

文章编号:1000-8551(2017)02-0364-07

## NA-MY 助剂对玉米萌发及苗期抗旱性的影响

吉庆勋<sup>1</sup> 陈涛<sup>2</sup> 韩松<sup>1</sup> 曹育博<sup>1</sup> 鲁锐<sup>1</sup> 党永富<sup>1</sup> 乔传令<sup>1,3,\*</sup><sup>1</sup>河南奈安生物科技股份有限公司/农药副作用及药害防控技术河南省工程实验室, 河南 郑州 450001;<sup>2</sup>华南农业大学生命科学学院, 广东 广州 510642; <sup>3</sup>中国科学院动物研究所/农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080)

**摘要:**为探究干旱条件下玉米种衣剂功能助剂对玉米种子萌发及幼苗生长的影响,将自行研制 NA-MY 助剂和种衣剂混合后对郑单 958 种子包衣,用 15% PEG-6000 溶液模拟土壤干旱环境,分别测定了干旱胁迫下比拌种衣剂单独包衣,以及 NA-MY 助剂和比拌种衣剂混合后包衣的玉米种子在萌发及幼苗生长中的各项生理指标。结果表明,干旱胁迫下玉米发芽能力显著低于正常水分条件,幼苗中 SOD、POD、CAT 活性,相对电导率和 MDA 含量均增加,但叶绿素 a + b 含量、类胡萝卜素含量和根系活力降低。NA-MY 助剂与比拌种衣剂混合后包衣可显著促进干旱胁迫下玉米种子的萌发和幼苗根系生长,有效提高幼苗活性氧清除系统中抗氧化酶活性和抗氧化物的含量,减少电解质渗出率和 MDA 的积累。由此可见,应用 NA-MY 助剂包衣可以减轻干旱胁迫对玉米萌发和幼苗伤害,提高玉米抗旱性。本研究结果为 NA-MY 助剂在田间的应用提供了参考数据。

**关键词:**NA-MY 助剂; 包衣; 干旱胁迫; 玉米

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2017.02.0364

非生物胁迫会对作物造成一定程度的伤害,其中干旱对农作物生长造成的损害在所有非生物胁迫中占首位,不仅影响干旱和半干旱地区的农作物生长,而且也严重影响非干旱地区农作物的生长发育<sup>[1-2]</sup>。干旱对玉米(*Zea mays* L.)种子萌发以及幼苗生长影响较大,若能提高玉米在该时期的抗旱性,将为后期高产奠定基础<sup>[3-4]</sup>。据报道,某些种衣剂能在不同程度上提高种子的萌发能力,增强幼苗的抗旱性<sup>[5-6]</sup>;但一些种衣剂往往会对小麦和玉米种子萌发和幼苗生长产生抑制作用<sup>[7]</sup>。因此,开发一种配合种衣剂使用的功能助剂,既可以避免或缓解种衣剂副作用,又能提高作物幼苗的耐旱性,对农业生产具有十分重要的积极意义。

$\gamma$ -聚谷氨酸是一种高分子复合生物材料,它是通过氨基和羧基以酰胺键形式聚合形成的高分子化合物,具有超强的吸水保水能力。基于  $\gamma$ -聚谷氨酸这种自身独特的物理化学性质,其在农业上常用作

保水剂、肥料促进剂和种子包衣剂等<sup>[8-9]</sup>。乔长晟等<sup>[10]</sup>应用  $\gamma$ -聚谷氨酸对种子进行包衣,结果表明,其能促进种子萌发和幼苗的生长。壳寡糖是一类氨基葡萄糖通过  $\beta$ -1,4 键连接形成的低聚合度水溶性糖类,在农业上常被用作植物生长调节剂、杀菌剂和杀虫剂等<sup>[11]</sup>。前人研究表明,不管是含壳寡糖的复合制剂,还是单独的壳寡糖均有很好的杀菌效果<sup>[12-13]</sup>。马镒等<sup>[14]</sup>发现壳寡糖种衣剂可显著提高玉米的保护酶活性。但有关  $\gamma$ -聚谷氨酸和壳寡糖的种衣剂的功能助剂在抗旱性方面的相关研究鲜见报道。

