Pungency Degree

GUO Qianqian¹, WU Peng^{1*}, CHEN Baijie², ZHAO Lingxia³, PAN Lin¹, ZHANG Baocheng⁴, HU Chuangran¹

(1. College of Life Science, Agriculture and Forest, Qiqihar University/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Resistance Gene Engineering and Protection of Biodiversity in Cold Areas, Qiqihar 161006; 2. Harbin Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028; 3. College of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240; 4. College of Basic Medicine, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China)

Abstract: Soil salinization is the main abiotic stress affecting agricultural production in China, which seriously affect crop growth and leading to yield reduction. In this study, two representative pepper varieties "Peasant Hot Girl" (high pungency degree) and "Super Sweet Pepper King" (low pungency degree) were selected as experimental materials to analyze plant height, stem diameter, peroxidase (POD) activity, soluble sugar content and soluble protein content of pepper varieties with different pungency degree under low, medium and high sodium salt stress. The results showed that the plant height, stem diameter, POD activity and osmotic regulators (soluble sugar and soluble protein) content in "Peasant Hot Girl" were increased under low and moderate sodium stress, while the "Super Sweet Pepper King" with low and medium sodium stress was inhibited in varying degrees. Therefore, the "Peasant Hot Girl" have better salt tolerance, can withstand low and medium sodium salt stress, and the "Super Sweet Pepper King" is not salt-tolerant. In addition, POD, soluble sugar and soluble protein can be used as response indicators of stress resistance to sodium salt stress in pepper with different degrees of hot pepper, providing identification reference and theoretical basis for breeding new varieties of pepper resistant to sodium salt stress.

Key words: Pepper; Sodium salt stress; POD; Soluble sugar; Soluble protein

收稿日期:2019-04-01

基金项目:黑龙江省省属本科高校基本科研业务费科研项目(135309363);黑龙江省自然科学基金项目(LH2019C067);黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(UNPYSCT-2018101);黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(YST-SXK201889);齐齐哈尔市科技计划项目(NYGG-201915)

作者简介:郭茜茜(1983-),女,讲师,博士,研究方向为植物次生代谢机理。

通讯作者:吴 鹏,男,博士,副教授,E-mail: wupeng216@126.com

辣椒是世界上重要的食用蔬菜和调味品之一。辣椒具有独特的辛辣味,辛辣味的产生是由于辣椒果皮和胎座中含有的辣椒素和辣椒素类物质所致,其含量的多少直接影响辣椒的品质。辣椒素的含量已成为评价辣椒产品品质和药效学研究的一项重要指标^[1]。辣椒素类物质的加工开发受到各国高度重视并取得了很大进展。美国和日本对于辣椒研究开发的进展和水平已经在世界上遥遥领先。在我国,随着人民生活水平的不断提高,对辣椒的食用也不再是鲜食了,而是以辣椒加工品和调味品的方式进行消费。辣椒制品主要有辣椒粉、辣椒油、辣椒酱等烹饪调味品和加工食品。在辣椒出口方面,我国辣椒出口数量增长迅速,随着辣椒育种研究的不断完善,各种用途的辣椒和辣椒制品不断涌现,在一定程度上促进了中国辣椒产业的快速发展^[2]。

钠盐胁迫对植物正常的生理代谢会产生危害。植物细胞产生渗透胁迫,发生质壁分离,细胞质膜发生损伤,细胞结构改变,导致细胞形态变化或死亡。土壤中的盐碱离子或有毒离子进入到植物体内,会导致细胞中酶活性降低、代谢紊乱^[3],光合作用降低,呼吸作用异常,影响植物的生长和发育。这方面的研究已被许多研究者证实,李汉钊等^[4]以“改良佳线”“赤峰板椒”以及“日本金塔”三个制干辣椒品种为试验材料,从辣椒的现蕾期开始,采用30、60、90 mmol/L碳酸氢钠溶液进行持续盐胁迫,研究不同品种辣椒对持续盐胁迫的抗性反应。结果表明,30 mmol/L盐浓度对这三种辣椒的光合作用产生一定的促进作用,60 mmol/L盐浓度对光合作用的影响不显著,而较高的90 mmol/L盐浓度对这三种辣椒的光合作用均有明显的抑制作用。钱琼秋等^[5]以处理一段时间后的黄瓜根系的线粒体为实验材料,观察盐胁迫对线粒体呼吸功能及其有关酶的影响。结果表明在盐胁迫下,线粒体呼吸3态比对照组降低显著,而呼吸4态的呼吸速率则相对增加(加入60 mmol/L ADP产生呼吸3态,以ADP耗尽时为呼吸4态),呼吸控制率显著下降,使得呼吸作用的P/O下降。表明线粒体膜受到干扰造成损伤,呼吸作用被严重破坏。导致了线粒体的氧化能力下降,植物体内提供能量进行磷酸化来产生ATP的过程受到了影响,导致ATP的含量下降,从而使植物呼吸作用下降。植物种子萌发和幼苗时期对盐胁迫反应也很敏感。卢艳敏等^[6]以100、150、200、300 mmol/L浓度的NaCl、Na₂CO₃、Na₂SO₄溶液以及

