

## 干旱胁迫下S-诱抗素对玉米幼苗生长及生理作用的影响

李刚<sup>1,3</sup>, 张风文<sup>1,3</sup>, 姚晨涛<sup>1,3</sup>, 芦勇<sup>1,3</sup>, 邢则森<sup>1,3</sup>, 姜兴印<sup>1,3,\*</sup>, 张吉旺<sup>2</sup>, 李向东<sup>1</sup>

山东农业大学<sup>1</sup>植物保护学院, <sup>2</sup>农学院, <sup>3</sup>山东省农药毒理与应用技术重点实验室, 山东泰安271018

**摘要:** 本文研究了两种程度(中度和重度)干旱胁迫下S-诱抗素喷雾处理对玉米(*Zea mays*)生理生化指标的影响, 结果表明不同干旱程度下各处理株高、根长等生物学性状和过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性等生理生化指标较对照均有提高, 其中2~3 mg·kg<sup>-1</sup> S-诱抗素浓度下效果最明显。在玉米三叶一心期使用S-诱抗素喷雾处理可促进生长, 提高保护酶(CAT、POD、SOD)等活性, 增加叶绿素含量, 提高根系活力。

**关键词:** S-诱抗素; 玉米; 保护酶; 干旱胁迫

玉米(*Zea mays*)作为重要的粮食及饲料作物, 其产量受干旱影响十分严重, 干旱胁迫会使光系统II (photosystem II, PSII)整体性能下降, 影响光合速率(尹贇鹏等2011; 高杰等2016)。玉米苗期遭遇干旱会使植株生长受抑制(马旭凤等2010), 随着水分亏缺程度加重, 根系长度缩短, 根直径变细, 总生物量降低(李博等2008; 郑盛华和严昌荣2006), 且水分胁迫对不同品种玉米的伤害程度不同(刘承等2015)。据报道黄淮海地区受气候影响, 在夏玉米生育期间, 常受季节性干旱, 影响夏玉米产量(庄严等2010)。干旱一般可使玉米减产20%~30% (齐伟等2010), 是世界上许多地区玉米生产的主要限制因素(Prasad1996)。

S-诱抗素(*S*-abscisic acid, *S*-ABA)是一种具有重要生理活性的植物内源生长调节物质, 不仅可以提高植物对干旱等逆境的抵抗能力, 还能调节植物生长。已有研究报道了其在小麦(*Triticum aestivum*) (席吉龙等2014)、花生(*Arachis hypogaea*) (刘文宝等2007)、水稻(*Oryza sativa*) (郭贵华等2014)、甘蔗(*Saccharum officinarum*) (李长宁等2010)、棉花(*Gossypium* sp.) (姚满生等2005)等作物抗旱方面的研究, 但S-诱抗素在玉米抗旱方面的研究较少, 且对玉米生理生化的影响方面尚未见报道。本试验研究了两种干旱程度胁迫(中度和重度)下S-诱抗素喷雾处理对玉米幼苗的影响, 为S-诱抗素在玉米上应用以及玉米的优质高产提供参考。

### 材料与方法

#### 1 试验材料

供试玉米(*Zea mays* L.)品种为‘郑单958’ (河南金博士种业股份有限公司), 试验药剂为98% S-诱抗素原药(四川龙麟福生科技有限责任公司)。

#### 2 试验设计

试验设4个S-诱抗素喷雾处理, 浓度分别为1、2、3、4 mg·kg<sup>-1</sup>, 以喷施清水作为对照, 共5个处理。设置3种土壤湿度, 分别为中度干旱(土壤最大持水量的50%)、重度干旱(土壤最大持水量的35%)及正常供水(土壤最大持水量的75%)。挑选大小一致, 籽粒饱满的玉米种子播种于直径15 cm、高21 cm的塑料盆中, 每盆定量播种一粒, 每个处理10盆, 播种深度3 cm, 并通过称重定量控制每盆装土2.4 kg, 播种后置于玻璃温室内并定量浇水300 mL。

#### 3 土壤湿度处理方法

试验用土过筛后, 用环刀法(Bharati等2002)测得每100 g土壤的最大持水量为35 g。取少量土壤于培养皿称重后烘干至恒重, 再次称量, 测得土壤实际含水量为5.55%。通过计算得对照组浇水后总重为2.85 kg, 中度干旱处理总重为2.69 kg, 重度干旱处理总重为2.57 kg。

