

# 乙烯对旱后复水玉米某些生理特性的影响

刘剑锋,程云清,陈智文\*

(吉林师范大学生态环境研究所,吉林 四平 136000)

**摘要:**研究了在不同水分条件下盆栽的玉米(*Zea mays* L.)品种‘郑单 958’幼苗,经乙烯利和  $\text{AgNO}_3$  处理后,其复水前后某些生理特征的变化。结果表明:复水前,在不同程度干旱胁迫下施用乙烯利有利于增加玉米的生物量、叶片相对含水量、总叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、叶片硝酸还原酶(NR)活性和谷氨酰胺合成酶(GS)活性;而  $\text{AgNO}_3$  处理明显降低生物量、叶片相对含水量、可溶性蛋白质含量、NR 活性和 GS 活性。复水后,乙烯利处理的玉米生物量、总叶绿素含量、可溶性蛋白质含量明显高于对照,叶片相对含水量、NR 和 GS 活性与对照相近;经轻度与重度干旱后复水,  $\text{AgNO}_3$  处理明显降低玉米生物量和可溶性蛋白含量,对叶片相对含水量、NR、GS 活性影响不明显。因此,施用乙烯利有利于提高干旱后复水条件下苗期玉米对干旱的抗性。

**关键词:**玉米;乙烯;硝酸还原酶;谷氨酰胺合成酶;可溶性蛋白

中图分类号:Q945.79

文献标识码:A

文章编号:1005-3395(2009)02-0146-06

## Effects of Ethylene on Some Physiological Characteristics of Maize at Rehydration after Drought Stress

LIU Jian-feng, CHENG Yun-qing, CHEN Zhi-wen\*

(Institute of Eco-environmental Sciences, Jilin Normal University, Siping 136000, China)

**Abstract:** The effects of ethylene on some physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) ‘Zhengdan 958’ cultured in pot at rehydration after drought stress were studied. The results showed that the biomass, relative water content, contents of chlorophyll and soluble protein, activities of nitrate reductase (NR) and glutamine synthetase (GS) in leaves enhanced treated with ethephon before rehydration, while the biomass, relative water content, soluble protein content, activities of NR and GS in seedlings reduced treated with  $\text{AgNO}_3$  significantly. After rehydration, the biomass, contents of chlorophyll and soluble protein in seedlings treated with ethephon were significantly higher than that of control treatment, while relative water content, NR and GS activities were closer to control treatment. But the biomass, soluble protein content decreased treated by  $\text{AgNO}_3$ , and there were little effects on relative water content, NR and GS activities. So, spraying ethephon could promote maize seedlings resistant to drought.

**Key words:** Maize; Ethylene; Nitrate reductase; Glutamine synthetase; Soluble protein

吉林省地处世界黄金玉米带上,土质肥沃,盛产玉米。吉林省玉米集中于中西部平原区,属半干旱或半湿润偏旱区,也属雨养农业区,年降水量在 300~550 mm。玉米(*Zea mays* L.)播种一般在 5 月上旬,而降雨主要集中在 6~9 月份。因此,播种前

后玉米常面临近 1 个月左右的干旱,此后则进入降水充沛的雨季。因此,研究开发能提高玉米苗期抗旱性能的新型节水生理调节剂对促进玉米产业的发展具有重要意义。乙烯在植物与逆境相互作用中扮演一个中间媒介的角色,在某些情况下植物可

收稿日期:2008-07-17 接受日期:2008-09-16

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA100202)资助

\* 通讯作者 Corresponding author

通过乙烯的产生来克服或减轻逆境胁迫所带来的损害。研究表明,乙烯在促进作物根系生长、调控株型结构、提高抗逆能力和增加产量等方面具有明显的功能<sup>[1-3]</sup>。但乙烯对苗期玉米生理功能的影响并不明确,而这对了解乙烯类生长调节剂的作用机制、促进乙烯类生长调节剂的研究与应用都具有重要意义。本研究以吉林省主栽玉米品种郑单 958 为材料,采用前期干旱后期复水的人工环境模拟当地玉米生长的自然环境,探讨乙烯对玉米苗期生长、含水量、蛋白质合成的影响,为新型玉米节水调节剂的研制提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