NaCl和Na₂CO₃的混合溶液对白三叶种子进行盐胁迫处理。结果表明,随着NaCl、Na₂CO₃以及NaCl和Na₂CO₃混合溶液浓度的增加,白三叶种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均呈现下降的趋势。随着Na₂SO₄以及NaCl、Na₂CO₃和Na₂SO₄混合溶液浓度的增加,白三叶种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数呈现出先上升后下降的趋势。不同植物的发芽率、发芽势、发芽指数在盐胁迫条件下上升,发芽指数、幼苗长度、胚根长度、幼苗重量和胚根重量都有所下降。钠盐胁迫发生时,植物会在形态结构和生理机制上抵抗盐离子带来的危害,表现出其独特的耐盐机制。如植物渗透调节、蛋白质积累、抗氧化酶的诱导等。渗透调节是植物面对盐胁迫时一个重要的生理机制。不同植物面对盐胁迫,渗透调节剂及其诱发的生理机制有所不同^[7]。植物通过渗透调节积极调节细胞内溶质的含量,降低细胞液的渗透势,防止细胞过度失水。盐胁迫还会诱导抗性蛋白表达,降低环境胁迫对植物的损伤。盐胁迫下可溶性糖和可溶性蛋白含量呈下降趋势。植物体内生成活性氧,稳态机制被破坏,发生氧化损伤。张弢等^[8]以中寿12辣椒幼苗为材料,以0、150、200、250、300 mmol/L浓度的NaCl溶液进行胁迫处理,研究不同浓度NaCl溶液胁迫处理下辣椒幼苗叶片内叶绿素、游离脯氨酸、丙二醛和可溶性蛋白含量的变化规律。研究结果表明,叶片中叶绿素含量会随着NaCl浓度的增加而逐渐降低,可溶性蛋白含量呈现先升高后降低的趋势,脯氨酸和丙二醛含量随着NaCl浓度增加而升高。

土壤盐渍化是一个重要的资源问题和环境问题,许多科学家从植物耐盐机制和培育耐盐品种方面进行了大量研究。通过引种和培育耐盐品种,提升品种对盐碱环境的适应性,提高盐碱地生产力,对于提高土地生产力和利用率、扩大蔬菜作物种植面积和提高产量具有重要而深远的意义^[2]。盐胁迫的离子组成和浓度对辣椒生长均有不同程度的影响。研究不同辣度辣椒品种对低、中、高钠盐胁迫的响应,发生的生理变化和形态变化,对于提高辣椒的盐胁迫耐受性研究、耐盐品种选育具有重要意义。本研究分析了不同辣度辣椒品种在低、中、高钠盐胁迫下株高和茎粗的形态变化,对POD活性、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量的影响。本研究结果将为辣椒的钠盐胁迫响应和耐盐性机制研究奠定理论基础。同时,本研究力求对不同辣度辣椒的耐盐性形态学和生理

响应系统进行研究,为不同辣度辣椒与耐盐性相关性分析及耐盐性新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究选取适于黑龙江省西部地区生产和消费,有代表性的2个辣椒品种“农家辣妹子”(高辣度)和“特大甜椒王”(低辣度)为实验材料。

1.2 试验处理

选取籽粒饱满的辣椒种子温汤浸种,抹去种皮表面的黏稠物质,均匀分散在湿润的培养皿中,置于温度为30℃的培养箱中催芽。当80%的芽长达到2~3 cm时,播种于黑色塑料营养钵(8 cm×8 cm)中,基质成分为 $V_{\text{土壤}}:V_{\text{蛭石}}:V_{\text{珍珠岩}}=2:1:1$,光照培养箱培养。将强碱盐 Na_2CO_3 和弱碱盐 NaHCO_3 按不同浓度配比配制成50、100、150 mmol/L浓度的钠盐溶液。当辣椒幼苗长出四片真叶时,挑选长势均匀一致的幼苗进行钠盐胁迫处理,采用浇灌方式,以土壤滴液为度,用清水处理为对照。胁迫处理后3 d、6 d、9 d、12 d和15 d进行形态学调查和取样。取样时随机选取10株全部叶片,3次重复,液氮速冻,冷藏备用。

