

彭海涛,陈炜炆,姜永平. 松花菜对铜胁迫的响应及外源水杨酸和赤霉素对铜毒害的缓解效应[J]. 江苏农业科学,2014,42(10):149-152.

松花菜对铜胁迫的响应及外源水杨酸和赤霉素对铜毒害的缓解效应

彭海涛¹, 陈炜炆¹, 姜永平²

(1. 江苏景瑞农业科技发展有限公司, 江苏南通 226322; 2. 江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏南通 226541)

摘要:为了研究铜胁迫对松花菜的毒害以及水杨酸和赤霉素对铜毒害的缓解效应,通过水培试验,用 0.01、0.05、0.25、0.50 mmol/L 的铜处理松花菜幼苗,并用不同浓度的水杨酸和赤霉素诱导 0.50 mmol/L 铜胁迫的幼苗,测定叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖、有机酸、硝酸盐等生理指标。结果表明,铜胁迫可引起这些生理指标的变化,对松花菜幼苗产生不同的毒害效应,水杨酸和赤霉素能够不同程度地缓解铜的毒害。

关键词:松花菜;铜胁迫;水杨酸;赤霉素;生理指标

中图分类号: Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0149-04

铜是高等植物生长发育过程中必需的一种微量元素,在植物生命活动中起着重要的作用。但是在蔬菜种植过程中,大量的铜存在会对植株造成毒害,不但阻碍植株的生长,影响蔬菜的产量和品质,更为严重的是通过食物链危害人类健康。

目前,在一些蔬菜作物上已经进行了铜对植物毒害的研究。铜胁迫不仅能影响小白菜的硝酸盐、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 等品质指标^[1],以及叶绿素、根系活力、抗逆相关因子(SOD、POD、CAT)等生理指标^[2],而且能够破坏叶肉

细胞的超微结构^[3],从而对植物产生危害。另外,铜胁迫对番茄^[4]、黄瓜^[5]、萝卜^[6]、甘蓝^[7]、芥菜^[8]等蔬菜作物的生长发育也具有一定的影响,严重影响了蔬菜生产。外源激素在增强植物的抗逆性过程中发挥着重要作用。水杨酸能够缓解盐胁迫对白菜^[9]、黄瓜^[10]、茼蒿^[11]、番茄^[12]等蔬菜的种子萌发和幼苗生长的影响,赤霉素对盐胁迫下的番茄种子萌发和幼苗生长也具有缓解效应^[13]。

松花菜是花椰菜中的一种,近年来在长江地区迅速推广。有关重金属对松花菜的毒害效应研究较少,铜对松花菜的毒害研究尚未见报道。本试验研究了重金属铜胁迫对松花菜幼苗的叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖、有机酸、硝酸盐等生理指标的影响,以及外源水杨酸和赤霉素对铜毒害的缓解效应,研究结果具有一定的理论和实践意义。

收稿日期:2013-12-27

作者简介:彭海涛(1984—),男,河南濮阳人,博士,中级农艺师,研究方向为蔬菜遗传育种与分子生物学。E-mail: penght2012@163.com。

3 结论与讨论

本研究表明,随着根土空间的增大,各处理的生长指标、干物质积累量及产量贡献率越接近对照。根土空间对结球甘蓝生长指标的影响显著,在不同生育时期,w10 处理各项指标基本小于其他处理,同时 w10 处理的产量与对照相比差异显著。表明结球甘蓝至少需要 20 cm 的根土空间才能获得和对照差异不显著的产量水平,10 cm 的根土空间是不能够满足其产量最大化,这与已研究的结果一致。前人的研究得出,番茄至少需要 30 cm 的根土空间才能获得和对照差异不显著的产量水平^[9],这表明不同蔬菜形成产量所需的根系纵深不同。但纱网隔根只隔断根系的纵向生长,没有限制隔层下的水分向上运移,如果不同根土空间即隔根又隔断隔层上下水分的联系,究竟需要多大的根土空间才能满足结球甘蓝的生长及产量的形成有待进一步研究。本试验得出 20 cm 的根土空间就能满足结球甘蓝产量形成,在生产中如果有相应的灌水设备,使结球甘蓝每次灌水时的灌水量只渗到地面 20 cm 以内空间,这样即减少了水分的渗漏,降低了灌水量,同时又满足了结球甘蓝的生长发育和产量的形成,同时这为蔬菜节水生产提供新途径和方法。

参考文献:

