

玉米细胞质雄性不育与活性氧代谢的关系

邓 杰, 孙丽芳, 王 霞, 胡凯凤, 王婧泽, 高树仁,
张姣姣, 王怀鹏, 郑晓航, 杨 琳

(黑龙江八一农垦大学农学院/寒地作物种质改良与栽培重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 对细胞质雄性不育系 DT-合 344、ZT-合 344 和保持系合 344 雄穗不同发育时期小花中活性氧代谢相关指标进行比较。结果表明, 雄穗整个生长阶段, 不育系雄穗中超氧化物阴离子($O_2^{\cdot-}$)、丙二醛(MDA)含量和过氧化物酶(POD)活性高于保持系。随着雄穗的发育, 保持系中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性和可溶性蛋白含量逐渐高于不育系, 达显著水平。雄穗小孢子孕育后, 不育系小花中过氧化氢(H_2O_2)、脯氨酸(pro)、可溶性糖含量显著低于保持系。活性氧代谢的异常与玉米细胞质雄性不育有关。

关键词: 玉米; 细胞质雄性不育; 活性氧; 抗氧化酶; 调节物质

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Relationship Between Cytoplasmic Male Sterility and Activated Oxygen Metabolism in Maize

DENG Jie, SUN Li-fang, WANG Xia, HU Kai-feng, WANG Jing-ze, GAO Shu-ren,

ZHANG Jiao-jiao, WANG Huai-peng, ZHENG Xiao-hang, YANG-Lin

(Agronomy College, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Key Laboratory of Crop Germplasm Improvement and Cultivation in Cold Regions, Daqing 163319, China)

Abstract: Related indicators with activated oxygen metabolism were compared in florets tassel growth stages of cytoplasmic male steriler DT-he344, ZT-he344 and maintainer he344. The results showed that, in the tassel whole growth stage, superoxide anion($O_2^{\cdot-}$), malondialdehyde(MDA) content and peroxidase(POD) activity were higher in steriler tassel than in maintainer. With tassel development, superoxide dismutase(SOD), catalase(CAT), ascorbate peroxidase(APX) activity and soluble protein content of the maintainer were higher gradually than steriler and reached significantly. After tassel small spores breed, significantly lower hydrogen peroxide(H_2O_2), proline(pro), soluble sugar content were found in the steriler florets compared with those in the maintainer. Above showed abnormality of activated oxygen metabolism be associated with cytoplasmic male sterility in maize.

Key words: Maize; Cytoplasmic male sterility; Activated oxygen; Antioxidant enzyme activity; Regulatory substance

细胞质雄性不育 (Cytoplasmic male sterility, CMS)是玉米杂种优势利用的重要途径, 现已成为玉

米育种的主要方向和目标之一^[1]。目前, 已对 CMS 的胞质类型、细胞生物学特征、生理生化和分子机理等多方面进行了深入探讨^[2~4], 活性氧(ROS)的代谢失调和雄性不育有重要联系。研究发现, 活性氧(ROS)在植物体内处于一种动态平衡状态, 作为第二信使调节植物的新陈代谢, 当受到外界环境或自身代谢氧化胁迫后, 这种平衡就被打破, 过量的活性氧对植株造成不同程度的伤害^[5]。米海莉等、段俊等分别对枸杞和玉米雄性不育系进行研究, 均认为雄性不育与植株发育进程中活性氧含量的异常有关^[6,7]。伊风艳^[8]在对苜蓿雄性不育的研究上发现, 不育株

收稿日期: 2015-04-15

基金项目: 农业部公益性项目“本地与引进种质资源高效结合与利用研究”(201303007)、黑龙江省八一农垦大学博士启动基金(XYB2013-03)、黑龙江省高校寒地作物品种改良与生理生态重点开放实验室项目(ZWXQDJ-6)

