

网络出版日期:2016-12-20

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20161220.1645.022.html>

茉莉酸合成抑制剂 IBU 对氯化镧调控 玉米幼苗叶片抗盐性的影响

单长卷^{1,2}, 徐新娟^{1,2}

(1. 河南科技学院, 河南新乡 453003; 2. 现代生物育种河南省协同创新中心, 河南新乡 453003)

摘 要 采用溶液培养的方法, 研究茉莉酸合成抑制剂布洛芬(ibu)对氯化镧调控‘新单 29’幼苗叶片抗盐性的影响。结果表明, 与对照相比, 盐胁迫显著提高玉米幼苗叶片的茉莉酸质量分数、MDA 质量摩尔浓度、抗氧化酶 SOD、CAT、POD、APX、DHAR 活性、抗氧化物质 GSH、AsA 质量摩尔浓度及渗透调节物质可溶性糖和脯氨酸质量分数, 最终使玉米幼苗单株生物量干质量显著下降。与单独盐胁迫相比, 氯化镧使‘新单 29’玉米幼苗叶片茉莉酸质量分数、抗氧化酶 CAT、APX、GR、DHAR 活性、抗氧化物质 AsA 质量摩尔浓度及渗透调节物质脯氨酸质量分数显著提高, 从而使 MDA 质量摩尔浓度显著下降, 最终导致玉米幼苗单株生物量干质量显著增加。与 LaCl_3 + 盐处理相比, 加入不同浓度的茉莉酸合成抑制剂 IBU 使玉米幼苗叶片茉莉酸质量分数、抗氧化酶 SOD、CAT、APX、GR、DHAR 活性、抗氧化物质 AsA 质量摩尔浓度及渗透调节物质脯氨酸质量分数均显著降低, 从而使叶片 MDA 质量摩尔浓度显著增加, 导致单株生物量干质量显著降低。这说明, 茉莉酸参与氯化镧对玉米幼苗叶片抗盐性的调控。

关键词 新单 29; 抗氧化; 茉莉酸合成抑制剂 IBU; 氯化镧; 盐胁迫

中图分类号 S512.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)01-0087-07

玉米是中国主要种植粮食作物之一, 又是盐敏感作物, 盐胁迫是影响玉米生长发育和产量形成的重要因素^[1]。盐胁迫往往对植物造成氧化胁迫, 使植物吸水困难, 生物膜破坏, 生理紊乱, 最终导致衰老和死亡^[1-2]。植物为了保护自身免遭伤害, 则会增强抗氧化系统的活性, 使其造成的伤害降至最低^[2-3]。因此, 研究玉米叶片的抗盐机制及其外源物质的调控对提高玉米的抗盐性具有重要意义。

氯化镧是一种重要的稀土元素, 已有研究表明, 氯化镧可以增强逆境下小麦的抗性^[4-5]。但是, 氯化镧在玉米抗盐性中的应用及其调控机制尚未见报道。本课题前期的研究发现, 氯化镧可以促进盐胁迫下玉米种子的萌发和生长, 可以提高盐胁迫下玉米幼苗的存活率, 但其调控的生理机制尚不清楚。已有研究表明, 氯化镧可以诱导植物激素茉莉酸的产生^[6-7]。茉莉酸是存在于植物体内的内源生长调节物质, 在调节植物逆境响应方面具有重要作用^[8]。但到目前为止, 茉莉酸

是否参与氯化镧调控玉米幼苗叶片的抗盐性尚不清楚。因此, 研究茉莉酸在氯化镧调控玉米幼苗叶片抗盐性中的作用具有重要意义。本试验旨在研究茉莉酸在氯化镧调控玉米幼苗叶片抗盐性中的作用, 揭示氯化镧提高玉米抗盐性的生理机制, 进而为其在玉米生产栽培中的应用提供理论基础。

