

冠菌素对玉米苗期植株形态建成的调控效应

王庆燕, 李建民, 段留生, 张明才*, 李召虎

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

摘要:以玉米品种金海5号为材料,采用不同浓度植物生长调节剂冠菌素(COR)拌种和三叶期(V_3)叶面喷施的方法,研究了COR对玉米苗期植株地上部和根系形态建成的影响,分析了其对叶面积、叶绿素含量和可溶性蛋白的调控效应。结果表明:不同浓度冠菌素对玉米幼苗形态建成的调控呈单峰曲线,即低浓度下促进幼苗生长,高浓度下抑制生长。用0.1 mg/L的COR拌种或叶面喷施处理,可促进玉米苗期植株株高和茎粗生长,增加单株叶面积,提高叶片叶绿素和可溶性蛋白含量,促进植株干物质积累。同时,COR可促进玉米苗期根系生长,增加根长和根表面积,进而可有效增加根系吸收能力。研究结果表明,适宜浓度的COR处理可以提高玉米幼苗光合性能,增强根系吸收能力,促进植株地上部和地下部的生长,有利于培育壮苗。

关键词:植物生长调节剂;冠菌素;玉米;幼苗;形态建成;调控效应

中图分类号:S482.8

文献标志码:A

文章编号:1008-7303(2015)04-0401-08

Regulation of bioregulator coronatine on the development of plant morphology in maize seedling

Wang Qingyan, Li Jianmin, Duan Liusheng, Zhang Mingcai*, Li Zhaohu

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

Abstract: The study was conducted to investigate the effects of bioregulator coronatine (COR) on the development of plant shoot and root morphological parameters, and evaluate the regulation of leaf areas, chlorophyll contents and soluble protein content in maize (*Zea mays* L., cv. Jinhai 5) seedling under field conditions. The maize plants were treated with seed dressing or foliar spraying at V_3 stage using different COR concentrations. The regulation of different concentrations of COR on the morphology in maize seedling showed that low concentrations of COR promoted seedling growth, but high concentrations of COR inhibited the growth. Seed dressing or foliar spraying with 0.1 mg/L COR promoted the plant height and the stem diameter growth, increased the leaf area per plant, improved the chlorophyll and soluble protein content in leaves, and enhanced the dry matter accumulation. Thus, COR promoted the maize root growth, increased root length and root surface area, which could effectively increase the absorption ability of the root. These results suggest that COR treatment may be a good strategy for strong seedlings cultivation in maize, by enhancing leaf photosynthetic performance and root absorption ability, which promoted the growth of shoot and root in maize seedling.

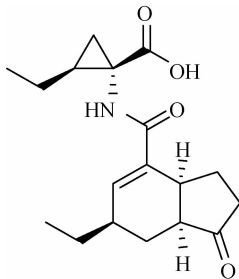
收稿日期:2015-02-08;录用日期:2015-04-13.

作者简介:王庆燕,女,博士研究生,E-mail: wangqyan@aliyun.com; *张明才,通信作者(Corresponding author),男,副教授,博士生导师,主要从事作物化学控制方面研究,E-mail: zmc1214@163.com

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2011AA10A206).

Keywords: plant growth regulator; coronatine; maize; seedling; morphogenesis; effect of bioregulator

冠菌素 (coronatine, 以下简称 COR) (化学名称为 (1*S*, 2*S*)-2-乙基-1-($\{[(3*aS*, 6*R*, 7*aS*)-6-乙基-1-氧代-2,3,3*a*,6,7,7*a*-六氢-1*H*-茛-4-基]羰基\}胺基)环丙甲酸, 是茉莉酸的结构类似物, 由一个含 α -氨基酸的冠烷酸 (coronamic acid, CMA) 和一个聚酮结构的冠菌酸 (coronafacic acid, CFA) 以酰胺键联结而成, 其分子式为 $C_{18}H_{25}NO_4$, 化学结构见 **Scheme 1**^[1]。其生理功能与茉莉酸相似, 但其生理活性远高于茉莉酸及其甲酯, 可引起植物萎黄病和细胞壁加厚, 同时还具有控制植物生长、促进成熟衰老、促进器官脱落和增强植物抗逆性等作用^[2-5]。$



Scheme 1

研究已表明, 外源生长调节物质如烯效唑^[6]、表高油菜素内酯^[7]和脱落酸^[8]等可影响幼苗生长, 促进幼苗发育, 提高幼苗抗性, 培育壮苗。茉莉酸及其甲酯已被证明与植物生长发育的多个进程如种子萌发、根系生长、植株育性、果实成熟和衰老以及植株抗逆性等有关^[9-11]。作为植物生长调节剂, COR 对玉米生长及抗性的影响已有一些研究报道。如汪宝卿等^[12]在用 20% 聚乙二醇 (PEG) 模拟干旱和控制浇水的沙培干旱试验中发现, COR 可通过增加细胞渗透调节能力、降低气孔导度、激活抗氧化酶系统及激素系统的再平衡来提高玉米幼苗的耐旱性。卫晓轶等^[13]发现, 在玉米拔节期用 COR 喷施处理, 可显著降低玉米株高、穗位高度和节间长度, 提高玉米产量。

本研究在大田条件下, 采用不同浓度的 COR 进行拌种和三叶期叶面喷施处理, 通过研究 COR 对春玉米苗期地上部形态建成、生物量积累和根系形成的调控作用, 探讨 COR 对春玉米苗期形态建成的调控效应, 以期对玉米生产中培育壮苗提供新的技术手段。