1.3 试验方法

1.3.1 株高和茎粗的测定

利用精度为0.01 m的直尺测定植株株高。利用数显游标卡尺测定植株中部茎粗,方向垂直于叶片的伸展方向。每个处理进行5株重复。

1.3.2 过氧化物酶(POD)活性的测定

酶液的提取方法参照吴鹏^[9]的方法。POD活

性的测定参考陈建勋等^[10]的方法。2 mL 0.3% H_2O_2 溶液加0.95 mL 0.2%愈创木酚溶液加1 mL 0.05 mol/L pH=7.0 磷酸缓冲溶液(PBS)再加入0.02 mL酶液(对照用0.05 mol/L磷酸缓冲溶液代替酶液,做三个重复),记录470 nm处OD降低速度。将每分钟OD增加0.01定义为1个活力单位。

1.3.3 可溶性蛋白和可溶性糖含量的测定

可溶性蛋白含量的测定参考Bradford^[11]的方法;可溶性糖含量的测定参考Giannakoula等^[12]的方法。

1.3.4 数据处理

采用Office 2003和SPSS 13.0进行数据分析处理及图表制作。

2 结果与分析

2.1 钠盐胁迫对不同辣度辣椒幼苗株高和茎粗的影响

由图1可知,在钠盐50、100 mmol/L的胁迫下,“农家辣妹子”的株高除了处理后15 d,其余均高于对照,这说明中低浓度的钠盐胁迫在一定程度上可以促进高辣辣椒的生长,但是随着胁迫时间的延长,这种促进效果表现为越来越弱。150 mmol/L的钠盐胁迫处理后3 d、6 d表现为一定程度促进,但随着胁迫时间延长,抑制效果越来越显著,处理9 d后,“农家辣妹子”基本停止生长。50、100、150 mmol/L钠盐胁迫均表现出了对低辣度品种“特大甜椒王”株高生长的抑制性。随着胁迫时间的延长,这种抑制性越来越明显。

由图2可以看出,在 Na^+ 浓度150 mmol/L胁迫

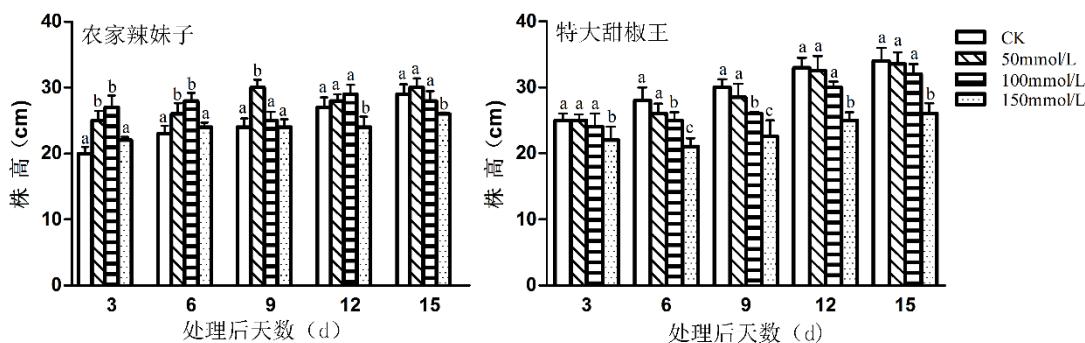


图1 钠盐胁迫对不同辣度辣椒株高的影响

下,“农家辣妹子”和“特大甜椒王”的茎粗生长都受到抑制。整体而言,50、100 mmol/L钠盐胁迫促进了高辣度“农家辣妹子”的茎粗生长,但是随着胁迫时间的延长,处理后3、6、12 d促进效果明显,处理15 d后促进效果减弱,且100 mmol/L胁迫下茎粗略低于对照。50、100、150 mmol/L钠盐胁迫

均在一定程度上抑制了低辣度“特大甜椒王”的茎粗生长,且随着胁迫时间的延长,抑制效果相应增强。处理后9、12、15 d辣椒茎粗均低于对照。50、100 mmol/L钠盐胁迫在处理3 d促进了茎粗的生长,但差异不显著。100、150 mmol/L钠盐胁迫在处理15 d抑制效果最明显,且差异显著。

