

网络出版日期:2016-12-29

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20161229.1005.010.html>

谷胱甘肽对盐胁迫下玉米幼苗抗氧化特性和光合性能的影响

单长卷^{1,2}, 杨天佑^{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 以 80 mmol/L NaCl 模拟盐胁迫,研究谷胱甘肽(GSH)对盐胁迫下‘滑玉 14’幼苗叶片抗氧化特性和光合性能的影响。结果表明:盐胁迫显著提高叶片细胞质膜透性、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度、抗氧化酶超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸氧化酶(APX)和脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)活性、抗氧化物质谷胱甘肽(GSH)和抗坏血酸(AsA)质量摩尔浓度及叶绿素荧光参数非光化学猝灭系数(q_N),显著降低叶绿素荧光参数 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)、光化学猝灭系数(q_P)和 PS II 实际量子产额(Φ_{PSII}),光合色素质量分数、光合速率和单株生物量干质量。这说明,盐胁迫对‘滑玉 14’造成氧化胁迫,并对光系统 II 的功能造成伤害。50 mg/L GSH 处理则可以显著提高盐胁迫下玉米幼苗叶片过氧化物酶(POD)、SOD、谷胱甘肽还原酶(GR)活性、GSH 质量摩尔浓度、 F_v/F_m 、 q_P 和 Φ_{PSII} 、光合色素质量分数、光合速率和单株生物量干质量,并显著降低细胞质膜透性、MDA 质量摩尔浓度和 q_N 。上述研究结果说明,GSH 处理可以提高玉米幼苗的抗氧化能力和光合性能,从而缓解盐胁迫造成的伤害。

关键词 玉米幼苗;抗氧化特性;光合性能;谷胱甘肽;盐胁迫

中图分类号 S512.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)02-0185-07

玉米是中国的主要粮食作物之一,在整个生育过程经常受到各种环境因素的影响。盐胁迫是影响玉米生长发育和产量的重要环境因素之一,因此,玉米抗盐性的调控研究对促进其生长和提高产量具有重要意义。盐胁迫往往加剧活性氧自由基的产生,而使植物受到氧化胁迫。植物可以通过增强抗氧化系统,即活性氧清除系统,清除体内过多的活性氧,从而增强植物的抗逆性^[1]。一旦活性氧产生的量大大超过其清除系统的清除能力,则会对植物造成严重的伤害,甚至导致衰老和死亡。因此,研究植物抗氧化特性的外源物质调控对提高植物抵抗盐胁迫的能力具有重要意义。谷胱甘肽(GSH)是植物体内普遍存在的含-SH的还原物质,在防御自由基对膜脂的过氧化中起重要作用。华春等^[2]研究表明,盐胁迫条件下,外源 GSH 可以提高水稻叶绿体中活性氧清除系统中超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸氧化酶(APX)、谷胱甘肽还原酶(GR)的活性以及抗坏血酸(AsA)、GSH 的质量摩尔浓度,降低叶绿体

膜脂过氧化的水平,缓解盐胁迫对叶绿体膜的伤害。陈沁等^[3]研究表明,外源 GSH 处理可明显提高盐胁迫下大麦 SOD、过氧化氢酶(CAT)、GR、过氧化物酶(POD)活性及抗氧化剂 GSH、Car 和维生素 E 质量摩尔浓度,延缓盐胁迫对膜的伤害,从而提高大麦的耐盐性。但到目前为止,关于外源 GSH 对盐胁迫下玉米叶片抗氧化特性的调控研究尚未见报道。因此,从抗氧化角度研究外源 GSH 对玉米叶片抗盐性的影响,对提高其抗盐性具有重要意义。

光合性能的高低是影响植物生长发育和生物量积累的重要内在因素。大量研究表明,盐胁迫之所以抑制植物的生长发育和干物质质量,主要是因为盐胁迫降低植物光合色素质量摩尔浓度,破坏叶绿体的功能,从而使其光合性能显著降低^[4-6]。目前,衡量植物光合性能的指标主要有叶绿素荧光参数、光合色素质量分数、光合速率和生物量干质量。但到目前为止,关于外源 GSH 对盐胁迫下玉米光合性能影响方面的研究尚未见报