1 材料与方 法

1.1 供试材料及主要仪器

供试玉米 (*Zea mays* L.) 品种为金海 5 号, 由中

国农业大学玉米中心提供。冠菌素 (coronatine, COR) 由中国农业大学作物化学控制研究中心发酵生产, 分离纯化后经高效液相色谱法标定其纯度质量分数为 91.8%, 用甲醇稀释并配制成 10 mg/L 的母液, 使用时用水稀释至所需浓度。

Yaxin 1241 叶面积仪 (北京雅欣理仪科技有限公司); Epson V700 根系扫描仪 (Seiko Epson Corporation, Japan); SPAD-502 叶绿素仪 (Konika Minolta Sensing Inc., Japan)

1.2 试验设计

试验于 2011 年 4—9 月在河北省沧州市吴桥县中国农业大学吴桥试验站 (37°41'N, 116°37'E) 进行。试验地土质为沙壤土, 其理化性质 (质量分数) 为有机质 15.8 g/kg, 全氮 1.27 g/kg, 有效钾 121.1 mg/kg, 有效磷 40.8 mg/kg。玉米生长季气象条件见图 1。试验采用春玉米单作, 于 4 月 30 日播种, 种植密度为 60 000 株/hm², 行距为 60 cm。播前深翻旋耕, 每公顷施肥质量 (kg) 的比例为 $m(N): m(P_2O_5): m(K_2O) = 220: 90: 90$ 。

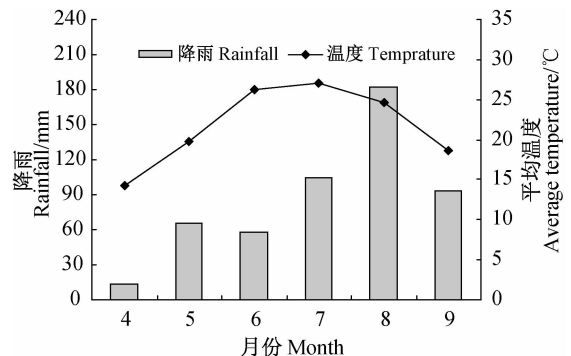


图 1 2011 年春玉米生长季月降雨量和平均温度
Fig. 1 Monthly rainfall distribution (Bar) and mean temperature (Line) during maize growing season in 2011

COR 处理质量浓度分别为 0、0.01、0.1、1 和 10 mg/L; 试验设拌种和三叶期叶面喷施两种处理方式: 1) 拌种处理。于播种前 1 d 按 $V(\text{COR}/\text{mL}): m(\text{种子}/\text{g}) = 1: 50$ 的比例室温拌种过夜。2) 三叶期喷施处理。用药量为 450 kg/hm² (每小区约 1.53 kg)。以喷施等体积的水作为对照。小区面积为 7 m × 4.8 m, 4 次重复, 裂区设计, COR 处理方式为主区。

1.3 测定项目及方法

于三叶期喷施处理后 7 d (4 展叶, V₄) 和 15 d

(6展叶, V_6)时,每小区选长势一致的植株5株整株连根系挖出(以玉米为中心,人工挖取长×宽×深为40 cm×40 cm×40 cm的土体^[14]),地上部用于株高、茎粗、叶面积和干物重调查。株高用卷尺测定生理株高,茎粗用游标卡尺测定茎基部最大直径,叶面积采用 Yaxin 1241 叶面积仪扫描单株所有展开叶及可见叶的展开部分。干物重在 105 °C 下杀青 0.5 h 后于 80 °C 烘至恒重。

根系经冲洗后,用根系扫描仪扫描成像。图片用 WinRHIZO 5.0 (Regent Instruments Inc., Quebec City, Canada) 分析得到根系长度、表面积、直径和根系总容积;然后经烘干称重。

V_4 和 V_6 时期,利用 SPAD-502 叶绿素仪 (Chlorophyll Meter Model SPAD-502, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan) 测定最上部展开叶 SPAD (Soil and Plant Analyzer Development) 值 (叶绿素相对含量);取最上部展开叶叶片中部用于测定可溶性蛋白含量^[15]。

结果用 Excel 2003 分析作图,SSPS 17.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 冠菌素对玉米苗期植株生物量积累的调控

2.1.1 冠菌素拌种处理对玉米植株生物量的影响

结果(表1)表明:在 V_4 期,随着 COR 浓度增加,COR 拌种处理的植株地上部生物量呈下降趋势,其中 1 和 10 mg/L COR 处理的地上部生物量显著 ($P < 0.05$) 低于对照;0.1 和 1 mg/L COR 拌种处理的根冠比显著高于对照 ($P < 0.05$);但 COR 拌种处理对根干重和总生物量影响较小,各处理间差异未达到显著水平。在 V_6 期,10 mg/L COR 拌种处理的地上部干重、根干重和总生物量均显著 ($P < 0.05$) 低于对照,但其他 COR 拌种处理与对照间无显著差异;植株根冠比在各处理间差异均未达到显著水平。

2.1.2 冠菌素叶面喷施处理对玉米植株生物量的影响

由表1数据可看出:在 V_4 期,0.1 mg/L COR 处理植株地上部干重、根干重和总生物量均达到最大值,分别比对照高 36.7%、36.4% 和 42.8%,而后随着处理浓度增加或降低均呈现下降趋势;植株根冠比在各处理间差异未达到显著水平。在 V_6 期,与对照相

