

# 铜基营养叶面肥对辣椒光合特性、产量、品质及防病效果的影响

马强<sup>1</sup>, 李洪杰<sup>1</sup>, 张民<sup>2</sup>, 王薇<sup>1</sup>, 赵同凯<sup>1</sup>, 李子双<sup>1</sup>, 周晓琳<sup>1</sup>, 路艳艳<sup>2</sup>

(1. 德州市农业科学研究院, 山东 德州 253015;

2. 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

**摘要:** 通过连续 2 年的田间试验, 采用随机区组设计, 设置 6 个处理, 以喷清水为对照, 研究了 3 种铜基营养叶面肥及传统波尔多液和美国商品铜制剂 Kocide 2000 对辣椒产量、品质、叶片叶绿素含量及光合特性、微量元素的含量及积累量、防病效果以及对土壤酶活性的影响。结果表明, 喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒叶片叶绿素含量, 以 CFFe 处理增加最多, 最高增幅为 20.13%, 其次为 CFZnB 处理, 增幅为 16.19%~18.13%; 还可显著增加辣椒叶片的光合速率、气孔导度和蒸腾速率, 显著降低胞间 CO<sub>2</sub> 浓度。喷施 BDM、KCD、CF、CFFe、CFZnB 可以显著增加辣椒各器官全铜含量及积累量; 喷施 CFZnB、CFFe、CF、KCD 可以显著增加辣椒各器官全锌含量及积累量; 喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒各器官全铁含量及积累量。喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 及 BDM 能显著降低辣椒初果期和盛果期的病情指数。CFFe、CFZnB 处理土壤脲酶活性最高; 各处理及 CK 土壤过氧化氢酶活性均比 BDM 处理增加显著; CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理土壤蔗糖酶活性均比 CK 增加显著。CFFe 处理辣椒营养品质最好, 其次为 CFZnB 处理。喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒产量, 以 CFFe 处理增产最多, 最大增幅为 13.22%; 其次为 CFZnB 处理, 增幅为 11.93%~12.52%。喷施 CFFe、CFZnB、CF 可以显著增加辣椒产量, 以 CFFe 处理增产最多, 其次为 CFZnB 处理; 喷施 CFFe、CFZnB、CF 可以显著改善辣椒的品质, CFFe 处理的辣椒营养品质最好; 其次为 CFZnB 处理; 山东农业大学研制的铜基营养叶面肥作为一种杀菌防病和植物营养保健双重功能的叶面肥, 既能显著增加辣椒产量、改善辣椒品质, 又具有一定的杀菌防病效果, 推荐使用加铁铜基营养叶面肥和加锌硼铜基营养叶面肥。

**关键词:** 铜基营养叶面肥; 辣椒; 光合特性; 产量; 品质; 病情指数; 微量元素; 土壤酶活性

**中图分类号:** S147.2; S641.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)06-0384-09

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.056

## Effects of Copper-Based Nutritional Foliar Fertilizers on Photosynthetic Characteristics, Yield, Quality and Disease Control Efficiency of Pepper

MA Qiang<sup>1</sup>, LI Hongjie<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>,

ZHAO Tongkai<sup>1</sup>, LI Zishuang<sup>1</sup>, ZHOU Xiaolin<sup>1</sup>, LU Yanyan<sup>2</sup>

(1. Dezhou Academy of Agricultural Science, Dezhou, Shandong 253015;

2. National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources,

College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

**Abstract:** The field experiments of two consecutive years were conducted with randomized block design with six treatments: spraying water (CK), spraying Bordeaux Mixture (BDM), spraying Kocide 2000 (KCD), spraying copper-based nutritional foliar fertilizer (CF), spraying iron-copper-based nutritional foliar fertilizer (CFFe) and spraying zinc-boron-copper-based nutritional foliar fertilizer (CFZnB), respectively. The effects on yield and quality, chlorophyll content and various indicators of photosynthetic characteristics of leaves, the plant and fruit total contents and accumulations of Cu, Zn and Fe, disease index of pepper and enzyme activities of soil were determined. The results showed that the CFFe, CFZnB, CF, and KCD significantly increased the photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, and the chlorophyll content, in which the maximum increment was 20.13% by CFFe and followed by CFZnB that increased by 16.19%~18.13% as compared to the CK and significantly decreased intercellular CO<sub>2</sub> concentration in pepper leaves. The BDM, KCD, CF, CFFe and CFZnB significantly increased the plant and fruit total contents and accumulations of Cu. The CFZnB, CFFe, CF, and KCD significantly increased the plant and fruit total contents and accumulations of

收稿日期: 2018-06-17

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200706); 国家“948”重点项目(2016-X46); 山东省农业科技成果转化资金项目(鲁科农字[2010]79号)

第一作者: 马强(1961—), 男, 学士, 高级农艺师, 主要从事新型肥料的研制与示范推广。E-mail: qiangma1961@163.com

通信作者: 张民(1958—), 男, 博士生导师, 教授, 主要从事土壤化学与新型肥料的研究。E-mail: minzhang2002@163.com

Zn. The CFFe, CFZnB, CF and KCD significantly increased the plant and fruit total contents and accumulations of Fe. The CFFe, CFZnB, CF, KCD and BDM greatly reduced the disease index at the early fruiting and full fruiting periods of pepper. Soil urease activities of the CFFe and CFZnB were the highest. All treatments and CK significantly increased the soil catalase activities as compared to the BDM. The CFFe, CFZnB, CF, and KCD significantly increased the soil sucrase activities as compared to the CK. Pepper nutritional quality of CFFe was the best and followed by the CFZnB. The CFFe, CFZnB, CF, and KCD significantly increased the yield of pepper, with the CFFe maximally increased by 13.22% and followed by the CFZnB that increased by 11.93%~12.52% as compared to CK. The CFFe, CFZnB, and CF significantly increased the yield of pepper, the CFFe was the most and followed by the CFZnB. The CFFe, CFZnB, and CF significantly improved the quality of pepper, pepper nutritional quality of CFFe was the best, the second was the CFZnB. Copper-based nutritional foliar fertilizer developed by Shandong Agricultural University, as a kind of bactericidal and plant nutrition health care double function foliar fertilizer, can significantly increase yield and improve the quality of pepper, and has certain effect on prevention and control of pepper disease. Therefore, iron-copper-based nutritional foliar fertilizer and zinc-boron-copper-based nutritional foliar fertilizer are recommended.