本试验初步研究了含  $\gamma$ -聚谷氨酸和壳寡糖成分的功能助剂(简称 NA-MY 助剂)对玉米萌发和幼苗抗旱性的影响及其相应的各项生理生化指标,探究功能助剂与提高玉米抗旱之间的关系,旨在为玉米在干旱地区的种植提供理论依据。

收稿日期:2015-12-21 接受日期:2016-05-05

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201303030)

作者简介:吉庆勋,男,工程师,主要从事农业生物技术研究。E-mail:jqx1213@163.com

\* 通讯作者:乔传令,女,研究员,主要从事分子生物学、环境生物学研究。E-mail:qiaoc@ioz.ac.cn

# 1 材料与方法

## 1.1 试验材料

本试验于 2015 年在农药副作用及药害防控技术河南省工程实验室进行。供试玉米品种为市售郑单 958(购自河南秋乐种业科技股份有限公司),种衣剂为比拌。NA-MY 助剂由河南奈安生物科技股份有限公司/农药副作用及药害防控技术河南省工程实验室自主研发,其主要有效成份为:复合型聚谷氨酸(河南奈安生物科技股份有限公司提供)和农业级壳寡糖(购自青岛海伽生物科技有限公司)。

## 1.2 试验设计

试验设置 4 个处理:1)未进行任何处理且不进行干旱胁迫的玉米种子,CK1;2)未进行任何处理但进行干旱胁迫的玉米种子,CK2;3)仅用比拌种衣剂包衣且进行干旱胁迫的玉米种子,SCA;4)用 NA-MY 助剂和比拌种衣剂混合后包衣且进行干旱胁迫的玉米种子,NA-MY。

选出饱满一致的郑单 958 种子,分别用比拌种衣剂单独包衣和玉米 NA-MY 助剂与比拌种衣剂的混合物包衣,然后将种子置于通风干燥处自然晾干。

PEG 胁迫:将试验所需的种子各取 50 粒置于直径为 15 cm 的培养皿中(培养皿用 75% 的酒精消毒,无菌蒸馏水冲洗干净,底部放 2 层滤纸作为发芽床),水分胁迫处理加入 15% 的 PEG-6000 溶液 30 mL,CK1 加入等量蒸馏水,每个处理 3 次重复,于培养箱 25℃ 下黑暗培养,为尽量保持胁迫液的渗透势不变,每天需要补充适量蒸馏水。每天同一时间观察记录种子的萌发数,发芽标准以胚根、胚芽长度均超过种子半径为发准,保持 1 周的持续观察记录。并在第 3 天统计发芽势,第 7 天统计发芽率。

土壤干旱胁迫:采用盆栽试验,每盆(内径 29cm,高 23cm)均匀播种 6 粒,每盆土壤的高度约为盆高的 3/4,播种时土壤均为正常含水量,播种的基质均来自于大田耕作层土壤,每个处理 3 次重复,播种后保持正常供水,待幼苗第 3 叶完全展开后,停止浇水,进行水分胁迫处理(自然干旱),对照正常浇水,处理 3 d 后取幼苗叶片测定其生理生化指标,取整株幼苗测定地上鲜重和根系相关指标,各指标均 3 次重复,取材时干旱胁迫处理下的土壤含水量为田间最大持水量的 35%~40%,正常对照(CK1)的土壤含水量为在田间最大持水量的 65%~70%。土壤水分测定采用烘干法<sup>[15]</sup>。

## 1.3 测定项目与方法

超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的测定采用氮蓝四唑光化还原抑制法<sup>[16-17]</sup>;过氧化物酶(peroxidase, POD)活性的测定采用愈创木酚比色法<sup>[18]</sup>;过氧化氢酶(catalase, CAT)活性测定采用紫外吸收法<sup>[17-18]</sup>;丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸比色法<sup>[18]</sup>;根系活力的测定采用四氮唑还原法<sup>[17, 19]</sup>;叶绿素含量和相对电导率的测定均参考文献<sup>[17]</sup>。

$$\text{发芽率(germination rate)} = n/N \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽势(germination energy)} = n/N \times 100\% \quad (2)$$

式(1)中,  $n$  为第  $T$  天发芽数,  $N$  为种子总数;式(2)中,  $n$  为第 3 天发芽数,  $N$  为种子总数。

## 1.4 数据处理与分析

采用 Excel 完成数据的整理和计算,用 Statistix 9 进行统计分析,Origin 8.0 进行作图,图表中每个处理的数值均由平均值  $\pm$  标准差表示。