采用药理学方法, 研究茉莉酸合成抑制剂布洛芬(ibu)对氯化镧调控盐胁迫下玉米幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)和脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)活性、抗氧化物质 AsA、GSH 质量摩尔浓度、渗透调节物质可溶性糖和脯氨酸质量分数、膜脂过氧化物丙二醛(MDA)质量摩尔浓度、茉莉酸质量分数及单株生物量干质量的影响, 以期从抗氧化和渗透调节方面揭示茉莉酸在氯化镧调控玉米叶片抗盐性中的作用, 进而揭示氯化镧调控玉米抗盐性的生理机制。

收稿日期: 2015-11-02 修回日期: 2015-12-31

基金项目: 河南省教育厅科学技术研究重点项目(13A180302)。

第一作者: 单长卷, 男, 博士, 副教授, 主要从事植物逆境生理方面的研究。E-mail: shchjuan1978@aliyun.com

1 材料与方法

1.1 材料及幼苗培养

1.1.1 供试材料 供试品种为‘新单 29’，由河南省新乡市农科院提供。

1.1.2 幼苗培养 挑选大小均匀、籽粒饱满的种子 200 粒，用蒸馏水将种子洗净后晾干，用质量分数为 0.1% HgCl_2 浸泡 20 min 进行常规消毒并用无菌水冲洗，后用蒸馏水浸泡 24 h，然后转移至培养皿中，加入适量蒸馏水在培养箱中进行发芽与幼苗培养，培养箱温度设为 25 ℃。待幼苗长至一叶一心时，转入盛有 1/4 Hoagland 营养液的塑料盒中进行培养，塑料盒外周均用黑色塑料包裹，使根系处于黑暗环境，同时往营养液中通气以保证氧气供应，每 2 d 换 1 次营养液。待幼苗长至三叶一心时，挑选生长情况基本一致的幼苗进行试验。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 共设 6 种处理，分别将根系置于不同溶液中进行处理。处理 1 为对照，采用 100 mL 1/4 Hoagland 营养液进行处理；处理 2 为盐胁迫，采用 100 mL 1/4 Hoagland 营养液配制成的 100 mmol/L NaCl 进行处理；处理 3 为 30 $\mu\text{mol/L}$ LaCl_3 + 盐胁迫；处理 4 为 1 mmol/L IBU + 30 $\mu\text{mol/L}$ LaCl_3 + 盐胁迫；处理 5 为 3 mmol/L IBU + 30 $\mu\text{mol/L}$ LaCl_3 + 盐胁迫；处理 6 为 5 mmol/L IBU + 30 $\mu\text{mol/L}$ LaCl_3 + 盐胁迫。处理 2~6 是用 1/4 Hoagland 营养液配制成的 100 mmol/L NaCl 溶液中加入 LaCl_3 配制不同浓度的 LaCl_3 ，以达到 LaCl_3 和 NaCl 共同处理的效果。处理 4~6，先用 IBU 预处理 1 d，然后再用 LaCl_3 和 NaCl 共同处理。每个处理的容器中 6 株幼苗，重复 3 次。处理 3 d 后，测定玉米幼苗叶片的各项生理指标，各指标均测定 3 次。处理 6 d 后测定各处理的生物量。

1.2.2 测定方法 MDA 质量摩尔浓度采用硫代巴比妥法测定^[9]；SOD 活性采用氮蓝四唑 (NBT) 光还原法测定^[9]；POD 活性采用愈创木酚法测定，以每分钟内 A_{470} 变化 0.001 为 1 个酶活性单位^[9]；CAT、APX 和 GR 均采用紫外分光光度计法测定，CAT 以每分钟内 A_{240} 变化 0.001 为 1 个酶活性单位，APX 以每分钟内 A_{290} 变化 0.001 为 1 个酶活性单位，GR 以每分钟内 A_{340} 变化 0.001 为 1 个酶活性单位^[9]。DHAR 活性测定参

