

冠菌素对玉米基部节间和根部特性的调控研究

陶群 刘盈茹 郭豫灵 周于毅 谭伟明 张明才 段留生*

(中国农业大学 农学院/植物生长调节剂教育部工程研究中心,北京 100193)

摘要 为研究冠菌素(COR)调控玉米节间伸长生长增产的相关机理,在大田条件下,以‘先玉335’和‘郑单958’玉米品种为材料,拔节期叶面喷施不同浓度(0、0.01、0.10、1.00和10.00 $\mu\text{mol/L}$)冠菌素(COR),系统分析对玉米基部节间形态性状、结构物质、抗折断力和根部的性状的影响。结果表明,COR显著提高玉米基部节间的直径、单位节间长度干重、抗折断力、半纤维素含量、纤维素含量和木质素含量,显著降低基部节间长度和节间干重,且随着COR浓度的增加,效应越明显。此外,COR还可促进玉米根系生长,随着COR浓度的增加,玉米植株气生根层数、入土气生根条数、气生根直径、气生根角度、根体积和根干重显著增加。综上所述,‘先玉335’和‘郑单958’对COR的敏感性不同,‘先玉335’抗倒伏的最适浓度为10.00 $\mu\text{mol/L}$,郑单958抗倒伏的最适浓度为1.00 $\mu\text{mol/L}$ 。

关键词 冠菌素; 玉米; 节间性状; 根部特性

中图分类号 S513

文章编号 1007-4333(2019)03-0001-09

文献标志码 A

Study of coronatine in regulating the basal internode and root characteristics of maize

TAO Qun, LIU Yingru, GUO Yuling, ZHOU Yuyi, TAN Weiming,
ZHANG Mingcai, DUAN Liusheng*

(College of Agronomy and Biotechnology/Engineering Research Center of Plant Growth Regulator of Ministry of Education,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to study the mechanism of coronatine (COR) regulating internode elongation and yield increased in maize, a field experiment using maize varieties ‘Xianyu 335’ and ‘Zhengdan 958’ as study objects was conducted to analysis the effects of spraying COR with different concentrations (0, 0.01, 0.10, 1.00 and 10.00 $\mu\text{mol/L}$) at elongation stage on the morphological, structural substance, breaking resistance, and root traits of maize basal internode. The results showed that COR significantly increased the diameter, dry weight per unit internode length, breaking resistance, hemicellulose concentration, cellulose concentration, and lignin concentration, but remarkably decreased the length and dry weight of basal internode. The influencing effect was increased with the increasing of COR concentration. In addition, COR promoted the growth of the maize roots, and significantly increased the number of brace root plies, number of brace root, number of brace root, diameter of brace root, brace root angle, volume of root, and dry weight of root with the increasing of COR concentration. In summary, the optimal COR concentration for ‘Xianyu 335’ for lodging resistance was 10.00 and 1.00 $\mu\text{mol/L}$ for ‘Zhengdan 958’, indicating that different maize varieties had different sensitivity level to COR.

Keywords coronatine; maize; internode characteristics; root characteristics

合理密植是玉米获得高产最简单和有效的途径之一^[1],然而随着种植密度的提高,植株的抗倒伏能

力逐渐降低,倒伏成为限制密植高产的主要因素^[2]。根据倒伏发生的部位和特点,可分为根倒和茎折,相

收稿日期:2018-03-11

基金项目:国家重点研发计划(粮丰)项目(2016yfd0300102-4)

第一作者:陶群,博士研究生,E-mail:shelleytaoqun@163.com

通讯作者:段留生,教授,主要从事生物调节剂及作用机理研究,E-mail:duanlsh@cau.edu.cn

较而言,茎折造成的产量损失比根倒更严重^[3]。茎折可破坏玉米植株的输导系统,阻止根系与地上部的水分和养分运输,造成叶片向果穗输送光合产物减少而减产^[4]。华北平原是我国玉米栽培的主产区,属于温带季风气候,降雨量分布不均,80%集中在夏季,复杂的天气加剧了玉米倒伏的风险,且有研究结果显示,华北平原玉米倒伏80%是茎折,主要发生在地上部3~5节^[5]。