表1 冠菌素拌种和叶面喷施处理对玉米苗期植株干物质积累和根冠比的影响

Table 1 Effect of COR on biomass accumulation and R/T of maize seedling treated by seed dressing and foliar spray

冠菌素处理 COR/ (mg/L)	生育时期 Growth stage							
	V_4 stage				V_6 stage			
	地上部干重 Shoot dry weight/g	根干重 Root dry weight/g	总生物量 Total biomass/g	根冠比 R/T	地上部干重 Shoot dry weight/g	根干重 Root dry weight/g	总生物量 Total biomass/g	根冠比 R/T
拌种 Seed dressing								
0	1.31 ± 0.10 a	0.24 ± 0.02 a	1.55 ± 0.17 a	0.17 ± 0.02 b	6.03 ± 0.67 a	0.61 ± 0.08 a	6.80 ± 0.86 a	0.10 ± 0.02 a
0.01	1.34 ± 0.11 a	0.22 ± 0.02 a	1.55 ± 0.20 a	0.17 ± 0.03 b	6.08 ± 0.93 a	0.63 ± 0.13 a	6.91 ± 1.21 a	0.10 ± 0.03 a
0.1	1.23 ± 0.17 ab	0.22 ± 0.02 a	1.48 ± 0.33 a	0.19 ± 0.03 ab	6.71 ± 0.70 a	0.69 ± 0.11 a	7.49 ± 1.10 a	0.10 ± 0.03 a
1	1.13 ± 0.14 b	0.23 ± 0.05 a	1.45 ± 0.37 a	0.20 ± 0.03 a	6.12 ± 0.70 a	0.61 ± 0.13 a	7.11 ± 1.08 a	0.10 ± 0.03 a
10	1.14 ± 0.10 b	0.20 ± 0.04 a	1.35 ± 0.20 a	0.18 ± 0.04 ab	5.13 ± 0.63 b	0.51 ± 0.11 b	5.92 ± 0.73 b	0.10 ± 0.02 a
三叶期喷施 Foliar spraying at V_3 stage								
0	1.28 ± 0.11 b	0.22 ± 0.02 b	1.52 ± 0.13 b	0.17 ± 0.01 a	8.21 ± 0.66 a	0.82 ± 0.12 b	9.00 ± 0.72 ab	0.10 ± 0.01 a
0.01	1.33 ± 0.13 b	0.24 ± 0.03 b	1.56 ± 0.12 b	0.17 ± 0.02 a	8.13 ± 1.51 a	0.86 ± 0.15 b	8.92 ± 1.67 ab	0.11 ± 0.01 a
0.1	1.75 ± 0.29 a	0.30 ± 0.03 a	2.17 ± 0.27 a	0.18 ± 0.02 a	8.34 ± 0.39 a	1.04 ± 0.12 a	9.41 ± 0.50 a	0.11 ± 0.01 a
1	1.71 ± 0.15 a	0.29 ± 0.03 a	2.13 ± 0.19 a	0.16 ± 0.02 a	8.14 ± 0.39 a	0.83 ± 0.07 b	8.97 ± 0.31 ab	0.11 ± 0.01 a
10	1.32 ± 0.18 b	0.22 ± 0.04 b	1.55 ± 0.19 b	0.16 ± 0.02 a	7.03 ± 0.49 b	0.77 ± 0.09 b	7.82 ± 0.40 b	0.11 ± 0.02 a

注:数据经 Duncan 氏新复极差检验,同列不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Data were tested by Duncan's multiple range tests. The different letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

比,10 mg/L COR 处理的地上部干重显著 ($P < 0.05$) 降低,而 0.1 mg/L COR 处理的根干重和总生物量显著 ($P < 0.05$) 提高;植株根冠比各处理间差异未达到显著水平。

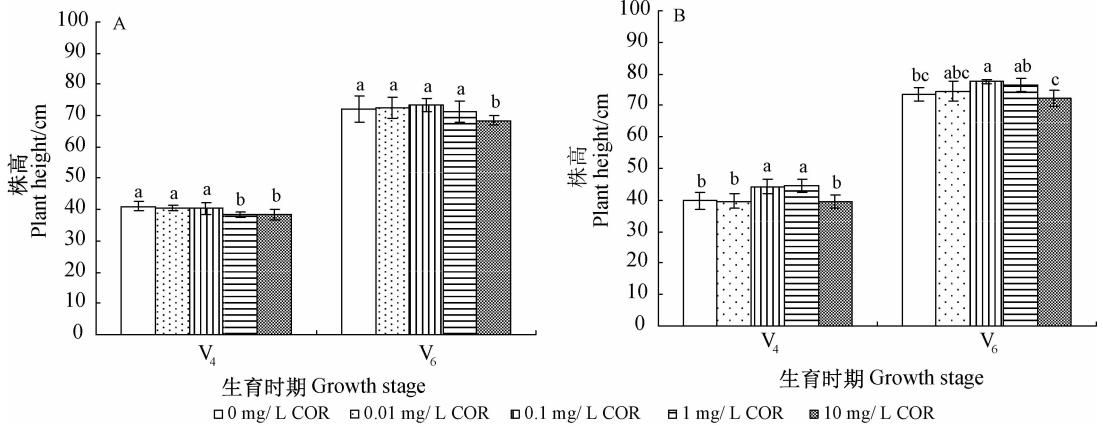
2.2 冠菌素对玉米苗期植株地上部形态的调控

2.2.1 冠菌素对玉米苗期植株株高的调控

图 2A 显示:低浓度 (< 0.1 mg/L) COR 拌种处理对玉米幼苗株高没有显著影响,而 1 mg/L 拌种却显著

($P < 0.05$)降低了 V_4 期玉米株高,但当植株生长至 V_6 期时,处理与对照间在 $P < 0.05$ 水平上差异不显著;10 mg/L COR 拌种处理植株株高在 V_4 和 V_6 期均显著($P < 0.05$)低于对照。图 2B 显示:0.1 mg/L 和 1 mg/L COR 叶面喷施处理显著($P < 0.05$)提高