- [1] 马占元. 日光温室实用技术大全[M]. 石家庄:河北科学技术出版社,1997:492-493.
- [2] 许振柱,李长荣,陈平,等. 土壤干旱对冬小麦生理特性和干物质积累的影响[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(1):113-118,123.
- [3] 赵雅节. 灌水量对温室不同秧苗类型黄瓜生长品质及产量的影响[J]. 河北农业科学,2011,15(9):30-33.
- [4] 贾金生,刘昌明,王会肖. 夏玉米水分胁迫效应的试验研究[J]. 中国生态农业学报,2002,10(2):97-101.
- [5] 代艳侠. 膜下沟灌中不同灌水量对黄瓜生长势和产量的影响[J]. 中国蔬菜,2010(21):51-54.
- [6] Clothier B E, Green S R. Root zone processes and the efficient use in irrigation water[J]. Agriculture Water Manage,1994,25:1-12.
- [7] 张俊花. 冀西北坝上高寒区萝卜和甘蓝地膜覆盖节水生产研究[D]. 保定:河北农业大学,2006.
- [8] 王小安. 甘蓝密植节水高效栽培技术[J]. 中国蔬菜,2007(7):46-47.
- [9] 范凤翠. 设施蔬菜控灌灌水机理与研究技术[D]. 保定:河北农业大学,2010.

1 材料与方法

1.1 试验材料

松花菜种子雪丽购自浙江神良种业有限公司。将种子在净水中浸泡 4 h, 然后用 55 ℃ 温水浸种 15 min, 再置于 25 ℃ 的培养箱中催芽 24 h, 萌发的种子播种于装有相同基质的穴盘中。

1.2 铜胁迫处理

待幼苗长至 4 叶真叶期, 从穴盘中取出, 用清水小心冲洗干净根部泥土, 用 1/2 Hoagland 完全营养液进行水培, 培养 3 d 后, 在营养液中分别加入不同浓度的铜 SO_4 进行处理, 使得营养液中铜的浓度分别为 0.01、0.05、0.25、0.50 mmol/L, 以不加入铜的处理作为对照 (CK)。所有处理均在相同的环境条件下进行, 每个处理设 3 个生物重复。处理 5 d 后, 进行拍照和生理指标测定。

1.3 水杨酸和赤霉素诱导铜胁迫下的松花菜生理指标

在 0.5 mmol/L 铜处理的幼苗营养液中, 分别加入水杨酸

(0.1、0.5、1.0、2.0、3.0 mmol/L) 和赤霉素 (50、100、150 mmol/L)。所有处理均在相同的环境条件下进行, 每个处理设 3 个生物重复。处理 5 d 后, 进行生理指标测定。

1.4 测定方法

采用丙酮乙醇混合液法测定叶绿素含量, 考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白, 蒽酮比色法测定可溶性糖, 酸碱滴定法测定有机酸, 紫外分光光度法测定硝酸盐含量。

2 结果与分析

2.1 铜胁迫对松花菜表型的影响

在胁迫处理 5 d 后, 0.25 mmol/L 铜处理的松花菜叶片开始表现出明显的毒害症状, 叶片变薄、失水、失绿, 并有灰色圆斑, 0.50 mmol/L 铜处理的松花菜受到的毒害更加严重, 而 0.01 mmol/L 和 0.05 mmol/L 铜处理的松花菜几乎没有毒害症状 (图 1), 表明松花菜对铜的富集效应阈值在 0.05 ~ 0.25 mmol/L 之间。

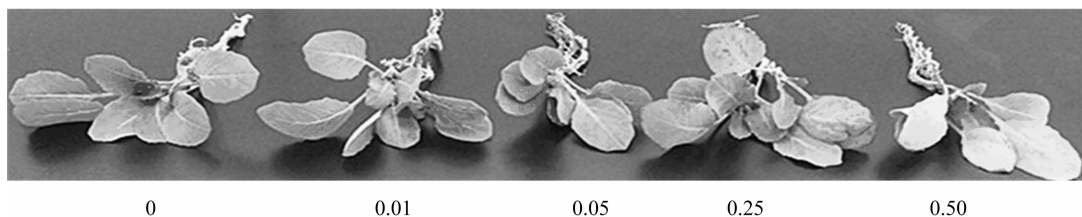


图1 不同浓度 (0、0.01、0.05、0.25、0.50 mmol/L) 铜胁迫 5 d 对松花菜表型的影响

2.2 铜胁迫对松花菜生理指标的影响

从铜处理后松花菜叶片的表型来看, 叶片变薄、失绿, 表明叶绿素的含量明显减少 (图 1)。测定的叶绿素含量变化趋势和叶片表型完全一致, 在 0.25、0.50 mmol/L 铜处理下, 叶绿素含量显著降低 (图 2-A)。