**Keywords:** copper-based nutritional foliar fertilizer; pepper; photosynthetic characteristics; yield; quality; disease index; trace elements; enzyme activity of soil

铜是植物生长必须的微量营养元素,对作物的正常生理代谢有重要的意义<sup>[1]</sup>。铜素作为古老和新型相结合的杀菌剂,一直在实践中发挥重要作用<sup>[2]</sup>。而以波尔多液为代表的铜素杀菌剂在果园中使用已有百年历史,由于具有杀菌谱广、持续时间长、病菌不易产生抗药性、对人畜低毒等特点,至今仍然在世界大部分地区大量使用<sup>[3]</sup>;然而,传统波尔多液在长期使用中,也暴露出一些缺点和不足,如配制方法繁琐、使用不便、悬浮性能差、易产生药害、药液多呈碱性、不能与大多数有机农药混用、药液喷施在叶面和果面上常留有大量药斑,既影响了植株叶面的光合作用,又影响了果实的外观与品质<sup>[4-5]</sup>。因此,国内外都在进行波尔多液替代产品的研制。

国内研制开发出绿得保、绿菌灵、绿乳铜等产品,但由于加工工艺生产技术的不完善等多种原因,在市场上的投放寿命往往比较短,未得在国内外大面积推广应用。国外研制开发出的产品有美国固信公司生产的 Kocide(可杀得)、德国优乐利农化有限公司生产的丰护安、美国亚特路公司生产的冠菌铜等。其中 Kocide 的研制和推广是波尔多液制作及使用上的一次重大革命,大量研究<sup>[6-7]</sup>表明,可杀得防病效果优于国内外的同类产品。尽管上述铜制剂在中国市场上占有一席之地,且杀菌效果好,但其价格较高,多数农民没有经济能力购买。目前,中国多数农民仍沿用停留在田间地头现配现用的传统波尔多液的老办法。

研制生产出与美国 Kocide 产品性能相媲美,但价格低廉且符合中国国情的杀菌剂,是开辟中国铜素杀菌剂市场的重要途径,也是广大农民的迫切需要。山东农业大学研发生产出含有不同微量元素的铜基

营养叶面肥,通过在不同作物和果树上的试验各项指标表现良好<sup>[8-9]</sup>,是国内波尔多液药剂的一种理想替代产品。此产品在植株表面附着时间长,能增强其防病效果,淋失少,对多年施用的土壤所造成的铜积累污染问题大大减轻,还可减少一定的喷药量及喷药次数,使用时在喷雾器中按比例加水即可,使用方便,而且其工厂化规模生产也大大减少了资源浪费,节省了人力物力,可带来巨大的经济效益<sup>[10]</sup>。可以克服传统波尔多液的缺点和不足。辣椒是人们喜食的蔬菜之一,也可用作工业原料,在中国,辣椒是一种栽培面积仅次于白菜类蔬菜的作物,但许多不利因素制约了辣椒种植面积的扩大,病虫害就是制约因素之一。辣椒疫病对于辣椒来说是一种毁灭性病害,该病害在辣椒的整个生育时期都可能发生,严重影响产量和品质,目前药剂防治是该病害的主要防治手段,有研究<sup>[11]</sup>表明,铜制剂对辣椒疫霉菌具有良好的杀菌效果。本研究通过 2 年的田间试验,就 5 种叶面肥对辣椒产量与品质、叶绿素含量、光合特性、微量元素的含量与积累量、防病效果以及对土壤酶活性的影响进行了研究,为铜基营养叶面肥在辣椒生产上的应用提供理论依据,具有重要意义和价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2014—2015 年在河北省衡水市故城县里老农场进行(37°32'13"N,115°28'57"E),供试土壤类型为潮土,在中国土壤系统分类中为石灰淡色潮湿雏形土(calcaric ochri-aquic cambosols),质地为沙壤土,0—20 cm 土壤养分状况为:有机质含量 14.21 g/kg,全氮含量 0.83 g/kg,硝态氮含量 20.24 mg/kg,铵态氮含量

13.98 mg/kg,有效磷含量 24.20 mg/kg,有效钾含量 98.80 mg/kg,有效铜含量 1.28 mg/kg,有效锌含量 1.35 mg/kg,有效铁含量 4.96 mg/kg,有效硼含量 0.40 mg/kg,pH 8.5,供试辣椒品种为益都红。供试 5 种铜制剂分别为:(1)传统波尔多液(BDM)(含 Cu 12.80%);(2)美国商品铜制剂 Kocide 2000(KCD)(含 Cu 33.01%,含 Zn 0.03%);(3)铜基营养叶面肥(CF)(含 Cu 32.89%,含 Zn 0.83%);(4)加铁铜基营养叶面肥(CFFe)(含 Cu 32.89%,含 Fe 2.66%);(5)加锌硼铜基营养叶面肥(CFZnB)(含 Cu 32.89%,含 Zn 2.68%,含 B 2.88%),后 3 种铜基营养叶面肥由山东农业大学土肥资源高效利用国家工程实验室研制生产。

## 1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设 6 个处理,分别为:(1)喷清水(CK);(2)传统波尔多液(BDM);(3)Kocide 2000(KCD);(4)铜基营养叶面肥(CF);(5)加铁铜基营养叶面肥(CFFe);(6)加锌硼铜基营养叶面肥(CFZnB)。每个处理设 3 次重复,共 18 个小区。每个小区长 9 m,宽 4.8 m,小区面积 43.2 m<sup>2</sup>。8 行区,大小行种植,大行行距 0.7 m,小行行距 0.5 m,平均行距 0.6 m,株距 0.25 m,密度 66 660 株/hm<sup>2</sup>。采用地膜覆盖,2014 年播前施鸡粪 6 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,磷酸二铵 150 kg/hm<sup>2</sup>,硫酸钾 150 kg/hm<sup>2</sup>;2015 年播前施磷酸二铵 150 kg/hm<sup>2</sup>,硫酸钾 150 kg/hm<sup>2</sup>。2014 年 4 月 27 日播种辣椒,5 月 8 日出苗,10 月 15 日收获;2015 年 4 月 28 日播种辣椒,5 月 9 日出苗,10 月 16 日收获。从苗期开始,共计喷施 5 次铜制剂叶面肥,分别在 6 月 9—10 日(苗期)、6 月 26—27 日(初花期)、8 月 3—4 日(初果期)、8 月 30—31 日(中果期)和 9 月 16—17 日(盛果期),喷施时间为下午 3:30—6:30。