玉米出苗后定量浇水, 保证每盆土壤含水量一致。10 d后, 每个处理挑选处于三叶一心且长势一致的玉米幼苗5盆, 按照设计浓度使用ASS-4型定量喷雾塔喷雾处理。喷雾后按照预设土壤含水量每天傍晚称重浇水, 7 d后测定株高、根长、植株地上部和植株地下部鲜重, 取幼苗第三片叶测定生理生化指标。测定叶绿素含量采用混合浸取法(明华等2007)。采用氯化三苯四唑(triphenyl tetrazolium chloride, TTC)法测定根系活力(白宝璋等1994)。

收稿 2017-04-05 修定 2017-08-16

资助 山东省农业重大应用技术创新项目、山东省现代农业产业技术体系项目和山东“双一流”奖补项目(SYL2017-XTTD11)。

\* 通讯作者(E-mail: xyjiang@sdau.edu.cn)。

过氧化氢酶(catalase, CAT)、过氧化物酶(oxidase, POD)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性以及丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量均参照高俊凤(2006)所述方法测定。

4 数据分析

利用Microsoft Excel 2010进行统计分析,使用DPS v6.55软件进行方差分析。

实验结果

1 干旱胁迫下S-诱抗素喷雾处理对玉米幼苗生长的影响

由表1可看出,中度干旱胁迫下,各浓度S-诱抗素处理的玉米幼苗株高及主根长较对照A均有不同程度增加,其中浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>时,玉米株高

增加了8.92 cm,作用最明显;主根长较对照A增加7.98 cm。S-诱抗素喷雾可以增加玉米地上鲜重及地下鲜重,浓度为2 mg·kg<sup>-1</sup>时地上鲜重达2.294 g,较对照A提高了0.922 g;浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>时地下鲜重较对照A提高了0.29 g;但较对照C稍有降低。

重度干旱下,S-诱抗素喷雾处理浓度为2 mg·kg<sup>-1</sup>时对株高效果最好,较对照B提高了8.3 cm。浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>处理下主根长及地上鲜重较对照B分别增加7.34 cm、0.7 g,效果明显。在试验浓度范围内,随浓度增加,玉米幼苗地下鲜重逐步提高,最高达1.284 g,较对照B提高0.338 g。

综合各处理结果可以得出,干旱胁迫下,S-诱抗素喷雾处理浓度为2~3 mg·kg<sup>-1</sup>时对玉米幼苗生长促进作用较好。

表1 不同程度干旱胁迫下S-诱抗素喷雾对玉米幼苗生长的影响

Table 1 Effect of S-ABA spray on growth of maize seedlings under different drought stresses

| 干旱程度 | S-诱抗素浓度/mg·kg <sup>-1</sup> | 株高/cm               | 主根长/cm               | 地上鲜重/g              | 地下鲜重/g              |
|------|-----------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 中度干旱 | 1                           | 32.60 <sup>b</sup>  | 19.62 <sup>bc</sup>  | 1.760 <sup>d</sup>  | 1.078 <sup>d</sup>  |
|      | 2                           | 36.35 <sup>a</sup>  | 21.94 <sup>b</sup>   | 2.294 <sup>b</sup>  | 1.192 <sup>bc</sup> |
|      | 3                           | 37.26 <sup>a</sup>  | 23.23 <sup>ab</sup>  | 1.970 <sup>c</sup>  | 1.262 <sup>b</sup>  |
|      | 4                           | 32.26 <sup>b</sup>  | 19.08 <sup>bc</sup>  | 1.736 <sup>d</sup>  | 1.254 <sup>b</sup>  |
|      | 对照A                         | 28.34 <sup>c</sup>  | 15.25 <sup>c</sup>   | 1.372 <sup>e</sup>  | 0.972 <sup>d</sup>  |
| 重度干旱 | 1                           | 29.46 <sup>c</sup>  | 19.21 <sup>bc</sup>  | 1.752 <sup>d</sup>  | 1.132 <sup>c</sup>  |
|      | 2                           | 33.42 <sup>b</sup>  | 20.10 <sup>abc</sup> | 1.748 <sup>d</sup>  | 1.148 <sup>c</sup>  |
|      | 3                           | 32.88 <sup>b</sup>  | 24.26 <sup>ab</sup>  | 1.792 <sup>d</sup>  | 1.228 <sup>bc</sup> |
|      | 4                           | 30.46 <sup>bc</sup> | 18.42 <sup>bc</sup>  | 1.670 <sup>de</sup> | 1.284 <sup>ab</sup> |
|      | 对照B                         | 25.12 <sup>d</sup>  | 16.92 <sup>c</sup>   | 1.092 <sup>f</sup>  | 0.946 <sup>d</sup>  |
| 正常供水 | 对照C                         | 39.47 <sup>a</sup>  | 26.95 <sup>a</sup>   | 2.413 <sup>a</sup>  | 1.317 <sup>a</sup>  |