# 2 结果与分析

## 2.1 NA-MY 助剂对 PEG 模拟干旱胁迫下玉米种子萌发的影响

干旱胁迫下的玉米种子发芽势和发芽率都低于 CK1,并且 CK2 显著低于 CK1( $P < 0.05$ )。NA-MY 玉米种子显著高于 CK2 和 SCA 的种子( $P < 0.05$ )(图 1-A)。在发芽率上,NA-MY 的玉米种子也显著高于 CK2( $P < 0.05$ )(图 1-B)。

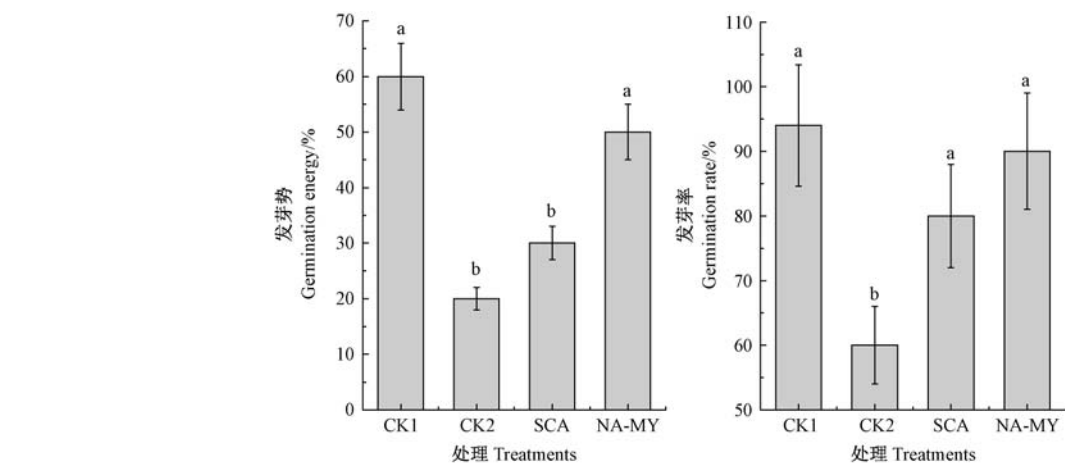
## 2.2 NA-MY 助剂对干旱胁迫下玉米幼苗根系参数和单株鲜重的影响

由表 1 可知,在干旱胁迫下根数、根体积、根长、根鲜重、根系活力和单株鲜重均低于 CK1,说明短期干旱对玉米根系和单株鲜重影响较大,尤其是根体积和根系活力,并且达到了显著水平( $P < 0.05$ ),但经 NA-MY 助剂和比拌种衣剂混合包衣的种子,在这些指标上均有很大程度上的改善,特别是根系活力比 CK2 提高了 33.7%( $P < 0.05$ ),即 NA-MY 助剂在一定程度上缓解了干旱对根伸长生长的抑制作用。

## 2.3 NA-MY 助剂对干旱胁迫下玉米幼苗细胞膜透性和叶绿素含量的影响

由表 2 可知,干旱胁迫处理下玉米幼苗的电解质渗出率显著高于 CK1( $P < 0.05$ ),但 NA-MY 的电解质渗出率低于 CK2 和 SCA( $P < 0.05$ )。干旱胁迫下玉米幼苗的叶绿素 a+b 含量和类胡萝卜素含量都显著

低于 CK1 ( $P < 0.05$ ), 但 NA-MY 的叶绿素 a + b 显著高于 CK2 和 SCA 种子 ( $P < 0.05$ ); 且 NA-MY 的玉米幼苗的类胡萝卜素含量显著高于 CK1、CK2 和 SCA ( $P < 0.05$ )。



注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。  
Note: Different small letter mean significant difference at 0.05 level. The same as following.