各铜制剂叶面肥喷施的浓度以 Kocide 2000 的年推荐施入量和推荐使用浓度为依据,稀释倍数在 1 000 倍以上,所以 Kocide 2000 采用 1 000 倍液;CF、CFFe、CFZnB 以山东农业大学土肥资源高效利用国家工程实验室推荐的使用浓度 1 000 倍液为依据,加之 CF、CFFe、CFZnB 含铜量及有效成分与 KCD 基本相同,所以这三者也采用 1 000 倍液;BDM 采用其在辣椒上使用的常用浓度 390 倍液,这样保证了每次喷施的铜制剂全铜含量基本相同,以便对不同铜制剂叶面肥的性质、对作物的功能、作用等进行比较。喷施以叶片湿润且液滴不滴下为准,正反面均喷施。

## 1.3 样品采集的时间、方法与测定时间

2014 年 4 月 16 日(辣椒施肥播种前),用土钻采集 0—20 cm 的耕层土壤,采用“S”形 5 点取样,充分混合后作为基础土样,样品风干后磨碎,过 2 mm 筛,于 11 月测试;2015 年 8 月 6 日(初果期),每小区采

集 0—20 cm 的耕层土壤,采用对角线 5 点取样,充分混合后,作为测试土壤酶活性的样品,样品风干后磨碎,过 1 mm 筛,于 11 月测试;2015 年 9 月 19 日(盛果期),对植株进行取样,每小区划分为取样区和计产区,在取样区采用对角线 3 点取样,每小区取 3 株,带回室内,整个植株分为植株(根、茎、叶)和果实 2 个部分,充分混合后放入烘箱,105 ℃ 下杀青 30 min,70 ℃ 烘至恒重,磨碎过 2 mm 筛,11—12 月集中测试全铜、全锌、全铁含量;2015 年 10 月 2 日,在取样区采用对角线 3 点取样,每小区取 3 株果实样品,带回室内,充分混合后,测定果实的品质。

## 1.4 各处理的特性和土壤肥力评价

传统波尔多液采用等量式配制:硫酸铜:生石灰为 1:1,其有效成分是碱式硫酸铜([Cu(OH)<sub>2</sub>]<sub>3</sub>·CuSO<sub>4</sub>),为天蓝色胶状悬浮液,呈碱性;由于硫酸铜的高溶解性,波尔多液中有大量游离铜离子,虽然铜离子是杀菌的主要活性成分,但是过量的铜离子也会造成对植物本身的伤害,波尔多液除能防病外,还含有钙、铜离子,都是作物生长的必需营养元素,可促进叶绿素的形成,对作物有一定的增产作用。Kocide 2000 是美国固信公司于上世纪 90 年代中期研制的第 3 代铜基杀菌剂,其有效成分为氢氧化铜,具有四大特点:一是杀菌游离铜含量较高,稀释倍数达 1 000 倍以上,降低了用药量;二是具有高活性的六配铜离子,安全性好;三是兼治真菌和细菌性病害,无抗性产生;四是最优聚合型颗粒剂型(DF),无粉尘,易分装和施用。仅有铜和微量的锌元素,植物营养功能很少,但对植物生长有刺激作用<sup>[6]</sup>。山东农业大学研制的含有不同微量元素铜基营养叶面肥,其有效成分与 Kocide 2000 基本相同,也是氢氧化铜,它是在其有效成分配比的基础上,加入植株所需的有效态微量元素铁、锌、硼等,并配以载体填料和多种助剂(如分散剂、润展剂、黏着剂等)浓缩精制而成的一种新型干悬浮剂,具有附着力强、均匀度高、铜积累污染问题大大减轻等优点。由于添加了植株所需的有效态微量元素,可为植株的生长发育提供营养,起到补充微量元素和防治病害的双重作用,是一种铜基营养叶面肥<sup>[12]</sup>。

根据全国第二次土壤普查推荐的土壤肥力分级标准,本试验地属中等肥力水平,土壤有机质、全氮、铵态氮、有效钾含量属中等水平,仅有硝态氮含量偏高,有效磷含量中等偏高。土壤有效硼、有效铁含量中等,有效铜、有效锌含量偏高,但本试验地属石灰性土壤,偏碱性,铜、铁、锌、硼等微量元素易被土壤固定,植物吸收利用率低<sup>[13]</sup>。

## 1.5 测定项目与方法

土壤溶液的 pH 采用 1:2.5 的土水比,用 pH

计测定;土壤铵态氮、硝态氮采用 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 溶液浸提,流动注射分析仪测定;土壤全氮采用半微量凯氏法,半自动定氮仪测定;土壤有效钾采用 1 mol/L 醋酸铵浸提,火焰光度法测定;土壤有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提,钼锑抗比色法测定;土壤微量元素铜、锌、铁采用 DTPA 浸提,用原子吸收分光光度计测定;土壤有效硼采用姜黄素比色法测定;植株微量元素采用硝酸-高氯酸联合消煮,原子吸收分光光度计测定<sup>[14]</sup>;叶绿素含量采用日本生产的 SPAD-502 叶绿素仪测定,在辣椒苗期(6月12日)、初花期(6月29日)、初果期(8月6日)、盛果期(9月19日)和收获期(10月12日)分别测定功能叶片(主茎倒四叶) SPAD 值,每次测定重复 3 次,取其平均值;叶片光合特性指标采用 LI-6400XT 便携式光合速率仪测定功能叶片(主茎倒四叶)的光合特性,每个指标测定 3 次,取其平均值,测定时间为上午 9:00—11:00。果实品质的测定:可溶性糖含量采用苯酚比色法测定,每次分析用 24 g 鲜样,4 个果实;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定,每次分析用 0.6 g 鲜样,2 个果实;Vc 含量采用二甲苯-二氯靛酚比色法测定,每次分析用 20 g 鲜样,4 个果实。土壤酶活性的测定:土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,每次分析用 6 g 土;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,每次分析用 5 g 土;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定<sup>[15]</sup>,每次分析用 5 g 土,以上果实品质和土壤酶活性的 6 个指标均重复 3 次。

在辣椒生长期,调查统计辣椒叶片、椒的感病数、病级,计算病情指数。病情指数(%) = 100 × ∑(各级病叶、椒数 × 各级代表值) / (调查总叶、椒数 × 最高级代表值)。

