

多效唑提高玉米幼苗抗旱性的生理机制研究

曹翠玲¹, 杨力², 胡景江¹

(1. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以浚单 20 号玉米 (*Zea mays* L var *Xundan* 20) 为试材, 利用砂培法研究了不同浓度生长延缓剂多效唑 pp333 对玉米幼苗抗旱性的影响。试验结果表明, 提前喷施适宜浓度的 pp333, 能提高玉米幼苗在干旱条件下的抗旱性。干旱前喷施适宜浓度的 pp333, 可以减缓干旱胁迫对玉米幼苗叶片和根系膜透性的不良影响; 促进玉米幼苗叶片在干旱条件下累积渗透调节物质, 从而改善玉米幼苗叶片水分状态; 同时降低干旱条件下玉米叶片的蒸腾速率, 增加玉米叶片的水分含量; 干旱条件下, 提前喷施了 pp333 的玉米幼苗叶片叶绿素含量降低幅度减小, 光合速率较高, 气孔导度变小。硝酸还原酶活性降幅变小。从外部形态来看, 喷施 pp333 的植株, 叶片宽度增加, 茎秆增粗, 根冠比增加, 单株生物量较对照水平为高。本试验结果显示, pp333 能提高玉米幼苗的抗旱性, 本试验条件下 pp333 最适宜的喷施浓度是 0.3%。

关键词: 多效唑; 玉米; 抗旱性; 生理机制

中图分类号: S311, S482.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0153-06

多效唑 (Multi-effect Triazole, MET) 是英国帝国化学公司出的一种高效低毒的植物生长延缓剂和广谱性杀虫剂, 属于含氮杂环中的三唑类, 通用名为 Paclobutrazol, 代号 pp333^[1]。化学名称是 (2RS, 3RS)-1-(4-Chlorophenyl)-4, 4-dimethyl-2-(1H-1, 2, 4-triazol-1-yl) pentan-3-ol^[2], 三唑类生长调节剂能延缓植物地上部伸长、促进根生长、提高抗逆性^[3,4], 可提高羊茅草抗热性^[3], 提高稻麦幼苗根系活力和叶片 IAA 氧化酶活性^[4]。关于多效唑提高植物抗旱性的研究, 有研究者研究了多效唑对紫丁香^[5]、狗牙根^[6]、早熟禾^[7]以及小麦抗旱性^[8]的影响, 也有报道叶面喷施多效唑可提高木薯的干旱适应能力^[9]。但是关于多效唑提高玉米抗旱性的报道稀少。本文选取高水肥下高产的玉米品种浚单 20 为材料, 研究了叶面提前喷施多效唑对玉米光合速率、水分状态、渗透调节物质累积的影响, 以期较为全面的阐明多效唑提高作物抗旱性的生理机制, 并探究出多效唑提高玉米抗旱性的最适喷施浓度。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用以河砂为介质的盆栽试验, 以浚单 20 号玉米 (*Zea mays* L var *Xundan* 20) 为供试作物。试验从 2006 年 3~6 月在西北农林科技大学网室内进

行。供试河砂为清洗干净的河砂。试验用塑料桶高 20 cm, 直径 23 cm, 每桶装干河砂 3 kg, 点播 4 粒玉米种子; 每处理重复 5 次, 共计 25 桶。

本试验分三个阶段进行。第一阶段为育苗阶段。于 2006 年 3 月 15 日在每桶河砂中点播 4 粒玉米种子, 到 3 月 27 日玉米出苗长至两叶一心, 留三株玉米。在此期间, 每天以称重法补加损失的水分, 维持河砂绝对含水量为 22%; 第二阶段为喷施阶段。试验人员于 3 月 28 至 4 月 20 日每三天给每盆玉米浇施 100 mL Hoagland1 营养液, 4 月 21 日到 5 月 18 日每两天给每盆玉米浇施 100 mL Hoagland1 营养液。分别于 4 月 26 日、4 月 28 日和 4 月 30 日给玉米幼苗叶面喷施清水和不同浓度的多效唑 (表 1)。在此期间, 同样以称重法维持河砂绝对含水量为 22%。