和对照相比, 低浓度铜处理几乎不影响可溶性蛋白的含量, 当浓度升高到 0.50 mmol/L 时, 可溶性蛋白含量明显增加 (图 2-B), 这与镉、锌胁迫处理的小白菜中可溶性蛋白含量的变化趋势相同^[1,14]。植物体内可溶性蛋白质含量的提高可以降低细胞渗透势, 增加功能蛋白数量, 有助于维持细胞正常代谢, 从而提高植物抗逆性。结合铜胁迫下松花菜的表型变化, 0.50 mmol/L 铜处理时可溶性蛋白含量的增加, 可能是由于高浓度铜的毒害作用较强, 严重影响到植物的生理代谢, 植物自身的防御机制需要通过增加功能蛋白数量来增强抗逆性。

铜胁迫对松花菜中可溶性糖含量的影响呈现“低浓度促进、高浓度抑制”的趋势, 0.01 mmol/L 铜处理促进了可溶性糖含量的增加, 随着浓度的增加, 铜对可溶性糖积累的促进作用消失 (图 2-C)。可溶性糖是植物体内的一种主要的渗透调节物质, 在低胁迫条件下渗透调节物质含量增加, 可以提高细胞液浓度, 降低渗透势, 是一种对外界胁迫的适应性调节。而高胁迫条件下可溶性糖含量减少, 可能是由于高浓度铜抑制了松花菜的生长, 叶绿素减少, 光合能力下降, 光合产物减少, 导致可溶性糖含量减少。从铜胁迫下叶片表型和叶绿素含量变化也可推断可溶性糖含量的变化。

有机酸是蔬菜品质的重要指标。0.05 mmol/L 铜处理

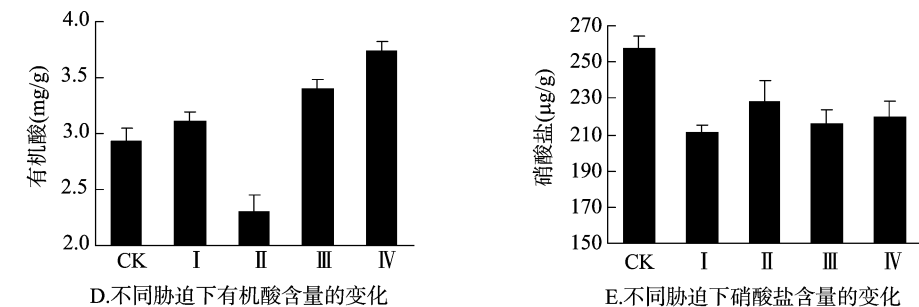
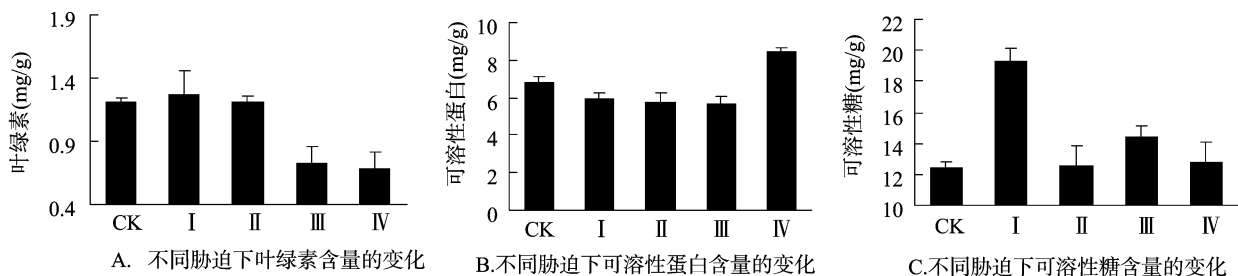
下, 有机酸含量减少, 可能是由于低浓度铜的毒害作用减弱了植株的代谢活动, 导致有机酸含量下降; 而在高浓度 (0.50 mmol/L) 铜胁迫下, 生成了大量有机酸 (图 2-D)。据研究, 植物在受到重金属胁迫时, 自身会生成大量有机酸来增强抗逆性^[15], 0.50 mmol/L 铜胁迫下有机酸含量的增加, 可能是植物体生成有机酸来缓解铜的毒害。