目前,克服玉米倒伏的办法主要有2种:一是通过育种手段,二是采用化学调控技术。研究表明,植物生长调节剂具有调控植株高度、改善茎秆特性、提高叶片光合作用、增加气生根数量、增强植株抗逆能力及提高产量等作用^[6],且相对于育种手段更易于操作。王泳超等^[7]研究发现,增产胺(DCPTA)与矮壮素(CCC)复配提高了玉米的根长、根表面积、根体积和根干重。陈增等^[8]研究证明,健壮素和烯效唑处理均显著降低了玉米的株高和穗位高。卫晓轶等^[9]报道,乙烯利处理显著降低了‘农大108’和‘鲁单981’及其亲本的株高和穗位高,显著抑制了基部第1~6节间的伸长。Early等^[10]研究结果发现,乙烯利有减产效应,且随着乙烯利浓度的增加,产量降低逐渐增大。乙烯利降低产量的负效应主要是由于影响了雌穗的发育,产生了小穗及秃尖瘪粒^[11]。在玉米生产中,应用的抗倒伏调节剂主要是乙烯利及其复配剂。因此,应用新型植物生长调节剂提高玉米抗倒伏能力,同时提高产量是生产上亟需解决的问题。

冠菌素(Coronatine, COR)是通过微生物发酵生产的天然活性物质,是一种潜力巨大的环境友好型植物生长调节剂^[12]。Ferguson等^[13]研究发现, COR处理菜豆幼苗叶片后,乙烯释放量和1-氨基环丙烷-羧酸(ACC)的含量急剧升高。Kenyon等^[14]报道, COR处理烟草幼苗后,其叶片乙烯释放可持续4 d。王庆燕等^[15]证明, COR具有促进玉米苗期根系生长,增加根长和根表面积,促进根系吸收的作用。卫晓轶等^[16]研究表明, COR具有延缓玉米节间伸长的效应。前人在 COR 调控玉米生长方面的研究多集中于茎秆表观性状,其调控机理鲜有报道。

本研究选用2个玉米品种:中株中穗型‘郑单958’和大株大穗型‘先玉335’,研究 COR 对玉米基部节间和根部特性与抗倒伏能力的调控效应,以初步探明 COR 的作用机理,为 COR 在玉米生产上的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试玉米品种为‘郑单958’和‘先玉335’,分别于2016年4月30日和2017年4月28日人工播种,种植密度为67500株/hm²,行距0.6 m,每穴3粒;于三叶期定苗;9月上旬收获。

1.2 试验设计

本试验于2016—2017年在河北省沧州市吴桥县中国农业大学吴桥实验站(37°41′N, 116°37′E)开展。该地区位于暖温带季风气候带,常年降雨量为562 mm,主要分布在6—8月份,年平均气温13.1℃。试验地0~20 cm土层养分状况如下:有机质12.51 g/kg,全氮0.81 g/kg,有效磷44.32 mg/kg和速效钾90.48 mg/kg。

试验采用两因素完全随机区组设计,每处理3个小区重复,小区面积60 m²。供试药剂 COR(原药)由中国农业大学植物生长调节剂教育部工程研究中心提供,经高效液相色谱标定其纯度质量分数为80%,用甲醇稀释并配置成60 mg/L的母液,使用时用水稀释至所需浓度。2016年浓度设置为0(清水对照)、0.01、0.10和1.00 μmol/L,2017年根据2016年的试验结果将浓度调整为0(清水对照)、1.00和10.00 μmol/L,于拔节期(8展叶)时叶面喷施,用量为450 L/hm²。其他田间管理按照当地常规栽培措施进行。

1.3 测定项目与方法

玉米13展叶期(V13)、吐丝期和成熟期,每小区分别随机收获5株玉米植株,切取第9节间(即地上部第3节间)以测定节间化学成分。节间样品80℃烘干至恒重后粉样,过0.25 mm筛,用范氏洗涤法^[24]测定纤维素、半纤维素和木质素含量。成熟期同时测定节间长度、最大直径、最小直径和节间抗折断力,80℃烘干至恒重称取节间干重。

玉米吐丝期,每小区随机收获5株玉米植株,测定气生根层数、入土气生根条数(最上部2层)、气生根直径、气生根角度、根体积和根干重。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 和 SAS 9.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 冠菌素对玉米基部节间性状的影响

如表1所示,2016年,品种间基部第9节间最

大直径、最小直径、节间长度、节间干重、单位节间长度干重和抗折断力差异达极显著水平, COR 处理显著降低节间长度和节间干重, 显著增加玉米基部第 9 节间最大直径、最小直径和抗折断力, 但对单位节间长度干重影响不显著; 1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理与对照相比, 最大直径、最小直径和抗折断力分别增加

17.8%、7.7%和 26.1%, 节间长和节间干重分别降低 24.3%和 17.8%。

如表 2 所示, 2017 年, 品种间基部第 9 节间最大直径、最小直径和抗折断力差异显著, 节间长度、节间干重和单位节间长度干重差异不显著, COR 处理显著增加了基部节间最大直径、最小直径、单位节