## 1.6 数据处理

采用 DPS 统计软件对试验数据进行统计分析,采用 Duncan 法进行多重比较。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同处理对辣椒叶片叶绿素含量的影响

有研究<sup>[16]</sup>表明,作物叶片中叶绿素含量与 SPAD-502 叶绿素仪的读数有良好的相关性,可以用于作物叶绿素的测定。由表 1 可知,喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒叶片中的叶绿素含量,BDM 也能增加辣椒叶片中的叶绿素含量,但与 CK 相比增加不显著,2 年试验结果的趋势基本一致。不同处理对辣椒叶片叶绿素含量的影响程度依次为: CFFe 处理 > CFZnB 处理 > CF 处理 > KCD 处理 > BDM 处理 > CK。辣椒苗期,叶片中的叶绿素含

量较低,各处理叶片叶绿素含量差别小,只有 CFFe 处理与 CK 相比增加显著,2014 年和 2015 年分别比 CK 增加 8.58% 和 6.39%,其余各处理间差异不显著。初花期,CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理叶片叶绿素含量均比 CK 增加显著。初果期,辣椒叶片叶绿素含量达到高峰,CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理均比 CK 增加显著,其中 CFFe 处理叶绿素含量最高,2014 年和 2015 年分别比 CK 增加 20.13% 和 18.58%;其次为 CFZnB 处理,2014 年和 2015 年分别比 CK 增加 18.13% 和 16.19%。到盛果期,辣椒叶片叶绿素含量开始下降,但 CFFe、CFZnB、CF、KCD 的处理仍比 CK 增加显著。至收获期,辣椒叶片叶绿素含量下降较快,但 CFFe、CFZnB、CF、KCD 的处理仍比 CK 增加显著。

表 1 不同处理的辣椒叶片叶绿素 SPAD 值

年份	处理	苗期 (06-12)	初花期 (06-29)	初果期 (08-06)	盛果期 (09-19)	收获期 (10-12)
2014	CK	39.53b	44.56b	50.08c	42.32d	33.62c
	BDM	40.54b	46.12b	51.32c	44.45d	34.86c
	KCD	41.51ab	48.34a	54.24b	46.25c	36.34b
	CF	41.64ab	48.53a	54.62b	47.17bc	36.63b
	CFFe	42.92a	49.34a	60.16a	50.32a	39.58a
	CFZnB	42.15ab	48.84a	59.16a	49.54ab	38.83a
2015	CK	38.02b	42.76b	46.94c	40.81d	32.73c
	BDM	38.09b	42.84b	47.35c	41.48d	33.43c
	KCD	38.65ab	44.62a	49.85b	43.14c	34.36b
	CF	38.82ab	44.73a	51.06b	43.94bc	34.87b
	CFFe	40.45a	46.17a	55.66a	46.84a	37.57a
	CFZnB	39.28ab	45.15a	54.54a	45.83ab	36.91a

注:同年份同列中的平均数值后标有相同字母的表示其差异不显著( $p < 0.05$ )。下同。

## 2.2 不同处理对辣椒叶片光合特性的影响

在正常条件下,叶片蒸腾速率和气孔导度增大,有利于气体交换,改善叶肉细胞的光合能力,使叶片光合速率提高<sup>[17]</sup>。由表 2 可知,CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理可以显著增加辣椒叶片的光合速率、气孔导度和蒸腾速率。CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理光合速率 2014 年分别比 CK 显著增加 30.77%,23.08%,13.94%,12.20%,其中 CFFe 处理也分别比 CF、KCD 处理显著增加 14.77%,16.55%;CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理光合速率 2015 年分别比 CK 显著增加 29.90%,22.10%,13.85%,12.18%,其中 CFFe 处理也分别比 CF、KCD 处理显著增加 14.10%,15.80%;BDM 处理光合速率 2014 年和 2015 年分别比 CK 增加 1.20% 和 1.48%,但与 CK 相比差异不显著。CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理气孔导度 2014 年分别比 CK 显著增加 35.00%,25.00%,15.00%,15.00%;2015 年分别比 CK 显著增加 31.58%,21.05%,15.79%,10.53%;BDM 处理气孔导度 2014 年和 2015 年分别比

CK 增加 5.00% 和 5.26%。CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理蒸腾速率 2014 年分别比 CK 显著增加 32.93%, 25.24%, 13.70%, 12.50%; 2015 年分别比 CK 显著增加 32.47%, 24.23%, 13.66%, 12.11%; BDM 处理蒸腾速率 2014 年和 2015 年分别比 CK 增加 1.68% 和 1.55%, 但与 CK 差异不显著。光合效率高意味着需要更多的光合原料, 消耗更多的 CO<sub>2</sub>, 因

此, 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度随着光合效率的增加而降低<sup>[17]</sup>。CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 2014 年分别比 CK 显著降低 21.66%, 17.23%, 10.44%, 9.56%; 2015 年分别比 CK 显著降低 21.48%, 16.47%, 10.42%, 9.43%; BDM 处理胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 2014 年和 2015 年分别比 CK 降低 0.07% 和 0.17%, 但与 CK 差异不显著。

表 2 不同处理辣椒初果期叶片光合特性

年份	处理	光合速率/	气孔导度/	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度/	蒸腾速率/
		( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
2014	CK	16.64d	0.20c	315.53a	4.16c
	BDM	16.84d	0.21c	315.31a	4.23c
	KCD	18.67c	0.23b	285.35b	4.68b
	CF	18.96bc	0.23b	282.59bc	4.73b
	CFFe	21.76a	0.27a	247.19d	5.53a
	CFZnB	20.48ab	0.25ab	261.17cd	5.21a
2015	CK	15.52c	0.19c	340.22a	3.88c
	BDM	15.75c	0.20c	339.65a	3.94c
	KCD	17.41b	0.21b	308.13b	4.35b
	CF	17.67b	0.22b	304.78b	4.41b
	CFFe	20.16a	0.25a	267.14c	5.14a
	CFZnB	18.95ab	0.23ab	284.19c	4.82ab