图1 NA-MY 助剂对于干旱胁迫下玉米种子萌发的影响

Fig.1 Effects of NA-MY additives on seeds germination of maize under drought stress

表1 NA-MY 助剂对于干旱胁迫下郑单 958 根长、根数、根体积、根鲜重、根系活力和单株鲜重的影响

Table 1 Effects of NA-MY additives on RL, RN, RV, RFW, RA and PFW of maize hybrid (zhengdan958) under drought stress

处理 Treatments	根长 RL/cm	根数 RN	根体积 RV/mL	根鲜重 RFW/g	根系活力 RA/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{FW}$ )	单株鲜重 PFW/g
CK1	$34.7 \pm 2.41\text{a}$	$15.7 \pm 1.17\text{a}$	$10 \pm 1.10\text{a}$	$5.5 \pm 0.45\text{a}$	$40.24 \pm 2.42\text{a}$	$9.35 \pm 0.90\text{a}$
CK2	$26.8 \pm 1.22\text{a}$	$13.3 \pm 1.12\text{ab}$	$4.2 \pm 0.41\text{b}$	$3.4 \pm 0.33\text{a}$	$29.04 \pm 1.31\text{c}$	$5.97 \pm 0.56\text{a}$
SCA	$24.7 \pm 1.24\text{a}$	$11.7 \pm 1.11\text{b}$	$5.3 \pm 0.52\text{b}$	$3.6 \pm 0.35\text{a}$	$21.04 \pm 2.21\text{d}$	$6.49 \pm 0.67\text{a}$
NA - MY	$32.3 \pm 2.23\text{a}$	$14.3 \pm 1.14\text{ab}$	$6 \pm 0.61\text{b}$	$4.8 \pm 0.45\text{a}$	$38.84 \pm 2.38\text{b}$	$7.78 \pm 0.76\text{a}$

Note: FL; Root length. RN; Root number, RV; Root volume. RFW; Root fresh weight. RA, Root activity. PFW; Plant fresh weight.

表2 NA-MY 助剂对于干旱胁迫下郑单 958 电解质渗出率和叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of NA-MY additives on REC and CC of maize hybrid (zhengdan958) under drought stress

处理 Treatments	相对电导率 REC/%	叶绿素 a + b 含量 CC/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	类胡萝卜素含量 Carotenoid content/( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )
CK1	$23 \pm 1.32\text{b}$	$1.85 \pm 0.15\text{a}$	$0.13 \pm 0.03\text{b}$
CK2	$36 \pm 2.12\text{a}$	$1.27 \pm 0.12\text{b}$	$0.09 \pm 0.01\text{c}$
SCA	$38 \pm 2.18\text{a}$	$1.28 \pm 0.13\text{b}$	$0.1 \pm 0.02\text{c}$
NA - MY	$24 \pm 1.36\text{b}$	$1.7 \pm 0.17\text{a}$	$0.16 \pm 0.01\text{a}$

Note: REC; Relative electric conductivity. CC; Chlorophyl content.

2.4 NA-MY 助剂对于干旱胁迫下玉米幼苗抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响

SOD、POD 和 CAT 是植物细胞抵御活性氧伤害的

重要保护酶,在植物受到干旱胁迫时,其活性的增加有利于提高植物的抗旱性。由图 2 可知,在干旱胁迫下玉米幼苗的 SOD、POD 和 CAT 活性均高于 CK1,且

NA-MY 玉米幼苗的 SOD、POD 和 CAT 活性均显著高于 CK2 和 SCA ( $P < 0.05$ )。

MDA 是植物在干旱胁迫下遭受伤害,发生膜质过氧化的最终产物,其含量标志着膜质过氧化作用的程

度。由图 2 - D 可知,在干旱胁迫下玉米幼苗的 MDA 含量高于 CK1,且 CK2 和 SCA 与 CK1 相比达到了显著水平 ( $P < 0.05$ ),但 NA-MY 玉米幼苗的 MDA 含量显著低于 CK2 和 SCA ( $P < 0.05$ )。