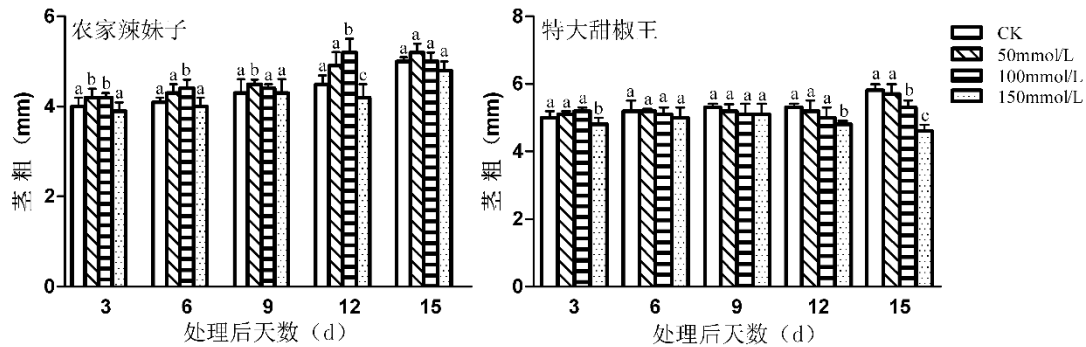


图2 钠盐胁迫对不同辣度辣椒茎粗的影响

综合分析可知,50、100 mmol/L 钠盐胁迫在一定程度上促进“农家辣妹子”的株高和茎粗生长,而50、100、150 mmol/L 钠盐胁迫抑制了“特大甜椒王”的株高和茎粗生长,因此得出高辣度“农家辣妹子”耐盐性较好,可耐低、中钠盐胁迫,低辣度“特大甜椒王”不耐盐。

2.2 钠盐胁迫对不同辣度辣椒幼苗 POD 活性的影响

从图3中可以看出,经不同浓度钠盐胁迫处理后,随着胁迫时间的延长,“农家辣妹子”幼苗叶片中 POD 活性呈增长趋势,“特大甜椒王”则表现为先增长后下降再增长的趋势。50、100 mmol/L 钠盐胁迫下,“农家辣妹子”POD 活性均表现为增加趋势,

150 mmol/L 钠盐胁迫则表现为下降趋势。“特大甜椒王”在钠盐胁迫处理后,总体表现为下降趋势,仅在50、100 mmol/L 处理后6 d 表现为增加趋势。以上分析结果表明,辣椒幼苗经不同浓度钠盐胁迫后,“农家辣妹子”POD 活性总体表现升高,“特大甜椒王”POD 活性总体表现降低。耐盐性强的品种比耐盐性弱的品种具有更强的活性氧清除能力,能保护细胞膜不受伤害,因而抗盐性强。耐盐性弱的品种体内积累较多的活性氧,使 POD 活性氧清除剂的结构活性受到破坏,含量降低,导致清除活性氧的防御能力下降,从而耐盐性弱。因此,本研究结果表明高辣度品种“农家辣妹子”比低辣度品种“特大甜椒王”具有更强的耐盐性。

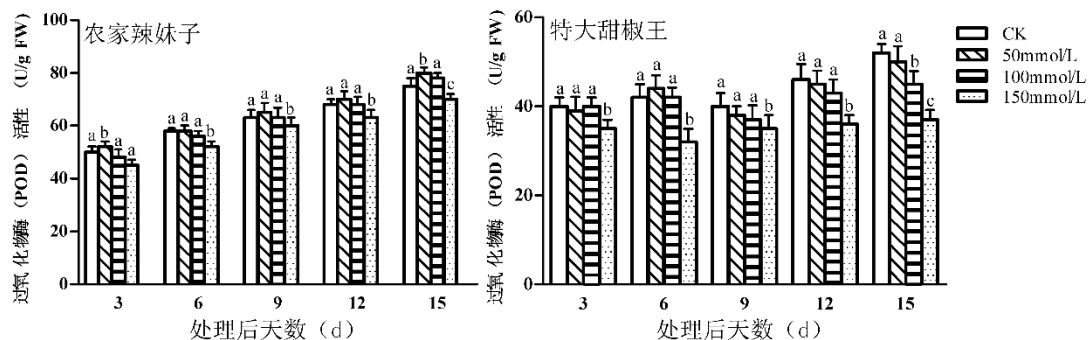


图3 钠盐胁迫对不同辣度辣椒 POD 活性的影响

2.3 钠盐胁迫对不同辣度辣椒幼苗渗透调节物质的影响

由图4可以看出,随着钠盐浓度增加“农家辣妹子”可溶性蛋白含量呈现先上升后下降趋势,在50 mmol/L 钠盐处理下,处理后3、6、9、12、15 d 可溶性蛋白含量均达到峰值,与对照相比差异显著;在100 mmol/L 钠盐处理下,可溶性蛋白含量开始降低,在150 mmol/L 钠盐处理下,处理后9 d、15 d 可溶性蛋白含量最低,达到差异显著。总体来说,“农家辣妹子”在50、100 mmol/L 钠盐处理