采用玉米(*Zea mays* L.)品种‘郑单 958’为试验材料。试验于 2007 年 8~10 月在吉林师范大学防雨棚进行。选取子粒饱满,大小均匀的种子,播于高 20 cm,直径为 15 cm 的塑料盆中。供试土壤为黑土,土壤肥力中等,容重  $1.34 \text{ g cm}^{-3}$ ,有机质  $10.4 \text{ g kg}^{-1}$ ,速效氮  $72.54 \text{ mg kg}^{-1}$ ,速效磷  $24.58 \text{ mg kg}^{-1}$ ,速效钾  $65.72 \text{ mg kg}^{-1}$ 。测定土壤田间最大持水量为 28.14%,从而设定以土壤含水量为田间持水量的 80%(为水分适宜)作为对照,60%为轻度干旱,40%为重度干旱。玉米于 2007 年 8 月 26 日播种,8 月 31 日出苗,每盆 9 株,苗出齐后即开始控水,每两天使用称重法给予不同的灌溉水量以达到不同的土壤含水量要求。待幼苗长至第一片叶展开后,进行疏苗,选取长势相近的幼苗,每盆留苗 3 株。

### 1.2 实验设计

在 2007 年 9 月 10 日对玉米幼苗进行喷施处理,实验设乙烯利( $400 \text{ mg L}^{-1}$ 和吐温数滴)、 $\text{AgNO}_3$  ( $0.4 \text{ mmol/L}$ 和吐温数滴)两种处理(前期实验确定此为最佳浓度),以喷布清水为对照,喷施量以喷施至滴水为度。每种处理 3 盆,共计 54 盆。控水后的 10、15、20 d 各取样 1 次,9 月 30 日复水,每盆灌水至最大田间持水量的 80%,复水后 10、15、20 d 各取样 1 次。取植株最上端的全展叶片置冰盒带回实验室,液氮冷冻处理后置超低温冰箱保存,用于可溶性蛋白、NR 和 GS 活性的测定。

### 1.3 生物量和相对含水量的测定

选 9 株有代表性长势一致的植株,在 9 月 30 日和 10 月 20 日挖取整个植株,洗净擦干后测定生物量。叶片相对含水量参照文献[4]的方法测定。

### 1.4 可溶性蛋白质含量的测定

可溶性蛋白质含量的测定用考马氏亮蓝染色法<sup>[5]</sup>。

### 1.5 NR 活性的测定

称取 0.5 g 叶片,加 3 ml 提取缓冲液( $0.05 \text{ mol/L}$  Tris,  $2 \text{ mmol/L}$   $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $2 \text{ mmol/L}$  DTT,  $0.4 \text{ mol/L}$  蔗糖),冰浴研磨成匀浆。 $4^\circ\text{C}$ 下  $14\ 000 \times g$  离心 20 min,上清液即为酶的粗提液用于 GS、NR 活性的测定,NR 活性按照 Tachibana 等<sup>[6]</sup>的方法测定。GS 活性参照陈煜等<sup>[7]</sup>方法测定。

### 1.6 统计分析

实验结果为 3 次重复的平均值,采用统计软件 SAS8.2 中的 ANOVA 过程进行差异显著性分析。结果如为百分数,经反正弦转换后进行统计分析。

表 1 乙烯利与  $\text{AgNO}_3$  处理对玉米生物量的影响

Table 1 Effects of ethephon and  $\text{AgNO}_3$  on biomass of maize

干旱程度 Drought intensity	处理 Treatments	生物量 Biomass ( $\text{g plant}^{-1}$ )	
		复水前 Before rehydration	复水后 After rehydration
正常 Normal	对照 Control	6.98c	143.09d
	乙烯利 Thephon	9.77a	172.78a
	$\text{AgNO}_3$	7.67b	164.54b
轻度 Light	对照 Control	5.93d	121.54ef
	乙烯利 Thephon	7.42bc	152.98c
	$\text{AgNO}_3$	4.81e	98.65g
重度 Heavy	对照 Control	5.11e	104.39g
	乙烯利 Thephon	6.32d	129.54e
	$\text{AgNO}_3$	3.44f	70.72h

同列数据后不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。Data followed different letters within column present significant difference at 0.05 level. The same as in the following tables.