收稿日期:2015-12-22 修回日期:2016-04-08

基金项目:河南省高等学校重点科研项目计划资助(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

道。因此,从光合性能角度研究外源 GSH 对玉米抗盐性的影响,对提高其抗盐性亦具有重要意义。

本试验以‘滑玉 14’幼苗为材料,研究外源 GSH 对盐胁迫下玉米幼苗叶片抗氧化酶 SOD、POD、CAT、APX、GR、DHAR 的活性、抗氧化物质 AsA、GSH 质量摩尔浓度、细胞膜透性、丙二醛质量摩尔浓度、叶绿素荧光参数、光合色素质量分数、光合速率和单株生物量干质量等生理指标的影响,以期揭示外源 GSH 处理对盐胁迫下玉米幼苗抗氧化特性和光合性能的影响,进而为 GSH 在玉米生产栽培管理中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料培养及处理

试验材料为‘滑玉 14’。挑选 100 粒大小均匀、颗粒饱满、无病虫害的玉米种子,用去离子水将玉米种子洗净后晾干,用质量分数为 0.1% 的 HgCl_2 浸泡 20 min 进行常规消毒,浸泡 24 h,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,培养箱温度为 25 °C。待幼苗长至两叶一心时,挑选生长情况基本一致的幼苗进行试验。设 3 种处理,即蒸馏水处理(对照 CK)、80 mmol/L NaCl 处理(盐胁迫)、50 mg/L GSH + 80 mmol/L NaCl。蒸馏水处理(CK)采用 100 mL 蒸馏水进行处理;80 mmol/L NaCl 处理采用体积为 100 mL、浓度为 80 mmol/L NaCl 进行处理;50 mg/L GSH + 80 mmol/L NaCl 处理先用 50 mg/L GSH 预处理 1 d,然后转入体积为 100 mL、浓度为 80 mmol/L NaCl 进行处理。每个处理 6 次重复,每个重复 2 株幼苗。在处理 2 d 和 6 d 后,分别测定各处理下玉米幼苗叶的各项生理指标。在处理 6 d 后,测定各处理下玉米幼苗的单株生物量干质量。

1.2 方法

在处理 2 d 和 6 d 后,测定玉米幼苗叶片中抗氧化酶 SOD、POD、CAT、APX、GR、DHAR 活性、抗氧化物质 AsA、GSH 质量摩尔浓度、细胞膜透性及丙二醛质量摩尔浓度等生理指标的影响。

抗氧化酶活性:(1)SOD 活性测定参照李合生^[7]的方法,采用氮蓝四唑光还原法,以抑制 50%NBT 反应为 1 个酶活性单位;(2)CAT 活性参照张志良等^[8]的方法,以每分钟内 A_{240} 变化

0.01 为 1 个酶活力单位;(3)APX 活性参照沈文彪等^[9]的方法,以每分钟 A_{290} 内变化 0.01 为 1 个酶活力单位;(4)POD 活性测定参照李合生^[7]的方法:采用愈创木酚显色法,以每分钟内 A_{470} 变化 0.01 为 1 个酶活单位;(5)GR 活性的测定参照 Grace 等^[10]的方法,以每分钟内 A_{340} 变化 0.01 为 1 个酶活力单位;(6)DHAR 活性的测定参照 Miyake 等^[11]的方法,以每分钟内 A_{265} 变化 0.01 为 1 个酶活力单位。

抗氧化剂:AsA 质量摩尔浓度参照 Kampfenkel 等^[12]的方法测定;GSH 质量摩尔浓度参照 Griffith^[13]的方法测定。

膜脂过氧化作用:胞质膜透性测定参照张志良等^[8]的方法,用 DDS-307 电导仪测定,细胞膜相对透性 = $L_1/L_2 \times 100\%$,式中: L_1 表示杀死前外渗液的电导值, L_2 表示杀死后外渗液的电导值;MDA 质量摩尔浓度测定参照李合生^[8]的方法,采用硫代巴比妥显色法。