照 Miyake 等^[10]的方法，以每分钟内 A_{265} 变化 0.01 为 1 个酶活性单位。AsA 参照 Kampfenkel 等^[11]的方法测定；GSH 参照 Griffith^[12]的方法测定。可溶性糖和脯氨酸分别采用硫酸蒽酮法和茚三酮法测定^[9]。生物量干质量采用烘干法测定。茉莉酸质量分数采用酶联免疫试剂盒测定。

1.2.3 数据处理 采用 SAS 软件处理，在 $\alpha = 0.05$ 水平上进行差异显著分析。

2 结果与分析

2.1 IBU 对茉莉酸质量分数和 MDA 质量摩尔浓度的影响

由表 1 可以看出，与对照相比，盐胁迫使叶片中茉莉酸质量分数显著增加，比对照增加 38.7%。与单独盐胁迫相比，氯化镧使盐胁迫下叶片中茉莉酸质量分数显著增加 34.8%。与单独盐胁迫处理相比，1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片中的茉莉酸质量分数降低 16.6%、32.2%、36.1%。与 LaCl_3 + 盐处理相比，1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片中的茉莉酸质量分数显著降低 38.1%、49.7%、52.6%。这说明，茉莉酸合成抑制剂 IBU 可以抑制盐胁迫及氯化镧诱导茉莉酸的产生。

由表 1 还可以看出，与对照相比，盐胁迫使叶片 MDA 质量摩尔浓度显著增加，比对照增加 79.4%。与单独盐胁迫相比，氯化镧使盐胁迫下叶片 MDA 质量摩尔浓度显著下降 18.1%。与单独盐胁迫处理相比，1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 MDA 质量摩尔浓度提高 19.7%、22.9%、40.9%。与 LaCl_3 + 盐处理相比，1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 MDA 质量摩尔浓度提高 46%、50%、72%。这说明，茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗叶片抗盐性的调控。

2.2 IBU 对抗氧化酶 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

由表 2 可以看出，与对照相比，盐胁迫使叶片 SOD 活性显著增加 6.6%。与单独盐胁迫相比，氯化镧对盐胁迫下叶片 SOD 活性无显著影响。与单独盐胁迫处理相比，1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 SOD 活性显著降低 14.1%、9.9% 和 17.3%。与 LaCl_3 + 盐处理相比，1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 SOD 活性降低 17.8%、13.1% 和 20.2%。上述结果说明，茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗叶片 SOD 活性的调控。

与对照相比,盐胁迫使叶片 CAT 活性显著增加 342.9%。与单独盐胁迫相比,氯化镧使盐胁迫下叶片 CAT 活性显著增加 138.7%。与单独盐胁迫处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 CAT 活性均显著降低 32.3%、29.0%和 35.5%。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 CAT 活性降低 71.6%、70.3%和 72.9%。上述结果说明,茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗叶片 CAT 活

性的调控。

与对照相比,盐胁迫使叶片 POD 活性显著增加 33.3%。与单独盐胁迫相比,氯化镧对盐胁迫下叶片 POD 活性无显著影响。与单独盐胁迫处理和 LaCl₃ + 盐处理相比,加入不同浓度的茉莉酸合成抑制剂 IBU 对叶片 POD 活性均无显著影响。这说明,茉莉酸不参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗叶片 POD 活性的调控。

表 1 不同处理下玉米幼苗叶片的茉莉酸质量分数和 MDA 质量摩尔浓度

Table 1 Mass fractions of jasmonic acid and molality of MDA in leaves of maize seedlings under different treatments						
测定指标 Test index	对照 Control	盐 Salt	LaCl ₃ + 盐 LaCl ₃ + Salt	1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt
茉莉酸/(ng/g) Jasmonic acid	55.3±4.9 d	76.7±6.4 b	103.4±11.2 a	64.0±6.9 c	52.0±4.7 d	49.0±5.3 d
MDA/ (nmol/g)	3.4±0.3 e	6.1±0.7 c	5.0±0.4 d	7.3±0.8 b	7.5±0.6 b	8.6±0.9 a

注:同行数据后不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$),数据表示为“平均值±标准差”,下同。
Note:Different lowercase letters in the same row represent significant difference ($P<0.05$),values in the table represent mean±standard deviations,the same as below.