## 2 结果和分析

### 2.1 乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理对复水前后玉米生物量的影响

干旱程度不同,玉米的生长情况存在明显差异,乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理对玉米的生长也有明显影响(表 1)。在复水以前,相同干旱程度下相比乙烯利处理的玉米生物量显著高于其它两个处理( $P < 0.05$ )。在正常供水条件下,3 个处理的玉米幼苗生物量大小顺序为:乙烯利 > AgNO<sub>3</sub> > 对照;在轻度与重度干旱条件下,3 个处理的玉米幼苗生物量大小顺序为:乙烯利 > 对照 > AgNO<sub>3</sub>。复水后,相同干旱程度下相比乙烯利处理的玉米生物量也显著高于其它两个处理( $P < 0.05$ ),相同干旱程度下相比,3 个处理的玉米幼苗生物量大小顺序与复水前测量结果相一致。这表明乙烯利有利于增加不同干旱程度下玉米的生物量,而 AgNO<sub>3</sub> 在正常供水条件下对增加生物量是有利的,但在轻度与重度干旱

条件下则明显降低生物量。

### 2.2 乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理对复水前后玉米叶片相对含水量的影响

从表 2 可见,在复水前相同天数相比,在正常供水条件下,3 个处理的玉米幼苗生物量大小顺序为:AgNO<sub>3</sub> > 乙烯利 > 对照;在轻度与重度干旱条件下,3 个处理的玉米幼苗生物量大小顺序为:乙烯利 > 对照 > AgNO<sub>3</sub>。复水后 20 d 时,在正常供水条件下,对照叶片含水量显著低于乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理;在轻度干旱条件下,对照叶片含水量与乙烯利处理相比差异不显著( $P > 0.05$ ),但对照与乙烯利处理的玉米叶片相对含水量均显著低于 AgNO<sub>3</sub> 处理( $P < 0.05$ );在重度干旱条件下,3 个处理的叶片相对含水量间差异不显著( $P > 0.05$ )。因此,在复水前,乙烯利的施用有利于提高玉米在不同干旱程度下叶片的相对含水量;但乙烯利处理对经轻度与重度干旱后复水的玉米叶片相对含水量无明显影响。

表 2 乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理对玉米叶片相对含水量(%)的影响

Table 2 Effects of ethephon and AgNO<sub>3</sub> treatments on relative water content (%) of maize leaves

干旱程度 Drought intensity	处理 Treatment	复水前天数 Days before rehydration			复水后天数 Days after rehydration		
		10	15	20	10	15	20
正常 Normal	对照 Control	85.31bc	85.37b	85.14b	85.21bcd	84.94bcd	84.21d
	乙烯利 Thephon	85.76ab	86.21a	86.18a	86.73a	86.32ab	85.76bc
	AgNO <sub>3</sub>	86.21a	86.30a	86.76a	86.23ab	85.44abcd	86.21ab
轻度 Light	对照 Control	84.97cd	84.54cd	83.75c	84.78bcd	84.95bcd	84.45cd
	乙烯利 Thephon	85.24bc	85.09bc	84.76b	86.21ab	86.07abc	85.28bcd
	AgNO <sub>3</sub>	83.28e	82.67e	82.14d	85.77abc	86.53a	87.56a
重度 Heavy	对照 Control	83.47e	82.19e	81.41e	84.37cd	85.12abcd	85.23bcd
	乙烯利 Thephon	84.34d	84.31d	83.32c	84.92bcd	84.55d	84.87bcd
	AgNO <sub>3</sub>	82.41f	81.39f	81.63de	84.21d	84.65cd	84.87bcd

### 2.3 乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理对复水前后玉米叶片叶绿素含量的影响

乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理对玉米叶片的叶绿素含量有十分明显的影响(表 3)。复水前,在正常供水条件下,乙烯利处理的叶片叶绿素 a 和总叶绿素含量均显著高于对照和 AgNO<sub>3</sub> 处理( $P < 0.05$ ),而 AgNO<sub>3</sub> 处理的总叶绿素含量显著高于对照( $P < 0.05$ );在轻度干旱下,乙烯利处理的叶片总叶绿素含量稍高于对照,但差异不显著( $P > 0.05$ );在重度干旱时,乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理,叶片叶绿素含量均显著高于对照( $P < 0.05$ )。复水后,乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理的总叶绿素含量在 3 种水分条件下均显著高于对照( $P < 0.05$ )。综上所述,在正常供水条件下,

乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理均有利于复水前后叶片总叶绿素含量的提高;在轻度干旱胁迫条件下,乙烯利处理有利于复水后叶片总叶绿素含量的提高,而 AgNO<sub>3</sub> 处理能提高复水前后叶片的总叶绿素含量;在重度干旱条件下,乙烯利处理有利于复水前后叶片总叶绿素含量的提高。

结合表 1 和表 2 的结果可以看出,干旱胁迫 20 d 时,AgNO<sub>3</sub> 处理的玉米生物量小,叶片相对含水量也低,相反,乙烯利处理的生物量大,叶片相对含水量也高。因此,在干旱胁迫条件下,AgNO<sub>3</sub> 处理后叶片叶绿素含量较高是由于缓慢的生长及水分散失造成的累积效应,而乙烯利则有利于促进生物量的提高,减少水分的散失,提高叶绿素含量和复水后迅速恢复生长。

表 3 乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 对玉米叶片叶绿素含量的影响Table 3 Effects of ethephon and AgNO<sub>3</sub> treatments on chlorophyll contents of maize leaves

干旱程度 Drought intensity	处理 Treatment	干旱 20 d 20 days under drought			复水后 20 天 20 days after rehydration		
		叶绿素 a Chlorophyll a (mg g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素 b Chlorophyll b (mg g <sup>-1</sup> FW)	Chl a + b (mg g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素 a Chlorophyll a (mg g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素 b Chlorophyll b (mg g <sup>-1</sup> FW)	Chl a + b (mg g <sup>-1</sup> FW)
		正常 Normal	对照 Control	1.71ef	2.917e	4.627f	2.692e
	乙烯利 Thephon	1.972d	5.702a	7.674c	6.562b	1.640cd	8.202b
	AgNO <sub>3</sub>	1.287h	4.423b	5.710e	5.678c	1.245f	6.923d
轻度 Light	对照 Control	1.522g	3.214d	4.736f	2.344f	1.370e	3.714g
	乙烯利 Thephon	1.582fg	2.957e	4.539f	3.446d	2.011b	5.457e
	AgNO <sub>3</sub>	1.7776e	4.416b	6.1936d	7.074a	2.842a	9.916a
重度 Heavy	对照 Control	7.151c	3.479c	10.63b	5.527c	1.603d	7.130d
	乙烯利 Thephon	8.214a	2.985e	11.199a	6.684b	1.016g	7.700c
	AgNO <sub>3</sub>	7.970b	2.883e	10.853b	7.018a	1.334e	8.352b

#### 2.4 乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理对复水前后玉米叶片可溶性蛋白质含量的影响

乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 对旱后复水玉米叶片可溶性蛋白质含量的影响如表 4 所示。在复水前,玉米叶片中可溶性蛋白质含量随干旱程度不同变化明显,轻度干旱可显著增加其含量,重度干旱则显著降低

其含量,且差异显著( $P < 0.05$ )。复水前与复水后,在 3 种水分条件下,相同时间与对照相比乙烯利处理可提高玉米叶片中可溶性蛋白质含量( $P < 0.05$ ),AgNO<sub>3</sub> 处理效果常与乙烯利相反。因此,乙烯利处理可有效提高复水前与复水后玉米叶片中的可溶性蛋白质含量。

表 4 乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理对玉米叶片可溶性蛋白质含量(mg g<sup>-1</sup> FW)的影响Table 4 Effects of ethephon and AgNO<sub>3</sub> treatments on soluble protein contents (mg g<sup>-1</sup> FW) of maize leaves