叶绿素荧光参数:采用雅欣-1161G 型叶绿素荧光仪在 10:00—12:00 进行测定,各处理均选择顶部充分展开的叶片,暗适应 30 min 后,测定叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 q_p 、 q_N 和 Φ_{PSII} 。

光合色素:叶绿素质量分数测定参照张志良等^[8]的方法,类胡萝卜素质量分数参照张英宣等^[14]方法测定。

光合速率采用 LI-6400 型光合作用测定仪(Licor 公司,美国)在 10:00—12:00 进行测定,各处理均选择顶部充分展开的叶片。单株生物量采用烘干法测定。

1.3 数据处理

采用 SAS 软件对试验数据进行处理,在 $\alpha = 0.05$ 水平上进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 GSH 对盐胁迫下玉米幼苗叶片抗氧化酶 SOD、CAT 和 POD 活性的影响

表 1 显示,与对照相比,盐胁迫使玉米幼苗叶片 SOD 活性显著增加,这说明玉米幼苗可以通过增强叶片 SOD 活性而提高其抗盐能力。与单独盐胁迫相比,外源 GSH + 盐胁迫处理则使叶片 SOD 活性显著增加,这说明外源 GSH 可以通过增强叶片 SOD 活性而增强植株消除超氧阴离子自由基的能力,从而进一步增强其抗盐能力。

与对照相比,盐胁迫使叶片 CAT 活性显著

下降,但对叶片 POD 活性无显著影响。与单独盐胁迫相比,外源 GSH + 盐胁迫处理则使叶片 CAT 和 POD 活性均显著增加。这说明,外源

GSH 可以通过增强叶片 CAT 和 POD 活性而增强其清除 H_2O_2 的能力,从而增强抗盐能力。

表 1 不同处理下玉米幼苗叶片的抗氧化酶 SOD、CAT 和 POD 活性

Table 1 Activities of SOD, CAT and POD in the leaves of maize seedlings under different treatments

指标 Index	时间/d Time	对照 Control	盐胁迫 Salt stress	GSH+盐胁迫 GSH+Salt stress
SOD/[U/(h·g)]	2	4.2 c	5.1 b	5.8 a
	6	3.7 c	4.7 b	6.3 a
CAT/[U/(min·g)]	2	10.5 a	3.5 c	9.0 b
	6	9.0 a	4.3 c	7.5 b
POD/[U/(min·g)]	2	1.3 b	1.2 b	4.0 a
	6	1.2 b	1.4 b	3.3 a

注:同列小写字母表示中在 0.05 水平差异显著,下表同。

Note:Different lowercase letters in the same column represent significant differences($P<0.05$), the same as in next tables.

2.2 GSH 对盐胁迫下玉米幼苗叶片 AsA-GSH 循环代谢酶活性的影响

表 2 显示,与对照相比,盐胁迫使叶片 APX 和 DHAR 活性增加,这说明玉米幼苗可以通过增强叶片的 APX 和 DHAR 活性而增强其抵抗盐胁迫的能力。与单独盐胁迫相比,外源 GSH + 盐胁迫处理则使叶片 APX 和 DHAR 均显著下降。因此,外源 GSH 会抑制盐胁迫下玉米叶片的 APX

和 DHAR 活性。

与对照相比,盐胁迫对叶片 GR 活性无显著影响,这说明玉米幼苗不能通过增强叶片 GR 活性而增强其抗盐能力。与单独盐胁迫相比,GSH + 盐胁迫处理显著增加了叶片的 GR 活性,这说明外源 GSH 可通过增强叶片 GR 活性而增强其抗盐能力。

表 2 不同处理下玉米幼苗叶片的 AsA-GSH 循环代谢酶活性

Table 2 Activities of enzymes in AsA-GSH cycle in the leaves of maize seedlings under different treatments

指标 Index	时间/d Time	对照 Control	盐胁迫 Salt stress	GSH+盐胁迫 GSH+Salt stress
APX/[U/(min·g)]	2	23.0 c	35.0 a	27.0 b
	6	18.6 c	28.9 a	23.2 b
GR/[U/(min·g)]	2	0.8 b	1.0 b	2.1 a
	6	1.0 b	1.1 b	1.8 a
DHAR/[U/(min·g)]	2	8.0 b	13.5 a	9.0 b
	6	6.5 b	11.4 a	7.2 b