作者简介: 邓 杰(1990-), 女, 黑龙江巴彦人, 硕士。

Tel: 1526007262 E-mail: dengjehlau@126.com

高树仁为本文通讯作者。E-mail: gaosr107@126.com

和可育株的调节物质有明显差异。邹佳和吴峰等分别对玉米和辣椒雄性不育抗氧化酶活性的结果与段俊等的研究结果不尽一致^[9,10]。尽管雄性不育在活性氧方面研究很多,但缺乏系统的整理,还有很多争议。本研究选用两个同核异质玉米细胞质雄性不育系及其保持系,通过对不育系及其保持系雄穗发育时期花药活性氧代谢相关指标的研究比较,探讨活性氧代谢与育性的关系,从而为更好地理解玉米细胞质雄性不育的生理生化机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用黑龙江八一农垦大学玉米育种研究室选育的细胞质雄性不育系DT-合344、ZT-合344和保持系合344。DT-合344为合344化学诱变产生的细胞质雄性不育突变体,利用合344回交多代选育的稳定不育系;ZT-合344是利用已有细胞质雄性不育系T103进行回交转育而成的稳定细胞质不育系;合344是这2个不育系的同型保持系。

1.2 试验方法

1.2.1 取样方法

供试材料于2014年4月播种于黑龙江八一农垦大学密山试验田,每份材料均种植200株以上。雄穗发育时期取材:雄穗中小孢子刚开始孕育(穗长不

超过5 cm)为时期1;雄穗小孢子孕育完全但没抽出(穗长不超过15 cm)为时期2;雄穗完全抽出但未散粉为时期3;散粉期为时期4,取4个时期的雄穗上的小花。混合取样至少10株,-40℃下保存样品。试验设3次重复,结果取3次重复做统计分析。

1.2.2 测定方法

盐酸羟胺法测定超氧化物阴离子($O_2^{\cdot-}$)产生速率;碘量法测定过氧化氢(H_2O_2)含量;硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量。

NBT光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性;高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶(CAT)活性;AsA法测定抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性。

考马斯蓝测定法测定可溶性蛋白含量;蒽酮试剂法测定可溶性糖含量;酸性茚三酮法测定游离脯氨酸(pro)含量。

1.3 数据统计与处理

利用Microsoft Excel 2003处理数据和作图,采用SPSS19.0软件对数据进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不育系和保持系雄穗不同发育时期小花中 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 和MDA含量

表1 不育系和保持系小花中 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率、 H_2O_2 和MDA含量的变化
Table 1 Trends of $O_2^{\cdot-}$ production efficiency, H_2O_2 and MDA content in the tassel florets of the steriler and maintainer

测定项目 Measurement item	发育时期 Development stage	合344	DT-合344	ZT-合344
$O_2^{\cdot-}$ 产生速率[nmol/(min·g·FW)]	时期1	4.26±0.05 c	4.35±0.15 c	4.58±0.56 c
	时期2	4.10±0.24 c	4.46±0.46 c	4.77±0.47 bc
	时期3	4.15±0.32 c	5.93±0.73 ab	6.09±0.20 a
	时期4	4.72±0.45 bc	6.38±0.40 a	6.20±0.42 a
H_2O_2 含量[μmol/(g·FW)]	时期1	82.60±21.13 g	127.09±11.23 fg	132.82±23.47 fg
	时期2	170.88±12.20 f	236.43±4.53 e	223.30±12.63 e
	时期3	670.15±5.74 b	398.92±9.79 cd	350.52±17.11 d
	时期4	885.56±37.94 a	416.92±11.96 c	369.49±0.99 cd
MDA含量[μmol/(g·FW)]	时期1	10.87±2.62 g	29.41±1.80 de	17.85±1.27 f
	时期2	24.00±0.83 ef	28.64±0.26 de	26.99±4.56 de
	时期3	25.50±1.14 ef	38.21±0.29 b	35.12±1.18 cd
	时期4	47.91±1.16 a	39.56±5.09 bc	43.72±4.00 ab

注:同一指标数据后的不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。下表同。
Note: Values followed by different letters in the norm were significantly different at $P<0.05$ (capital letter). The same below.

表1所示,在不同发育时期,保持系 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率变化不显著,两个不育系的 $O_2^{\cdot-}$ 产生速率逐渐增加,并且在散粉期达到最大,两个不育系的 $O_2^{\cdot-}$ 产生

速率是保持系的1.3倍左右。小孢子刚开始孕育时,保持系的 H_2O_2 含量低于两个不育系,但不显著;当小孢子孕育完全,差异达显著水平;雄穗生长后期,

保持系中的 H_2O_2 含量逐渐高于两个不育系,在散粉期,合344的 H_2O_2 含量分别是DT-合344和ZT-合344的2.13倍和2.40倍。从小孢子开始发育到散粉前,两个不育系的MDA含量都高于保持系,雄穗刚开始发育时差异最大,即DT-合344和ZT-合344中MDA含量分别是合344的2.7倍和1.6倍;在散粉期,合344的MDA含量显著高于DT-合344,与ZT-合344差异