### 2.3 不同处理对辣椒植株及果实中微量元素含量及积累量的影响

2.3.1 不同处理对辣椒植株(根、茎、叶)微量元素含量及积累量的影响 由表 3 可知, 各处理的辣椒植株全铜含量比 CK 显著增加, 其中 BDM 处理增加最多, 比 CK 增加 116.69%, CFZnB 处理增加最少, 比 CK 增加 37.78%, 其余 3 个处理全铜含量介于以上两者之间, 辣椒植株全铜积累量与全铜含量的变化趋势基本一致; CFZnB、CFFe、CF、KCD 处理辣椒植株全锌含量比 CK 显著增加 19.54%~48.89%, 其中 CFZnB 处理比 CK 增加最多, 达 48.89%, 辣椒植株全锌积累量与全锌含量的变化趋势基本一致, 喷施加

锌硼铜基营养叶面肥比其他处理锌在辣椒植株体内的积累量增加最多, 表明喷施加锌硼铜基营养叶面肥能更有效地矫治辣椒的缺锌症状<sup>[18]</sup>; CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理辣椒植株全铁含量比 CK 显著增加 14.96%~46.78%, 其中 CFFe 处理比 CK 增加最多, 达 46.78%, 辣椒植株全铁积累量与全铁含量的变化趋势基本一致, 喷施加铁铜基营养叶面肥比其他处理铁在辣椒植株体内的积累量增加最多, 表明喷施加铁铜基营养叶面肥能更有效地矫治辣椒的缺铁症状<sup>[18]</sup>。

BDM 处理全锌含量比 CK 增加 4.50%, 全铁含量比 CK 增加 3.02%, 但差异均不显著。

表 3 不同处理的辣椒全铜、全锌、全铁含量及积累量

器官	处理	元素含量/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )			单株积累量/mg		
		Cu	Zn	Fe	Cu	Zn	Fe
植株(根、茎、叶)	CK	16.36d	13.56c	484.16e	1.42c	1.16d	41.74e
	BDM	35.45a	14.17c	498.78e	3.27a	1.22d	43.14e
	KCD	24.16b	16.21b	556.59d	2.40b	1.62c	55.38d
	CF	23.30bc	17.12b	605.64c	2.45b	1.79b	63.41c
	CFFe	22.87bc	17.06b	710.65a	2.57b	1.91b	79.73a
	CFZnB	22.54c	20.19a	654.39b	2.41b	2.15a	69.82b
果实	CK	8.67d	11.16c	246.40d	0.45c	0.60d	13.28d
	BDM	15.73a	11.58c	252.66d	1.02a	0.62d	13.70d
	KCD	12.13b	12.85b	273.09c	0.86b	0.79c	17.02c
	CF	11.58bc	13.61b	286.35bc	0.84b	0.88b	18.76c
	CFFe	11.35c	13.42b	337.89a	0.86b	0.94b	23.72a
	CFZnB	11.17c	15.50a	304.93b	0.84b	1.04a	20.17b

注: 同器官、同列中的平均数值后标有相同字母表示其差异不显著( $p < 0.05$ )。

2.3.2 不同处理对辣椒果实中微量元素含量及积累量的影响 由表 3 可知,各处理的辣椒果实全铜含量比 CK 显著增加,其中 BDM 处理增加最多,比 CK 增加 81.43%,CFZnB 处理增加最少,比 CK 增加 28.84%,其余 3 个处理果实全铜含量介于以上两者之间;锌、铁都是人体必需的微量元素,CFZnB、CFFe、CF、KCD 处理辣椒果实全锌含量比 CK 显著增加 15.14%~38.89%,其中 CFZnB 处理比 CK 增加最多,达 38.89%,辣椒果实全锌积累量与全锌含量的变化趋势基本一致,喷施加锌硼铜基营养叶面肥比其他处理锌在辣椒果实中的积累量增加最多,表明喷施加锌硼铜基营养叶面肥能更有效地增加辣椒果实中锌的含量和积累量,可以提高辣椒果实的品质;CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理辣椒果实全铁含量比 CK 显著增加 10.83%~37.13%,其中 CFFe 处理比 CK 增加最多,达 37.13%,辣椒果实全铁积累量与全铁含量的变化趋势基本一致,喷施加铁铜基营养叶面肥比其他处理铁在辣椒果实中的积累量增加最多,表明喷施加铁铜基营养叶面肥能更有效地增加辣椒果实中铁的含量和积累量,可以提高辣椒果实的品质;BDM 处理辣椒果实全锌含量比 CK 增加 3.76%,全铁含量比 CK 增加 2.54%,但差异均不显著。

#### 2.4 不同处理对辣椒防病效果的影响

对辣椒进行病害调查和病情统计,各处理在不同的生育时期对辣椒病害的防病效果不同(表 4)。在辣椒生育的苗期和初花期不同处理与 CK 之间、不同处理之间均无显著性差异;初果期和盛果期各处理病情指数显著低于 CK,初果期病情指数 2014 年和 2015 年分别比 CK 低 23.70%~30.82%和 25.73%~31.69%,盛果期病情指数 2014 年和 2015 年分别比 CK 低 23.30%~28.56%和 24.67%~29.70%,但初果期和盛果期不同处理之间均无显著性差异。

表 5 不同处理的土壤酶活性

处理	脲酶活性/ (NH <sub>3</sub> -N, mg · g <sup>-1</sup> , 24 h)	过氧化氢酶活性/ (0.1 mol · L <sup>-1</sup> , KmnO <sub>4</sub> mL · g <sup>-1</sup> )	蔗糖酶活性/ (Gla, mg · g <sup>-1</sup> , 24 h)
CK	0.27a	5.23a	36.54b
BDM	0.25b	4.80b	36.12b
KCD	0.28a	5.18a	43.22a
CF	0.28a	5.19a	43.51a
CFFe	0.29a	5.20a	44.33a
CFZnB	0.29a	5.19a	43.62a

注:同列中的平均数值后标有相同字母的表示其差异不显著( $p < 0.05$ )。下同。

#### 2.6 不同处理对辣椒果实品质的影响

维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白质含量是反映蔬菜营养品质的重要指标,其含量高低直接决定蔬菜口味,并对蔬菜采摘后的储藏和运输有重要影响,进

表 4 不同处理的辣椒病情指数

年份	处理	苗期	初花期	初果期	盛果期
2014	CK	6.56a	12.10a	30.76a	42.57a
	BDM	5.78a	11.45a	23.47b	32.65b
	KCD	5.45a	11.17a	22.64b	31.58b
	CF	5.20a	11.07a	22.37b	31.46b
	CFFe	5.15a	10.84a	21.28b	30.41b
	CFZnB	5.19a	10.96a	21.74b	30.75b
2015	CK	5.92a	11.57a	29.54a	41.34a
	BDM	5.12a	10.80a	21.94b	31.14b
	KCD	5.03a	10.48a	21.15b	30.28b
	CF	4.86a	10.26a	21.06b	29.73b
	CFFe	4.64a	9.88a	20.18b	29.06b
	CFZnB	4.72a	9.96a	20.26b	29.15b