2.3 GSH 对盐胁迫下玉米幼苗叶片抗氧化物质 AsA 和 GSH 质量摩尔浓度的影响

由表 3 可知,与对照相比,盐胁迫显著增加叶片的 AsA 质量摩尔浓度。与单独盐胁迫相比,GSH + 盐胁迫处理则使叶片 AsA 质量摩尔浓度显著下降,这表明 GSH 处理可降低盐胁迫下叶片的 AsA 质量摩尔浓度。表 3 还显示,与对照相比,盐胁迫使叶片 GSH 质量摩尔浓度显著增加。与单独盐胁迫相比,GSH + 盐胁迫处理则使 GSH 质量摩尔浓度显著增加,这说明外源 GSH 可提高盐胁迫下玉米幼苗叶片的 GSH 质量摩尔浓度。

2.4 GSH 对盐胁迫下玉米幼苗叶片膜透性和 MDA 质量摩尔浓度的影响

由表 4 可知,与对照相比,盐胁迫使叶片细胞膜透性和 MDA 质量摩尔浓度均显著增加,这说明盐胁迫对玉米幼苗造成氧化伤害。与单独盐胁迫相比,外源 GSH + 盐胁迫处理则使叶片细胞膜透性和 MDA 质量摩尔浓度均显著降低,这说明外源 GSH 可以降低盐胁迫对叶片的氧化伤害。但是,外源 GSH + 盐胁迫处理下叶片的膜透性和 MDA 质量摩尔浓度仍显著高于对照,这说明外源 GSH 只能在一定程度上缓解盐胁迫对玉米幼苗造成的伤害。

表 3 不同处理下玉米幼苗叶片的抗氧化物质 AsA 和 GSH 质量摩尔浓度

Table 3 Molalities of AsA and GSH in the leaves of maize seedlings under different treatments

指标 Index	时间/d Time	对照 Control	盐胁迫 Salt stress	GSH+盐胁迫 GSH+Salt stress
AsA/($\mu\text{mol/g}$)	2	0.23 c	0.42 a	0.32 b
	6	0.21 c	0.45 a	0.31 b
GSH/($\mu\text{mol/g}$)	2	0.70 c	0.87 b	1.20 a
	6	0.62 c	0.90 b	1.11 a

表 4 不同处理下玉米幼苗叶片的膜透性和 MDA 质量摩尔浓度

Table 4 Membrane permeability and MDA molality in the leaves of maize seedlings under different treatments

指标 Index	时间/d Time	对照 Control	盐胁迫 Salt stress	GSH+盐胁迫 GSH+Salt stress
膜透性/% Membrane permeability	2	12.5 c	30.7 a	20.0 b
	6	11.0 c	35.4 a	21.3 b
MDA/(nmol/g)	2	1.3 c	5.9 a	2.8 b
	6	1.0 c	6.5 a	3.0 b

2.5 GSH 对盐胁迫下玉米幼苗叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光参数 F_v/F_m 代表光合机构将吸收的光能用于化学反应的最大效率,其数值的高低直接决定光合速率的高低。由表 5 可知,与对照相比,盐胁迫显著降低了 F_v/F_m 。与单独盐胁迫相比,外源 GSH+盐胁迫处理则使 F_v/F_m 显著增加。这说明,外源 GSH 可以缓解盐胁迫对光合机构造成的伤害,从而提高 PS II 光化学效率。

化学猝灭系数 q_P 的大小反映 PS II 传递活性的高低,其值越大,表明 PS II 传递活性越高。由

表 5 可知,与对照相比,盐胁迫显著降低了 q_P 。与单独盐胁迫相比,外源 GSH+盐胁迫处理则使 q_P 显著增加。这说明,外源 GSH 可以缓解盐胁迫对光合机构造成的伤害,从而提高 PS II 传递活性。