干旱程度 Drought intensity	处理 Treatment	复水前天数 Days before rehydration			复水后天数 Days after rehydration		
		10	15	20	10	15	20
正常 Normal	对照 Control	15.1c	14.7c	15.5d	14.7c	15.0d	14.2d
	乙烯利 Thephon	16.4b	17.2b	18.6b	18.2b	17.9b	17.3a
	AgNO <sub>3</sub>	14.1d	13.4d	13.5e	11.7d	12.3e	12.7e
轻度 Light	对照 Control	18.1a	17.6b	19.0b	18.7b	16.4c	15.3c
	乙烯利 Thephon	18.7a	19.4a	21.4a	20.5a	19.6a	17.7a
	AgNO <sub>3</sub>	14.6cd	15.2c	16.2c	14.2c	12.4e	13.2e
重度 Heavy	对照 Control	10.2e	9.4e	9.05f	10.1e	10.5f	10.7g
	乙烯利 Thephon	14.2d	13.7d	13.6e	14.7c	15.2d	16.4b
	AgNO <sub>3</sub>	8.7f	9.7e	9.5f	10.4e	11.3f	11.6f

#### 2.5 乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理对复水前后玉米 NR 活性的影响

表 5 为乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理对复水前后玉米 NR 活性的影响。在复水前,相同处理相比较,轻度干旱可显著增加玉米叶片中 NR 活性( $P < 0.05$ ),重度干旱则显著降低其活性( $P < 0.05$ )。复水前与复水后,在 3 种水分条件下,相同时间与对照相比乙

烯利处理可提高玉米叶片中 NR 活性,AgNO<sub>3</sub> 处理效果常与乙烯利相反,对照、乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理的玉米幼苗 NR 活性大小顺序为:乙烯利 > 对照 > AgNO<sub>3</sub>。因此,乙烯利处理可有效提高复水前与复水后玉米叶片中的 NR 活性,AgNO<sub>3</sub> 处理降低了复水前与复水后玉米叶片中的 NR 活性。

表 5 乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理对玉米叶片 NR 活性(U μg<sup>-1</sup>FW h<sup>-1</sup>) 的影响Table 5 Effects of ethephon and AgNO<sub>3</sub> treatments on NR activity (U μg<sup>-1</sup>FW h<sup>-1</sup>) of maize leaves

干旱程度 Drought intensity	处理 Treatment	复水前天数 Days before rehydration			复水后天数 Days after rehydration		
		10	15	20	10	15	20
正常 Normal	对照 Control	1538.5bc	1504.0c	1502.6b	1584.5bc	1575.4b	1497.3b
	乙烯利 Thephon	1554.7b	1602.2b	1651.0a	1627.5bc	1666.5a	1615.4a
	AgNO <sub>3</sub>	1453.5c	1449.8c	1462.5b	1419.3d	1437.9c	1344.5d
轻度 Light	对照 Control	1654.5a	1607.8b	1536.3b	1635.5b	1555.1b	1516.5b
	乙烯利 Thephon	1694.5a	1779.6a	1709.0a	1747.5a	1716.3a	1649.5a
	AgNO <sub>3</sub>	1459.2c	1480.3c	1515.3b	1545.5c	1432c	1410.4cd
重度 Heavy	对照 Control	1197.1e	1169.4e	1156.7d	1193.5e	1207.5d	1214.5e
	乙烯利 Thephon	1362.4d	1344.5d	1341.3c	1379.5d	1397.9c	1439.2bc
	AgNO <sub>3</sub>	1131.5e	1166.5e	1159.5d	1201.2e	1232.5d	1243.4e

## 2.6 乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理对复水前后玉米叶片 GS 活性的影响

乙烯利处理可提高玉米复水前后的 GS 活性, AgNO<sub>3</sub> 处理后 GS 活性受到一定程度的抑制(表 6)。在复水以前, 轻度干旱可增加叶片中 GS 活性, 重度干旱则降低 GS 活性。复水前 20 d 和复水后 20 d, 在 3 种水分条件下, 相同时间与对照相比乙

烯利处理可提高玉米叶片中 GS 活性, AgNO<sub>3</sub> 处理效果常与乙烯利相反, 对照、乙烯利和 AgNO<sub>3</sub> 处理的玉米幼苗 NR 活性大小顺序为: 乙烯利 > 对照 > AgNO<sub>3</sub>。因此, 乙烯利处理可有效提高复水前与复水后玉米叶片中的 GS 活性, AgNO<sub>3</sub> 处理降低了复水前与复水后玉米叶片中的 GS 活性。