#### 2.5 不同处理对土壤酶活性的影响

土壤中的一切生物化学过程都是在土壤酶的作用下进行的,土壤酶活性是衡量土壤生物学活性和土壤生产力的重要指标<sup>[19]</sup>。未被叶面吸收的铜制剂叶面肥落到土壤中,对土壤酶活性产生显著影响。由表 5 可知,不同处理之间(BDM 处理除外)脲酶活性差异不显著,CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理比 CK 增加不显著,但 CFFe、CFZnB、CF、KCD 及 CK 均比 BDM 处理脲酶活性增加显著,BDM 处理脲酶活性比 CK 显著降低 7.41%,抑制了脲酶活性,而 CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理对土壤脲酶活性有轻微的激活作用;CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理之间土壤过氧化氢酶活性无显著性差异,这四者与 CK 也无显著性差异,但这四者及 CK 土壤过氧化氢酶活性均比 BDM 处理增加显著,BDM 处理土壤过氧化氢酶活性比 CK 显著降低 8.22%,BDM 处理抑制了土壤过氧化氢酶活性;CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理之间土壤蔗糖酶活性无显著性差异,但这四者均比 CK 和 BDM 处理土壤蔗糖酶活性增加显著,BDM 处理比 CK 降低 1.15%,但与 CK 差异不显著。

而影响蔬菜的商品价值<sup>[20]</sup>。由表 6 可知,不同处理之间辣椒维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白质含量差异显著。维生素 C 含量以 CFFe 处理含量最高,比 CK 显著增加 104.62%,BDM 处理维生素 C 含量最

低,比 CK 低 1.17%,但与 CK 差异不显著,其他处理介于以上两者之间;可溶性糖含量以 CFFe 处理含量最高,比 CK 显著增加 23.01%,BDM 处理可溶性糖含量最低,比 CK 低 4.52%,但与 CK 差异不显著,其他处理介于以上两者之间;可溶性蛋白质含量以 CFFe 处理含量最高,比 CK 显著增加 33.62%,各处理可溶性蛋白质含量均比 CK 增加显著。综上所述,CFFe 处理的辣椒营养品质最好,维生素 C 含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量均为最高,CFZnB 处理辣椒营养品质次之;BDM 处理辣椒营养品质较差,维生素 C 含量、可溶性糖含量均为最低,但与 CK 差异不显著,可溶性蛋白质含量比 CK 增加显著。

表 6 不同处理的辣椒果实品质

处理	可溶性糖含量/ (mg · g <sup>-1</sup> )	维生素 C 含量/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白质含量/ (mg · g <sup>-1</sup> )
CK	22.56c	711.89c	24.51d
BDM	21.54c	703.54c	30.15c
KCD	24.15b	995.42b	30.64bc
CF	24.24b	1003.76b	30.85bc
CFFe	27.75a	1456.66a	32.75a
CFZnB	26.43a	1368.52a	31.84ab

## 2.7 不同处理对辣椒产量的影响

不同处理对辣椒产量和产量构成因素有显著影响(表 7),2 年试验结果的趋势基本一致,喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 的处理辣椒产量比 CK 增产显著。2014 年,CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理辣椒产量比 CK 增产显著,增产幅度为 7.18%~13.22%,其中 CFFe 处理产量最高,比 CK 增产 13.22%,其次为 CFZnB 处理,比 CK 增产 12.52%,CFFe、CFZnB 处理也比 KCD 显著增产 5.63%,4.98%;2015 年,CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理辣椒产量比 CK 增产显著,增产幅度为 6.81%~12.82%,其中 CFFe 处理产量最高,比 CK 增产 12.82%,其次为 CFZnB 处理,比 CK 增产 11.93%,CFFe、CFZnB 处理也比 KCD 显著增产 5.62%,4.79%;BDM 处理 2014 年和 2015 年分别比 CK 增产 2.29%和 2.12%,但比 CK 增产不显著。根据产量构成因素分析,增产的主要原因是果数的增加,CFFe、CFZnB、CF、KCD 及 BDM 处理促进了果数的增加,2014 年 CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理果数均显著高于 CK,比 CK 增加 4.48%~8.04%,2015 年 CFFe、CFZnB、CF 处理果数显著高于 CK,比 CK 增加 4.72%~7.40%;其次为单果质量的增加,CFZnB、CFFe 处理单果质量显著高于 CK,2014 年 CFZnB、CFFe 处理单果质量分别比 CK 显著增加 5.84%和 4.78%,2015 年 CFZnB、CFFe 处理单果质量分别比 CK 显著增加 6.04%

和 5.04%,其他处理单果质量比 CK 增加不显著。

表 7 不同处理的辣椒产量及其构成因素

年份	处理	果数/ (个 · hm <sup>-2</sup> )	单果 质量/g	产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	比对照 增产率/%
2014	CK	597522c	11.30c	6076.24c	
	BDM	605701bc	11.40bc	6215.35c	2.29
	KCD	624293ab	11.59abc	6512.43b	7.18
	CF	626950ab	11.75abc	6630.52ab	9.12
	CFFe	645552a	11.84ab	6879.31a	13.22
	CFZnB	635080a	11.96a	6836.76a	12.51
2015	CK	596357c	10.92b	5861.29c	
	BDM	603996bc	11.01b	5985.45c	2.12
	KCD	619924abc	11.22ab	6260.84b	6.81
	CF	624497ab	11.33ab	6368.74ab	8.65
	CFFe	640512a	11.47a	6612.69a	12.82
	CFZnB	629438a	11.58a	6560.56a	11.93