表 2 不同处理下玉米幼苗叶片的 SOD、CAT 和 POD 活性

Table 2 Activities of SOD, CAT and POD in leaves of maize seedlings under different treatments

[U/(min · g)]						
测定指标 Test index	对照 Control	盐 Salt	LaCl ₃ + 盐 LaCl ₃ + Salt	1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt
SOD	7.6±0.5 b	8.1±0.7 a	8.4±0.8 a	6.9±0.7 b	7.3±0.7 b	6.7±0.8 b
CAT	0.7±0.1 d	3.1±0.3 b	7.4±0.6 a	2.1±0.2 c	2.2±0.2 c	2.0±0.2 c
POD	3.0±0.3 c	4.0±0.3 a	4.3±0.5 a	4.5±0.4 a	4.5±0.5 a	4.3±0.3 a

2.3 IBU 对 APX、GR、DHAR 活性的影响

由表 3 可以看出,与对照相比,盐胁迫使叶片 APX 活性显著提高 65.0%。与单独盐胁迫相比,氯化镧使盐胁迫下叶片 APX 活性显著提高 51.5%。与单独盐胁迫处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分使别叶片 APX 活性显著降低 35.4%、31.8%和 37.9%。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 APX 活性降低 57.3%、55.0%和 59.0%。这说明,茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗叶片 APX 活性的调控。

与对照相比,盐胁迫对叶片 GR 活性无显著影响。与单独盐胁迫相比,氯化镧使盐胁迫下叶片 GR 活性显著提高 147.1%。与单独盐胁迫处理相比,1 mmol/L IBU 使叶片 GR 活性显著提高 64.7%,3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 GR

活性降低 11.8%、17.6%。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 GR 活性降低 33.3%、64.3%和 66.7%。这说明,茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗叶片 GR 活性的调控。

与对照相比,盐胁迫使叶片 DHAR 活性显著提高 37.3%。与单独盐胁迫相比,氯化镧使盐胁迫下叶片 DHAR 活性显著提高 55.4%。与单独盐胁迫处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 DHAR 活性均显著降低 80.8%、92.7%和 95.0%。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 DHAR 活性降低 80.8%、92.7%和 95.0%。这说明,茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗叶片 DHAR 活性的调控。

表 3 不同处理下玉米幼苗叶片的 APX、GR 和 DHAR 活性

Table 3 Activities of APX, GR and DHAR in leaves of maize seedlings under different treatments

测定指标 Test index	对照 Control	盐 Salt	LaCl ₃ + 盐 LaCl ₃ + Salt	[U/(min · g)]		
				1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt
APX	12.0±0.9 c	19.8±1.7 b	30.0±2.4 a	12.8±1.0 c	13.5±1.2 c	12.3±1.3 c
GR	8.0±0.7 c	8.5±0.9 c	21.0±2.2 a	14.0±1.5 b	7.5±0.6 c	7.0±0.7 c
DHAR	14.2±1.5 c	19.5±1.4 b	30.3±2.8 a	5.8±0.4 d	2.2±0.2 e	1.5±0.1 e

2.4 IBU 对抗氧化物质 GSH 和 AsA 质量摩尔浓度的影响

由表 4 可以看出,与对照相比,盐胁迫使叶片 GSH 质量摩尔浓度显著增加 758.1%。与单独盐胁迫相比,氯化镉使盐胁迫下叶片 GSH 质量摩尔浓度降低 21.7%。与单独盐胁迫处理相比,1 mmol/L IBU 对叶片 GSH 质量摩尔浓度无显著影响。3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 GSH 质量摩尔浓度显著增加 15.4%和 22.2%。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 GSH 质量摩尔浓度显著增加 25.9%、47.4%和 56.1%。这说明,茉莉酸参与盐胁迫及氯化镉对玉米幼苗叶片 GSH 质量摩尔浓度的