了 V_4 期植株株高,而其他各处理间差异不显著;在 V_6 期,0.1 mg/L COR 叶面喷施处理植株株高显著($P < 0.05$)高于其他各处理,而 1 mg/L COR 叶面喷施处理植株株高显著($P < 0.05$)高于 10 mg/L COR 处理。



注:数据经 Duncan 氏新复极差检验,不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Data were tested by Duncan's multiple range tests. The different letters indicated significant difference at 0.05 level.

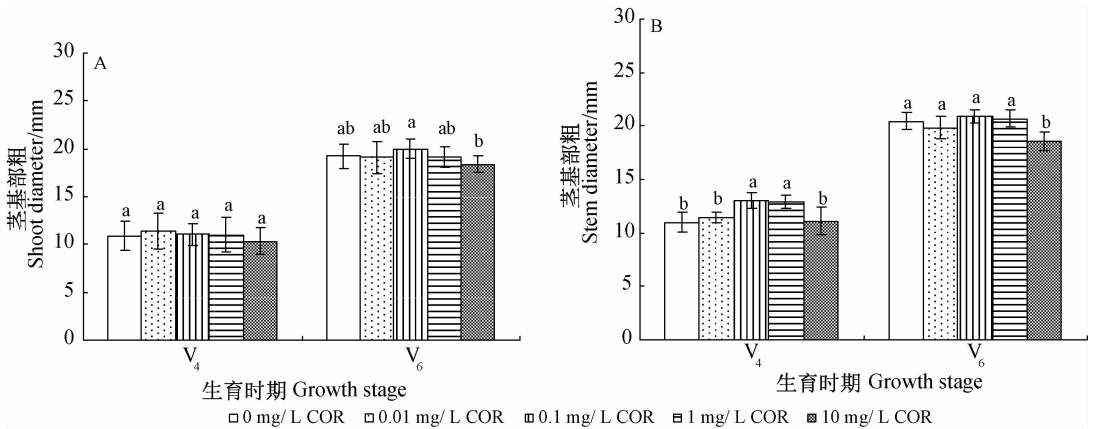
图 2 冠菌素拌种 (A) 和叶面喷施 (B) 对玉米苗期植株株高的影响

Fig. 2 Effect of COR on plant height of maize seedling treated by seed dressing (A) and foliar spraying (B)

2.2.2 冠菌素对玉米苗期植株基部茎粗的调控

COR 拌种处理在 V_4 期的玉米植株基部茎粗与对照相比差异不显著,但在 V_6 期 10 mg/L COR 处理茎粗显著($P < 0.05$)小于 0.1 mg/L COR 处理(图 3 A)。0.1 mg/L 和 1 mg/L COR 叶面喷施处理显著

($P < 0.05$)提高了 V_4 期植株茎粗,而其他各处理间差异不显著;在 V_6 期,10 mg/L COR 叶面喷施处理植株茎粗显著($P < 0.05$)低于其他各处理,其他各处理间差异不显著(图 3B)。



注:数据经 Duncan 氏新复极差检验,不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Data were tested by Duncan's multiple range tests. The different letters indicated significant difference at 0.05 level.

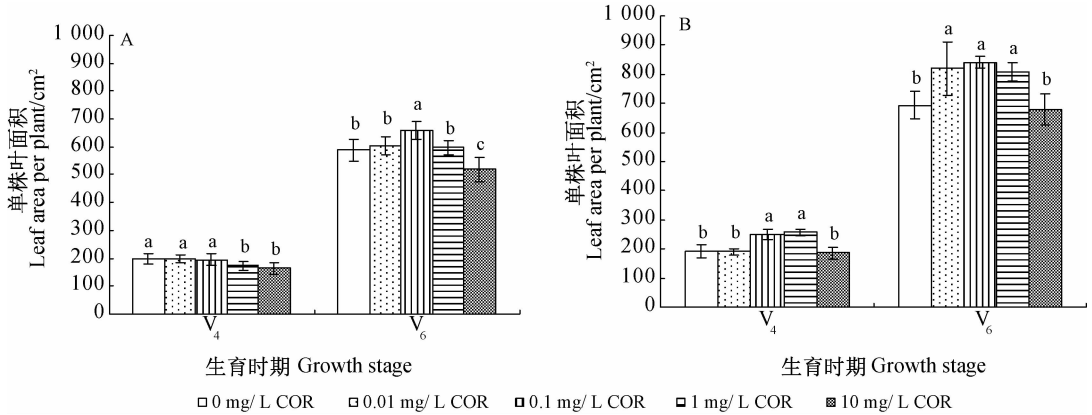
图 3 冠菌素拌种 (A) 和叶面喷施 (B) 对玉米苗期植株茎粗的影响

Fig. 3 Effect of COR on shoot diameter of maize seedling treated by seed dressing (A) and foliar spraying (B)