和对照相比, 铜处理抑制了植物体内硝酸盐的积累, 而不同浓度处理下硝酸盐含量变化不明显 (图 2-E)。硝酸盐为植物体生命活动提供氮源, 可能是铜胁迫抑制了植物体的生命活动, 同时减少了硝酸盐的积累。

2.3 外源水杨酸和赤霉素对铜胁迫下松花菜生理指标的影响

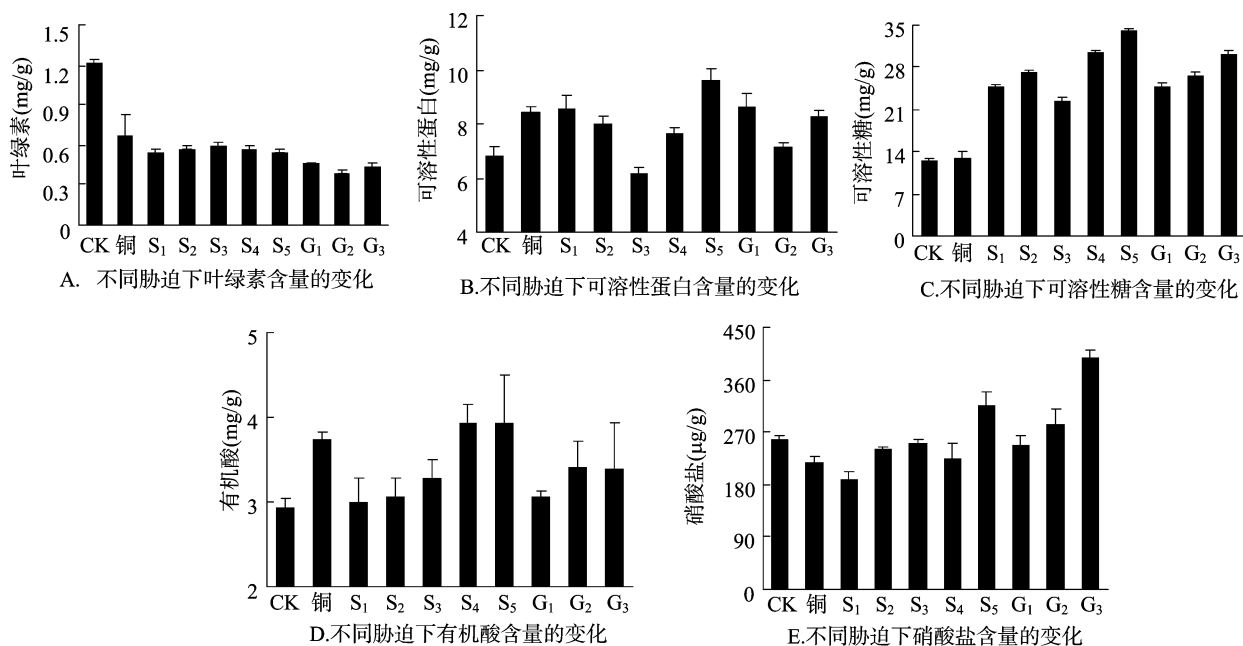
水杨酸和赤霉素在植物的抗逆性中发挥重要作用, 并且从表型来看, 0.5 mmol/L 铜处理对松花菜产生了较强的毒害性, 因此, 选择研究外源水杨酸和赤霉素对 0.5 mmol/L 铜胁迫下松花菜的影响。铜处理降低了叶片中叶绿素的含量, 加入水杨酸或赤霉素均不能缓解铜的毒害作用, 反而由于激素浓度的增加到一定程度, 叶绿素含量有减少的趋势 (图 3-A)。这与水杨酸对小白菜抗铅胁迫的诱导研究结果相同, 即 1.5 mmol/L 水杨酸不能缓解 0.3 mmol/L 铅胁迫对小白菜幼苗的毒害, 反而更加减少了叶绿素含量^[16], 表明铜对松花菜的毒害具有剂量效应, 一旦铜的浓度高于阈值, 对叶绿素的毒害将不可逆转, 加入的水杨酸和赤霉素起到了加重毒害的作用。

水杨酸和赤霉素诱导铜胁迫下松花菜可溶性蛋白含量的变化趋势相同 (图 3-B), 即随着水杨酸和赤霉素浓度的增



CK: 对照; I: 0.01 mmol/L 铜; II: 0.05 mmol/L 铜; III: 0.25 mmol/L 铜; IV: 0.50 mmol/L 铜。