表 1 2016 年冠菌素对玉米基部节间性状的影响

Table 1 Effects of COR on morphology-related traits of maize basal internode in 2016

处理 Treatment		最大直径/ mm Maximum diameter	最小直径/ mm Minimum diameter	节间长/cm Internode length	节间干重/g Dry weight of internode	单位节间长度 干重/(g/cm) Dry weight per unit internode length	抗折断力/N Breaking resistance
品种 Cultivar	XY335	24.8 a	21.3 a	11.5 a	4.47 a	0.392 b	379 b
	ZD958	24.0 b	19.6 b	6.9 b	2.94 b	0.428 a	471 a
COR 浓度/ $(\mu\text{mol/L})$ Concentration of coronatine	0	22.9 c	19.6 c	10.7 a	4.10 a	0.390 a	380 c
	0.01	24.3 b	20.3 b	9.4 b	3.78 ab	0.407 ab	407 bc
	0.10	24.9 ab	20.7 ab	8.6 c	3.57 bc	0.419 a	435 b
	1.00	25.6 a	21.1 a	8.1 d	3.37 c	0.423 a	479 a
变异来源 Source of variation	品种 H	**	***	***	***	**	***
	浓度 C	***	**	***	**	NS	***

注: 同列不同字母的平均数之间差异显著 ($P < 0.05$)。*, ** 和 *** 分别表示差异显著 ($P < 0.05$), ($P < 0.01$) 和 ($P < 0.001$), NS 表示无显著差异。下同。

Note: Means within a column followed by different letters are significantly different from each other at 0.05 level. *, significant at 0.05 level. **, significant at 0.01 level. ***, significant at 0.001. NS, no significant ($P > 0.05$). The same below.

表 2 2017 年冠菌素对玉米基部节间性状的影响

Table 2 Effects of COR on morphology-related traits of maize basal internode in 2017

处理 Treatment		最大直径/ mm Maximum diameter	最小直径/ mm Minimum diameter	节间长/cm Internode length	节间干重/g Dry weight of internode	单位节间长度 干重/(g/cm) Dry weight per unit internode length	抗折断力/N Breaking resistance
品种 Cultivar	XY335	23.8 b	21.0 b	9.2 a	6.51 a	0.712 a	479 b
	ZD958	26.3 a	21.3 a	9.3 a	6.47 a	0.703 a	514 a
COR 浓度/ $(\mu\text{mol/L})$ Concentration of coronatine	0	23.4 b	19.7 c	11.2 a	7.56 a	0.677 c	442 c
	1.00	25.6 a	21.6 b	9.4 b	6.62 b	0.708 b	497 b
	10.00	26.2 a	22.2 a	7.2 c	5.30 c	0.738 a	550 a
变异来源 Source of variation	品种 H	***	*	NS	NS	NS	*
	浓度 C	***	***	***	***	**	**

间长度干重和抗折断力,显著降低了节间长和节间干重,且随着 COR 浓度的升高差异越显著。1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理与对照相比,最大直径、最小直径、单位长度节间干重和抗折断力分别增加 9.4%、12.7%、4.6%和 12.4%,节间长和节间干重分别降低了 16.1%和 12.4%;10.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理较对照分别增加了 12.0%、12.7%、9.0%和 24.4%,节间长和节间干重分别降低 35.7%和 29.9%。

2.2 冠菌素对玉米基部节间结构物质的影响

2.2.1 冠菌素对玉米基部节间半纤维素的影响

2016年(表3),品种间基部第9节间半纤维素

含量在吐丝期和成熟期差异显著,在 V13 时期差异不显著,1 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理显著提高了吐丝期和成熟期基部节间半纤维素含量,与对照相比分别增加 2.1%和 4.9%。2017年(表4),品种间基部节间半纤维含量在吐丝期差异显著,V13 和成熟期差异均不显著,COR 处理显著提高了 V13、吐丝期和成熟期基部节间半纤维素含量;1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理在 V13、吐丝期和成熟期基部节间半纤维素含量分别较对照增加 2.9%、4.0%和 2.1%,10.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理分别较对照增加 6.5%、9.1%和 11.2%。