非化学猝灭系数 q_N 反映 PS II 吸收的光能中以热能耗散的部分,其值越大,能量利用率越低。由表 5 可知,与对照相比,盐胁迫显著提高了 q_N 。与单独盐胁迫相比,外源 GSH+盐胁迫处理则显著降低了 q_N 。这说明,外源 GSH 可以缓解盐胁迫对光合机构造成的伤害,从而降低 PS II 所吸收光能的无效耗散。

表 5 不同处理下玉米幼苗的叶绿素荧光参数

Table 5 Chlorophyll fluorescence parameters of maize seedlings under different treatments

指标 Index	时间/d Time	对照 Control	盐胁迫 Salt stress	GSH+盐胁迫 GSH+Salt stress
F_v/F_m	2	0.88 a	0.55 c	0.69 b
	6	0.87 a	0.50 c	0.66 b
q_P	2	0.50 a	0.30 c	0.38 b
	6	0.51 a	0.26 c	0.36 b
q_N	2	0.21 c	0.37 a	0.29 b
	6	0.20 c	0.39 a	0.30 b
$\Phi_{PS II}$	2	0.40 a	0.17 c	0.25 b
	6	0.44 a	0.16 c	0.27 b

PS II 实际量子产额 $\Phi_{PS II}$ 的大小反映电子传递活性与传递速率的大小,其值越大,表明电子传递活性与传递速率越大。由表 5 可知,与对照相比,盐胁迫显著降低了 $\Phi_{PS II}$ 。与单独盐胁迫相比,外源 GSH+盐胁迫处理则显著提高了 $\Phi_{PS II}$ 。这说明,外源 GSH 可以缓解盐胁迫对光合机构造成的伤害,从而提高电子传递活性与传递速率。

2.6 GSH 对盐胁迫下玉米幼苗光合色素质量分数、光合速率和单株生物量干质量的影响

表 6 显示,与对照相比,盐胁迫使玉米幼苗叶绿素、类胡萝卜素质量分数、光合速率和生物量干质量均显著降低。与单独盐胁迫处理相比,外源 GSH+盐胁迫处理则使叶绿素、类胡萝卜素质量分数、光合速率和生物量干质量均显著提高。这

说明,外源 GSH 可以提高光合色素质量分数,进而提高光合速率,促进生物量干质量的积累。

表 6 不同处理下玉米幼苗的光合色素质量分数、光合速率和单株生物量干质量

Table 6 Mass fractions of photosynthetic pigments, photosynthetic rate and dry mass per plant of maize seedlings under different treatments

指标 Index	时间/d Time	对照 Control	盐胁迫 Salt stress	GSH+盐胁迫 GSH+Salt stress
叶绿素/(mg/g) Chlorophyll	2	2.15 a	1.45 c	1.77 b
	6	2.21 a	1.29 c	1.70 b
类胡萝卜素/(mg/g) Carotenoid	2	0.65 a	0.40 c	0.51 b
	6	0.58 a	0.33 c	0.45 b
光合速率/[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] Photosynthetic rate	2	7.50 a	4.70 c	5.90 b
	6	8.30 a	4.00 c	6.10 b
单株生物量干质量/g Dry mass per plant	6	1.90 a	1.30 c	1.60 b