2.2.3 冠菌素对玉米苗期植株叶面积、叶绿素含量和可溶性蛋白含量的调控

2.2.3.1 冠菌素对玉米植株叶面积的调控 1 mg/L 和 10 mg/L COR 拌种处理 V_4 期植株叶面积分别比对照减少了 13.9% 和 20.0%, 而其他各处理间差异不显著 ($P < 0.05$) (图 4A)。COR 拌种处理在 V_6 期植株叶面积随 COR 质量浓度增大呈单峰曲线, 其中 0.1 mg/L 处理显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理。而 10 mg/L 处理

则显著 ($P < 0.05$) 低于其他处理, 其中分别比对照和 0.1 mg/L COR 处理低 13.4% 和 26.9% (图 4A)。COR 叶面喷施对 V_4 和 V_6 期单株叶面积的调控与拌种处理相似。其中 0.1 mg/L 和 1 mg/L COR 处理的 V_4 期叶面积显著 ($P < 0.05$) 高于其他处理, 而 0.01 mg/L COR 处理的 V_6 期叶面积与 0.1 mg/L 和 1 mg/L COR 处理间没有显著差异, 但均显著 ($P < 0.05$) 高于对照和 10 mg/L COR 处理 (图 4B)。



注: 数据经 Duncan 氏新复极差检验, 不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Data were tested by Duncan's multiple range tests. The different letters indicated significant difference at 0.05 level.

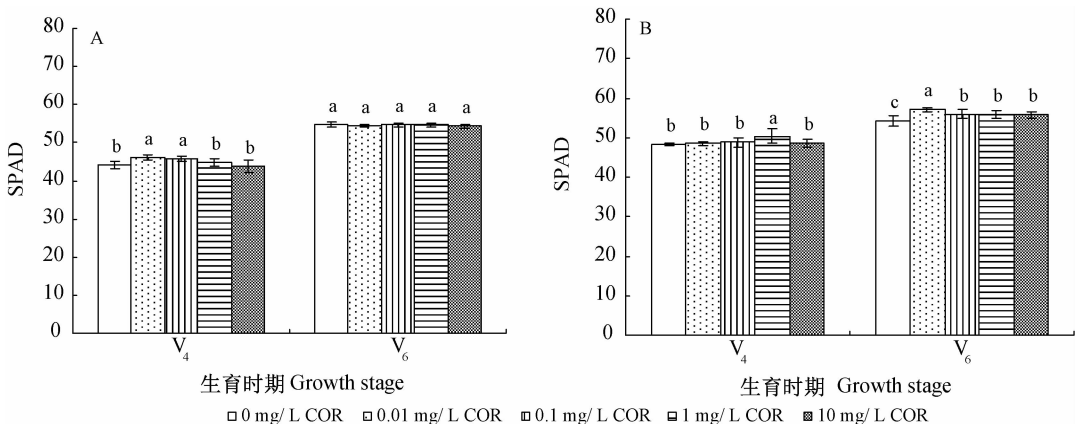
图 4 冠菌素拌种 (A) 和叶面喷施 (B) 对玉米单株叶面积的影响

Fig. 4 Effect of COR on leaf area of maize seedling treated by seed dressing (A) and foliar spraying (B)

2.2.3.2 冠菌素对玉米叶片叶绿素含量的调控

0.01 mg/L 和 0.1 mg/L COR 拌种处理显著 ($P < 0.05$) 提高了 V_4 期叶片中叶绿素相对含量 (SPAD 值), 其他各处理间 SPAD 值在 $P < 0.05$ 水平差异不显著 (图 5A)。而在 V_6 期 COR 各拌种处理与对照间差异均不显著 ($P < 0.05$)。1 mg/L COR 叶面

喷施处理可显著 ($P < 0.05$) 提高 V_4 期叶片的 SPAD 值, 其他各处理间差异不显著; 而在 V_6 期, 0.01 ~ 10 mg/L COR 叶面喷施处理均可显著 ($P < 0.05$) 增加叶片 SPAD 值, 其中 0.01 mg/L 处理叶片 SPAD 值最大 (图 5B)。



注: 数据经 Duncan 氏新复极差检验, 不同字母表示 0.05 水平差异显著。

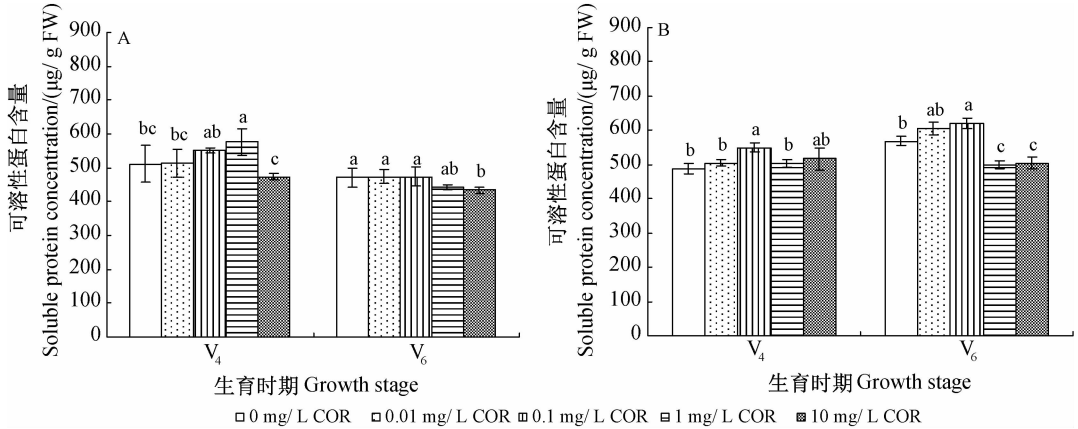
Note: Data were tested by Duncan's multiple range tests. The different letters indicated significant difference at 0.05 level.