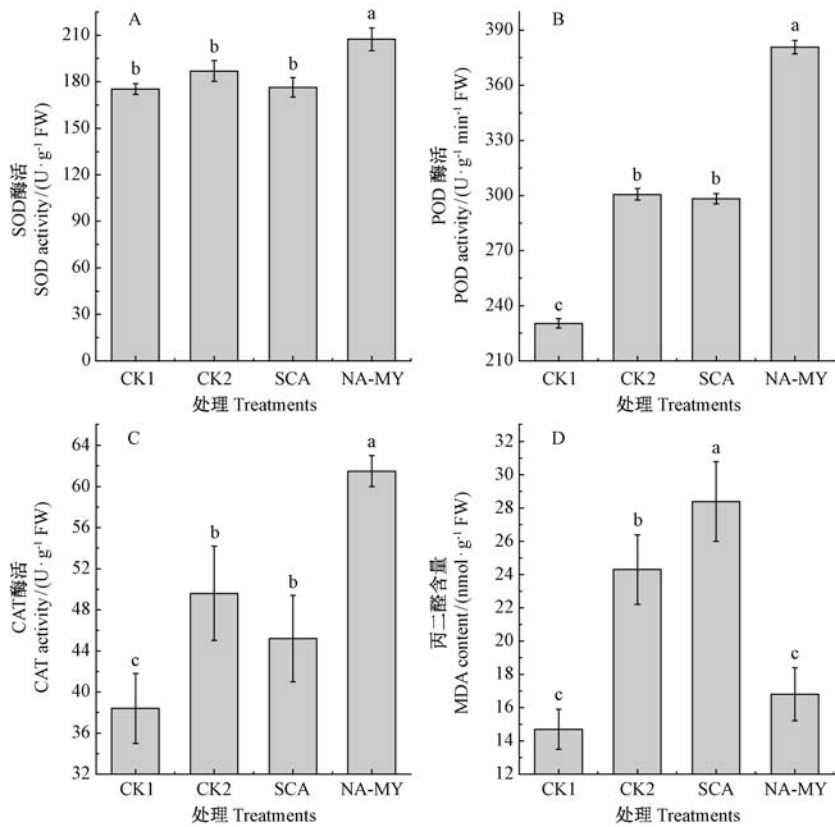


图 2 NA-MY 助剂对干旱胁迫下玉米幼苗保护酶活性和丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effects of NA-MY additives on SOD, POD, CAT activities and contents of MDA in maize leaves under drought stress

3 讨论

干旱胁迫对种子萌发会产生明显的抑制作用,生长早期干旱是限制种子正常萌发及全苗的主要因素<sup>[20]</sup>;而种子萌发又是植物生活史的关键时刻,决定着植物能否种植<sup>[21]</sup>。PEG - 6000 溶液常用来模拟水分胁迫,如江绪文等<sup>[22]</sup>通过 PEG 渗透胁迫模拟干旱条件,指出玉米种子萌发受到了一定程度上的抑制。王建平等<sup>[23]</sup>研究证实,通过一定浓度的聚谷氨酸浸种,能促进烟草种子萌发;袁建平等<sup>[24]</sup>研究表明,应用一定浓度的壳寡糖浸种,可明显促进小麦种子萌发。本试验结果表明,郑单 958 种子的萌发受水分条件影响较大,在 PEG - 6000 模拟的干旱胁迫下,玉米种子的萌发率远低于正常条件下的,说明水分胁迫在一定

程度上抑制了种子萌发,但经 NA-MY 助剂(含有聚谷氨酸和壳寡糖)包衣处理能够缓解其抑制作用,且在一定程度上提高了发芽势和发芽率。因此,干旱条件下 NA-MY 助剂在一定程度上可以有效促进玉米种子的萌发。

水分亏缺对根系的生长和分布也会产生抑制和影响,进而作用于整个植株的生命活动,因而根系发达程度与抗旱性关系密切<sup>[25]</sup>。玉米根系发达,入土深广,是最先感受土壤干旱的器官,因此探究根系形态和吸水能力是抗旱性研究的重要内容<sup>[26]</sup>。很多学者将根系形态指标和根系活力作为作物抗旱性研究的指标<sup>[27 - 29]</sup>。本试验结果表明,与正常水分条件生长相比,干旱胁迫下玉米幼苗根系的根长、根数、根体积和根鲜重明显受到抑制,但经 NA-MY 助剂处理后能够缓解水分亏缺对幼苗根系生长的抑制作用。从根系生



理活性角度来看,干旱胁迫降低了根系活力,从而影响了水分和矿质离子的吸收和传导,但 NA-MY 助剂与其它处理相比显著提高了玉米幼苗的根系活力,从而缓解了干旱对玉米幼苗根系造成的伤害,在一定程度上提升了玉米幼苗的根系生长能力和活力水平。