后,可溶性蛋白含量升高,在150 mmol/L 钠盐处理下,含量降低。“特大甜椒王”叶片中的可溶性蛋白含量随盐浓度升高表现为降低趋势,钠盐浓度越大可溶性蛋白含量越低,150 mmol/L 钠盐处理后6 d 可溶性蛋白含量最低,显著低于对照。

由图5可知,在钠盐胁迫下,不同辣度辣椒可溶性糖含量的变化趋势与可溶性蛋白含量变化趋势相似。随着钠盐浓度增加“农家辣妹子”可溶性糖含量呈现先上升后下降趋势,在50 mmol/L 钠盐处理下,处理后6、12、15 d 可溶性糖含量均达

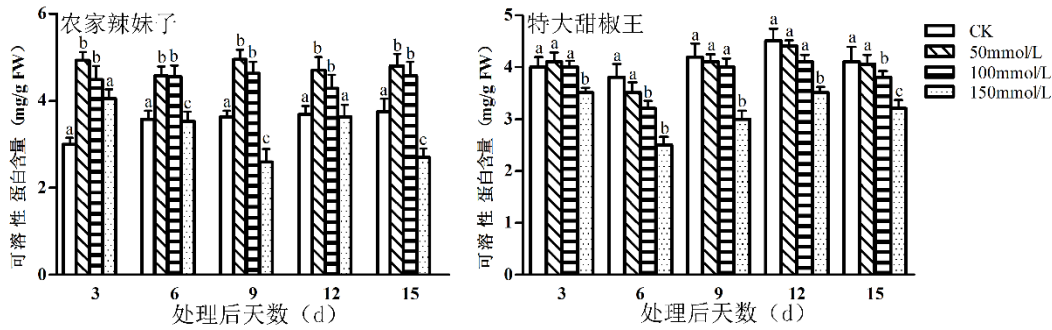


图4 钠盐胁迫对不同辣度辣椒可溶性蛋白含量的影响

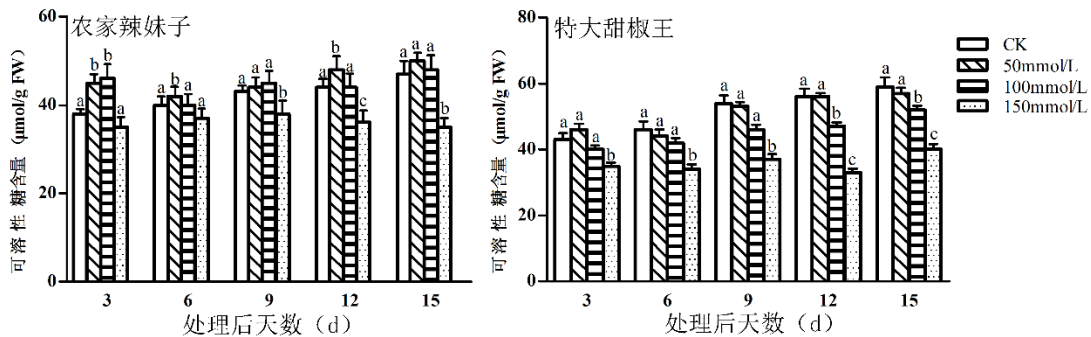


图5 钠盐胁迫对不同辣度辣椒可溶性糖含量的影响

到峰值,与对照相比差异显著;在100 mmol/L 钠盐处理下,处理后3 d、9 d可溶性糖含量达到峰值,在150 mmol/L 钠盐处理下,可溶性糖含量均为最低,达到差异显著水平。总体来说,“农家辣妹子”在50、100 mmol/L 钠盐处理后,可溶性糖含量升高,在150 mmol/L 钠盐处理下,含量最低。“特大甜椒王”叶片中的可溶性糖含量,除了处理后3 d表现为先升高后降低趋势,其他处理均表现为逐渐降低趋势。

以上结果说明低、中浓度钠盐胁迫下可以提高“农家辣妹子”叶片中渗透调节物质的含量,维持细胞渗透调节能力;较高的钠盐浓度会破坏细胞功能,渗透调节物质含量下降。“农家辣妹子”的耐盐性强于“特大甜椒王”。

3 讨论

生长发育受到抑制是植物对盐渍响应最敏感的生理过程,在盐胁迫下,植物的生长过程中会产生一系列可见的症状,如叶变黄以至脱落,整体生长变慢,甚至死亡^[4,13]。本研究结果表明:50、100 mmol/L 钠盐胁迫在一定程度上可以促进高辣度“农家辣妹子”的株高和茎粗生长,而50、100、150 mmol/L 钠盐胁迫明显抑制了低辣度“特大甜椒王”的株高和茎粗生长,因此得出高辣度“农家辣妹子”耐盐性较好,可耐低、中钠盐胁迫,而低