## 3 讨论

### 3.1 辣椒的抗病性

所有铜制剂的共同之处在于最终起杀菌作用的是有效成分释放出的 Cu 离子,对于铜素杀菌剂的杀菌机理有 3 个方面解释:一是铜离子进入病菌细胞使其蛋白质凝固或变性;二是铜离子与病原菌细胞的巯基(-SH)反应,从而破坏其酶的作用;三是铜离子与病原细胞膜的正常离子起置换作用<sup>[10]</sup>。供铁适量时,辣椒植株生长良好,也表现出较高的抗病性,铁供应不足或过量时,植株生长较差,也影响到辣椒的抗病性<sup>[21]</sup>。本试验的结果表明,铁可以提高辣椒的抗病性,但与其他处理相比差异不显著。锌能提高燕麦、大麦、冬黑麦的抗病力,噻唑锌对辣椒青枯病有一定的防治效果,本试验的结果表明,锌对提高辣椒的抗病力有一定的效果,但与其他处理相比效果不明显。有研究<sup>[22]</sup>表明,施硼能有效降低植物的发病率,可以降低水稻、大麦、油菜、大豆、花生等作物因细菌性、真菌性和病毒性感染引起的危害程度,供硼适量时,辣椒生长良好,病情指数较低。本试验的结果表明,硼可以提高辣椒的抗病性,但与其他处理相比差异不显著。各处理在辣椒不同的生育时期其防病效果不同,在辣椒生育的前期(苗期、初花期)各处理防病效果不明显,但在辣椒生育的中后期(初果期、盛果期)表现出显著的防病效果,这与徐振<sup>[23]</sup>的研究结果一致,原因可能是辣椒生育的前期正值气候多风干旱少雨,加之辣椒田没有封行,通风透光良好,不利于病害的发生;而辣椒生育的中后期气候高温多雨,辣椒田封行,通风透光较差,易于病害的发生;而且随着生育进程,各处理中的铜元素逐渐在辣椒植株体内累积,对辣椒的一些真菌、细菌性病害能起到预防和抵

御作用。因此,喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 和 BDM 可以提高辣椒的抗病性。

### 3.2 辣椒的全铜含量

试验结果表明,不同铜制剂叶面肥对辣椒各器官全铜含量影响不同,辣椒全铜含量以 BDM 处理最高,CFZnB 处理最低。BDM 本身含铜量较低(含 Cu 12.80%),KCD(含 Cu 33.01%),CF、CFFe、CFZnB(含 Cu 32.89%)本身含铜量较高,BDM 采用 390 倍液,KCD、CF、CFFe、CFZnB 采用 1 000 倍液,这样保证了每次喷施的铜制剂叶面肥全铜含铜基本相同;而辣椒对铜的吸收量却不同,这主要是因为不同铜制剂叶面肥所含铜的有效成分、形态及结构不同,BDM 有效成分为碱式硫酸铜,由于硫酸铜的高溶解性,波尔多液中有大量游离铜离子,虽然铜离子是杀菌主要活性成分,但是过量的铜离子也会造成对植物本身的伤害,游离铜离子浓度愈高,植物对铜的吸收量也愈大;KCD、CF、CFFe、CFZnB 有效成分为氢氧化铜,氢氧化铜溶解度适当,不但防病效果好,而且不易产生药害,氢氧化铜的微观晶体结构是细小的针状结晶,由于氢氧化铜的结晶特点和高效性,达到相同防治效果,其使用浓度和剂量明显少于硫酸铜配制的波尔多液<sup>[6-8]</sup>。这与王圣森等<sup>[24]</sup>和宋瑞磊等<sup>[25]</sup>的研究结果基本相同。

### 3.3 辣椒叶片叶绿素含量与光合速率

铜、铁、锌、硼都是植物生长发育的必需微量营养元素。铜是多种酶的组成成分,参与植物体内的氧化还原过程,它存在于叶绿体的质体蓝素中,参与光合作用的电子传递和光合磷酸化,因而适量铜的加入可以促进叶绿素的形成,促进光合作用,进而促进植物生长,但是过量的铜则会对植物造成毒害,使植物生长缓慢或停止<sup>[26]</sup>。铁、锌都是叶绿素合成必不可少的营养元素。缺铁叶绿素不能形成,会造成“缺绿症”<sup>[27]</sup>。缺锌叶片失绿,枝条尖端常会出现小叶和簇生现象,称为小叶病,严重时会使枝条死亡<sup>[28]</sup>。硼虽不是植物体内的组成成分,但硼对叶绿素的形成和稳定性有良好作用。缺硼时,新叶白化,老叶早黄,尽管试验地土壤有效硼、有效铁、有效铜、有效锌含量属于中等或略偏高,但该试验地属石灰性土壤,偏碱性,微量元素铜、铁、锌、硼等易被土壤固定,植物吸收利用率低,因此喷施含有铜、铁、锌、硼微量元素的叶面肥效果比较明显<sup>[13]</sup>。本试验的结果表明,BDM 处理叶绿素含量也有增加,但比 CK 增加不显著;KCD 处理的辣椒含铜量不高,含有微量的锌及自身结构特点,促进了叶绿素含量的增加;CF、CFFe、CFZnB 处理促进了叶绿素含量的增加,原因

是这 3 个处理或者含有叶绿素合成所必需的铁、锌、铜,或者含有对叶绿素形成和稳定有促进作用的硼,再加上这 3 个处理自身特点。这与王圣森等<sup>[24]</sup>和宋瑞磊等<sup>[25]</sup>的研究结果基本相同。CFFe 处理叶绿素含量最高,优于 CFZnB 处理,这表明铁比锌、硼更能促进叶片叶绿素的合成,这于尹克林等<sup>[29]</sup>的研究结果相一致。喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒叶片中叶绿素含量,同时也可以显著增加叶片的光合速率,这主要是因为叶片叶绿素含量与光合速率呈正相关<sup>[30]</sup>。喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 通过提高叶片叶绿素含量,提高光合速率及光合能力,进而提高辣椒的产量。

### 3.4 辣椒产量

本试验的结果表明,CFFe、CFZnB、CF、KCD 处理辣椒产量都显著高于 CK,2014 年和 2015 年产量分别比 CK 增产 7.18%~13.22%和 6.81%~12.82%,增产的主要原因是果数的增加,CFFe、CFZnB、CF、KCD 及 BDM 处理促进了果数的增加。这主要是因为喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒叶片中叶绿素含量,显著提高叶片的光合速率及光合能力,从而增加了辣椒产量;再者这 4 个处理也提高了辣椒的抗病性,对辣椒增产也有一定的作用,而 CFFe、CFZnB、CF、KCD 之间果数无显著差异;单果质量以 CFZnB 处理最高,显著高于 CK,这主要是因为硼能促进生殖器官的生长发育,促进了单果质量的增加<sup>[31]</sup>,这与宋瑞磊等<sup>[25]</sup>和孙瑶等<sup>[32]</sup>的研究结果基本相同。