叶绿素是植物进行光合作用的物质基础,其含量与叶片光合作用密切相关。干旱胁迫使玉米叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素的含量降低,从而使光合作用受到抑制导致减产<sup>[30]</sup>。曹丹等<sup>[31]</sup>指出叶绿素含量与玉米抗旱性呈正相关。本试验结果表明,在干旱条件下,NA-MY 助剂能使玉米叶绿素含量维持较高水平,从而保证光合作用的正常进行,但具体机理及干旱对玉米叶片光合速率的影响还需进一步研究。

诸多研究表明,MDA 是膜脂过氧化的产物,其含量的高低能反映膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度,干旱胁迫往往可促使植物叶片中 MDA 的含量增加<sup>[32-35]</sup>。本试验中,干旱胁迫下玉米幼苗叶片与比正常水分条件下相比,MDA 含量显著增多,并进一步导致相对电导率的增大,说明干旱加剧了细胞膜的膜脂过氧化,使玉米幼苗叶片细胞受损。刘承等<sup>[36]</sup>研究指出,抗旱性强的玉米品种 MDA 含量和相对电导率均低,受到的伤害程度小。本试验也得到类似的结果,即干旱胁迫下 NA-MY 助剂在一定程度上降低了玉米幼苗中的 MDA 含量和相对电导率,缓解了玉米幼苗细胞膜膜脂过氧化程度,从而在一定程度上增强了玉米幼苗的抗旱性。抗氧化酶防御系统包括 SOD、CAT 和 POD 等,其中 SOD 是氧化胁迫中的第一道防线,主要清除自由基转化为  $H_2O_2$  和  $O_2$ ; CAT 和 POD 作为氧化胁迫中的第二道防线,主要清除不同细胞定位的  $H_2O_2$ ,将  $H_2O_2$  转化为  $H_2O$  和  $O_2$ ,最终保护细胞免受活性氧氧化胁迫的伤害<sup>[32, 37-38]</sup>。相关研究表明,抗氧化酶系的活性与植物抗旱性呈正相关<sup>[39]</sup>。本研究中,干旱胁迫下玉米幼苗中抗氧化酶(SOD、CAT 和 POD)的活性明显提高,这是玉米对于干旱胁迫的一种积极应答反应,且 NA-MY 助剂和比拌种衣剂混合包衣的玉米幼苗 SOD、CAT 和 POD 活性增幅较大。由此可见,NA-MY 助剂可显著提高玉米抗氧化酶活性,从而在一定程度上降低干旱对玉米的氧化伤害,最终使玉米耐旱性增强。

## 4 结论

在干旱胁迫条件下,NA-MY 助剂可明显促进玉米种子萌发及其幼苗生长。在水分亏缺的不利条件下,

NA-MY 助剂促进根系的生长并提高其活力,保证玉米幼苗光合作用的正常进行,有效提高幼苗抗氧化酶防御系统中 SOD、CAT 和 POD 的活性,降低 MDA 的积累和相对电导率,从而一定程度上降低了干旱胁迫对玉米幼苗造成的伤害,使玉米抗旱性增强。由此可知,干旱条件下 NA-MY 助剂一定程度上消除了干旱对玉米萌发和幼苗生长的不利影响,提高了其抗旱性,但 NA-MY 助剂提高玉米抗旱性的分子作用机制还需要进一步深入研究。