对照A、对照B、对照C分别为中度干旱下、重度干旱下、正常浇水时喷施清水处理;同一指标数据用不同小写字母标识表示数据间差异显著(P<0.05)。图1同。

2 干旱胁迫下S-诱抗素喷雾处理对玉米幼苗生理指标的影响

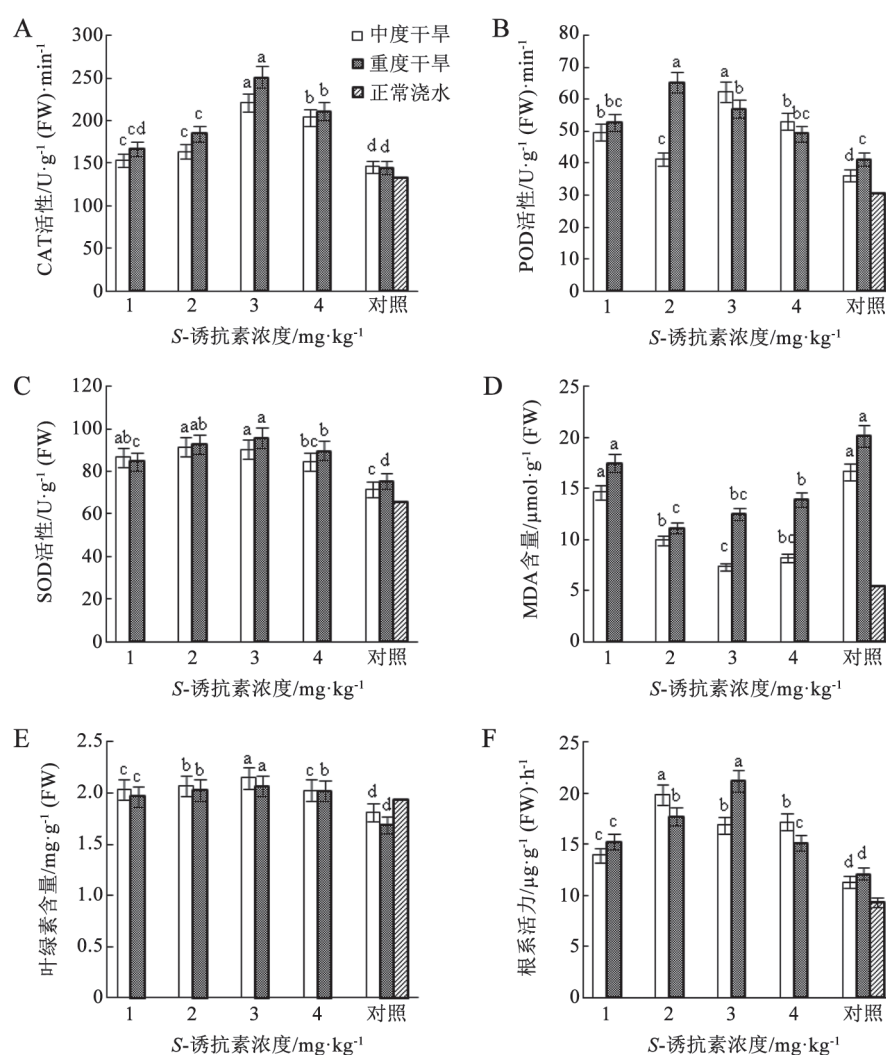
2.1 对CAT活性的影响

CAT、POD、SOD作为保护酶,能提高作物对逆境的抵抗能力(张蕊等2006)。由图1-A可知:S-诱抗素浓度为1~3 mg·kg<sup>-1</sup>时,随浓度增加两种干旱处理下的CAT活性均提高,其中浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>时,中度干旱下CAT活性较中度干旱对照(对照A)提高51.45%,较正常供水对照(对照C)提高65.02%;重度干旱下CAT活性较重度干旱对照(对照B)分别提高73.29%、87.37%。S-诱抗素喷雾处理能提高玉米幼苗CAT活性,浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>时效果最好。