辣度“特大甜椒王”不耐盐。吉雪花等^[4]研究结果表明,高浓度的 NaHCO_3 胁迫使制干辣椒品种株高和茎粗的生长受到抑制,但是低浓度盐胁迫却促进了生长,并成功筛选出耐盐性强的制干辣椒品种,这与本试验研究结果相一致。

过氧化物酶是植物体内普遍存在的活性较高的一种酶,能分解植物体内多余的过氧化物,也是植物体对环境条件改变响应的一种保护酶。在植物生长发育过程中,过氧化物酶活性不断发生改变,测定过氧化物酶活性,可以反映植物体内代谢的情况。在盐胁迫处理条件下,酶系统活动加强,抗氧化能力提高^[13]。但当盐浓度过高时酶活性会降低甚至受到抑制。本研究结果表明:高辣度“农家辣妹子”幼苗叶片中POD活性呈现一直增长趋势,低辣度“特大甜椒王”则表现为先增长后下降再增长的趋势。50、100 mmol/L 钠盐胁迫下,“农家辣妹子”POD活性均表现为增加趋势,150 mmol/L 钠盐胁迫则表现为下降趋势。“特大甜椒王”在钠盐胁迫处理后,总体表现为下降趋势,仅在50、100 mmol/L 处理后6 d表现为增加趋势。辣椒幼苗经不同浓度钠盐胁迫后,“农家辣妹子”POD活性总体表现升高,“特大甜椒王”POD活性总体表现降低。因此,本研究结果表明高辣度品种“农家辣妹子”比低辣度品种“特大甜椒王”具有更强的耐盐性。周静等^[14]用“强丰

7301”和“秋燕”2个辣椒品种为试验材料,测定在100、150 mmol/L NaCl溶液胁迫下,这两种辣椒的生理生化指标的变化。研究表明,“强丰7301”,随着时间与浓度的增加,过氧化物酶活性升高,150 mmol/L浓度时过氧化物酶活性最高。“秋燕”随着时间与浓度的增加,过氧化物酶活性升高,100 mmol/L浓度时过氧化物酶活性最高。当受到盐胁迫时间相同时,随着NaCl溶液浓度的增加,2个辣椒品种的幼苗叶片中过氧化物酶活性呈现先上升后下降的趋势。高浓度的NaCl溶液会使辣椒植株逐渐表现出盐害的症状,在相同浓度的NaCl溶液处理下,“秋燕”的盐害程度高于“强丰7301”,“强丰7301”的耐盐性强于“秋燕”。这与本试验的结果一致。

可溶性蛋白在植物体内主要是以氮素形式存在^[15],很多物质的合成需要有蛋白质的参与,可溶性蛋白含量的变化趋势在一定程度上体现了植物在生长过程中的状态^[16]。可溶性蛋白在植物体内还有维持渗透压的作用,其含量水平可作为植物衰老的生理生化指标。同时,可溶性蛋白还在生物的生理生化代谢过程中起重要作用。在逆境胁迫下,植物体内正常的蛋白合成常受到抑制,但也会诱导出一些新的蛋白或使原有蛋白含量明显增加^[17]。本试验的结果表明:随着钠盐浓度增加“农家辣妹子”可溶性蛋白含量呈现先上升后下降趋势,总体来说,高辣度“农家辣妹子”在50、100 mmol/L钠盐处理后,可溶性蛋白含量升高,在150 mmol/L钠盐处理下含量降低。低辣度“特大甜椒王”叶片中可溶性蛋白质含量随盐浓度增加表现为降低趋势,钠盐胁迫浓度越大可溶性蛋白质含量越低。郑佳秋等^[18]采用模拟盐胁迫的方法,研究Y148-1、Y802-1、Y802-2、Y08-29、Y08-27和S-322尖椒辣椒品种,在150 mmol/L盐胁迫下其幼苗期的生理特性。盐胁迫15 d后,Y148-1、Y802-1和Y08-27可溶性蛋白含量高于对照组,Y08-29没有变化,其余两个均低于对照组。盐胁迫15 d后,6个品种的可溶性糖含量均高于对照组。表明幼苗期不同品种可溶性蛋白含量表现不同,耐盐性强的品种可溶性蛋白含量较高。这与本试验中高辣度“农家辣妹子”耐盐性强的结果相一致。

可溶性糖是植物生长发育过程中最基本的营养物质,可以在植物体内转化并合成其他有机物,也为植物生长发育各个阶段提供了生命活动所需的能量^[19]。本研究结果表明,随着钠盐浓度