## 参考文献:

- [1] Banuelos G S, Fakra S C, Walse S S, Marcus M A, Soo In Y, Pickering I J, Pilon-Smits E A, Freeman J L. Selenium accumulation, distribution, and speciation in spineless prickly pear cactus: a drought- and salt-tolerant, selenium-enriched nutraceutical fruit crop for biofortified foods[J]. *Plant Physiology*, 2011, 155 (1): 315 - 327
- [2] Boyer J S. Plant productivity and environment[J]. *Science*, 1982, 218 (4571): 443 - 448
- [3] 郑盛华, 严昌荣. 水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(4): 1138 - 1143
- [4] 冷益丰, 张彪, 赵久然, 杨俊品, 刘亚, 康继伟, 陈洁, 唐海涛, 谭君, 何文铸. 转基因玉米种子萌发期抗旱性鉴定[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(1): 177 - 182
- [5] 刘延吉, 李玥莹, 刘南宁, 文言. RE 包衣剂对玉米生长及苗期抗旱性的影响[J]. *沈阳师范大学学报: 自然科学版*, 1999, (3): 49 - 53
- [6] 柳斌辉, 张文英, 栗秋生, 杨国航, 彭海成, 赵久然, 栗雨勤, 徐建芬. 不同种衣剂对玉米抗旱性的影响[J]. *河北农业科学*, 2010, 14(3): 22 - 25
- [7] 吉庆勋, 韩松, 王娟, 党永富, 乔传令. 小麦、玉米种衣剂副作用研究进展[J]. *农药*, 2013, 52(12): 865 - 867, 870
- [8] Xu Z Q, Lei P, Feng X H, Xu X J, Xu H, Yang H B, Tang W Q. Effect of poly ( $\gamma$  - glutamic acid) on microbial community and nitrogen pools of soil[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science*, 2013, 63 (8): 657 - 668
- [9] 王萌, 许孝瑞.  $\gamma$  - 聚谷氨酸在农业应用中的研究进展[J]. *黑龙江农业科学*, 2014, (10): 161 - 163
- [10] 乔长晟, 高明昊, 张帅, 李雪. 高效种子包衣剂: 中国, 201210594917. X[P]. 2013 - 04 - 17
- [11] 刘幸海, 李正名, 王宝雷. 具有农业生物活性壳寡糖的研究进展[J]. *农药学报* 2006, 8(1): 1 - 7
- [13] Bo L, Wang X, Pang C, Luo J, Luo Y, Sun R. Preparation and antimicrobial property of chitosan oligosaccharide derivative/rect orite nanocomposite[J]. *Carbohydr Polym*, 2013, 92 (2): 1078 - 1085
- [14] 马镒, 金星, 赵新华, 李春红, 曹敏建. 壳寡糖种衣剂的制备及其对玉米防御酶系的影响[J]. *湖南农业科学*, 2012, (19): 87 - 89, 92
- [15] 张军红, 吴波, 杨文斌, 崔利强. 半干旱沙地 3 种土壤水分测定

- 方法对比研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2): 147–149
- [16] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels [J]. Analytical Biochemistry, 1971, 44(1): 276–287
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [18] Tewari R K, Kumar P, Neetu, Sharma P N. Signs of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants[J]. Plant Science, 2005, 169(6): 1037–1045
- [19] 白宝璋, 金锦子, 白崧, 黄丽萍. 玉米根系活力 TTC 测定法的改良[J]. 玉米科学, 1994, 2(4): 44–47
- [20] 柯贞进, 尹美强, 温银元, 黄明镜, 黄学芳, 郭平毅, 王玉国, 原向阳. 干旱胁迫下聚丙烯酰胺浸种对谷子种子萌发及幼苗期抗旱性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(3): 563–570
- [21] He L, Lu Z, Guan B, Zhao Y, Wang R, Liu Y. Effects of saline-alkaline stress on seed germination and seedling growth of sorghum bicolor[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(3): 67–71
- [22] 江绪文, 李贺勤, 王晓琨, 张文健, 王建华. PEG–6000 模拟干旱胁迫对 5 个玉米品种种子萌发及活力的影响[J]. 种子, 2015, 34(5): 5–8
- [23] 王建华, 王晓丽, 王昌军, 冀志霞, 陈守文, 喻子牛. 聚- $\gamma$ -谷氨酸对烟草种子萌发及苗期生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(3): 340–343
- [24] 袁建平, 李国辉, 王淑敏, 高永闯. 壳寡糖对小麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(16): 3431–3432
- [25] 周蓉, 陈海峰, 王贤智, 伍宝朵, 陈水莲, 张晓娟, 吴学军, 杨中路, 邱德珍, 江木兰, 周新安. 大豆幼苗根系性状的 QTL 分析[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1151–1158
- [26] 刘胜群, 宋凤斌, 周璇. 玉米植株叶片和根系的抗旱性差异分析[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 54–58
- [27] 李丽杰, 顾万荣, 张倩, 赵东旭, 张嵩, 杨德光, 魏湜, 郝卫平. 外源亚精胺对干旱胁迫下玉米幼苗叶片生理及根系特征参数的影响[J]. 农药学报, 2015, 17(3): 291–299
- [28] 马富举, 李丹丹, 蔡剑, 姜东, 曹卫星, 戴廷波. 干旱胁迫对小麦幼苗根系生长和叶片光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 724–730
- [29] Xu W F, Jia L G, Shi W M, Liang J S, Zhou F, Li Q F, Zhang J H. Absciscic acid accumulation modulates auxin transport in the root tip to enhance proton secretion for maintaining root growth under moderate water stress[J]. New Phytologist, 2013, 197(1): 139–150
- [30] Chaves M M, Flexas J, Pinheiro C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell[J]. Annals of Botany, 2009, 103(4): 551–560
- [31] 曹丹, 陈道钊, 吴茜, 殷俐娜, 邓西平, 王仕稳. 复水对旱后不同玉米品种植株生长恢复能力及其生理响应特性的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 39(6): 1222–1228
- [32] 刘晓军, 洪光宇, 袁志诚, 文俊, 罗勇, 洪儒, 杨烈. 干热胁迫下两种苇状羊茅对不同水肥处理的响应机理[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 46–54
- [33] Turkan I, Bor M, Özdemir F, Koca H. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress[J]. Plant Science, 2005, 168(1): 223–231
- [34] 段素梅, 杨安中, 黄义德, 吴文革, 许有尊, 陈刚. 干旱胁迫对水稻生长、生理特性和产量的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(6): 1124–1132
- [35] 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, 赵莹, 谷英楠, 付健, 方永江, 刘瑛, 张发明, 马丽峰, 石新新. 水分胁迫及复水对不同耐旱性玉米生理特性的影响[J]. 植物生理学报, 2015, 51(5): 702–708
- [36] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制[J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 413–418
- [37] Chen Q, Tao S, Bi X, Xu X, Wang L, Li X. Research progress in physiological and molecular biology mechanism of drought resistance in rice[J]. American Journal of Molecular Biology, 2015, 3(2): 102–107
- [38] Roldán A, Díaz-Vivancos P, Hernández J A, Carrasco L, Caravaca F. Superoxide dismutase and total peroxidase activities in relation to drought recovery performance of mycorrhizal shrub seedlings grown in an amended semiarid soil[J]. Journal of Plant Physiology, 2008, 165(7): 715–722