不显著,不育系DT-合344和ZT-合344之间的MDA含量差异说明不同不育系之间也存在生理差异。从以上结果可以看出,不育系活性氧大量积累从而影响过氧化产物MDA含量逐渐增加,由此说明ROS的积累破坏膜脂的稳定性从而可能影响花粉败育。

2.2 不育系和保持系雄穗不同发育时期小花中SOD、POD、CAT和APX活性的比较

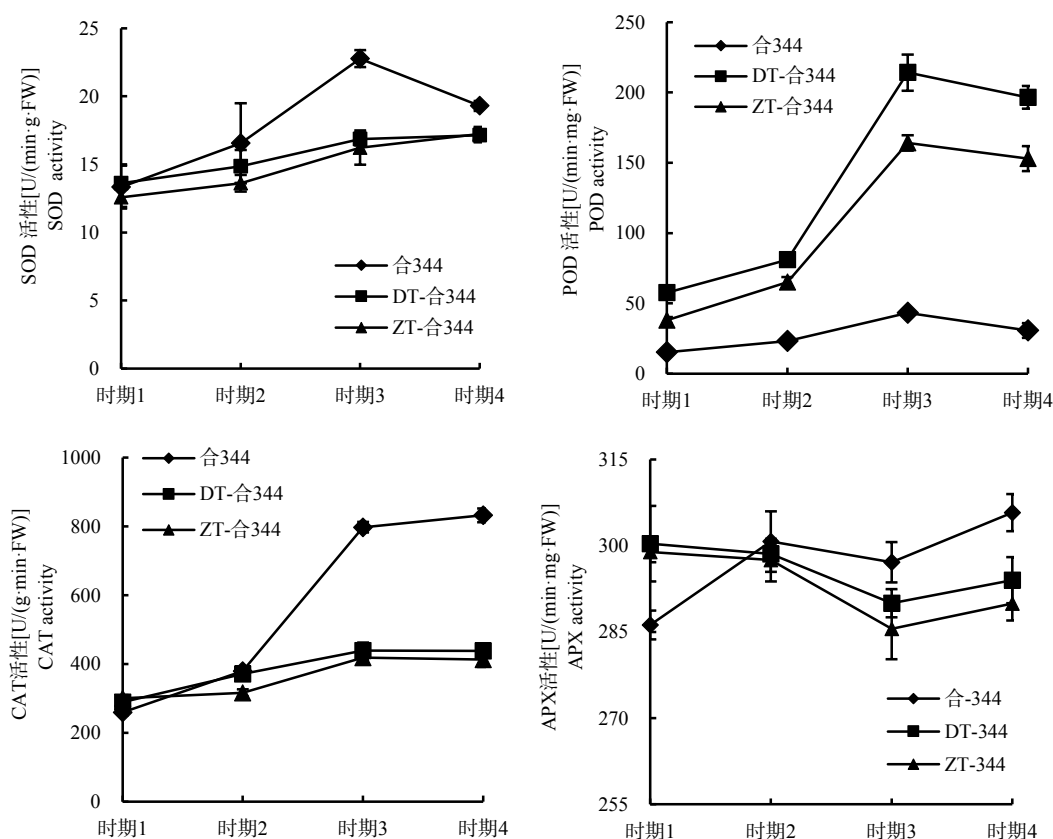


图1 不育系和保持系小花中SOD、POD、CAT和APX活性的变化

Fig.1 Trends of SOD, POD, CAT and APX activity in the tassels of the steriler and maintainer

由图1看出,从雄穗开始发育至散粉前,不育系和保持系SOD、POD、CAT活性都是逐渐升高。小孢子孕育完全时,两个不育系和保持系SOD和CAT活性未达显著差异;散粉前表现差异明显,DT-合344和ZT-合344的SOD、CAT活性分别是合344的77%、71%和52%、49%。POD活性保持系始终显著低于两个不育系,在散粉期DT-合344和ZT-合344的POD活性分别是合344的6.55和4.97倍,同时差距达到最大;在雄穗生长期间,DT-合344的POD活性显著高于ZT-合344(除时期2)。APX活性与其他抗氧化酶变化趋势不同,保持系的APX活性呈极速升高—略降低—升高的趋势,不育系在散粉前降低、散粉期又上升;小孢子刚开始孕育时,两个不育系的APX活性均高于保持系,DT-合344与合344差异显