表3 2016年冠菌素对玉米基部节间半纤维素含量的影响

Table 3 Effects of COR on hemicellulose concentration of maize basal internode in 2016

		mg/g		
处理 Treatment		13 展叶 V13	吐丝期 Silking	成熟期 Maturity
品种 Cultivar	XY335	199.7 a	195.7 b	156.4 b
	ZD958	196.4 a	206.4 a	169.0 a
COR 浓度/ ($\mu\text{mol/L}$) Concentration of coronatine	0	198.5 a	199.3 b	160.6 b
	0.01	198.7 a	200.0 ab	160.1 b
	0.10	199.0 a	201.4 ab	161.6 b
	1.00	196.1 a	203.5 a	168.4 a
变异来源 Source of variation	品种 H	NS	***	***
	浓度 C	NS	NS	*

表4 2017年冠菌素对玉米基部节间半纤维素含量的影响

Table 4 Effects of COR on hemicellulose concentration of maize basal internode in 2017

		mg/g		
处理 Treatment		13 展叶 V13	吐丝期 Silking	成熟期 Maturity
品种 Cultivar	XY335	201.4 a	196.2 a	172.0 a
	ZD958	205.3 a	190.6 b	161.3 a
COR 浓度/ ($\mu\text{mol/L}$) Concentration of coronatine	0	197.2 b	185.3 c	159.6 b
	1.00	202.9 b	192.8 b	163.0 b
	10.00	210.1 a	202.1 a	177.5 a
变异来源 Source of variation	品种 H	NS	*	NS
	浓度 C	**	***	*

2.2.2 冠菌素对玉米基部节间纤维素的影响

COR 处理显著提高了 V13、吐丝期和成熟期基部第 9 节间纤维素含量(2016 和 2017 年)。如表 5 所示,品种间 2016 年在 V13 和成熟期差异显著,吐丝期差异不显著,1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理与对照相比,在 V13、吐丝期和成熟期基部节间纤维素含量分

别增加 6.6%、7.2%和 8.3%。表 6 所示,2017 年,品种间在 V13、吐丝期和成熟期差异极显著,1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理在 V13、吐丝期和成熟期与对照相比基部节间纤维素含量分别增加 6.5%、9.0%和 10.8%,10.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理与对照相比,分别增加 12.1%、14.6%和 20.2%。

表 5 2016 年冠菌素对玉米基部节间纤维素含量的影响

Table 5 Effects of COR on cellulose concentration of maize basal internode in 2016

		mg/g		
处理 Treatment		13 展叶 V13	吐丝期 Silking	成熟期 Maturity
品种 Cultivar	XY335	344.7 a	325.9 a	245.9 a
	ZD958	327.9 b	319.8 a	216.1 b
COR 浓度/ $(\mu\text{mol/L})$ Concentration of coronatine	0	326.5 b	313.3 c	223.9 b
	0.01	332.1 ab	315.8 c	226.3 b
	0.10	338.3 ab	326.5 b	231.2 ab
	1.00	348.1 a	335.8 a	242.5 a
变异来源 Source of variation	品种 H	**	NS	***
	浓度 C	NS	***	*

表 6 2017 年冠菌素对玉米基部节间纤维素含量的影响

Table 6 Effects of COR on cellulose concentration of maize basal internode in 2017

		mg/g		
处理 Treatment		13 展叶 V13	吐丝期 Silking	成熟期 Maturity
品种 Cultivar	XY335	346.5 a	328.9 a	242.6 a
	ZD958	334.2 b	315.8 b	223.3 b
COR 浓度/ $(\mu\text{mol/L})$ Concentration of coronatine	0	320.5 c	298.8 c	211.2 c
	1.0	341.4 b	325.6 b	234.0 b
	10.0	359.2 a	342.5 a	253.8 a
变异来源 Source of variation	品种 H	**	***	**
	浓度 C	***	***	***

2.2.3 冠菌素对玉米基部节间木质素的影响

基部第 9 节间木质素含量随生育进程呈现先增加后降低的趋势,吐丝期达到最大值。品种间基部节间木质素含量在吐丝期和成熟期差异显著,V13 时期差异不显著,喷施 COR 显著增加了基部节间木质素含量。2016 年(表 7),1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处

理在 V13、吐丝期和成熟期基部节间木质素含量分别比对照增加了 10.7%、12.6%和 21.1%;2017 年(表 8),1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理在 V13、吐丝期和成熟期基部节间木质素含量分别比对照增加 11.5%、17.2%和 20.7%,10.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理分别比对照增加 24.3%、26.7%和 39.7%。