图 5 冠菌素拌种 (A) 和叶面喷施 (B) 对玉米叶片叶绿素相对含量 (SPAD 值) 的影响

Fig. 5 Effect of COR on SPAD values in maize seedling treated by seed dressing (A) and foliar spraying (B)

2.2.3.3 冠菌素对玉米植株叶片可溶性蛋白含量的调控 1 mg/L COR 拌种处理显著 ($P < 0.05$) 提高了 V_4 期叶片可溶性蛋白含量 (比对照提高 12.8%), 而 10 mg/L COR 拌种处理则显著 ($P < 0.05$) 降低了叶片可溶性蛋白的含量 (比对照降低 7.9%) (图 6A)。在 V_6 期, 低浓度 (< 1 mg/L) COR 拌种处理对叶片可溶性蛋白含量无显著影响,

但 10 mg/L COR 拌种处理可溶性蛋白含量却比对照下降 8.5%, 差异显著 ($P < 0.05$)。0.1 mg/L COR 叶面喷施处理显著 ($P < 0.05$) 提高了 V_4 和 V_6 期叶片可溶性蛋白含量, 而其他各处理间在 V_4 期无显著差异, 但在 V_6 期, 1 mg/L 和 10 mg/L COR 叶面喷施处理叶片可溶性蛋白含量显著 ($P < 0.05$) 低于其他各处理 (图 6B)。



注: 数据经 Duncan 氏新复极差检验, 不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Data were tested by Duncan's multiple range tests. The different letters indicated significant difference at 0.05 level.

图 6 冠菌素拌种 (A) 和叶面喷施 (B) 对玉米叶片可溶性蛋白含量的影响

Fig. 6 Effect of COR on the soluble protein content in maize seedling treated by seed dressing (A) and foliar spraying (B)

2.3 冠菌素对玉米苗期根系形态建成的调控

COR 处理对玉米苗期总根长、根总表面积、根直径和总容积的调控与地上部形态相似, 也呈现为单峰曲线 (表 2)。在 V_4 期, COR 拌种和三叶期喷施处理的总根长和根总表面积均在 0.1 mg/L COR 处理下达到最大值, 且显著 ($P < 0.05$) 高于其他各处理; 而 COR 拌种和三叶期喷施处理根系平均直径则在 0.01 mg/L COR 处理时达到最大, 但 10 mg/L COR 拌种显著 ($P < 0.05$) 降低根总容积。在 V_6 期, 0.1 mg/L COR 拌种和三叶期喷施处理显著 ($P < 0.05$) 提高了玉米苗期植株总根长、根总表面积和根容积, 其他各处理随着 COR 质量浓度增加或降低均低于 0.1 mg/L COR 处理; 拌种处理根系平均直径随 COR 质量浓度增加有减小趋势, 其中 1 mg/L 和 10 mg/L COR 处理分别比对照减小 12.2% 和 6.3%, 差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

前人研究发现, COR 对植物生长有一定的调控作用, 但不同浓度的 COR 对作物幼苗生长的影响有明显差异。如高浓度的 COR 可抑制水稻幼苗的干物质积累, 而低浓度的 COR 则有一定的促进作

用^[17]。本研究表明: 低浓度 (0.1 mg/L) COR 处理下玉米幼苗的生长包括株高伸长、茎粗和叶面积增大, 根系伸长、增粗, 根表面积增大和生物量积累等均随 COR 质量浓度增大而逐渐升高; 但高浓度 (10 mg/L) COR 处理结果则相反, 表现为对玉米幼苗生长的显著抑制。这与前人的研究相似, 如 Li 等^[17] 研究表明, 用 0.01 和 0.1 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理冬小麦, 可显著增加幼苗干重和根系长度, 提高根冠比, 扩大根表面积。艾林等^[16] 以不同浓度的 COR 对早稻 297 和水稻越富进行浸种处理, 发现低浓度 ($10^{-8} \sim 10^{-7}$ mol/L) 的冠菌素处理可促进早稻幼苗根系生长和干物质积累, 而高浓度 ($\geq 10^{-5}$ mol/L) 的 COR 处理使早稻和水稻幼苗的株高、根系活力、干物质积累均明显降低。

本研究表明, COR 在适宜浓度如 0.1 mg/L 下拌种或叶面喷施均能显著提高玉米植株单株叶面积和叶绿素含量, 同时显著提高了叶片可溶性蛋白含量。由于叶片中可溶性蛋白的 50% 以上是 Rubisco^[18], 这表明 COR 可以调节玉米的光合功能, 从而导致生物量积累显著增加。类似研究如高伟等^[19] 以水稻日本晴为材料, 发现干旱胁迫下 COR 处理可促进幼苗的可溶性蛋白积累, 提高生物