增加高辣度“农家辣妹子”可溶性糖含量呈现先上升后下降趋势,在50 mmol/L钠盐处理下,处理后6、12、15 d可溶性糖含量均达到峰值,与对照相比差异显著;在100 mmol/L钠盐处理下,处理后3 d、9 d可溶性糖含量达到峰值,在150 mmol/L钠盐处理下,可溶性糖含量均为最低,达到差异显著水平。总体来说,高辣度“农家辣妹子”在50、100 mmol/L钠盐处理后,可溶性糖含量升高,在150 mmol/L钠盐处理下,含量最低。低辣度特大甜椒王叶片中的可溶性糖含量,除了处理后3 d表现为先升高后降低趋势,其他处理均表现为逐渐降低趋势。高方胜等^[20]在茴香盐胁迫研究中,发现可溶性糖含量随着盐处理浓度的增加而下降。而郑佳秋等^[21]试验结果表明,涝害胁迫下可溶性糖和可溶性蛋白含量总体表现为下降。由此可见在非生物胁迫下,可溶性糖含量有时表现升高有时表现降低。本研究总体表明,高辣度“农家辣妹子”可溶性糖含量总体表现增加,低辣度“特大甜椒王”总体表现降低。在植物受到盐胁迫时,渗透调节物质可以减缓植物受到的盐害。植物细胞通过积累可溶性糖、可溶性蛋白等渗透调节物质,调节细胞渗透势,维持细胞水分平衡,防止细胞过度失水。这也解释了本研究中不同辣度辣椒可溶性糖含量的变化趋势与可溶性蛋白含量变化趋势相似的原因。

参考文献:

- [1] 成善汉,贺申魁,陈文斌,等.不同基因型辣椒的辣椒素含量测定和辣度级别分析[J].海南大学学报(自然科学版),2009,27(1):38-42.
- [2] 杨咏鹏.干制技术与干辣椒品质变化相关性研究[D].贵阳:贵州大学,2009.
- [3] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. Plant and Cell Physiology, 1981, 22(5):867-880.
- [4] 吉雪花,郑群,庞胜群,等.持续盐胁迫对制干辣椒生长的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):40-46.
- [5] 钱琼秋.硅提高黄瓜耐盐性的生理和生化机制研究[D].杭州:浙江大学,2006.
- [6] 张西露,毛亦卉,向拉蛟.国内外辣椒产业研究开发的现状分析[J].辣椒杂志,2008(1):1-5.
- [7] 王铖.2种菊芋品种耐盐性比较研究[D].南京:南京农业大学,2015.
- [8] 张弢.NaCl胁迫对辣椒幼苗生理生化的影响[J].江苏农业科学,2012,40(8):142-143.
- [9] 吴鹏.黄瓜低霜霉威残留性的生理生化及分子基础研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.

(下转第87页)