3 讨论与结论

SOD、POD、CAT 和 AsA-GSH 循环代谢相关酶都是植物体内重要的抗氧化酶,它们协同作用而使生物体内活性氧自由基维持在较低水平,从而缓解植物遭受的氧化胁迫。在盐胁迫下,植物体内活性氧产生和清除的平衡遭到破坏,从而加速活性氧积累,对植物造成氧化胁迫。因此,上述抗氧化酶活性的大小是衡量植物抗氧化能力强弱的重要指标^[15-16]。付艳等^[17]研究表明,50~100 mmol/L NaCl 对 SOD 和 POD 活性无显著影响,显著降低 CAT 活性。本研究表明,80 mmol/L NaCl 显著降低 CAT 活性,对 POD 活性无显著影响,这与付艳等^[17]的研究结果一致。本研究还表明,80 mmol/L NaCl 显著增加 SOD 活性,这与付艳等^[17]的研究结果不一致。究其原因,可能与不同玉米品种的抗盐性不同有关。笔者前期对玉米幼苗根系的研究则表明,盐胁迫可以显著增加根系的 SOD、CAT 和 POD 活性,这与本试验在叶片上的研究结果不完全一致,可能与不同器官对盐胁迫的抗氧化响应不同有关。陈沁等^[3]研究表明,外源 GSH 可以显著增加盐胁迫下大麦叶片的 SOD、CAT 和 POD 活性。本研究表明,外源 GSH 也可以显著提高盐胁迫下玉米幼苗叶片的 SOD、POD 和 CAT 活性,这与前人在大麦上的研究结果一致。前期在玉米根系上的研究结果表明,外源 GSH 显著降低了根系 SOD 和 CAT 活性,对 POD 活性则无显著影响,这与在叶片上的研究结果不一致^[18],亦与器官差异有关。APX、GR 和 DHAR 是 AsA-GSH 循环体系中的关键酶,也是消除 H_2O_2 的重要酶类。本试验表明,盐胁迫显著增加玉米幼苗叶片 APX

和 DHAR 活性,但对 GR 活性无显著影响,这与在玉米根系上的研究结果不一致^[18]。本试验还表明,外源 GSH 能显著提高盐胁迫下叶片的 GR 活性,却显著抑制了 APX 和 DHAR 活性,这与在根系上的研究结果也不一致^[18]。本研究还表明,盐胁迫可以显著增加玉米叶片 AsA 和 GSH 质量摩尔浓度。外源 GSH 则显著增加盐胁迫下叶片的 GSH 质量摩尔浓度但显著降低叶片的 AsA 质量摩尔浓度。前期在根系上的研究结果表明,盐胁迫可以显著提高 AsA 质量摩尔浓度,但对 GSH 质量摩尔浓度无显著影响。外源 GSH 则显著增加盐胁迫下根系的 AsA 质量摩尔浓度,但对根系的 AsA 质量摩尔浓度无显著影响^[18],上述差异亦与器官差异有关。

细胞质膜透性和 MDA 质量摩尔浓度是 2 个重要的抗逆指标,目前已被广泛应用于作物抗氧化研究^[19]。本研究表明,盐胁迫显著提高叶片的细胞质膜透性和 MDA 质量摩尔浓度,这与前人的研究结果一致^[20-21]。本研究还表明,外源 GSH 可以在一定程度上降低细胞质膜透性和 MDA 质量摩尔浓度,从而缓解盐胁迫对叶片造成的过氧化伤害,这与在玉米根系上的研究结果一致^[18]。这说明,盐胁迫对玉米叶片和根系均会造成氧化胁迫,外源 GSH 可以缓解叶片和根系遭受的伤害。

叶绿素荧光参数的变化可以反映植物对不利环境条件的响应与适应状况。本试验表明,盐胁迫显著降低玉米幼苗叶片的 F_v/F_m 、 q_p 和 Φ_{PSII} ,显著增加 q_N 。这说明,盐胁迫对玉米幼苗叶绿体 PSII 的功能造成了严重伤害,这与罗黄颖等^[4]在番茄上的研究结果和张春平等^[5]在黄连上的研究结果基本一致。本试验还表明,外源 GSH 可以显著提高盐胁迫下玉米幼苗叶片的 F_v/F_m 、 q_p 和

Φ_{PSII} , 显著降低 q_N 。这说明, 外源 GSH 可以缓解盐胁迫对 PS II 功能造成的伤害。

光合色素质量分数、光合速率和生物量干质量的大小, 也是衡量作物抗逆性强弱的重要指标。本试验表明, 盐胁迫显著降低叶片光合色素质量分数, 进而降低光合速率, 减缓其生物量积累, 这与赵莹等^[6]研究的结果一致。本试验还表明, 外源 GSH 可以提高盐胁迫下光合色素质量分数, 维持一定水平的光合速率, 从而缓解盐胁迫对玉米生长的抑制作用。综上所述, 本研究表明, 外源 GSH 可以提高玉米幼苗叶片的抗氧化能力和光合性能, 从而缓解盐胁迫所造成的氧化伤害和生长抑制, 进而增强其抗盐性。