著;待小孢子孕育完全以后,保持系的APX活性高于不育系;在散粉期,合344与DT-合344的APX活性差异显著。由此可见,不育系和保持系中调节ROS的抗氧化酶变化差异各不相同,整体来讲,保持系对ROS的清除能力明显强于不育系。

2.3 不育系和保持系雄穗不同发育时期小花中pro、可溶性糖和可溶性蛋白含量的比较

在雄穗整个生长过程中,合344的pro、可溶性糖和可溶性蛋白含量呈上升趋势;不育系的pro和可溶性蛋白含量逐渐降低,只有可溶性糖含量呈升高趋势,但升高幅度微小(表2)。小孢子孕育完成后,保持系中的三者含量均比不育系高,且差异显著,尤其是pro含量,保持系合344散粉期的pro含量分别为不育系DT-合344和ZT-合344的7.79倍和

9.38倍。由此推断,pro在雄穗小花发育进程中作为调节物质起到重要作用,可溶性糖和可溶性蛋白的合成受阻会导致花粉粒的营养缺失,影响花粉粒的发育和育性的变化。

表2 不育系和保持系小花中pro、可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化
Table 2 Trends of prolin, soluble sugar and soluble protein content in the tassel florets of the steriler and maintainer

测定项目 Measurement item	发育时期 Development stage	合 344	DT-合 344	ZT-合 344
pro 含量[μg/(g·FW)]	时期 1	100.89±3.93 e	276.70±27.56 b	101.60±15.70 e
	时期 2	230.57±13.02 c	228.39±9.03 c	199.63±16.77 c
	时期 3	977.18±9.21 a	150.55±15.65 d	139.83±7.20 de
	时期 4	979.35±4.27 a	125.65±4.33 de	99.58±4.12 e
可溶性糖含量[mg/(g·FW)]	时期 1	20.20±1.09 d	20.25±0.25 d	23.92±0.35 cd
	时期 2	24.71±0.40 cd	20.95±1.26 d	24.25±0.96 cd
	时期 3	48.04±1.87 a	26.65±1.44 bc	28.02±0.49 bc
	时期 4	50.59±2.16 a	28.24±2.98 bc	30.68±0.80 b
可溶性蛋白含量[mg/(g·FW)]	时期 1	29.59±0.54 d	32.87±1.28 b	33.53±0.73 bc
	时期 2	31.56±0.76 bcd	31.49±0.47 bcd	32.98±1.26 b
	时期 3	37.95±0.68 a	30.11±0.12 cd	30.18±0.97 cd
	时期 4	39.25±0.41 a	29.54±0.89 d	29.70±0.57 d

3 结论与讨论

ROS产生是有氧代谢的必然结果,包括O₂⁻、H₂O₂和·OH是等形式的含氧分子^[11]。研究发现,ROS在高浓度下对有机体极其有害,当水平超出防御机制所及范围,细胞就处于氧化胁迫状态,引发脂质过氧化、蛋白质氧化、核酸损伤和酶失活,并能激活程序性细胞死亡^[12,13]。

O₂经单电子逐步被还原成O₂⁻,O₂⁻通过SOD催化生成H₂O₂,H₂O₂通过Haber-Weiss反应/Fenton反应转化成·OH或通过CAT和APX等催化生成H₂O。在ROS传递过程中任意环节未按正常进行,就会导致ROS过多积累,ROS对植物产生伤害而导致过氧化产物MDA的积累,使膜遭到损伤和破坏^[14],营养物质外露,破坏正常的生理生化反应^[15]。研究表明,葱的花蕾、玉米不育系叶片和雄穗中ROS含量高于保持系^[16];水稻不育花药中O₂⁻和H₂O₂水平较高,MDA含量也高于保持系^[17]。本研究表明,不育系雄穗发育后期中O₂⁻和MDA含量高于保持系,但H₂O₂含量显著低于保持系,推断是不育系中SOD含量不足以催化大量的O₂⁻,即在POD的作用下通过羟化环模式将O₂⁻氧化为极活跃态·OH,导致MDA积累。在散粉期MDA含量又比保持系少,是由于保持系花粉粒外散导致细胞膜脂过氧化程度加重。