调控。

与对照相比,盐胁迫使叶片 AsA 质量摩尔浓度显著增加 133.3%。与单独盐胁迫相比,氯化镉使盐胁迫下叶片 AsA 质量摩尔浓度显著增加 85.7%。与单独盐胁迫相比,1 mmol/L IBU 使叶片 AsA 质量摩尔浓度增加 42.9%,3 和 5 mmol/L IBU 对叶片 AsA 质量摩尔浓度均无显著影响。与 LaCl₃ + 盐处理相比,加入不同浓度的 IBU 使叶片 AsA 质量摩尔浓度均显著下降。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片 AsA 质量摩尔浓度降低 30.7%、38.5%和 46.1%。这说明,茉莉酸参与盐胁迫及氯化镉对玉米幼苗叶片 AsA 质量摩尔浓度的调控。

表 4 不同处理下玉米幼苗叶片的 GSH 和 AsA 质量摩尔浓度

Table 4 Molalities of GSH and AsA in leaves of maize seedlings under different treatments

测定指标 Test index	对照 Control	盐 Salt	LaCl ₃ + 盐 LaCl ₃ + Salt	μmol/g		
				1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt
GSH	0.43±0.03 d	3.69±0.33 b	2.89±0.35 c	3.64±0.28 b	4.26±0.37 a	4.51±0.43 a
AsA	0.03±0.00 c	0.07±0.01 b	0.13±0.02 a	0.10±0.01 b	0.08±0.01 b	0.07±0.01 b

2.5 IBU 对渗透调节物质可溶性糖和脯氨酸质量分数的影响

由表 5 可以看出,与对照相比,盐胁迫使叶片的可溶性糖质量分数显著增加 57.9%。与单独盐胁迫相比,氯化镉使盐胁迫下叶片的可溶性糖质量分数显著降低 34.6%。与单独盐胁迫相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片可溶性糖质量分数降低 10.2%、10%和 3.3%,与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片可溶性糖质量分数显著增加 34.6%、37.7%和 47.9%。这说明,茉莉酸参与盐胁迫对玉米幼苗叶片可溶性糖质量分数的正调控,参与氯化镉对玉米幼苗叶片可溶性糖质量分数的负调控。茉莉酸之所以对可溶性糖质量分数的调控有正负之分,这与茉莉酸的浓度效应有关。

与对照相比,盐胁迫使叶片脯氨酸质量分数

显著增加 31.3%。与单独盐胁迫相比,氯化镉使盐胁迫下叶片脯氨酸质量分数显著增加 58.7%。与单独盐胁迫处理相比,加入不同浓度的 IBU 对叶片脯氨酸质量分数均无显著影响。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使叶片脯氨酸质量分数显著降低 52.3%、57.5%和 56.0%。这说明,茉莉酸参与氯化镉对玉米幼苗叶片脯氨酸质量分数的调控。

由表 5 还可知,与对照相比,盐胁迫使玉米幼苗的单株生物量干质量显著降低 32.1%。与单独盐胁迫相比,氯化镉使盐胁迫下幼苗单株生物量干质量显著增加 25.9%。与单独盐胁迫相比,1 mmol/L IBU 对单株生物量干质量无显著影响,3 和 5 mmol/L IBU 分别使单株生物量干质量显著降低 13.7%和 22.9%。与 LaCl₃ + 盐处理相比,1、3 和 5 mmol/L IBU 分别使单株生物

量干质量显著降低 21.2%、31.5%和 38.8%。这说明,茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗单株生物量干质量的调控。

表 5 不同处理下玉米幼苗叶片的可溶性糖和脯氨酸质量分数及单株生物量干质量

Table 5 Mass fractions of soluble sugar and proline in leaves of maize seedlings and dry mass of maize seedlings under different treatments