参考文献 Reference:

- [1] 段贤朋, 黄伟, 吴辉, 等. 红树植物盐胁迫适应机制研究进展[J]. 湖南农业科学, 2012, 6(11): 35-37.
DUAN X P, HUANG W, WU H, *et al.* The research progress in the mechanism of the adaption of mangrove plant to salt stress [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012, 6(11): 35-37 (in Chinese with English abstract).
- [2] 华春, 王仁雷, 刘友良. 外源 GSH 对盐胁迫下水稻叶绿体活性氧清除系统的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2003, 29(5): 415-420.
HUA CH, WANG R L, LIU Y L. Effects of exogenous glutathione on active oxygen scavenging system in chloroplasts of rice under salt stress [J]. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2003, 29(5): 415-420 (in Chinese with English abstract).
- [3] 陈沁, 刘友良. 谷胱甘肽对盐胁迫大麦叶片活性氧清除系统的保护作用[J]. 作物学报, 2000, 26(3): 137-139.
CHEN Q, LIU Y L. Effect of glutathione on active oxygen scavenging system in leaves of barley seedlings under salt stress [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(3): 137-139 (in Chinese with English abstract).
- [4] 罗黄颖, 高洪波, 夏庆平, 等. γ -氨基丁酸对盐胁迫下番茄活性氧代谢及叶绿素荧光参数的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 753-761.
LUO H Y, GAO H B, XIA Q P, *et al.* Effects of exogenous GABA on reactive oxygen species metabolism and chlorophyll fluorescence parameters in tomato under NaCl stress [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(4): 753-761 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张春平, 周慧, 何平, 等. 外源 5-氨基乙酰丙酸对盐胁迫下黄连幼苗光合参数及其叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2515-2524.
ZHANG CH P, ZHOU H, HE P, *et al.* Effect of exogenous 5-aminolevulinic acid on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of *Coptis chinensis* Franch. seedlings under NaCl stress [J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2014, 34(12): 2515-2524 (in Chinese with English abstract).
- [6] 赵莹, 杨克军, 赵长江, 等. 外源糖调控玉米光合系统和活性氧代谢缓解盐胁迫[J]. 中国农业科学, 2014, 47(20): 3962-3972.
ZHAO Y, YANG K J, ZHAO CH J, *et al.* Alleviation of the adverse effects of salt stress by regulating photosynthetic system and active oxygen metabolism in maize seedlings [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(20): 3962-3972 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
LI H SH. Principles and Techniques of Plant Physiology and Biochemistry Experiment [M]. 3rd. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese).
- [8] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 第4版. 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]. 4th. Beijing: Higher Education Press, 2009: 277-278 (in Chinese).
- [9] 沈文彪, 徐朋来. 抗坏血酸过氧化物酶活性的测定[J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(3): 203-205.
SHEN W B, XU L L. Study on the determination of ascorbic acid peroxidase activity [J]. *Plant Physiology Communications*, 1996, 32(3): 203-205 (in Chinese with English abstract).
- [10] GRACE S C, LOGAN B A. Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species [J]. *Plant Physiology*, 1996, 112(4): 1631-1640.
- [11] 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.
- [12] KAMPFENKEL K, MONTAGU M V, INZÉ D. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue [J]. *Analytical Biochemistry*, 1995, 225(1): 165-167.
- [13] GRIFFITH O W. Determination of glutathione and glutathione disulfide using glutathione reductase and 2-vinylpyridine [J]. *Analytical Biochemistry*, 1980, 106(1): 207-212.
- [14] 张英宣, 张莉. 胡萝卜中类胡萝卜素全量的测定[J]. 中国食物与营养, 2006(6): 24-25.
ZHANG Y X, ZHANG L. Determination of the carotenoids in carrot [J]. *Food and Nutrition in China*, 2006(6): 24-25 (in Chinese with English abstract).
- [15] 胡秀丽, 李艳辉, 杨海荣, 等. HSP70 可提高干旱高温复合胁迫诱导的玉米叶片抗氧化防护能力[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 636-644.
HU X L, LI Y H, YANG H R, *et al.* Heat shock protein 70 may improve the ability of antioxidant defense induced by the combination of drought and heat in maize leaves [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(4): 636-644 (in Chinese with English abstract).
- [16] 付宇, 赵天宏, 孙加伟, 等. 大气 CO₂ 体积分数升高条件下玉米叶片抗氧化能力的变化[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 957-961.
FU Y, ZHAO T H, SUN J W, *et al.* Changes of anti-oxidative ability in maize leaves under elevated atmospheric CO₂ [J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(3): 957-961 (in Chinese with English abstract).
- [17] 付艳, 高树仁, 杨克军, 等. 盐胁迫对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).