量;周于毅等^[20]对小麦灌浆期高温胁迫的研究发现,灌浆前喷施 0.1 $\mu\text{mol/L}$ COR 可维持小麦旗叶

较高的相对含水量,增强小麦旗叶的光合能力,并最终提高粒重和产量。

表 2 冠菌素拌种和三叶期喷施对玉米幼苗根系形态的影响

Table 2 Effect of COR on root morphology of maize seedling treated by seed dressing and foliar spraying

冠菌素处理 COR/ (mg/L)	生育时期 Growth stage							
	V ₄ stage				V ₆ stage			
	总根长 Length/ cm	根总表面积 Surf area/ cm ²	根直径 Diameter/ mm	根容积 Root volume/ cm ³	总根长 Length/ cm	根总表面积 Surf area/ cm ²	根直径 Diameter/ mm	根容积 Root volume/ cm ³
拌种 Seed dressing								
0	291 ± 32 b	68.7 ± 6.5 b	0.70 ± 0.03 b	1.30 ± 0.14 a	342 ± 25 bc	110 ± 11 b	1.01 ± 0.05 a	2.83 ± 0.41 bc
0.01	286 ± 20 bc	70.7 ± 3.4 ab	0.80 ± 0.05 a	1.35 ± 0.08 a	390 ± 24 a	121 ± 9 ab	0.99 ± 0.08 ab	2.93 ± 0.58 b
0.1	353 ± 6 a	76.8 ± 2.5 a	0.73 ± 0.00 b	1.35 ± 0.05 a	407 ± 30 a	132 ± 11 a	0.98 ± 0.04 ab	3.35 ± 0.23 a
1	273 ± 12 bc	64.8 ± 6.0 b	0.73 ± 0.02 b	1.29 ± 0.09 a	370 ± 35 ab	110 ± 7 b	0.90 ± 0.06 c	2.50 ± 0.48 cd
10	262 ± 20 c	57.6 ± 5.3 c	0.72 ± 0.00 b	1.04 ± 0.07 b	305 ± 37 c	94 ± 7 c	0.95 ± 0.05 bc	2.32 ± 0.20 d
三叶期喷施 Foliar spraying at V ₃ stage								
0	332 ± 28 bc	80.3 ± 6.8 b	0.76 ± 0.05 bc	1.55 ± 0.26 a	459 ± 21 b	137 ± 13 a	0.93 ± 0.04 a	3.27 ± 0.43 a
0.01	351 ± 41 bc	87.6 ± 15.7 ab	0.87 ± 0.04 a	1.67 ± 0.35 a	586 ± 69 a	161 ± 27 a	0.90 ± 0.13 a	3.57 ± 0.98 a
0.1	401 ± 39 a	92.7 ± 9.2 a	0.74 ± 0.03 c	1.74 ± 0.13 a	661 ± 59 a	176 ± 42 a	0.85 ± 0.16 a	3.82 ± 1.20 a
1	372 ± 26 ab	86.7 ± 7.8 ab	0.73 ± 0.06 c	1.57 ± 0.19 a	455 ± 53 b	137 ± 38 a	0.96 ± 0.06 a	3.24 ± 0.97 a
10	326 ± 55 c	82.3 ± 13.3 ab	0.79 ± 0.04 b	1.65 ± 0.31 a	447 ± 44 b	141 ± 27 a	0.92 ± 0.05 a	3.32 ± 0.59 a

注:数据经 Duncan 氏新复极差检验,同列不同字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Data were tested by Duncan's multiple range tests. The different letters in the same column indicated significant difference at 0.05 level.

本研究中,比较 COR 拌种和三叶期叶面喷施两种处理方式发现,COR 拌种处理对地上部的生长包括株高、茎粗和生物量积累等主要表现为抑制作用,但对根系生长包括根长、根表面积和根干重等主要表现为低浓度促进、高浓度抑制作用,并显著提高了根冠比;而三叶期喷施对地上部和地下部均表现为低浓度促进、高浓度抑制作用,对根冠比影响不显著。这可能是由于两方面原因造成的:一方面处理方式和处理部位不同,拌种处理是在种子萌发和幼苗建成初期进行,可能更有利于促进根的生长,而在三叶期进行叶面喷施处理在调控地上和地下部生长的同时对地上部的作用更强;另一方面由于春玉米苗期气温较低,生长较慢,从播种至 V₄ 时期间隔时间较长(31 d),影响了拌种效果,而从三叶期喷施处理至 V₄ 时期间隔时间较短(6 d),COR 对植株生长调控效果显著,而随着时间延长,至 V₆ 期其调控效应减弱。两种处理方式调控效应的结果是类似的。

综上所述,适宜浓度的 COR 拌种或叶面喷施处理可调节玉米苗期植株株高和茎粗生长,增加单株

叶面积,提高叶片叶绿素和可溶性蛋白含量,促进植株干物质积累。同时,COR 促进了玉米苗期根系生长,增加了其根长和根表面积,进而可有效增加根系吸收能力。

参考文献(Reference):

- [1] Ichihara A, Shiraishi K, Sato H, *et al.* The structure of coronatine [J]. *J Am Chem Soc*, 1977, 99(2): 636-637.
- [2] 周于毅,沈雪峰,张明才,等.冠菌素诱导小麦幼苗抗高温胁迫的生理机制[J].*麦类作物学报*, 2011, 31(1): 139-142.
Zhou Yuyi, Shen Xuefeng, Zhang Mingcai, *et al.* Preliminary study of physiological base of heat resistance induced by coronatine in wheat seedlings [J]. *J Triticeae Crops*, 2011, 31(1): 139-142. (in Chinese)
- [3] 齐付国,李建民,段留生,等.冠菌素和茉莉酸甲酯诱导小麦幼苗低温抗性的研究[J].*西北植物学报*, 2006, 26(9): 1776-1780.
Qi Fuguo, Li Jianmin, Duan Liusheng, *et al.* Inductions of coronatine and MeJA to low-temperature resistance of wheat seedlings [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*,