- [5] 李 丹, 万怡震, 樊秀芳. 西安临潼石榴品种资源抗裂果性田间鉴定[J]. 西北农业学报, 2008, 17(2): 229-233.
- [6] 张 华. 石榴裂果的原因及预防措施[J]. 中国植保导刊, 2009(3): 26-28.
- [7] 侯乐峰, 张燕侠, 冯立娟. 石榴裂果特性与套袋栽培研究初报[J]. 中国农学通报, 2010, 26(2): 181-184.
- [8] 张艳侠, 郝兆祥, 李 峰. 枣庄石榴品种裂果特性调查初报[J]. 山东林业科技, 2010(2): 42-43.
- [9] 任国慧, 陶 然, 文习成. 重要果树果实裂果现象及防治措施的研究进展[J]. 植物生理学报, 2013, 49(4): 324-330.
- [10] 胡园春. 气象因子对石榴裂果影响的初步研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16678-16679, 16706.
- [11] 胡园春, 张宗磊. 2014年气象条件对枣庄石榴异常裂果的影响分析及防御措施[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(31): 60, 62.
- [12] 顾 暄. 石榴裂果原因及防治[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(5): 11, 13.
- [13] 白志怀. 石榴裂果的原因及预防[J]. 落叶果树, 2012(4): 9-10.
- [14] 李伟才, 谢江辉, 陈佳瑛, 等. 果树裂果机理及防治措施研究进展[J]. 吉林农业科学, 2007, 32(1): 55-60.
- [15] 卢艳清, 赵 锦, 刘孟军, 等. 果树裂果研究进展[J]. 河北林业研究, 2008(2): 200-206.
- [16] 王玉霞, 李芳东, 李延菊, 等. 三种叶面肥对晚熟油桃‘福秀’果实品质的影响[J]. 东北农业科学, 2018, 43(4): 41-43.
- [17] 朱 毅, 王新艳. 低山丘陵区石榴裂果成因调查及矫治方法[J]. 中国果树, 2006(4): 65-66.
- [18] 侯乐峰, 郝兆祥, 孙 蕾, 等. 石榴大粒抗裂果新品种秋艳的选育[J]. 中国果树, 2015(2): 9-10.
- [19] 侯乐峰, 郝兆祥, 丁志强, 等. 抗旱、抗裂果石榴新品种‘青丽’的选育[J]. 果树学报, 2016, 33(11): 1460-1463.
- [20] 温素卿. 山地石榴丰产栽培示范试验[J]. 中国果树, 2007(3): 49-50.
- [21] 刘玉爱, 牛文广, 张志峰. 石榴裂果的预防技术措施[J]. 山西果树, 2018(1): 62.
- [22] 唐存凤, 金树会, 尹富永. 会娜软籽石榴裂果的原因及防止措施[J]. 现代园艺, 2014(2): 69-70.
- [23] 李宗圈, 李志安, 祖跃庭, 等. 石榴裂果的发生与预防[J]. 河南农业, 2003(9): 8.
- [24] 宋英英, 刘 静, 林凤枝, 等. 石榴裂果的发生与防治技术[J]. 现代农业, 2016(8): 20-23.
- [25] 杨 磊, 傅连军, 席 勇, 等. 影响喀什石榴裂果相关因素的初步研究[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(7): 1310-1314.
- [26] 李 乐, 孙 海, 刘政波, 等. 微生物肥料的作用、机理及发展方向[J]. 东北农业科学, 2016, 41(4): 63-69.
- [27] 赵作富, 刘芝棠. 石榴裂果的原因及防治措施[J]. 农业科技通讯, 2010(7): 236-237.
- [28] 崔会平. 石榴裂果的原因与防治措施[J]. 河北果树, 2005(6): 28-30.
- [29] 王秀芹. 枣庄市石榴裂果原因及综合防治技术[J]. 农业科技通讯, 2013(9): 238-239.
- [30] 刘铁铮, 徐继忠, 王连荣, 等. 水果裂果研究进展[J]. 河北林业研究, 2004(3): 282-285.
- [31] 郭 丽, 马卫华, 黄海帆, 等. 不同生长调节剂对冷棚夏黑葡萄果实品质的影响[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(3): 103-105.
- [32] 杨建斌. 陕西省西安市临潼区石榴产业发展研究[J]. 东北农业科学, 2018, 43(3): 47-51.
- [33] 朱绍玉. 预防石榴裂果新招多[J]. 北京农业, 2011(7): 26-27.

(责任编辑:王 昱)

(上接第74页)

- [10] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006: 12-16.
- [11] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein using the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72: 248-254.
- [12] Giannakoula A, Moustakas M, Syros T, et al. Aluminium stress induces up-regulation of an efficient antioxidant system in the Al-tolerant maize line but not in the Al-sensitive line[J]. Environmental and Experimental Botany, 2010, 67: 487-494.
- [13] 刘志媛, 朱祝军, 钱亚榕, 等. 等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂ 对番茄幼苗生长的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(1): 31-35.
- [14] 周 静, 徐 强, 张 婷. NaCl 胁迫对不同品种辣椒幼苗生理生化特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(2): 120-125.
- [15] Carden D E, Walker D J, Flowers T J, et al. Single-cell measurements of the contributions of cytosolic Na⁺ and K⁺ to salt tolerance[J]. Plant Physiology, 2003, 131: 676-683.
- [16] 刘 铎, 丛日春, 党宏忠, 等. 盐胁迫对柳树新品系的抗氧化酶活性及过氧化物含量的影响[J]. 种子, 2014, 33(10): 20-23.
- [17] 刘艳丽, 许海霞, 刘桂珍, 等. 小麦耐盐性研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 202-207.
- [18] 郑佳秋, 郭 军, 梅 赓, 等. 辣椒种子萌发和幼苗生理特性对盐胁迫的响应[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 182-186.
- [19] 刘 行, 张彦广, 夏 群, 等. Na₂SO₄ 胁迫对金露梅生理特性的影响[J]. 林业工程学报, 2014, 28(6): 30-34.
- [20] 高方胜, 王明友. 盐胁迫对茴香生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(12): 126-128.
- [21] 郑佳秋, 郭 军, 梅 赓, 等. 辣椒幼苗形态及生理特性对涝害胁迫的响应[J]. 西南农业学报, 2016, 29(3): 536-543.

(责任编辑:王丝语)