表 7 2016 年冠菌素对玉米基部节间木质素含量的影响

Table 7 Effects of COR on lignin concentration of maize

		basal internode in 2016			mg/g
处理 Treatment		13 展叶 V13	吐丝期 Silking	成熟期 Maturity	
品种 Cultivar	XY335	24.2 a	42.9 b	26.8 b	
	ZD958	24.6 a	46.4 a	28.8 a	
COR 浓度/ $(\mu\text{mol/L})$ Concentration of coronatine	0	23.3 b	41.9 b	25.1 c	
	0.01	23.8 ab	43.3 b	27.0 b	
	0.10	24.8 ab	46.2 a	28.7 ab	
	1.00	25.8 a	47.2 a	30.4 a	
变异来源 Source of variation	品种 H	NS	***	**	
	浓度 C	NS	***	***	

表 8 2017 年冠菌素对玉米基部节间木质素含量的影响

Table 8 Effects of COR on lignin concentration of

maize basal internode in 2017

mg/g

处理 Treatment		13 展叶 V13	吐丝期 Silking	成熟期 Maturity	
品种 Cultivar	XY335	25.3 a	41.5 b	26.7 b	
	ZD958	25.3 a	46.3 a	30.2 a	
COR 浓度/ $(\mu\text{mol/L})$ Concentration of coronatine	0	22.6 c	38.3 c	23.7 c	
	1.00	25.2 b	44.9 b	28.6 b	
	10.00	28.1 a	48.5 a	33.1 a	
变异来源 Source of variation	品种 H	NS	**	***	
	浓度 C	***	***	***	

2.3 冠菌素对玉米根部性状的影响

如表 9 所示,2016 年,‘先玉 335’和‘郑单 958’在入土气生根条数、根体积和根干重上差异显著,在气生根层数、气生根直径和气生根角度上差异不显著;不同浓度 COR 处理间在入土气生根条数、气生根直径、气生根角度、根体积和根干重上差异显著,在气生根层数上差异不显著;1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理与对照相比气生根层数、入土气生根条数、气生根直径、气生根角度、根体积和根干重分别比对照增加 7.1%、25.6%、10.5%、50.0%、19.2%和 2.1%。如表 10 所示,2017 年,品种间在气生根层数、气生

根直径和气生根角度上差异显著,入土气生根条数、根体积和根干重差异不显著;COR 处理对玉米根部性状影响显著,显著增加了气生根层数、入土气生根条数、气生根直径、气生根角度、根体积和根干重,且随着冠菌素浓度的升高,差异越显著;1.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理与对照相比气生根层数、入土气生根条数、气生根直径、气生根角度、根体积和根干重分别比对照增加 6.9%、28.2%、6.0%、47.5%、20.3%和 25.1%,10.00 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理分别比对照增加 11.1%、44.1%、8.2%、63.9%、37.8%和 49.1%。

表9 2016年冠菌素对玉米根部性状的影响

Table 9 Effects of COR on root traits of maize in 2016

处理 Treatment		气生根层数 Number of brace root plies	入土气生 根条数 Number of brace root	气生根 直径/mm Diameter of brace root	气生根 角度/(°) Brace root angle	根体积/mL Volume of root	根干重/g Dry weight of root
品种 Cultivar	XY335	7.1 a	23.0 b	5.88 a	36.7 a	122.7 b	17.9 a
	ZD958	7.3 a	29.8 a	5.96 a	34.2 a	132.3 a	13.4 b
COR 浓度/($\mu\text{mol/L}$) Concentration of coronatine	0	7.0 b	22.3 b	5.60 c	30.0 b	114.8 b	14.6 c
	0.01	7.0 b	27.7 a	5.86 b	31.7 b	125.8 ab	15.4 bc
	0.10	7.2 ab	27.7 a	6.04 ab	35.0 b	132.3 a	15.8 ab
	1.00	7.5 a	28.0 a	6.19 a	45.0 a	136.8 a	16.7 a
变异来源 Source of variation	品种 H	NS	***	NS	NS	*	***
	浓度 C	NS	**	***	***	*	**

表10 2017年冠菌素对玉米根部性状的影响

Table 10 Effects of COR on root traits of maize in 2017

处理 Treatment		气生根层数 Number of brace root plies	入土气生 根条数 Number of brace root	气生根 直径/mm Diameter of brace root	气生根 角度/(°) Brace root angle	根体积/mL Volume of root	根干重/g Dry weight of root
品种 Cultivar	XY335	7.2 b	22.7 a	6.03 b	44.4 a	141.1 a	21.1 a
	ZD958	8.0 a	21.2 a	6.16 a	39.2 b	141.3 a	22.6 a
COR 浓度/($\mu\text{mol/L}$) Concentration of coronatine	0	7.2 b	17.7 c	5.82 c	30.5 b	118.3 c	17.5 c
	1.00	7.7 ab	22.7 b	6.17 b	45.0 a	142.3 b	21.9 b
	10.00	8.0 a	25.5 a	6.30 a	50.0 a	163.0 a	26.1 a
变异来源 Source of variation	品种 H	*	***	***	***	***	***
	浓度 C	NS	*	NS	NS	NS	**