同浓度下重度干旱处理较中度干旱处理CAT活性高。

2.2 对POD活性的影响

如图1-B所示,S-诱抗素喷雾处理在试验浓度下对玉米叶片POD活性均有不同程度促进。中度干旱处理浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>时,效果最佳,POD活性较对照A增加72.72%,较对照C提高102.39%,较同浓度重度干旱处理高9.25%。重度干旱处理浓度为2 mg·kg<sup>-1</sup>时效果最好,较对照B增加58.37%,较对照C提高111.75%,浓度为3和4 mg·kg<sup>-1</sup>处理的POD活性较对照B提高了38.57%和19.65%,结果呈显著性差异。

图1 不同程度干旱胁迫下*S*-诱抗素喷雾对玉米幼苗生理指标的影响Fig.1 Effect of *S*-ABA spray on physiological indexes of maize seedlings under different drought stresses

### 2.3 对SOD活性的影响

由图1-C可知, 中度干旱处理下, 效果最好的*S*-诱抗素浓度为2 mg·kg<sup>-1</sup>, 较对照A增加了28.13%, 较对照C增加38.95%, 结果呈显著性差异, 浓度为3和4 mg·kg<sup>-1</sup>的SOD活性较对照C增加了37.27%和28.11%。重度干旱处理*S*-诱抗素浓度为1、2、3 mg·kg<sup>-1</sup>时较对照B提高了12.28%、22.90%、26.75%, 随浓度增加SOD活性逐步升高。

### 2.4 对MDA含量的影响

植物受到逆境胁迫时膜脂发生过氧化反应产生MDA, 其含量可以反映植物细胞膜的过氧化程度(Prasad 1996)。如图1-D所示, *S*-诱抗素喷雾处理能有效降低叶片MDA含量, 但较对照C有不同程

度增加。中度干旱下*S*-诱抗素浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>时, MDA含量最低, 较对照A降低55.77%。重度干旱下*S*-诱抗素浓度为2 mg·kg<sup>-1</sup>时处理效果最为明显, 较对照B降低44.59%。

### 2.5 对叶绿素含量的影响

如图1-E所示, 处理浓度范围内中度干旱胁迫处理的叶绿素含量均高于重度干旱胁迫。两种干旱处理均是在浓度为3 mg·kg<sup>-1</sup>时效果最佳, 中度干旱处理较其对照A提高18.70%, 较对照C提高11.16%。重度干旱处理较对照B增加22.87%, 结果呈显著性差异。

### 2.6 对根系活力的影响

由图1-F可以看出, *S*-诱抗素喷雾处理在试验



浓度范围内能大幅度提高玉米幼苗根系活力。中度干旱处理下, *S*-诱抗素浓度为 $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时处理种子活力最高, 较对照A提高75.70%, 较对照C增加113.42%。重度干旱胁迫下, *S*-诱抗素浓度为 $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时较对照B增加75.09%, 较对照C增加127.71%。

## 讨 论

在不同程度干旱胁迫下, 使用*S*-诱抗素进行喷雾处理能不同程度提高玉米叶片CAT、POD、SOD活性, 其中浓度在 $2\sim 3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 范围内效果最为明显。彭昌操和孙中海(2000)研究表明干旱胁迫下CAT、POD、SOD等保护酶能清除细胞内活性氧自由基; 冯佰利等(2002)发现SOD活性直接影响植物对逆境的抵抗能力; CAT、POD、SOD等保护酶系统活性可以被诱导升高从而减轻膜脂过氧化程度(Colomb等2000; Hu等2010)。由此可见, *S*-诱抗素可以通过提高玉米体内保护酶活性, 维持植株体内自由基的产消平衡, 提高玉米对干旱胁迫的耐受能力。

试验发现, 随干旱胁迫时间增长, 同一浓度*S*-诱抗素处理的玉米幼苗CAT活性在重度干旱下比中度干旱下高, 这与白建芬等(2012)的研究结果一致。

MDA的含量是检测膜脂伤害程度的重要指标(白向历等2007)。使用*S*-诱抗素处理玉米能大幅度降低玉米叶片中MDA含量, 佐证了*S*-诱抗素可以提高玉米对干旱胁迫的耐受能力。