1、2 号处理叶面喷施清水, 以与其它处理保持一致环境条件。pp333 和水喷施程度均以叶面可见小液滴为度。此期河砂绝对含水量仍保持在 22%。第三阶段从 5 月 1 日到 5 月 10 日, 为干旱处理阶段, 维持 2 到 5 号处理河砂绝对含水量为 13%, 1 号处理河砂绝对含水量始终为 22% (对照)。各处理均重复 5 次。采用重量法灌水, 每天早晨 8 点、下午 6 点半各灌水一次, 以维持其含水量。干旱处理 10 d 后, 进行生理项目测定; 随机取 4 株进行生物量统计。

收稿日期: 2008-10-06

作者简介: 曹翠玲 (1960-), 女, 陕西眉县人, 教授, 博士, 一直从事植物抗旱生理和养分生理的研究。E-mail: cuilingcao@tom.com。

表 1 处理方案

Table 1 Experiment treatments

处理 Treatment	处理内容 Description
对照 Control	叶面喷施清水河砂含水量 22% Sprinkling clear water on leaves and keeping the water content of sand on 22%
干旱胁迫 Water stress	叶面喷施清水河砂含水量 13% Sprinkling clear water on leaves and keeping the water content of sand on 13%
干旱胁迫 + 0.1% pp333 Water stress + 0.1% pp333	叶面喷施 0.1% pp333 河砂含水量 13% Sprinkling 0.1% pp333 on leaves and keeping the water content of sand on 13%
干旱胁迫 + 0.3% pp333 Water stress + 0.3% pp333	叶面喷施 0.3% pp333 河砂含水量 13% Sprinkling 0.3% pp333 on leaves and keeping the water content of sand on 13%
干旱胁迫 + 0.5% pp333 Water stress + 0.5% pp333	叶面喷施 0.5% pp333 河砂含水量 13% Sprinkling 0.5% pp333 on leaves and keeping the water content of sand on 13%

1.2 测定项目及方法

叶片电导率用 DDS-370A 型电导仪测定^[10], 脯氨酸用酸性茚三酮显色法测定; 可溶性糖用苯酚法^[10]; 叶绿素用乙醇-丙酮-水浸提法测定^[11]; 叶片失水速率参照许鸿源方法^[8]测定。测定时采取玉米功能叶片, 称取鲜重后, 置于室内让其自然失水 24 h, 再烘干至恒重。失水速率以单位时间、单位干重的失水量表示。叶片含水量与束缚水含量用马林契克法^[10]测定。硝酸还原酶活性采用对氨基苯磺酸和 α -萘胺显色后, 用比色法测定^[10], 茎秆周径以根颈处周径均值计, 测量时, 以细线度量根颈周径, 然后用直尺测量细线长度, 重复 4 次。叶片宽度采用各每处理功能叶片, 测定其最宽处宽度, 重复 4 次。生物量以单株计算, 重复 4 次; 光合强度、蒸腾强度及气孔导度用 LI-6400 光合作用测定仪(美国)活体测定。光照强度为 $40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2 结果与分析

2.1 pp333 对玉米叶片和根系膜透性的影响

细胞膜透性的大小常用来衡量逆境对植物的伤害程度。表 2 显示, 干旱条件下无论是否喷施 pp333, 叶片和根系的膜透性都明显高于充足浇水处理。干旱条件下喷施 pp333, 膜透性高于充足浇水, 而低于干旱处理, 表明 pp333 对干旱胁迫有较为明

显的缓解作用。

表 2 pp333 玉米幼苗叶片和根系膜透性的影响

Table 2 Effect of pp333 on the membrane permeability of leaf and root system of corn seedling

处理 Treatment	叶片膜透性 Leaf membrane permeability (%)	根系膜透性 Root membrane permeability (%)
对照 Control	20.02±0.01 C	25.32±0.01 C
干旱胁迫 Water stress	30.44±0.03 a	35.19±0.02 a
干旱胁迫 + 0.1% pp333 Water stress + 0.1% pp333	25.10±0.00 b	27.89±0.02 b
干旱胁迫 + 0.3% pp333 Water stress + 0.3% pp333	23.57±0.04 c	26.36±0.01 c
干旱胁迫 + 0.5% pp333 Water stress + 0.5% pp333	25.21±0.70 b	27.78±0.04 b