表 6 乙烯利与 AgNO<sub>3</sub> 处理对玉米 GS 活性(OD mg<sup>-1</sup> protein h<sup>-1</sup>) 的影响Table 6 Effects of ethephon and AgNO<sub>3</sub> treatments on GS activity (OD mg<sup>-1</sup> protein h<sup>-1</sup>) of maize leaves

干旱程度 Drought intensity	处理 Treatment	复水前天数 Days before rehydration			复水后天数 Days after rehydration		
		10	15	20	10	15	20
正常 Normal	对照 Control	0.542c	0.550c	0.569c	0.558bc	0.555cd	0.547cd
	乙烯利 Thephon	0.589b	0.577bc	0.605b	0.616a	0.631b	0.612b
	AgNO <sub>3</sub>	0.549c	0.548c	0.523d	0.537c	0.544cd	0.498e
轻度 Light	对照 Control	0.584b	0.597b	0.631b	0.577b	0.568c	0.574c
	乙烯利 Thephon	0.628a	0.648a	0.683a	0.647a	0.666a	0.672a
	AgNO <sub>3</sub>	0.504d	0.511d	0.524d	0.534c	0.524de	0.536d
重度 Heavy	对照 Control	0.419e	0.410f	0.405f	0.418e	0.423f	0.426f
	乙烯利 Thephon	0.499d	0.472e	0.481e	0.495d	0.502e	0.516de
	AgNO <sub>3</sub>	0.396c	0.409f	0.406f	0.421e	0.452f	0.456f

## 3 讨论

乙烯除可调节植物对环境胁迫的反应以外, 还可调节植物细胞的死亡与衰老。有研究表明, 干旱能够诱导乙烯产生<sup>[8-9]</sup>。玉米苗期于干旱胁迫使植株得到“锻炼”, 一旦复水叶片水分状况得到改善, 可以在较长时间内保持较强的渗透调节能力, 这不仅有利于叶片的延伸生长, 还使叶片在光合作用、蒸腾作用等方面表现出优势<sup>[10]</sup>; 在转乙烯响应因子(ethylene responsive factor) *SodERF3* 基因的烟草

(*Nicotiana* spp.) 中, 乙烯可诱导 *SodERF3* 基因大量表达, 从而提高对于干旱和渗透胁迫的抗性<sup>[11]</sup>; 还有研究表明, 在低密度栽培和干旱胁迫下, 乙烯利的施用可导致玉米减产, 而高密度栽培配合乙烯利处理可使产量最多提高 37%, 在玉米上乙烯利的施用可提高对于干旱的抗性<sup>[12]</sup>。但也有完全相反的观点, 认为内源乙烯表达的抑制有利于植物对于干旱环境的适应能力: 当影响乙烯合成的 ACC 合成基因表达受到抑制, 叶片发生衰老延迟, 抑制干旱诱导产生的衰老, 使叶片正常的光合功能得到维持, 若

辅以外源 ACC 处理,叶片光合功能迅速丧失<sup>[13]</sup>。本研究的结果表明,复水前,在不同水分条件下,乙烯利的施用有利于提高玉米的生物量、叶片相对含水量、总叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、NR 活性和 GS 活性。而乙烯合成的抑制剂 AgNO<sub>3</sub> 的施用效果常相反:在于旱胁迫下明显降低生物量、叶片相对含水量、可溶性蛋白质含量、NR 活性和 GS 活性。由此看来,乙烯利可有效提高玉米对于旱胁迫的抗性,这与 Kasele 等的结论一致<sup>[12]</sup>,