叶绿素作为植物进行光合作用的主要色素, 是影响光合作用的物质基础, 在光合作用过程中起到接收和转换能量的作用(齐健等2006)。叶绿素含量直接影响作物光合作用及物质生产(Mas-sacci等2008); 根系活力是影响作物产量的重要因素, 根系活力越大作物产量也就越高(周广生等2001)。使用*S*-诱抗素处理玉米能提高玉米叶片叶绿素含量并增加幼苗根系活力, 对于干旱胁迫下提高玉米产量有着积极意义。

使用*S*-诱抗素喷雾处理, 能缓解干旱胁迫对玉米的损伤, 促进玉米生长, 增加玉米幼苗的株高和主根长, 提高幼苗的地上鲜重和地下鲜重, 并提高玉米幼苗叶片CAT、POD、SOD活性, 增加叶绿素含量和根系活力, 降低叶片MDA含量。试验表明*S*-诱抗素喷雾在一定范围内能促进玉米生长, 提高其对干旱胁迫的抵抗能力。

## 参考文献

- Bai B, Jin J, Bai S, Hang Y (1994). Improvement of TTC method determining root activity in corn. *Maize Sci*, 2 (4): 44–47 (in Chinese with English abstract) [白宝璋, 金锦子, 白崧, 黄丽萍(1994). 玉米根系活力TTC测定法的改良. *玉米科学*, 2 (4): 44–47]
- Bai JF, Fei YH, Zhao QX, Song XY (2012). Variation of some physiological and biochemical indexes in maize seedlings under drought stress. *Shandong Agr Sci*, 44 (3): 25–28 (in Chinese with English abstract) [白建芬, 裴玉贺, 赵秋霞, 宋希云(2012). 干旱胁迫下玉米幼苗几种生理生化指标的变化. *山东农业科学*, 44 (3): 25–28]
- Bai XL, Qi H, Liu M, Zhang ZP (2007). Study on the relationship between drought resistance and physiological index of maize. *J Maize Sci*, 15 (5): 79–83 (in Chinese with English abstract) [白向历, 齐华, 刘明, 张振平(2007). 玉米抗旱性与生理生化指标关系的研究. *玉米科学*, 15 (5): 79–83]
- Bharati L, Lee KH, Isenhardt TM, Schultz RC. Soil-water infiltration under crops, pasture, and established riparian buffer in midwestern USA. *Agrofor Syst*, 56 (3): 249–257
- Colomb B, Kiniry JR, Debaeke P (2000). Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. *Agron J*, 92 (3): 428–435
- Feng BL, Wang CF, Miao F, Zhang SW, He YJ (2002). The characteristics of drought-resistant wheat with low temperature. *J North-west Sci-Tech Univ Agr For-Nat Sci*, 30 (2): 6–10 (in Chinese with English abstract) [冯佰利, 王长发, 苗方, 张嵩午, 何永杰(2002). 抗旱小麦的冷温特性研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 30 (2): 6–10]
- Gao J (2006). *Experimental Guide of Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 210–217 (in Chinese) [高俊凤(2006). *植物生理学实验指导*. 北京: 高等教育出版社, 210–217]
- Gao J, Li QF, Xue JQ, Zhang RH (2016). Physiological compensation mechanism of photosystem II in maize leaves induced by drought stress and re-watering condition. *Plant Physiol J*, 52 (9): 1413–1420 (in Chinese with English abstract) [高杰, 李青凤, 薛吉全, 张仁和(2016). 干旱复水激发玉米叶片光系统II性状的生理补偿机制. *植物生理学报*, 52 (9): 1413–1420]
- Guo GH, Liu HY, Li GH, Liu M, Li Y, Wang ZH, Liu ZH, Tang S, Ding YF (2014). Analysis of physiological characteristics about ABA alleviating rice booting stage drought stress. *Sci Agr Sin*, 47 (22): 4380–4391 (in Chinese with English abstract) [郭贵华, 刘海艳, 李刚华, 刘明, 李岩, 王绍华, 刘正辉, 唐设, 丁艳锋(2014). ABA缓解水稻孕穗期干旱胁迫生理特性的分析. *中国农业科学*, 47 (22): 4380–4391]
- Hu T, Yuan L, Wang J, Kang S, Li F (2010). Antioxidation responses of maize roots and leaves to partial root-zone irrigation. *Agr Water Manage*, 98: 164–171
- Li B, Tian XL, Wang WG, Pan F, Li ZH (2008). Heterosis of root growth in maize (*Zea mays* L.) seedling under water stress. *Acta Agron Sin*, 34 (4): 662–668 (in Chinese with English abstract) [李博, 田晓莉, 王刚卫, 潘飞, 李召虎(2008). 苗期水分胁迫对玉米根系生长杂种优势的影响. *作物学报*, 34 (4): 662–668]
- Liu C, Li ZT, Yang KJ, Xu JY, Wang YF, Xu CJ, Zhang YF, Li Z, Sun