图2 不同浓度铜处理对松花菜生理指标的影响



CK: 对照; 铜: 0.5 mmol/L 铜; S₁: 0.5 mmol/L 铜 + 0.1 mmol/L 水杨酸; S₂: 0.5 mmol/L 铜 + 0.5 mmol/L 水杨酸; S₃: 0.5 mmol/L 铜 + 1.0 mmol/L 水杨酸; S₄: 0.5 mmol/L 铜 + 2.0 mmol/L 水杨酸; S₅: 0.5 mmol/L 铜 + 3.0 mmol/L 水杨酸; G₁: 0.5 mmol/L 铜 + 50 mmol/L 赤霉素; G₂: 0.5 mmol/L 铜 + 100 mmol/L 赤霉素; G₃: 0.5 mmol/L 铜 + 150 mmol/L 赤霉素。

图3 外源水杨酸和赤霉素对 0.5 mmol/L 铜胁迫下松花菜生理指标的影响

大,可溶性蛋白含量呈先减少后增加趋势。可能是由于高浓度激素与铜形成的复合伤害有关。对其他一些蔬菜作物如小白菜^[16]、黄瓜^[17]、菜豆^[18]等的研究中,也有类似的结论。

可溶性糖是植物体内的能量物质,主要由光合作用合成。水杨酸和赤霉素诱导并不能增加叶片内叶绿素的含量(图 3-A),却能够在一定范围内增加可溶性糖的含量(图 3-C),表明水杨酸和赤霉素诱导可增强其他糖代谢途径,同时也表明抗逆性的增强。

低浓度水杨酸处理能够使有机酸含量降低,处于和对照相同的水平,可能是水杨酸诱导缓解了铜的毒害作用;而高浓度水杨酸诱导下,有机酸含量水平与仅用 0.5 mmol/L 铜胁迫下的水平相同,表明高浓度水杨酸可能对植株形成了毒害作用,导致植株生成有机酸来增强抗逆性。赤霉素的诱导作用与低浓度水杨酸诱导作用相同(图 3-D)。

水杨酸诱导对硝酸盐含量的变化无明显作用,而赤霉素诱导下硝酸盐含量高于对照(图 3-E),表明赤霉素能够诱导

植物体内硝酸盐的生成。有研究表明,外源赤霉素能够抑制硝酸盐的生成^[19],与本试验结论相反,表明本试验中赤霉素与铜可能形成了复合型产物毒害植株,导致硝酸盐含量升高。

3 讨论与结论

有研究表明,当土壤中重金属浓度超过植物富集所能达到的临界值,甚至高出几倍的情况下,植物表现出明显的重金属毒害症状;当重金属浓度低于植物富集所能达到的临界值时,受重金属胁迫的植物表现出与普通植物相同的特征^[20]。本试验中,当铜的浓度达到 0.25 mmol/L 以上时,松花菜才表现出明显的毒害症状(图 1),表明 0.25 mmol/L 铜超过了松花菜对铜的富集能力,富集阈值在 0.05 ~ 0.25 mmol/L 之间,铜胁迫对松花菜的毒害具有剂量效应。

铜胁迫导致松花菜叶片变黄(图 1),表明铜促使叶绿素降解,叶绿素含量的测定结果也证明了这一结论(图 2-A),外源水杨酸或赤霉素不能缓解铜对叶绿素的毒害效应(图 3-A)。然而,水杨酸和赤霉素能诱导铜胁迫下可溶性糖含量增加(图 3-C),表明它们可能是通过激发其他的糖代谢途径来促进糖的积累,而不是通过叶绿体的光合作用来实现的。

铜胁迫能够激发松花菜叶片中可溶性蛋白含量的增加(图 2-B),可能是通过降低细胞渗透势和增加功能蛋白数量来增强植株的抗逆性。在一定范围内,低浓度水杨酸或赤霉素能够减少可溶性蛋白的含量,高浓度则促进可溶性蛋白含量的增加(图 3-B),可能是由于低浓度激素处理减缓了铜的毒害效应,而高浓度激素本身具有毒害作用,通过促进可溶性蛋白的增加来增强抗逆性。植物体内的有机酸能够通过螯合作用与重金属形成螯合物,从而减缓重金属对植物的影响^[21]。在低浓度(0.05 mmol/L)铜胁迫下,有机酸与铜形成了螯合物,导致有机酸的含量低于对照;随着铜浓度的增加,植物需要产生大量的有机酸来螯合铜,从而增强抗逆性。低浓度的水杨酸和赤霉素能够缓解铜的毒害,从而使有机酸含量降低(图 3-D)。铜胁迫能够抑制植物体内硝酸盐的生成(图 2-E),而激素处理反而会在一定范围内增加硝酸盐含量(图 3-E),表明激素处理缓解了铜的毒害效应。由于硝酸盐能够危害人体健康,因此生产中通过施用水杨酸或赤霉素来缓解铜的毒害时,需要控制最适施用量。