- 2006, 26(9): 1776–1780. (in Chinese)
- [4] 艾林, 李召虎, 李建民, 等. 植物生长物质冠菌素诱导旱稻、水稻幼苗抗旱性的效应及生理机制[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(4): 443–446.
- Ai Lin, Li Zhaohu, Li Jianmin, *et al.* Inducing effect of plant growth substance coronatine on drought tolerance of upland and lowland rice seedlings and its physiological mechanism [J]. *Chinese J Rice Sci*, 2008, 22(4): 443–446. (in Chinese)
- [5] 秦欣, 孙世玲, 宋吉英, 等. 植物生长调节剂冠菌素的研究进展[J]. 山东农业科学, 2008(9): 86–89.
- Qin Xin, Sun Shiling, Song Jiying, *et al.* Research progress of plant growth regulator coronatine [J]. *Shandong Agric Sci*, 2008(9): 86–89. (in Chinese)
- [6] 李青苗, 杨文钰. 烯效唑浸种对玉米苗期形态的调控效应[J]. 中国农学通报, 2003, 19(6): 84–86.
- Li Qingmiao, Yang Wenyu. Effects of soaking seed with uniconazole on maize morphology [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2003, 19(6): 84–86. (in Chinese)
- [7] 邹华文, 张再君. 表高油菜素内酯对玉米幼苗根系内源激素的影响[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(1): 43–45.
- Zou Huawen, Zhang Zaijun. Effects of maize seeds soaked with epihomobrassinolide on endogenous hormone contents in maize seedling roots [J]. *Hubei Agric Sci*, 2007, 46(1): 43–45. (in Chinese)
- [8] Sharp R E, LeNoble M E. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress [J]. *J Exp Bot*, 2002, 53(366): 33–37.
- [9] Wasternack C, Hausk B. Jasmonates and octadecanoids: signals in plant stress responses and development [J]. *Prog Nucleic Acid Res Mol Biol*, 2002, 72: 165–221.
- [10] Yoon J Y, Hamayun M, Lee S -K, *et al.* Methyl jasmonate alleviated salinity stress in soybean [J]. *J Crop Sci Biotechnol*, 2009, 12(2): 63–68.
- [11] Fedina A, Nedeva D, Georgia K, *et al.* Methyl jasmonate counteract UV-B stress in barley seedlings [J]. *J Agrono Crop Sci*, 2009, 195(3): 204–212.
- [12] 汪宝卿, 李召虎, 段留生, 等. 冠菌素对玉米幼苗耐干旱胁迫的诱导效应[J]. 西北植物学报, 2007, 27(4): 740–746.
- Wang Baoqing, Li Zhaohu, Duan Liusheng, *et al.* Induced drought resistance of maize (*Zea may* L.) seedling by coronatine [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(4): 740–746. (in Chinese)
- [13] 卫晓轶, 张明才, 李召虎, 等. 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 Xiaoyi, Zhang Mingcai, Li Zhaohu, *et al.* Effect of coronatine on internode elongation and yield characters of maize [J]. *Sci Technol Rev*, 2011, 29(20): 63–67. (in Chinese)
- [14] Trachsel S, Kaeppler S M, Brown K M, *et al.* Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field [J]. *Plant Soil*, 2011, 341(1–2): 75–87.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- Li Hesheng. Principles and Technology of Plant Physiology and Biochemistry Experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. (in Chinese)
- [16] 艾林, 李召虎, 李建民, 等. 冠菌素对旱稻和水稻幼苗形态及生理指标的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2): 324–328.
- Ai Lin, Li Zhaohu, Li Jianmin, *et al.* Effect of coronatine on morphological and physiological index of upland and lowland rice (*Oryza sativa* L.) seedlings [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2008, 24(2): 324–328.
- [17] Li Xiangwen, Shen Xuefeng, Li Jianmin, *et al.* Coronatine alleviates water deficiency stress on winter wheat seedlings [J]. *J Integr Plant Biol*, 2010, 52(7): 616–625.
- [18] 全光华, 刘锴栋. Rubisco 的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12652, 12746
- Quan Guanghua, Liu Kaidong. The research progress of Rubisco [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2011, 39(21): 12652. (in Chinese)
- [19] 高伟, 张明才, 段留生. 冠菌素诱导水稻幼苗抗旱性的生理效应[J]. 农药学学报, 2012, 14(4): 405–411.
- Gao Wei, Zhang Mingcai, Duan Liusheng. Physiological effect induced by coronatine on drought tolerance of lowland rice seedlings [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2012, 14(4): 405–411. (in Chinese)
- [20] 周于毅, 李建民, 谭伟明, 等. 冠菌素诱导田间灌浆期冬小麦抗高温的生理效应研究[J]. 农药学学报, 2013, 15(6): 643–647.
- Zhou Yuyi, Li Jianmin, Tan Weiming, *et al.* Physiological effect of heat resistance induced by coronatine in wheat [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2013, 15(6): 643–647. (in Chinese)

(责任编辑: 曲来娥)