- SH, Fu J, et al (2015). Effects of water stress and subsequent rehydration on physiological characteristics of maize (*Zea mays*) with different drought tolerance. *Plant Physiol J*, 51 (5): 702–708 (in Chinese with English abstract) [刘承, 李佐同, 杨克军, 徐晶宇, 王玉凤, 赵长江, 张翼飞, 李竹, 孙少慧, 富士江等(2015). 水分胁迫及复水对不同耐旱性玉米生理特性的影响. *植物生理学报*, 51 (5): 702–708]
- Liu WB, Li Q, Duan YC, Hou T, Yang P, Zhang WJ, Zhu ZL, Wang F (2007). Preliminary report on S-ABA application effect of drought on peanut cultivation. *Shandong Agr Sci*, (5): 65–67 (in Chinese with English abstract) [刘文宝, 李青, 段友臣, 侯涛, 杨鹏, 张文杰, 朱振林, 王芳(2007). S-诱抗素在花生抗旱栽培上的应用效果初报. *山东农业科学*, (5): 65–67]
- Ma XF, Ru T, Wang LH, Shi X, Zheng LX, Wang MX, Yao YQ, Cai HJ (2010). Effects of water deficit at seedling stage on maize root development and anatomical structure. *Chin J Appl Ecol*, 21 (7): 1731–1736 (in Chinese with English abstract) [马旭凤, 于涛, 汪李宏, 石喜, 郑灵祥, 王密侠, 姚雅琴, 蔡焕杰(2010). 苗期水分亏缺对玉米根系发育及解剖结构的影响. *应用生态学报*, 21 (7): 1731–1736]
- Massacci A, Nabiev SM, Pietrosanti L, Nematov SK, Chernikova TN, Thor K, Leipner J (2008). Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol Bioch*, 46 (2): 189–195
- Ming H, Hu CS, Zhang YM, Cheng YS (2007). Improved extraction methods of chlorophyll from maize. *J Maize Sci*, 15 (4): 93–95, 99 (in Chinese with English abstract) [明华, 胡春胜, 张玉铭, 程一松(2007). 浸提法测定玉米叶绿素含量的改进. *玉米科学*, 15 (4): 93–95, 99]
- Pang CC, Sun ZH (2000). Changes of SOD and CAT activities of citrus protoplast during cold acclimation. *J Huazhong Agr Univ*, 19 (4): 384–387 (in Chinese with English abstract) [彭昌操, 孙中海(2000). 低温锻炼期间柑桔原生质体SOD和CAT酶活性的变化. *华中农业大学学报*, 19 (4): 384–387]
- Prasad TK (1996). Mechanisms of chilling-induced oxidative stress injury and tolerance in developing maize seedlings: changes in antioxidant system, oxidation of proteins and lipids, and protease activities. *Plant J*, 10 (6): 1017–1026
- Qi J, Song FB, Liu SQ (2006). Some physiological response of roots and leaves of *Zea mays* seedling to drought-stress. *Ecol Environ*, 15 (6): 1264–1268 (in Chinese with English abstract) [齐健, 宋凤斌, 刘胜群(2006). 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应. *生态环境*, 15 (6): 1264–1268]
- Qi W, Zhang JW, Wang KJ, Liu P, Dong ST (2010). Effects of drought stress on the grain yield and root physiological traits of maize varieties with different drought tolerance. *Chin J Appl Ecol*, 21: 48–52 (in Chinese with English abstract) [齐伟, 张吉旺, 王空军, 刘鹏, 董树亨(2010). 干旱胁迫对不同耐旱性玉米杂交种产量和根系生理特性的影响. *应用生态学报*, 21: 48–52]
- Xi J, Zhang J, Xi K, Yao J, Duan L, Liu Y (2014). Effects of exogenous ABA on wheat drought resistance and yield. *Crops*, (3): 105–108 (in Chinese with English abstract) [席吉龙, 张建诚, 席凯鹏, 姚景珍, 段黎杰, 刘跃鹏(2014). 外源ABA对小麦抗旱性和产量性状的影响. *作物杂志*, (3): 105–108]
- Yao MS, Yang XH, Guo PY (2005). Effects of abscisic acid on water relationship and defensive enzymes activities in cotton seedling under water stress. *Cotton Sci*, 17 (3): 141–145 (in Chinese with English abstract) [姚满生, 杨小环, 郭平毅(2005). 脱落酸与水分胁迫下棉花幼苗关系及保护酶活性的影响. *棉花学报*, 17 (3): 141–145]
- Yin ZP, Liu XM, Shang ZW, Ren J, Song XS (2011). Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters to different drought stress in *Cerasus humilis* Bunge. *Plant Physiol J*, 47 (5): 452–458 (in Chinese with English abstract) [尹贇鹏, 刘雪梅, 商志伟, 任静, 宋兴舜(2011). 不同干旱胁迫下欧李光合及叶绿素荧光参数的响应. *植物生理学报*, 47 (5): 452–458]
- Zhang R, Lü J, Mi QS, Wang SG (2006). Effects of salicylic acid on antioxidant enzymes in rice seedlings under chilling stress. *J Southwest Agr Univ-Nat Sci*, 28 (1): 29–32 (in Chinese with English abstract) [张蕊, 吕俊, 米青山, 王三根(2006). 低温下外源水杨酸对水稻幼苗抗氧化酶系的影响. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 28 (1): 29–32]
- Zhang Y, Mei XR, Gong DZ, He WP, Li YQ, Liu BH, Wu XP (2010). Yield response of different genotypic maize to water in North China Plain. *Chin J Agrometeor*, 31 (1): 65–68 (in Chinese with English abstract) [庄严, 梅旭荣, 龚道枝, 郝卫平, 栗雨勤, 柳斌辉, 武雪萍(2010). 华北平原不同基因型夏玉米水分-产量响应关系. *中国农业气象*, 31 (1): 65–68]
- Zheng SH, Yan CR (2006). The ecophysiological and morphological characteristics of maize in seedling stage under water stress. *Acta Ecol Sin*, 26 (4): 1138–1143 (in Chinese with English abstract) [郑盛华, 严昌荣(2006). 水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响. *生态学报*, 26 (4): 1138–1143]
- Zhou GS, Mei FZ, Cheng YH (2001). Studies on relations between root vigor of winter wheat and its yield characters. *J Huazhong Agr Univ*, 20 (6): 531–534 (in Chinese with English abstract) [周广生, 梅方竹, 陈艳华(2001). 冬小麦根系活力与产量性状关系的研究. *华中农业大学学报*, 20 (6): 531–534]