在正常条件下,抗氧化酶的存在保护植物体免受自由基和活性氧强氧化作用的伤害,保持其代谢平衡,使得植物机体能够正常生长。大量研究发现,

在雄性不育材料中保护性酶类变化各异。水稻、红麻、枸杞、葱、小麦和玉米雄性不育花药中均呈现SOD活性高于保持系;甜椒不育系CAT活性低于保持系^[18~20],而POD活性未达到一致表现^[21,22]。本试验结果表明,不育系的POD活性一直高于保持系,但随着雄穗的发育,保持系中SOD、CAT和APX活性逐渐高于不育系,并达显著水平,说明保持系中充足的SOD将O₂⁻转化为H₂O₂后,又被CAT和APX催化为H₂O,抑制了ROS对脂膜的破坏。

可溶性糖、可溶性蛋白质和pro不仅为植物的生长发育提供能量和代谢中间产物,而且具有信号功能。可溶性糖也是植物生长发育和基因表达的重要调节因子,在对植物进行调控时,它又与其他信号组成复杂的信号网络体系;可溶性蛋白质包含了各种酶原、酶分子和代谢调节物;pro是各种氨基酸及蛋白质合成不可缺少的原料,为花粉萌发和花粉管伸长提供了重要的能源和氮源,是花粉代谢活动中一种极活跃的物质,他们在植物的育性代谢中起着重要的作用^[23]。研究表明,不育系运输受阻使得花中可溶性糖缺乏,对小孢子发生发育和育性表现产生较大的影响,导致不育^[24]。李巍等发现,小麦温敏雄性不育系在整个幼穗发育时期,可育的幼穗可溶性糖比不育的低,其中,三核期差异达到最大^[25]。不同发育时期的胞质雄性不育系叶片和不同时期花器的蛋白质含量明显低于保持系^[26]。甜菜、水稻、萝卜、高粱的雄性不育花药严重缺乏pro的积累。本试验与前人研究结果一致,说明可溶性糖、可溶性蛋白质

和pro 亏缺不能调节ROS对脂膜的损伤,而且不能为花药的发育提供充足的营养物质,物质代谢发生紊乱,进而影响育性。

参考文献:

- [1] 李竞雄,周洪生,孙荣锦. 玉米雄性不育生物学[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [2] Parvez A S, Rather A G, Shafiq A. Genetic and molecular basis of cytoplasmic male sterility in maize[J]. *Communications in Biometry and Crop Science*, 2007, 2(1): 49–60.
- [3] 冯小磊,范光宇,苏旭,等. 植物雄性不育生理生化研究进展[J]. *作物杂志*, 2012(3): 6–11.
Feng X L, Fan G Y, Su X, et al. Advances in physiological and biochemical study on plant male sterility[J]. *Crops*, 2012(3): 6–11. (in Chinese)
- [4] 刘忠松. 不育花药的生理生化研究进展与展望[J]. *植物生理学通讯*, 1987(2): 16–21.
Liu Z S. The advance and prospect of the study on physiology and biochemistry of male sterile anther in angiosperm[J]. *Plant Physiology Communication*, 1987(2): 16–21. (in Chinese)
- [5] 张怡,路铁刚. 植物中的活性氧研究概述[J]. *生物技术进展*, 2011, 1(4): 242–248.
Zhang Y, Lu T G. The research of reactive oxygen species(ROS) in plants[J]. *Current Biotechnology*, 2011, 1(4): 242–248. (in Chinese)
- [6] 米海莉,张曦燕,樊云芳,等. 枸杞雄性不育与植株发育进程中活性氧代谢的关系[J]. *江西农业大学学报*, 2008, 30(5): 796–798.
Mi H L, Zhang X Y, Fan Y F, et al. A study on activated oxygen metabolism in the male sterile plants of *lyceum barbarum*[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2008, 30(5): 796–798. (in Chinese)
- [7] 段俊,梁承邳,张明永. 玉米细胞质雄性不育与膜脂过氧化的关系[J]. *植物生理学通讯*, 1996, 32(5): 331–334.
Duan J, Liang C Y, Zhang M Y. The relationship between membrane lipid peroxidation and cytoplasmic male sterility in maize[J]. *Plant Physiology Communications*, 1996, 32(5): 331–334. (in Chinese)
- [8] 伊风艳,石凤翎,高翠萍,等. 苜蓿雄性不育株与可育株生理生化特性的比较[J]. *中国草地学报*, 2014, 36(6): 60–65.
Yi F Y, Shi F L, Gao C P, et al. A comparative analysis of physiological and biochemical characteristic between alfalfa male sterile plants and male fertile plants[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(6): 60–65. (in Chinese)
- [9] 邹佳. 玉米C型细胞质雄性不育系生理生化特性的研究[D]. 长沙:湖南农业大学硕士学位论文,2009.
- [10] 吴峰,刘玉梅,孙德岭,等. 辣椒胞质雄性不育系与保持系生理生化特性研究[J]. *天津农业科学*, 2008, 14(2): 50–52.
Wu F, Liu Y M, Sun D L, et al. Biochemical traits of cytoplasmic male sterile maintainer lines in hot pepper[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2008, 14(2): 50–52. (in Chinese)
- [11] 张梦如,杨玉梅,成蕴秀. 植物活性氧的产生及其作用和危害[J]. *西北植物学报*, 2014, 39(9): 1916–1926.
Zhang M R, Yang Y M, Cheng Y X. Generation of reactive oxygen species and their functions and deleterious effects in plants[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 2014, 39(9): 1916–1926. (in Chinese)
- [12] APEL K, HIRRT H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction[J]. *Annu. Rev. Plant. Biol.*, 2004, 55: 373–399.
- [13] Moller I M, Jensen P E, Hansson A. Oxidative modifications to cellular components in plants[J]. *Annu. Rev. Plant. Biol.*, 2007, 58: 459–481.
- [14] 袁建玉,侯喜林,李萍芳. 不结球白菜胞质雄性不育新种质花蕾和叶片中活性氧代谢的变化[J]. *南京农业大学学报*, 2006, 29(1): 18–22.
Yuan J Y, Hou X L, Li P F. Changes in active oxygen metabolism in the floralbuds and leaves of the new CMS line of non-heading Chinese cabbage[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2006, 29(1): 18–22. (in Chinese)
- [15] Dhindsa R S, Plumb-dhindsa P L, Reid D M. Leaf senescence and lipid peroxidation: Effect of some phytohormones, and scavengers of free radicals and singlet oxygen[J]. *Physiol. plant*, 1982, 56: 453–457.
- [16] 苗锦山,杨文才,李美芹,等. 葱细胞质雄性不育与花蕾发育过程中活性氧代谢关系研究[J]. *华北农学报*, 2009, 24(4): 92–95.
Miao J S, Yang W C, Li M Q, et al. Studies on the relationships between cytoplasmic male sterility and reactive oxygen species metabolisms during development[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24(4): 92–95. (in Chinese)
- [17] 张明永,梁承邳,段俊. CMS水稻不同器官的膜脂过氧化水平[J]. *作物学报*, 1997, 23(5): 603–606.
Zhang M Y, Liang C Y, Duan J. Lipid peroxidation difference in leaves, panicles and anthers of CMS rice and its maintainer[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(5): 603–606. (in Chinese)
- [18] 周琼,周瑶瑶,唐向民,等. 红麻细胞质雄性不育系与保持系花药活性氧代谢差异比较[J]. *广西植物*, 2013, 33(4): 443–448.
Zhou Q, Zhou Y Y, Tang X M, et al. Comparative research of reactive oxygen species metabolisms of the CMS line and the maintainer lines in Kenaf(*Hibiscus cannabinus*) anther[J]. *Guihaia*, 2013, 33(4): 443–448. (in Chinese)
- [19] 陈晓峰,侯喜林,刘金兵,等. 甜椒细胞质雄性不育新种植花蕾败育与活性氧代谢关系研究[J]. *南京农业大学学报*, 2007, 30(4): 26–29.
Chen X F, Hou X L, Liu J B, et al. relationship between new cytoplasmic male sterility and reactive oxygen species metabolism in sweet pepper buds[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2007, 30(4): 26–29. (in Chinese)
- [20] 彭婧,巩振辉,黄炜,等. 辣椒雄性不育材料H9A小孢子败育机理[J]. *植物学报*, 2010, 45(1): 44–51.
Peng J, Gong Z H, Huang W, et al. Mechanism of microspore abortion on male sterile materials H9A and H9B in pepper[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2010, 45(1): 44–51. (in Chinese)
- [21] 蒋培东,朱云国,王晓玲,等. 棉花细胞质雄性不育花粉的活性氧代谢[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(2): 244–249.
Jiang P D, Zhu Y G, Wang X L, et al. Mechanism of reactive oxygen species in the cytoplasmic male-sterile cotton anther[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(2): 244–249. (in Chinese)