2.2 pp333 对玉米叶片脯氨酸、可溶性糖含量的影响

渗透调节是植物适应干旱逆境的重要生理机制, 渗透调节的有机溶质主要有可溶性糖和脯氨酸^[12]。本文试验结果(表 3)表明, 干旱条件下, 玉米叶片可溶性糖、脯氨酸含量均明显高于对照水平。作为渗透调节物质之一的可溶性糖, 当干旱发生时, 其含量增加, 当干旱程度降低或者复水时, 其含量降低^[13]。本试验结果指出, 干旱发生时, 提前喷施 pp333 的叶片, 其可溶性糖含量比未提前喷施的要高, 表明 pp333 对玉米叶片的糖代谢产生了重要影响, 因此对干旱条件下玉米叶片的物质积累、运转、分配具有一定影响, 而不能消除干旱胁迫。

表 3 pp333 对叶片渗透调节物质含量的影响

Table 3 Effect of pp333 on the content of osmotic regulated substance in corn leaf

处理 Treatment	可溶性糖含量 Soluble sugar content (mg/g DW)	脯氨酸含量 Proline content ($\mu\text{g}/\text{g DW}$)
对照 Control	44.87±0.00 e	107.39±9.36 d
干旱胁迫 Water stress	52.12±0.06 d	302.98±6.85 a
干旱胁迫 + 0.1% pp333 Water stress + 0.1% pp333	55.45±0.10 c	227.49±8.26 c
干旱胁迫 + 0.3% pp333 Water stress + 0.3% pp333	61.15±0.29 a	221.87±8.94 c
干旱胁迫 + 0.5% pp333 Water stress + 0.5% pp333	57.18±0.07 b	234.04±3.33 b

脯氨酸是最重要的一种渗透调节剂, 当微生物和植物在受到干旱和盐胁迫时, 通常积累大量的脯氨酸^[14], 因此脯氨酸积累对植物抗旱有益。由于脯

氨酸是水溶性最大的氨基酸 (162.3 g/百克水), 25℃易于水合或具有较强的水合力, 植物受到水分胁迫时它的增加有助于细胞或组织持水, 防止脱水, 这有助于提高其抗旱性。当解除植物的干旱环境或给植物复水时, 植物脯氨酸含量往往会恢复到正常供水时的含量或者含量降低^[15,16], 比较提前喷施 pp333 和未喷施 pp333 玉米叶片在干旱条件下脯氨酸含量的变化可以看出, 提前喷施 pp333 的玉米叶片, 脯氨酸含量均较未喷施的为低。说明喷施 pp333, 能在一定程度上缓解干旱对玉米的伤害, 因为水分胁迫期间游离脯氨酸的累积量与水分胁迫程度有关^[17]。当喷施浓度为 0.3% 时, 脯氨酸含量最低, 可溶性糖含量最高。

2.3 pp333 对玉米叶片水分的影响

2.3.1 pp333 对玉米叶片含水量和水分状态的影响 水分是植物生存的最重要条件。植物叶片含水量越高, 植物体内的水分越充足, 越不易受伤害。本文试验结果(表 4)显示, 干旱胁迫下, 水分含量明显下降。但在干旱处理前喷施了 pp333 的玉米叶片, 水分含量明显高于未喷施 pp333 的处理, 且以喷施

0.3% 的效果最好。水分在植物体内的作用, 不但与其数量有关, 也与其存在状态有关。植物体内水分以自由水和束缚水两种状态存在。自由水越多, 植物的代谢就越旺盛。表 4 表明, 干旱胁迫后, 玉米叶片自由水含量明显下降, 喷施 pp333 的玉米叶片, 自由水含量略高于对照水平。这可能是 pp333 能够提高玉米幼苗抗旱性原因之一。

2.3.2 pp333 对玉米叶片失水速率的影响 由图 1 可以看出, 充足灌水条件下, 玉米叶片的失水速率最大, 其次是干旱处理的, 喷施了 pp333 的叶片, 失水速率明显低于未喷施叶片, 喷施浓度为 0.3% 和 0.5% 的效果最好。这种生理效应无疑对提高玉米的抗旱性有积极意义。

2.3.3 pp333 对玉米叶片蒸腾速率的影响 图 2 显示, 无论是否喷施 pp333, 干旱胁迫下, 玉米叶片的蒸腾速率都有所降低。提前喷施 pp333 叶片, 蒸腾速率更低。随着 pp333 浓度增加, 蒸腾速率随之降低。这很有可能是 pp333 促进了气孔的闭合程度, 从而降低了叶片蒸腾速率。

表 4 pp333 对叶片水分含量和水分状态的影响

Table 4 Effect of pp333 on the content of water content and statue of water in corn leaf