## Effect of *S*-abscisic acid on growth and physiological function of maize (*Zea mays*) seedling under drought stress

LI Gang<sup>1,3</sup>, ZHANG Feng-Wen<sup>1,3</sup>, YAO Chen-Tao<sup>1,3</sup>, LU Yong<sup>1,3</sup>, XING Ze-Sen<sup>1,3</sup>, JIANG Xing-Yin<sup>1,3,\*</sup>, ZHANG Ji-Wang<sup>2</sup>, LI Xiang-Dong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Plant Protection, <sup>2</sup>College of Agronomy, <sup>3</sup>Key Laboratory of Pesticide Toxicology & Application Technique, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China

**Abstract:** Spray with *S*-abscisic acid (*S*-ABA) on physiological and biochemical indexes of maize (*Zea mays*) were studied in two levels (moderate and severe) under drought stress in this study. The results show that physiological and biochemical indexes such as plant height, root length and activities of catalase (CAT), peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) were higher compared to control, and 2–3 mg·kg<sup>-1</sup> *S*-ABA could markedly improve physiological and biochemical indexes of maize seedlings. Spray with *S*-ABA at 3 leaf stage can promote plant growth and activities of protective enzymes (CAT, POD and SOD), increase chlorophyll content, and improve root activity.

**Key words:** *S*-abscisic acid; maize; protective enzyme; drought stress

Received 2017-04-05 Accepted 2017-08-16

This work was supported by the Technical Innovation of Major Application of Agriculture in Shandong Province, the Modern Agriculture Industry Technology System in Shandong Province, and the “Double Tops” Program Foundation of Shandong (Grant No. SYL2017XTTD11).

\*Corresponding author (E-mail: xyjiang@sdau.edu.cn).