(下转第64页)

- [13] Badigannavar A M, Mondal S, Muny G S S. Induction of salt tolerance for radical growth in groundnut through gamma ray mutagenesis[J]. BARG Newsletter, 2007, 285: 226-236.
- [14] 郑飞, 陈艳萍, 孟庆长, 等. 7份玉米自交系耐盐性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 112-115.
Zheng F, Chen Y P, Meng Q C, et al. 7 inbred lines salt resistance identification[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(12): 112-115. (in Chinese)
- [15] 付艳. 玉米耐盐基因型的筛选和盐胁迫下的生理响应[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学硕士论文, 2007.
- [16] 程玉静, 孙权星, 彭长俊, 等. 2种不同基因型玉米苗期盐胁迫反应及耐盐性研究[J]. 上海农业学报, 2012, 28(2): 53-58.
Cheng Y J, Sun Q X, Peng C J, et al. Response of two different-genotype maize at seedling stage to salt stress and evaluation of their salt tolerance[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2012, 28(2): 53-58. (in Chinese)
- [17] 吕晋慧, 任磊, 李艳锋, 等. 不同基因型茶菊对盐胁迫的响应[J]. 植物生态学报, 2013, 37(7): 656-664.
Lü J H, Ren L, Li Y F, et al. Responses to salt stress among different genotypes of tea Chrysanthemum[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013, 37(7): 656-664. (in Chinese)
- [18] 孙小芳, 刘友良. 棉花品种耐盐性鉴定指标可靠性的检验[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 794-801.
Sun X F, Liu Y L. Test on criteria of evaluating salt tolerance of cotton cultivars[J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(6): 794-801. (in Chinese)
- [19] 王康才, 黄莺, 汤兴利, 等. 药用杭白菊和黄菊及其杂交F₁代耐盐特性研究[J]. 中国中药杂志, 2011(17): 2321-2324.
Wang K C, Huang Y, Tang X L, et al. Study on salt stress tolerance of chrysanthemum morifolium 'Huangbaiju' and 'Huangju' and F₁ seedlings[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2011(17): 2321-2324. (in Chinese)
- [20] 赵海明, 李源, 谢楠, 等. 不同高丹草品种发芽期NaCl胁迫评价研究[J]. 草原与草坪, 2012, 32(3): 26-31, 36.
Zhao H M, Li Y, Xie N, et al. Evaluation of NaCl stress on sorghum bicolor sorghum sudanense at seed germination stage[J]. Grassland and Turf, 2012, 32(3): 26-31, 36. (in Chinese)

(责任编辑: 李万良)

(上接第54页)

- [22] 宋喜悦, 胡银岗, 马翎健, 等. YS型小麦温敏不育系A3314育性转换过程中叶片和幼穗酶活性的变化[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(5): 818-822.
Song X Y, Hu Y G, Ma L J, et al. Some physiological characters in panicles and leaves of YS type thermo-sensitive male sterile wheat line A3314 during transferring from sterility to fertility[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(5): 818-822. (in Chinese)
- [23] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [24] 张琳碧, 荣廷昭, 张采波, 等. 太空诱变玉米核不育材料可育花药与不育花药的生化特性分析[J]. 核农学报, 2007, 21(3): 221-223.
Zhang L B, Rong T Z, Zhang C B, et al. Analysis of biochemical characteristics of maize anthers from male fertilizable plant and male sterile plant induced by space flight[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2007, 21(3): 221-223. (in Chinese)
- [25] 李巍, 马翎健, 何蓓如. 两类小麦温敏雄性不育系育性敏感时期生理生化指标的变化[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(1): 89-92.
Li W, Ma L J, He B R. Change of physiological characters in the fertility sensitive period of two types of temperature sensitive male sterile wheat lines[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(1): 89-92. (in Chinese)
- [26] 宋喜悦, 胡银岗, 马翎健, 等. YS型小麦温敏不育系A3314育性转换过程中叶片和幼穗的变化物质含量的变化[J]. 2009, 37(8): 81-86.
Song X Y, Hu Y G, Ma L J, et al. Changes of material content in panicles and leaves of YS type thermo-sensitive male sterile wheat line A3314 during transfer from sterility to fertility[J]. Journal of Northwest A&F University(Nat. Sci. Ed.), 2009, 37(8): 81-86. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)