3 讨论

茎秆性状对玉米植株抗倒伏能力有很大的影响,玉米茎秆质量弱化,提高了倒伏的风险,增加了收获难度和成本^[17]。已有研究表明,玉米基部节间直径,尤其是第9节间(即地上部第3节间)的直径与植株抗倒伏能力显著负相关^[18]。丰光等^[19]研究了20个玉米品种茎秆的主要性状,发现茎秆拉力、穿刺力和茎粗都与倒伏显著相关。李玲等^[20]用乙矮合剂处理玉米植株,显著提高了基部节间的茎

粗和茎秆密度,增强了玉米茎秆的抗倒伏能力。丛艳霞等^[21]研究证明,乙酶合剂显著减少了玉米基部节间的长度,增加了节间的粗度和茎秆强度,提高了玉米植株的抗倒伏能力。徐世宏等^[22]研究结果表明,玉米施用多效唑增加了基部节间直径,增强了茎节的机械强度和抗倒性。汪黎明等^[23]进行试验发现69份玉米自交系的茎秆基部抗推力都与茎秆直径呈显著正相关。White^[24]研究发现,抗倒伏大麦品种的单位节间长度干重高于易倒伏品种,结构性碳水化合物半纤维素、纤维素和木质素的含量与倒

伏关系密切。汪黎明等^[25]报道,节间半纤维素、纤维素和木质素含量等化学成分与茎秆的强度有关。Appenzeller等^[26]证实节间纤维素含量与节间弹性强度有显著相关性。

本研究结果表明,COR处理可以缩短节间长度,增加玉米基部节间直径、单位节间长度干重和抗折断力,提高节间半纤维素、纤维素和木质素的含量,且随着COR浓度的升高效应越显著。通过增强茎秆强度,塑造良好的节间性状,提高玉米的抗倒伏能力,这与前人研究的通过植物生长调节剂来增强基部节间性状的结果是吻合的。

植物根系的主要功能是支持与吸收,影响着地上部生长和植株的抗倒伏能力^[4]。李宁等^[27]研究认为,植物生长调节剂增加了玉米下部的气生根数和总根数,提高了植株的抗倒伏能力。王泳超等^[7]研究表明,DCPTA与CCC复配处理后,玉米植株的根面积、根体积以及根长都高于对照。关于COR对作物根系的促进作用已有相关报道,李相文等^[28]研究表明,COR对增加小麦幼苗干重和根系长度、提高根冠比、扩大根表面积和提高根系活力效应显著。

本研究结果表明,COR处理对玉米根部性状影响显著,显著增加了气生根层数、入土气生根条数、气生根直径、气生根角度、根体积和根干重,与前人研究结果一致,与抗倒伏根部性状吻合,有利于提高玉米的抗倒伏能力。

在本研究中,供试品种‘先玉335’和‘郑单958’对COR的敏感性不同,受环境因素和药剂类型的影响,10.00 $\mu\text{mol/L}$ COR对‘郑单958’产生负效应,同时由于2017年青枯病的发生,以及气候条件和栽培管理技术等的影响,导致2017年与2016年玉米植株性状上的差异。

4 结 论

玉米叶片拔节期喷施COR,可缩短玉米基部节间长度,提高玉米基部节间直径、单位节间长度干重和抗折断力,从而增强茎秆强度,提高玉米植株抗倒伏能力。从根茎性状和品种敏感性来看,大株大穗的‘先玉335’最适COR浓度为10.00 $\mu\text{mol/L}$,中株中穗的‘郑单958’最适COR浓度为1.00 $\mu\text{mol/L}$ 。在实际推广应用前应进行重复试验,同时增加供试品种的种类,对品种敏感性进行验证。