处理 Treatment	叶片水分含量 Water content (%DW)	自由水含量 Free water content (%)	束缚水含量 Bound water content (%)
对照 Control	531.22±12.86 a	51.04±0.01 a	33.11±0.01 a
干旱胁迫 Water stress	433.90±11.33 e	49.52±0.15 b	31.74±0.15 a
干旱胁迫+0.1% pp333 Water stress+0.1%pp333	463.25±9.93 d	53.11±0.13 a	29.13±0.13 b
干旱胁迫+0.3% pp333 Water stress+0.3%pp333	516.78±16.08 b	52.89±0.16 a	30.89±0.16 a
干旱胁迫+0.5% pp333 Water stress+0.5%pp333	484.11±10.596 c	52.67±0.23 a	30.38±0.17 a

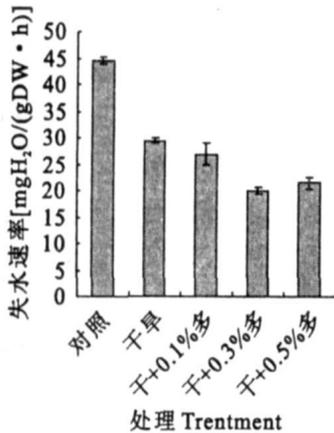


图 1 pp333 对叶片失水速率的影响

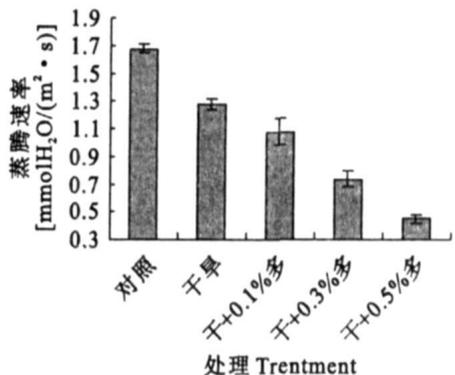


图 2 pp333 对叶片蒸腾速率的影响

Fig.1 Effect of pp333 on the rate of water loss of corn leaf

Fig.2 Effect of pp333 on the transpiration rate of corn leaf

2.4 pp333 对玉米叶片叶绿素含量、光合速率和气孔导度的影响

气孔是控制 CO₂ 和水分进出植物体的通道,是植物体与外界进行气体交换和水分蒸腾的门户,一般情况下,植物根吸水量的 99% 左右都通过气孔以

气态形式散发到体外^[18]。表 5 结果显示,无论是否提前喷施 pp333,干旱胁迫下,玉米的光合速率、气孔导度、叶绿素含量均有所下降。提前喷施 0.3% 的 pp333,光合速率下降最少,气孔导度也最小。

表 5 pp333 对玉米叶片光合速率、气孔导度及叶绿素含量的影响

Table 5 Effect of pp333 on the photosynthesis rate, stomatal conductance and content of chlorophyll of corn leaf

处理 Treatment	光合速率 Photosynthesis rate [$\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 Stomatal conductance [$\text{mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	叶绿素含量 Content of chlorophyll (mg/g FW)
对照 Control	8.31±0.12 (100) a	78.50±1.30(100) a	2.95±0.13(100) a
干旱胁迫 Water stress	5.94±0.44 (71) c	66.35±2.65(85) b	1.59±0.08 (54) d
干旱胁迫+ 0.1% pp333 Water stress + 0.1%pp333	5.80±0.25 (70) c	52.30±1.33 (67) c	2.29±0.09 (78) c
干旱胁迫+ 0.3% pp333 Water stress + 0.3%pp333	6.21±0.56 (75) b	35.15±0.35 (45) e	2.58±0.07 (88) b
干旱胁迫+ 0.5% pp333 Water stress + 0.5%pp333	5.13±0.05 (50) c	47.00±0.20 (60) d	2.20±0.07 (75) c

2.5 pp333 对玉米硝酸还原酶活性的影响

硝酸还原酶(Nitrate reductase, NR)在植物的氮代谢中是核心。本文结果表明,充足灌水条件下,叶片硝酸还原酶活性远高于根系,说明玉米幼苗中硝酸还原的主要部位是叶片。试验结果还表明, NR 对水分胁迫极其敏感,表现在不论是叶片还是根系,干旱胁迫下 NR 活性都较大幅度降低,根系 NR 活性降的更低。但喷施了 pp333 的植株,不论是叶片还是根系,其 NR 活性都较未喷施的要高。这说明, pp333 能在一定程度上减轻干旱胁迫对玉米氮素同化酶的负面影响;同时结果还显示,随着 pp333 喷施浓度的增加,根系 NR 活性变化不大,但是叶片 NR 活性随之增加。