- [18] 单长卷,付远志,彭贝贝. 盐胁迫下谷胱甘肽对玉米幼苗根系抗氧化能力的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(10): 56-59(in Chinese with English abstract).
SHAN CH J, FU Y ZH, PENG B B. Effects of glutathione on antioxidant properties of maize seedling roots under salt stress [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2015, 34(10): 56-59(in Chinese with English abstract).
- [19] 许长成,赵世杰. 植物膜脂过氧化水平硫代巴比妥酸测定方法中的干扰因素[J]. 植物生理学通讯, 2003, 29(3): 361-363.
XU CH CH, ZHAO SH J. Interference in measurement of lipid peroxidation by thiobarbituric acid test in plant tissues [J]. *Plant Physiology Communications*, 2003, 29(3): 361-363(in Chinese with English abstract).
- [20] 张 红,董树亭. 玉米对盐胁迫的生理响应及抗盐策略研究进展[J]. 玉米科学, 2011, 19(1): 64-69.
ZHANG H, DONG SH T. Research progress on the physiological and biochemistry responses of salt tolerance and strategies of salt resistance in maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(1): 64-69 (in Chinese with English abstract).
- [21] 马东方,朱建军. 盐胁迫对玉米幼苗的伤害与盐导致的渗透胁迫的关系[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16518-16520.
MA D F, ZHU J J. Analysis on relationship between injuries and osmotic stress induced by salt stress in maize seedlings [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(34): 16518-16520 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张 红,董树亭. 玉米对盐胁迫的生理响应及抗盐策略研

Effects of Glutathione on Antioxidant and Photosynthetic Properties of Maize Seedlings under Salt Stress

SHAN Changjuan^{1,2} and YANG Tianyou^{1,2}

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

Abstract This study investigated the effects of glutathione(GSH) on antioxidant and photosynthetic properties of maize seedling under salt stress(80 mmol/L NaCl) with the material of ‘Huayu 14’. The results showed that salt stress significantly improved the membrane permeability, malondialdehyde (MDA) molality, the activities of superoxide dismutase (SOD), ascorbate oxidase (APX) and dehydroascorbate reductase(DHAR), the molalities of GSH and ascorbate(AsA), and chlorophyll fluorescence parameter non-photochemical quenching coefficient(q_N). Meanwhile, salt stress significantly reduced chlorophyll fluorescence parameter PS II photochemical efficiency (F_v/F_m), photochemical quenching coefficient(q_p) and actual quantum yield of PS II (Φ_{PSII}), the mass fractions of photosynthetic pigments, photosynthetic rate and dry mass per plant. These results suggested that salt stress induced oxidative stress to maize seedling and made damage to the function of photosystem II. Adding 50 mg/L GSH significantly improved the activities of peroxidase(POD), SOD and glutathione reductase(GR), GSH molality, F_v/F_m , q_p and Φ_{PSII} , the mass fractions of photosynthetic pigments, photosynthetic rate and dry mass per plant under salt stress. Besides, GSH could significantly reduce MDA molality and membrane permeability of leaves. Our results indicated that GSH could protect maize against salt stress by improving the antioxidant and photosynthetic properties of maize seedlings, which alleviated the injuries induced by salt stress.

Key words Maize seedlings; Antioxidant properties; Photosynthetic properties; Glutathione; Salt stress

Received 2015-12-22 **Returned** 2016-04-08

Foundation item Important Science and Technology Research Project of Henan High School(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**)