参考文献 References

- [1] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,李耕,董树亭,张吉旺,王敬锋. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(7): 1226-1233
Yang J S, Gao H Y, Liu P, Li G, Dong S T, Zhang J W, Wang J F. Effects of planting density and row spacing on canopy apparent photosynthesis of high-yield summer corn[J]. *Acta Agronomica Science*, 2010, 36(7): 1226-1233 (in Chinese)
- [2] 张倩,张洪生,宋希云,姜雯. 种植方式和密度对夏玉米光合特征及产量的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1235-1241
Zhang Q, Zhang H S, Song X Y, Jiang W. The effects of planting patterns and densities on photosynthetic characteristics and yield in summermaize[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(4): 1235-1241 (in Chinese)
- [3] Beck D L, Darrah L L, Zuber M S. Effect of sink level on root and stalk quality in maize[J]. *Crop Science*, 1987, 28(1): 11-18
- [4] 宋朝玉,张继余,张清霞,陈希群,李祥云,王圣健. 玉米倒伏的类型、原因及预防、治理措施[J]. 作物杂志, 2006(1): 36-38
Song C Y, Zhang J Y, Zhang Q X, Chen X Q, Li X Y, Wang S J. Types, causes, prevention and control measures of maize lodging[J]. *Crops*, 2006(1): 36-38 (in Chinese)
- [5] 叶德练,王庆燕,张钰石,李建民,段留生,张明才,李召虎. 乙烯利和氮肥对玉米基部节间性状和抗折断力的调控研究[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(6): 1-8
Ye D L, Wang Q Y, Zhang Y S, Li J M, Duan L S, Zhang M C, Li Z H. Study of ethephon and nitrogen rate in regulating the basal internode characteristics and breaking resistance of maize [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(6): 1-8 (in Chinese)
- [6] 李俊民,南明慧,刘蕾. 化控药剂对玉米抗倒性及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(12): 2246
Li J M, Nan M H, Liu L. Effects of chemical control agents on lodging resistance and yield of maize[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2005, 33(12): 2246 (in Chinese)
- [7] 王泳超,孟瑶,顾万荣,彭劲翔,魏湜,李晶. DCPTA与CCC复配对寒地春玉米根系生长及茎秆农艺性状的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(2): 156-160
Wang Y C, Meng Y, Gu W R, Peng J X, Wei S, Li J. Effects of mixed compound of DCPTA and CCC on root growth and stem agronomic traits of spring maize in cold area[J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2014, 29(2): 156-160 (in Chinese)
- [8] 陈增,柯永培,袁继超,石海春,段必康,谢冰,杨世民. 玉米健壮素和烯效唑对杂交玉米正红311的株高及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 190-192
Chen Z, Ke Y P, Yuan J C, Shi H C, Duan B K, Xie B, Yang S M. Effects of maize roborant and uniconazole on plant height and yield of hybrid maize Zhenghong 311 in Panxi region[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(4): 190-192 (in Chinese)
- [9] 卫晓轶,张明才,李召虎,段留生. 不同基因型玉米对乙烯利调控反应敏感性的差异[J]. 作物学报, 2011, 37(10): 1819-