## 4 结论

(1) 叶面喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒叶片的叶绿素含量和光合速率,提高光合能力。以 CFFe 处理增幅最高,叶绿素含量比 CK 增加 20.13%和 18.58%,光合速率比 CK 增加 30.77%和 29.90%;其次为 CFZnB 处理叶绿素含量比 CK 增加 18.13%和 16.19%,光合速率比 CK 增加 23.08%和 22.10%。

(2) 喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著增加辣椒产量,以 CFFe 处理增产最多,增幅为 13.22%和 12.82%;CFZnB 处理次之,增幅为 12.52%和 11.93%。

(3) 喷施 CFFe、CFZnB、CF、KCD 可以显著改善辣椒的品质,CFFe 处理的辣椒营养品质最好,维生素 C 含量比 CK 显著增加 104.62%,可溶性糖含量比 CK 显著增加 23.01%,可溶性蛋白质含量比 CK 显著增加 33.62%;CFZnB 处理次之,维生素 C 含量比 CK 显著增加 92.24%,可溶性糖含量比 CK 显著增加 17.15%,可溶性蛋白质含量比 CK 显著增加 29.91%。

(4) 山东农业大学研制的铜基营养叶面肥作为

一种杀菌防病和植物营养保健双重功能的叶面肥,既能显著增加辣椒产量,改善辣椒品质,又具有一定的杀菌防病效果,推荐使用加铁铜基营养叶面肥和加锌硼铜基营养叶面肥。

#### 参考文献:

- [1] 祝沛平. 铜在植物生长发育中的作用[J]. 生物学通报, 2000,35(10):7.
- [2] Evans D A. New era, new challenges, new solutions [C]// The Bcpc Conference; Pests and Diseases, Volume 1. Proceedings of An International Conference Held at the Brighton Hilton Metropole Hotel, Brighton, UK. 2000:3-18.
- [3] 蔡道基,单正军,朱忠林,等. 铜制剂农药对生态环境影响研究[J]. 农药学学报,2001,3(1):61-68.
- [4] 姚延山,周彦,周常勇. 应用铜制剂防治柑橘溃疡病的研究进展[J]. 园艺学报,2016,43(9):1711-1719.
- [5] Viviana M, António T, Elias B, et al. Metabolic changes of *Vitis vinifera* berries and leaves exposed to Bordeaux mixture[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2014, 82:270-278.
- [6] 师宝君,惠抗第,秦虎强,等. 53.8%可杀得 2000DF 防治番茄早疫病药效试验[J]. 农药,2001,40(9):34-35.
- [7] Valarmathi P, Pareek S K, Priya V, et al. Compatibility of copper hydroxide (Kocide 3000) with biocontrol agents[J]. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science,2013,3(6):28-31.
- [8] 段路路,张民,杨越超,等. 波尔多液营养保护剂对石灰性土壤铜、铁有效性及花生产量的影响研究[J]. 水土保持学报,2006,20(3):47-50.
- [9] 王圣森. 波尔多液营养保护剂在果树上的应用效应研究[D]. 山东 泰安:山东农业大学,2008.
- [10] 徐钰. 波尔多液营养保护剂在土壤中的生化行为及作物效应研究[D]. 山东 泰安:山东农业大学,2008.
- [11] 杨鸣,常彩涛. 辣椒疫病防治的综合措施[J]. 辣椒杂志,2012(2):35-40.
- [12] 徐睿. 新型铜基营养保护剂的制作工艺及特性研究[D]. 山东 泰安:山东农业大学,2013.
- [13] Zhu Q, Zhang M, Ma Q. Copper-based foliar fertilizer and controlled release urea improved soil chemical properties, plant growth and yield of tomato[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 143:109-114.
- [14] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社, 1988:106-275.
- [15] 关松荫,张德生,张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [16] 艾天成,李方敏,周治安,等. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 湖北农学院学报,2000,20(1):6-8.
- [17] 耿计彪,张民,马强,等. 控释氮肥对棉花叶片生理特性和产量的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(4):267-271.
- [18] 段路路,张民,杨越超. 波尔多液营养保护剂对番茄缺铁锌症矫治及生长效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006,24(3):89-94.
- [19] 万忠梅,吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2005,33(6):87-92.
- [20] 要晓玮,梁银丽,曾睿,等. 不同有机肥对辣椒品质和产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011,39(10):157-162.
- [21] 牛哲辉,赵尊练,巩振辉,等. 不同供铁水平下接种 TMV 对线辣椒部分生化特性及生长的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(6):226-230.
- [22] 牛哲辉. 不同铁、硼、锰水平与 TMV 相互关系研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [23] 徐振. 铜基营养杀菌剂的合成工艺及其作物效应研究[D]. 山东 泰安:山东农业大学,2005.
- [24] 王圣森,张民,徐钰,等. 3 种铜制剂对小白菜生长效应的影响[J]. 中国蔬菜,2007(3):21-23.
- [25] 宋瑞磊,张民,侯笑林,等. 不同铜制剂对辣椒生长效应的影响[J]. 中国蔬菜,2009(8):54-58.
- [26] 帕孜来提·拜合提,祁要鹏,阿孜古丽·玉苏甫,等. 铜胁迫对两种地衣植物生理生化特性的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(11):2708-2712.
- [27] Papastulianou I. Timing and rate of iron chelate application to correct chlorosis of peanut[J] Journal of Plant Nutrition,1993,19(7):1193-1203.
- [28] 董石夷,余俊红,曾锋,等. 辣椒缺素症状及补救措施[J]. 现代园艺,2010(6):31.
- [29] 尹克林,李银国,王成秋,等. 石灰质土壤柑桔叶片 Mg、Fe、Zn 与叶绿素含量的关系分析[J]. 西南农业大学学报,1998,20(4):283-287.
- [30] 付玲,白小梅,杨显贺,等. 嫁接辣椒光合特性及其对产量和品质的影响[J]. 园艺学报,2013,40(3):449-457.
- [31] 张学斌. 施硼对棉花生理生化和产量品质的影响[D]. 重庆:西南大学,2008.
- [32] 孙瑶,张民,陈海宁,等. 铜基叶面肥及控释肥对辣椒生长发育和叶片保护酶等生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(5):1221-1233.