测定指标 Test index	对照 Control	盐 Salt	LaCl ₃ + 盐 LaCl ₃ + Salt	1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 1 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 3 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt	5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + 盐 5 mmol/L IBU + LaCl ₃ + Salt
可溶性糖/(μg/g) Soluble sugar	140.7±10.4 b	222.2±19.7 a	145.2±12.3 b	195.5±21.5 a	200±16.6 a	214.8±18.4 a
脯氨酸/(μg/g) Proline	52.7±6.1 c	69.2±7.0 b	109.8±11.1 a	62.3±5.2 b	72.7±5.8 b	68.3±6.3 b
单株生物量干质量/g Dry mass per plant	1.93±0.17 a	1.31±0.13 c	1.65±0.12 b	1.30±0.16 c	1.13±0.10 d	1.01±0.12 d

3 讨论与结论

MDA 质量摩尔浓度是衡量植物抗逆性强弱的重要指标。本研究结果表明,盐胁迫可以显著增加玉米叶片的 MDA 质量摩尔浓度,而使其遭受氧化胁迫,这与前人的研究结果一致^[3]。氯化镧作为一种重要的稀土元素,在提高植物抗性上具有重要作用^[13-14]。已有研究表明,氯化镧可以通过提高抗氧化系统的活性而显著增强植物的抗盐性^[2,14]。本研究结果表明,氯化镧可以显著降低盐胁迫下‘新单 29’幼苗叶片的 MDA 质量摩尔浓度,这与前人的研究结果一致^[3,15]。本试验结果也表明,与单独盐胁迫处理和 LaCl₃ + 盐处理相比,加入不同浓度的茉莉酸合成抑制剂 IBU 使叶片的 MDA 质量摩尔浓度均显著增加,说明茉莉酸参与盐胁迫及氯化镧对玉米幼苗抗盐性的调控。

在抗氧化方面,氯化镧可以通过增强盐胁迫下玉米幼苗叶片抗氧化酶 CAT、APX、GR、DHAR 活性,增加抗氧化物质 AsA 质量摩尔浓度,从而增强玉米幼苗叶片的抗氧化能力。茉莉酸合成抑制剂 IBU 会抑制外源氯化镧 + 盐胁迫处理下玉米幼苗叶片抗氧化酶 SOD、CAT、APX、GR、DHAR 活性,降低抗氧化物质 AsA 质量摩尔浓度,从而使盐胁迫下造成的氧化胁迫加剧,MDA 质量摩尔浓度增加。结果表明,氯化镧可以通过增强幼苗抗氧化系统的防护能力而提高抗盐性。

在渗透调节方面,氯化镧可以提高盐胁迫下玉米幼苗叶片脯氨酸质量分数,从而提高玉米叶片的渗透调节能力。茉莉酸合成抑制剂 IBU 可以提高氯化镧 + 盐胁迫处理下叶片可溶性糖质量

分数,降低脯氨酸质量分数,从而增强其自身的渗透调节能力而维持水分平衡。

茉莉酸是一种植物内源性的调节因子,在调节植物逆境响应方面具有重要作用。已有研究表明,氯化镧可以诱导植物激素茉莉酸的产生。本研究利用药理学试验的方法初步证明,氯化镧可以诱导盐胁迫下玉米幼苗叶片茉莉酸质量分数的显著增加,进而调控相关抗氧化酶活性、抗氧化物质质量摩尔浓度及渗透调节物质质量分数,从而缓解盐胁迫下叶片所遭受的氧化胁迫,最终导致生物量显著增加。同时还发现,盐胁迫也能够增加茉莉酸质量分数,进而对相关抗氧化酶活性、抗氧化物质质量摩尔浓度及渗透调节物质质量分数进行调控。这说明,氯化镧可以进一步诱导茉莉酸质量分数的增加,从而提高玉米叶片的抗盐性。同时,也发现盐胁迫及 LaCl₃ + 盐胁迫下根系茉莉酸质量分数具有显著差异,但对有关指标的影响却不存在显著差异性。这说明,不同生理指标对茉莉酸浓度的响应敏感度存在显著差异。