而 AgNO<sub>3</sub> 处理则降低对于旱的抗性。本研究结果与前人的 ACC 合成基因表达受到抑制以后,叶片中叶绿素的含量、可溶性蛋白质含量得到提高,改善了叶片的生物学功能的结论存在冲突<sup>[13]</sup>。这可能与试验中干旱胁迫时间的长短、栽培密度和药剂浓度不同有关。此外,我们的前期研究结果表明,乙烯利的施用不仅可提高玉米的生物量,也促进形成发达的根系,提高保护酶 POD、SOD 和 CAT 的活性,减缓膜脂过氧化进程<sup>[14]</sup>。因此,乙烯利喷施于玉米地上部分产生乙烯,可作为一种信号物质,通过启动和调节某些与逆境应激相关的生理生化过程来诱导抗逆性的形成。复水后乙烯利处理的玉米生物量、总叶绿素含量、可溶性蛋白质含量明显高于对照,而叶片相对含水量、NR 和 GS 活性与对照相近;AgNO<sub>3</sub> 处理(经干旱后复水)明显降低生物量、降低可溶性蛋白含量、对玉米叶片相对含水量、NR、GS 活性影响不明显。因此在吉林省黄金玉米带使用乙烯利来提高玉米苗期的抗旱性能,安全度过苗期的干旱较为适宜,如辅以密植等栽培措施,抗旱效果可能更好。此外,本实验在秋天进行,气候条件与春天大不相同,因此实验结果尚需在春天田间条件下重复进行后才具生产可用性。

## 参考文献

[1] Dong X H(董学会), Duan L S(段留生), He Z P(何钟佩), et al. Effects of 30% diethyl-amino-ethyle-hexanoate ethephon aqueous solution on physiological activities of maize roots [J]. Acta Agron Sin(作物学报), 2005, 31(11): 1500-1505.(in Chinese)

[2] Wu K C(吴凯朝), Ye Y P(叶燕萍), Li Y R(李杨瑞), et al. Effects of spraying ethephon on the canopy structure and the physiological

indexes for drought resistance in sugarcane [J]. SW China J Agri Sci(西南农业学报), 2004, 17(6): 724-729.(in Chinese)

[3] Guo L H(郭丽红), Wang D K(王定康), Yang X H(杨晓虹), et al. Effects of exogenous ethylene on some physiology indexes of resistance stress during drought stress in maize seedlings [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci)(云南大学学报:自然科学版), 2004, 26(4): 352-356.(in Chinese)

[4] 西北农业大学植物生理组. 植物生理学实验指导 [M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1987: 148-151.

[5] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding [J]. Anal Chem, 1976, 72: 248-254.

[6] Tachibaana S, Konishi N. Diuranl variation of *in vivo* and *in vitro* reductase activity in cucumber plants [J]. Japn Soc Hort Sci, 1991, 60: 593-599.

[7] Chen Y(陈煜), Zhu B G(朱保葛), Zhang J(张敬), et al. Effects of different nitrogens on activities of nitrate reductase, glutamine, glutamine sythetase and seed protein contents in soybean cultivars [J]. Soybean Sci(大豆科学), 2004, 23(2): 143-147.(in Chinese)

[8] Davies W J, Metcalfe J, Lodge T A, et al. Plant growth substances and the regulation of growth under drought [J]. Austr J Plant Physiol, 1986, 13(1): 105-125.

[9] Apelbaum A, Yang S F. Biosynthesis of stress ethylene induced by water deficit [J]. Plant Physiol, 1981, 68(3): 594-596.

[10] Wang J(王娟), Li D Q(李德全), Gu L K(谷令坤), et al. The response to water stress of the antioxidant system in maize seedling roots with different drought resistance [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin(西北植物学报), 2002, 22(22): 285-290.(in Chinese)

[11] Trujillo L E, Sotolongo M, Men ndez C, et al. *SodERF3*, a novel sugarcane ethylene responsive factor (ERF), enhances salt and drought tolerance when overexpressed in tobacco plants [J]. Plant Cell Physiol, 2008, 49(4): 512-525.

[12] Kasele I N, Nyirenda F, Shanahan J F. Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield under drought stress [J]. Amer Soc Agron, 1994, 86: 283-288.

[13] Todd E Y, Robert B M, Daniel R. Gallie ACC synthase expression regulates leaf performance and drought tolerance in maize [J]. Plant J, 2004, 40(5): 813-825.

[14] Liu J F(刘剑锋), Cheng Y Q(程云清), Chen Z W(陈智文). Effects of ethylene inhibitor and promoter on growth, protective enzyme activities and lipid peroxidation of maize under water stress and rewatering conditions [J]. Chin Agri Sci Bull(中国农学通报), 2008, 24(8): 225-229.(in Chinese)