总之,重金属铜胁迫能够对松花菜的叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖、有机酸和硝酸盐等生理指标产生影响,对植株产生毒害作用,通过外施一定浓度的水杨酸或赤霉素能够缓解铜的毒害。在外施水杨酸或赤霉素的过程中,需要通过试验来确定最适的激素浓度,否则有可能加重毒害或者起不到缓解毒害的效果。

参考文献:

[1]徐磊,林义章.铜胁迫对小白菜品质相关指标的影响[J].中

国农学通报,2009,25(14):161-163.

- [2]徐磊.铜胁迫对小白菜生理生化指标的毒害作用[D].福州:福建农林大学,2003:17-28.
- [3]林义章,张淑媛,朱海生.铜胁迫对小白菜叶肉细胞超微结构的影响[J].中国生态农业学报,2008,16(4):948-951.
- [4]崔秀敏,吴小宾,李晓云,等.铜、镉毒害对番茄生长和膜功能蛋白酶活性的影响及外源 NO 的缓解效应[J].植物营养与肥料学报,2011,17(2):349-357.
- [5]张自坤,刘作新,张颖,等.铜胁迫对嫁接和自根黄瓜幼苗光合作用及营养元素吸收的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(1):135-139.
- [6]张建新,纳明亮,徐明岗.土壤 Cu Zn Pb 污染对蔬菜根伸长的抑制及毒性效应[J].农业环境科学学报,2007,26(3):945-949.
- [7]孙建云,沈振国.铜胁迫下甘蓝幼苗生长和铜吸收的基因型差异[J].西北植物学报,2005,25(10):2003-2009.
- [8]李红,冯永忠,杨改河,等.铜胁迫对芥菜光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(8):1630-1635.
- [9]董建新,王彦华,闫春萍.水杨酸对盐胁迫下大白菜种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].现代农业科技,2013(6):74,79.
- [10]孙丽娜,曲敏,任广涛,等.水杨酸对盐胁迫下黄瓜种子萌发和幼苗生长发育的影响[J].东北农业大学学报,2006,37(4):449-453.
- [11]任艳芳,何俊瑜.外源 SA 对盐胁迫下莴苣种子萌发和幼苗生长的影响[J].北方园艺,2008,11(11):11-13.
- [12]张林青.水杨酸浓度对盐胁迫下番茄幼苗形态建成的影响[J].江苏农业科学,2012,40(6):125-127.
- [13]陈淑芳.GA 诱导 NaCl 胁迫下黄瓜种子萌发和幼苗耐盐性效应[J].西北植物学报,2008,28(7):1429-1433.
- [14]谢建治,李博文,刘树庆.Cd、Zn 污染对小白菜营养品质的影响[J].华南农业大学学报,2005,26(1):42-45.
- [15]汪建飞,沈其荣.有机酸代谢在植物适应养分和铝毒胁迫中的作用[J].应用生态学报,2006,17(11):2210-2216.
- [16]夏瑾华,叶利民,俞晓凤.水杨酸对小白菜抗铅胁迫的诱导[J].亚热带植物科学,2012,41(1):36-38.
- [17]汤绍虎,周启贵,孙敏,等.外源 NO 对渗透胁迫下黄瓜种子萌发、幼苗生长和生理特性的影响[J].中国农业科学,2007,40(2):419-425.
- [18]张凤银,陈禅友,胡志辉,等.外源水杨酸对盐胁迫下菜豆种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].东北农业大学学报,2013,44(10):39-43.
- [19]张鑫,翟瑞常,郑殿峰,等.植物生长调节剂对大豆根系氮代谢相关指标的影响[J].大豆科学,2010,29(3):433-436.
- [20]郭水良,黄朝表,边媛,等.金华市郊杂草对土壤重金属元素的吸收与富集作用(I)6 种重金属元素在杂草和土壤中的含量分析[J].上海交通大学学报:农业科学版,2002,20(1):22-29.
- [21]Huang J, Cunningham S. Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation[J]. New Phytologist, 1996, 134(1): 75-84.