2.6 pp333 对叶宽、茎粗及生物量的影响

生理变化是一个渐进过程,其最终表现是植物的生物量。试验结果表 7、表 8 显示,缺水使玉米生长量受到严重抑制。叶面提前喷施适当浓度的 pp333 可以提高玉米幼苗的抗旱性,表现在叶面提前喷施 pp333 后遇到干旱时,玉米地上部鲜重、干重下降幅度变小,0.3% 浓度提前喷施效果更明显。叶面提前喷施 pp333 也能促进光合产物向根系转移,根冠比显著增加;pp333 抑制叶片的伸长生长,导致叶片宽度增加,长度变短,茎秆变粗、变矮。浓度为 0.5% 时,玉米生长受到抑制。叶片形态上显现出褶皱,物质累积量最少。因此高浓度的 pp333 对玉米生长不利。

表 6 pp333 对叶片和根系 NR 活性的影响

Table 6 Effect of pp333 on the NR activity of corn leaf and root

处理 Treatment	硝酸还原酶活性 Nitrate reductase activity NO ₂ ⁻ [$\mu\text{g}/(\text{g FW} \cdot \text{h})$]	
	叶片	根系
对照 Control	152.50±11.65 100a	18.51±0.00 100 a
干旱胁迫 Water stress	25.79±0.00 27d	1.61±0.00 9c
干旱胁迫+ 0.1% pp333 Water stress + 0.1%pp333	32.78±2.04 21c	4.82±0.00 26b
干旱胁迫+ 0.3% pp333 Water stress + 0.3%pp333	48.32±0.91 32b	3.36±0.29 18b
干旱胁迫+ 0.5% pp333 Water stress + 0.5%pp333	50.40±3.06 33b	4.09±0.15 22b

3 讨论

三唑类生长调节剂能延缓植物地上部的伸长、促进根的生长,其作用机理是抑制贝壳杉烯向异贝壳杉烯转化的 3 个氧化步骤,因而抑制内源赤霉素的合成^[2]。许鸿源^[8]等研究表明, pp333 浸种可以对小麦幼苗在形态和生理学方面产生一系列影响,最终改善其水分状况,提高干旱胁迫下的适应能力。本文试验结果表明,在玉米幼苗期,叶面提前喷施适当浓度 pp333,能够提高玉米苗对干旱的抵抗性。

首先,多效唑有稳定细胞膜结构的功效。质膜是细胞内外物质交换和信息交换的重要场所,是细胞对环境因素变化反应最先的感受器和屏障。因此任何环境因子对组织的影响都会表现在膜透性的变化上。任何逆境胁迫都能导致细胞膜透性的增加。

本文试验结果说明,玉米叶面提前喷施多效唑能够有效的减小玉米在干旱胁迫下的膜透性的增加,似乎暗示多效唑有稳定细胞膜结构的功效。

表 7 pp³³³ 对玉米幼苗生物量的影响
Table 7 Effect of pp³³³ on the biomass of corn

处理 Treatment	根鲜重 Root fresh weight (g fw/plant)	地上部 Shoot fresh weight (g fw/plant)	单株重 Plant fresh weight (g fw/plant)	根干重 Root dry weight (g DW/plant)	地上干重 Shoot dry weight (g DW/plant)
对照 Control	19.30±0.50 _c	33.00±1.50 _a	52.30±1.25 _b	2.85±1.50 _b	5.19±0.10 _a
干旱胁迫 Water stress	13.45±0.72 _d	19.56±1.29 _d	33.01±1.94 _d	2.49±1.29 _b	3.82±0.10 _c
干旱胁迫+0.1% pp ³³³ Water stress + 0.1%pp ³³³	22.74±0.58 _b	27.72±0.77 _c	50.46±0.96 _c	3.76±0.77 _a	5.10±0.05 _a
干旱胁迫+0.3% pp ³³³ Water stress + 0.3%pp ³³³	26.34±0.41 _a	30.55±0.60 _b	56.88±0.75 _a	3.92±0.60 _a	5.06±0.05 _a
干旱胁迫+0.5% pp ³³³ Water stress + 0.5%pp ³³³	18.32±0.59 _b	20.15±0.34 _d	38.47±0.89 _d	3.47±0.34 _a	4.00±0.02 _b