总之,茉莉酸合成抑制剂 IBU 使玉米幼苗叶片茉莉酸质量分数、抗氧化酶 SOD、CAT、APX、GR、DHAR 活性、抗氧化物质 AsA 质量摩尔浓度及渗透调节物质脯氨酸质量分数均显著降低,从而使叶片 MDA 质量摩尔浓度显著增加,生物量干质量显著下降。这说明,施加茉莉酸合成抑制剂 IBU 对氯化镧调控的玉米幼苗叶片抗盐性具有一定影响,初步证明茉莉酸参与氯化镧对玉米幼苗叶片抗盐性的调控。

参考文献 Reference:

[1] 付 艳,高树仁,杨克军,等. 玉米耐盐系与盐敏感系苗期几个生理生化指标的影响[J]. 植物生理学报,2011,47(5):

- 459-462.
- FU Y,GAO SH R,YANG K J,*et al.* Effects of salt stress on several physiological and biochemical indicators in seedling of salt-tolerant line and salt-sensitive line of maize (*Zea mays* L.) [J]. *Plant Physiology Journal*, 2011, 47 (5): 459-462 (in Chinese with English abstract).
- [2] 金 璠,史云寅.氯化镧对盐胁迫下玉米抗氧化能力的不同应用方法的影响[J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(5): 91-93.
- JIN J,SHI Y Y. Effects of different application methods of lanthanum on the antioxidant capacity of maize under salt stress [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(5): 91-93 (in Chinese).
- [3] 郑世英,商学芳,余晓帅,等.盐胁迫下不同盐敏感型玉米抗氧化酶活性的变化[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2011, 42(1): 1-5.
- ZHENG SH Y,SHANG X F,YU X SH,*et al.* Changes of antioxidant activity in different salt-maize under salt stress [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2011, 42 (1): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陆晓民,盛 伟,杨 吉.模拟酸雨下氯化镧处理对小麦发芽及幼苗生长的影响[J]. *核农学报*, 2008, 22(6): 851-855.
- LU X M,SHENG W,YANG J. Effects of LaCl_3 treatment on wheat seed germination and seedling growth under simulated acid rain condition [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22(6): 851-855 (in Chinese with English abstract).
- [5] 单长卷,李 淦,赵元增,等.氯化镧对“矮抗 58”幼苗叶片抗旱生理特性的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(4/5): 99-102.
- SHAN CH J,LI G,ZHAO Y Z,*et al.* Effects of lanthanum chloride on the physiological properties of “Aikang 58” seedling leaves under drought stress [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2014, 33(4/5): 99-102 (in Chinese with English abstract).
- [6] 蒋科技,皮 妍,侯 嵘,等.植物内源茉莉酸类物质的生物合成途径及其生物学意义[J]. *植物学报*, 2010, 45(2): 137-148.
- JIANG K J,PI Y,YOU R,*et al.* Jasmonate biosynthetic pathway: its physiological role and potential application in plant secondary metabolic engineering [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2010, 45(2): 137-148 (in Chinese with English abstract).
- [7] 蔡昆争,董桃杏,徐 涛.茉莉酸类物质的生理特性及其在逆境胁迫中的抗性作用[J]. *生态环境*, 2006, 15(2): 397-404.
- CAI K ZH,DONG T X,XU T. The physiological roles and resistance control in stress environment of jasmonates [J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2): 397-404 (in Chinese with English abstract).
- [8] 徐 伟,严善春.茉莉酸在植物诱导防御中的作用[J]. *生态学报*, 2005, 25(8): 2074-2082.
- XU W,YAN SH CH. The function of jasmonic acid in induced plant defence [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2074-2082 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张志良,瞿伟菁,李小方.植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 277-278.
- ZHANG ZH L,QU W J,LI X F. The Experimental Guide for Plant Physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2009: 277-278 (in Chinese).
- [10] MIYAKE C,ASADA K. Thylakoid-bound ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts and photoreduction of its primary oxidation product monodehydroascorbate radicals in thylakoids [J]. *Plant Cell and Physiology*, 1992, 33(5): 541-553.
- [11] KAMPFENKEL K,MONTAGU M V,INZ D. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue [J]. *Analytical Biochemistry*, 1995, 225: 165-167.
- [12] GRIFFITH O W. Determination of glutathione and glutathione disulfide using glutathione reductase and 2-vinylpyridine [J]. *Analytical Biochemistry*, 1980, 106 (1): 207-212.
- [13] 李庆华.稀土元素镧对刺槐幼苗抗旱性的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2014, 22(12): 43-47.
- LI Q H. Effects of rare earth element lanthanum on drought tolerance of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2014, 22(12): 43-47 (in Chinese with English abstract).
- [14] XU C M,ZHOU B,WANG X D,*et al.* Lanthanum relieves salinity-induced oxidative stress in *Saussurea involucre* [J]. *Biologia Plantarum*, 2007, 51(3): 567-570.
- [15] 周荷益,陶宗娅,吴 国,等.镧(La^{3+})对盐胁迫下小麦幼苗的活性氧化物代谢的影响[J]. *西北农业学报*, 2013, 22(10): 90-95.
- ZHOU H Y,TAO Z Y,WU G,*et al.* Effects of lanthanum (La^{3+}) on metabolism of reactive oxygen species in wheat seedlings under salt stress [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2013, 22(10): 90-95 (in Chinese with English abstract).