- 1827 Wei X Y, Zhang M C, Li Z H, Duan L S. Differences in responding sensitivity to ethephon among different maize genotypes[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(10): 1819-1827 (in Chinese)
- [10] Earley E B, Slife F W. Effect of ethephon on growth and yield of corn[J]. *Agronomy Journal*, 1969, 61(5): 821-823
- [11] Khosravi G R, Anderson I C. Growth, yield, and yield components of ethephon-treated corn[J]. *Plant Growth Regulation*, 1991, 10(1): 27-36
- [12] Koda Y, Takahashi K, Kikuta Y, Greulich F, Toshima H, Ichihara A. Similarities of the biological activities of coronatine and coronafacic acid to those of jasmonic acid[J]. *Phytochemistry*, 1996, 41(1): 93-96
- [13] Ferguson I B, Mitchell R E. Stimulation of ethylene production in bean leaf discs by the pseudomonad phytotoxin coronatine [J]. *Plant Physiology*, 1985, 77(4): 969-973
- [14] Kenyon J S, Turner J G. The stimulation of ethylene synthesis in *Nicotiana tabacum* leave by the phytotoxin coronatine [J]. *Plant Physiology*, 1992, 100(1): 219-224
- [15] 王庆燕, 李建民, 段留生, 张明才, 李召虎. 冠菌素对玉米苗期植株形态建成的调控效应[J]. *农药学报*, 2015, 17(4): 401-408
Wang Q Y, Li J M, Duan L S, Zhang M C, Li Z H. Regulation of bioregulator coronatine on the development of plant morphology in maize seedling[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2015, 17(4): 401-408 (in Chinese)
- [16] 卫晓轶, 张明才, 李召虎, 段留生. 冠菌素对玉米节间伸长和产量性状的影响[J]. *科技导报*, 2011, 29(20): 63-67
Wei X Y, Zhang M C, Li Z H, Duan L S. Effects of coronatine on internode elongation and yield characters of maize [J]. *Science & Technology Review*, 2011, 29(20): 63-67 (in Chinese)
- [17] 勾玲, 赵明, 黄建军, 张宾, 李涛, 孙锐. 玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究[J]. *作物学报*, 2008, 34(4): 653-661
Gou L, Zhao M, Huang J J, Zhang B, Li T, Sun R. Bending mechanical properties of stalk and lodging-resistance of maize (*Zea mays* L.) [J]. *Acta Agronomica Science*, 2008, 34(4): 653-661 (in Chinese)
- [18] 叶德练. 乙烯利和氮肥运筹对玉米氮素吸收利用和基部节间生长的调控研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015
Ye D L. Studies on the nitrogen uptake and utilization and the growth of the basal internode regulated by ethephon and nitrogen management in maize[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015 (in Chinese)
- [19] 丰光, 李妍妍, 景希强, 曹祖波, 卢秉生, 黄长玲. 夏玉米根茎主要性状与倒伏性的关系研究[J]. *河南农业科学*, 2010(11): 20-22
Feng G, Li Y Y, Jing X Q, Cao Z B, Lu B S, Huang C L. Relationship of root and stem characters with lodging resistance of summer maize [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2010(11): 20-22 (in Chinese)
- [20] 李玲, 赵明, 李连禄, 董志强. 乙矮合剂对玉米产量和茎秆质量的影响[J]. *作物杂志*, 2007(5): 51-54
Li L, Zhao M, Li L L, Dong Z Q. Effects of ethylene-chromium mixture on stem quality and yield of maize [J]. *Crops*, 2007(5): 51-54 (in Chinese)
- [21] 丛艳霞, 赵明, 董志强, 孙锐, 李玲, 朱平, 彭畅. 乙酶合剂对东北春玉米干物质积累和茎秆形态的化学调控[J]. *玉米科学*, 2009, 17(5): 85-89
Cong Y X, Zhao M, Dong Z Q, Sun R, Zhu P, Peng C. The plant growth regulation effects of ethylene-gibberellins mixture on dry matter accumulation and chemical regulation of stem shapes of maize in northeast China [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(5): 85-89 (in Chinese)
- [22] 徐世宏, 阮伟江, 吴登, 李朝昌, 苏作琴, 李桂珍. 多效唑在玉米上的应用试验[J]. *广西农业科学*, 1992, 29(6): 264-266
Xu S H, Ruan W J, Wu D, Li C C, Su Z Q, Li G Z. Application test of paclobutrazol in maize [J]. *Journal of Guangxi Agricultural Sciences*, 1992, 29(6): 264-266 (in Chinese)
- [23] 汪黎明, 李建生, 姚国旗, 穆春华, 孟昭东, 刘德友, 戴景瑞. 玉米茎秆与根系抗倒的特性研究[J]. *玉米科学*, 2012, 20(2): 69-74
Wang L M, Li J S, Yao G Q, Mu C H, Meng Z D, Liu D Y, Dai J R. Characterizations of resistance to stalk and root lodging in maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(2): 69-74 (in Chinese)
- [24] White E M. Response of winter barley cultivars to nitrogen and a plant growth regulator in relation to lodging [J]. *Journal of Agronomy Science*, 1991, 116(2): 191-200
- [25] 汪黎明, 姚国旗, 穆春华, 李建生, 戴景瑞. 玉米抗倒性的遗传研究进展[J]. *玉米科学*, 2011, 19(4): 1-4
Wang L M, Yao G Q, Mu C H, Li J S, Dai J R. Advances in genetic research of maize lodging resistance [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(4): 1-4 (in Chinese)
- [26] Appenzeller L, Doblin M, Barreiro R, Wang H, Niu X M, Kollipara K, Carrigan L, Tomes D, Chapman M, Dhugga K S. Cellulose synthesis in maize: Isolation and expression analysis of the cellulose synthase (CesA) gene family [J]. *Cellulose*, 2004, 11(3-4): 287-289
- [27] 李宁, 李建民, 翟志席, 李召虎, 段留生. 化控技术对玉米植株抗倒伏性状、农艺性状及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2010, 18(6): 38-42
Li N, Li J M, Zhai Z X, Li Z H, Duan L S. Effects of chemical regulator on the lodging resistance traits, agricultural characters and yield of maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2010, 18(6): 38-42 (in Chinese)
- [28] 李相文, 李建民, 段留生, 李召虎. 冠菌素诱导冬小麦幼苗抗旱性的初步研究[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(4): 676-679
Li X W, Li J M, Duan L S, Li Z H. Primary study on inducing effect of coronatine on drought tolerance of winter wheat seedlings [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(4): 676-679 (in Chinese)