表 8 pp³³³ 对玉米幼苗叶片宽度、茎秆周径的影响
Table 8 Effect of pp³³³ on the width of leaf and circumferences of shoot of corn

处理 Treatment	单株干重 Plant dry weight (g DW/plant)	根冠比 Root top ratio (DW/DW)	叶片宽度 The width of leaf (cm)	茎秆周径 Circumference of shoot (cm)
对照 Control	8.04±0.07 _a	0.55 _d	4.5±0.25 _c	4.5±0.09 _b
干旱胁迫 Water stress	6.31±0.23 _c	0.65 _c	3.6±0.28 _d	3.7±0.13 _c
干旱胁迫+0.1% pp ³³³ Water stress + 0.1%pp ³³³	8.86±0.08 _a	0.74 _b	5.4±0.63 _b	5.6±0.29 _a
干旱胁迫+0.3% pp ³³³ Water stress + 0.3%pp ³³³	8.98±0.10 _a	0.77 _b	6.2±0.60 _a	5.7±0.34 _a
干旱胁迫±0.5% pp ³³³ Water stress±0.5%pp ³³³	7.46±0.13 _b	0.87 _a	4.5±0.11 _c	4.0±0.07 _b

其次,多效唑能增加渗透调节物质的含量。李德全^[12]研究表明,随着土壤干旱的加剧,可溶性糖、Pro 含量增加。本文结果亦表明,在干旱条件下,玉米叶片的可溶性糖、Pro 含量也显著增加。但叶面提前喷施 pp³³³ 后,可溶性糖含量更高,而 Pro 含量有所降低。可溶性糖的增加能够有效降低细胞的渗透势,从而增强组织的持水力。表现在叶片失水速率(图 1)明显低于对照和未提前喷施 pp³³³ 的,尤以 0.3% 的浓度为最佳。提前喷施 pp³³³ 的叶片,其 Pro 含量低于干旱叶片的含量,很有可能是由于提前喷施了 pp³³³ 后,缓解了干旱对氮素同化的负面影响,表现在其提高了根系和叶片在干旱条件下的 NR 活性(表 6),因此在干旱发生时叶片内脯氨酸含量没有纯干旱条件下的含量高。这也弥补了干旱条件下氮源不足对玉米生长的影响。因此推断,pp³³³ 对不同生理代谢过程的干预机制是不相同的。

第三,多效唑能显著增加体内水分含量,改善玉

米体内是水分状态。水是植物进行一切生理过程的物质保障,它参与一切生理过程,同时也是吸收和输送养料的载体。水分多少和存在状态对植物至关重要。提前喷施 pp³³³ 后,能显著改善玉米叶片的水分状况:明显提高干旱条件下玉米的含水量表 4,提前喷施 0.3% 浓度时,叶片含水量仅略小于对照水平,自由水含量也略高于对照。改善叶片水分状况的另一个重要的原因是降低叶片蒸腾速率图 2。结合气孔导度来看,蒸腾速率的降低主要是由于 pp³³³ 降低了气孔导度表 5,从而防止了水分在干旱条件下的过度耗散。由此推断,改善水分状况可能是 pp³³³ 提高作物抗旱性的重要生理机制。植物生长是植物光合产物净积累的宏观结果,且作物产量的形成是一个整体和长期的过程,而生理指标的测定具有瞬时性和局部性的特点^[19]。叶面虽然提前喷施了 pp³³³,但干旱条件下叶片光合速率仍然有所下降,只是在提前喷施 0.3% 时,其光合速率较高,叶绿素含量也较高,气孔导度最小,蒸腾速率较

低。因此在浓度为 0.3% 时,玉米生物量最高。

4 结 论

pp³³³ 提高玉米抗旱性的生理机制主要是缓解了干旱对细胞膜透性的伤害程度,促进了渗透调节物质的累积,最主要的增加了水分含量,改善了体内水分状态,从而缓解了干旱对碳素同化和氮素同化的负面影响,使玉米对干旱的抵抗能力提高。在本研究条件下,0.3% 的 pp³³³ 是提高玉米幼苗抗旱性的最佳浓度。

参 考 文 献:

- [1] 房增国,赵秀芬,高祖明. 多效唑提高植物抗逆性的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2005, (4): 9-12.
- [2] Asamoah T E O, Atkinson D. The effects of (2RS, 3RS)-1-(4-chlorophenyl)-4, 4-dimethyl-2-(1H-1,2,4 triazol-1-yl) pentan-3-ol (Paclobutrazol; PP³³³) and root pruning on the growth, water use and response to drought of Colt Cherry rootstocks[J]. Plant Growth Regulation, 1985, (1): 37-45.
- [3] 于明礼. 多效唑对高羊茅草坪草生长和抗热性的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, (1): 190-191.
- [4] 赵秀芬,房增国,高祖明. 多效唑对稻麦苗期根系活力和叶片 IAA 氧化酶、过氧化物酶活性的影响[J]. 广西农业科学, 2006, (4): 379-381.
- [5] 张剑侠. 多效唑对紫丁香抗旱性的影响[J]. 黑龙江气象, 2007, (4): 35-36.
- [6] 卢少云,陈斯曼,陈斯平. ABA、多效唑和烯效唑提高狗牙根抗旱性的效应[J]. 草业科学, 2003, (3): 100-104.
- [7] 曹翠玲,胡 潇,李红星. B⁹ 与多效唑提高早熟禾抗旱性生理机制的研究[J]. 草业科学, 2004, (10): 78-82.
- [8] 许鸿源,周歧伟,杨美纯. pp³³³ 对小麦幼苗抗旱性的影响[J]. 作物学报, 1995, (1): 124-128.
- [9] 周凤珏,许鸿源,江翠平. 多效唑对木薯若干抗旱性相关生理指标的影响[J]. 广西农业生物科学, 2004, (3): 17-20.
- [10] 高俊凤. 植物生理学试验技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 228-230.
- [11] 沈伟其. 测定水稻叶片叶绿素含量的混合液提取法[J]. 植物生理学通讯, 1988, (3): 62-64.
- [12] 李德全,邹 奇,程兵嵩. 土壤干旱下不同抗旱性小麦品种的渗透调节和渗透调节物质[J]. 植物生理学报, 1992, (1): 37-44.
- [13] 孙国荣,张 睿,姜丽芬. 干旱胁迫下白桦(Betula platyphylla) 实生苗叶片的水分代谢与部分渗透调节物质的变化[J]. 植物研究, 2001, (3): 413-415.
- [14] Nancy H. Roosens, Rudolph Willem, et al. Proline Metabolism in the Wild-type and in a Salt-Tolerant Mutant of Nicotiana glauca Studied by ¹³C-Nuclear Magnetic Resonance Imaging[J]. Plant Physiology, 1999, 121: 1281-1290.
- [15] 李秀菊,姚槐应,孟繁静. 玉米赤霉烯酮浸种对玉米幼苗抗旱性的影响[J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(1): 18-19.
- [16] 赵丽英,邓西平,山 仑. 持续干旱及复水对玉米幼苗生理生化指标的影响研究[J]. 中国农业生态学报, 2004, (3): 59-61.
- [17] 薛吉全,任建宏,马国胜. 玉米不同生育期水分胁迫条件下脯氨酸变化与抗旱性的关系[J]. 西安联合大学学报, 2000, (2): 21-25.
- [18] 张继澍. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 42.
- [19] 曹翠玲,李生秀. 氮素形态对小麦生长中后期的影响[J]. 作物学报, 2003, (2): 258-262.

Promotion of drought tolerance in corn seedling by Paclobutrazol

CAO Cui-ling¹, YANG Li², HU Jing-jiang¹

(College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Environment and Resource, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: An experiment was conducted to study the effect of pp³³³ on promoting drought tolerance of corn seedlings. The results showed that under the water stress the change of the membrane permeability of leaf and root was decreased under sprinkling PP³³³ treatment, and the osmotic substances was increased when pp³³³ sprayed on the leaf beforehand, and the transpiration rate was decreased under the sprinkling pp³³³ treatment, and the chlorophyll content and the photosynthesis rate was higher than those without sprinkling pp³³³ treatment, and the stomata conductance was fall under treatment of spraying pp³³³; under the water stress the nitrate reductase activity had a higher level when the pp³³³ sprayed beforehand. Moreover, under the water stress, the width of leaf, the diameter of shoot and the ratio of root/shoot were all increased, the single biomass of corn seedlings was the same as the control under the treatment of spraying pp³³³ beforehand. The conclusion was drawn that pp³³³ could enhance drought tolerance of corn seedlings, and the 0.3% was the optimal concentration for corn seedlings under this experimental condition.

Key words: pp³³³; corn; drought resistance; physiological mechanism