Effects of Jasmonic Acid Synthesis Inhibitor IBU on Salt Tolerance of Maize Seedling Leaves Regulated by Lanthanum Chloride

SHAN Changjuan^{1,2} and XU Xinjuan^{1,2}

(1. Henan Institute of Science and Technology, Xinxing Henan 453003, China; 2. Henan Province Collaborative Innovation Center of Modern Biological Breeding, Xinxing Henan 453003, China)

Abstract Effects of jasmonic acid synthesis inhibitor IBU on salt tolerance of ‘Xindan 29’ seedling leaf regulated by lanthanum chloride was studied. The results showed that salt stress significantly increased the molality of MDA, the activities of antioxidant enzymes SOD, CAT, POD, APX, DHAR, the molalities of antioxidant substances GSH and AsA and mass fractions of osmotic regulation substances soluble sugar and proline, and significantly reduced dry mass of plant compared with the control. Compared with salt stress, LaCl_3 significantly increased mass fraction of jasmonic acid, the activities of CAT, APX, GR and DHAR, the molality of AsA and mass fraction of proline which resulted in the decrease of the molality of MDA increased in dry mass per plant. The experimental results further showed that adding different concentrations of jasmonic acid synthesis inhibitors IBU significantly decreased the mass fraction of jasmonic acid compared with LaCl_3 + salt treatment, the activities of SOD, CAT, APX, GR and DHAR, the molality of AsA and the mass fraction of proline resulted in the increase of the molality of MDA and the decrease of dry mass per plant. These results indicated that jasmonic acid involved in the salt resistance of maize seedling leaves was regulated by lanthanum chloride.

Key words Xindan 29; Antioxidant; Jasmonic acid synthesis inhibitor; Lanthanum chloride; Salt stress

Received 2015-11-02 **Returned** 2015-12-31

Foundation item Key Science and Technology Research Project of Henan Provincial Department of Education (No. 13A180302).

First author SHAN Changjuan, male, Ph. D, associate professor. Research area: plant stress physiology. E-mail: shchjuan1978@aliyun.com

(责任编辑: 成 敏 Responsible editor: CHENG Min)