# Effects of NA-MY Additives on Seed Germination Drought Resistance of Maize Seedling

Ji Qingxun<sup>1</sup> CHEN Tao<sup>2</sup> HAN Song<sup>1</sup> CAO Yubo<sup>1</sup> LU Rui<sup>1</sup> DANG Yongfu<sup>1</sup> QIAO Chuanling<sup>1,3,\*</sup>

(<sup>1</sup> Henan Province Engineering Laboratory of the Side Effects of Pesticides and Injury Prevention and Control Technology/  
Henan Naian Biological Technology Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450001; <sup>2</sup> College of Life Sciences, South China  
Agricultural University, Guangdong, Guangzhou 510642; <sup>3</sup> State Key Laboratory of Integrated Management of  
Pest Insects and Rodents/Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract:** In order to explore effects of functional additives on Zhengdan 958 maize seed germination under drought stress, seeds were coated by the self-developed NA-MY additives and seed coating agents after mixture. Simulation of soil drought by 15% PEG – 6000 solution, some effects of physiological effects on seed germination and seedling growth of Maize were studied on the seed coating by Biban as well as seed coating by the mixture of NA-MY additives and Biban under drought stress. The results showed that the germination cap ability of Maize under drought stress was significantly lower than that of normal water condition. The activity of POD, CAT and SOD, the relative conductivity and MDA content increased in the seedlings, although contents of chlorophyll a + b, and carotenoid, and root activity decreased. The maize seeds were coated by the mixture of NA-MY additives and Biban, which could obviously promote the germinating and growth of maize seeds under drought stress germination. Meanwhile, the activity of antioxidant enzymes and the contents of antioxidant in active oxygen scavenging system were increased effectively, but relative electric conductivity and accumulations of malondialdehyde (MDA) content apparently decreased under drought stress. Therefore, maize seed coated by the NA-MY additives can mitigate the injury of drought stress to seeds germination and seedling growth of maize, as well as enhance drought resistance of the plant. This finding provided a theoretical basis for the application of NA-MY additives in the field.

**Keywords:** NA-MY additives, seed coating, drought stress, maize