

李 龙.  $\text{GA}_3$  与有机无机肥配施显著促进辣椒生长并改善其果实品质[J]. 土壤与作物, 2019, 8(3): 308–319.

LI L. Combined application of organic and inorganic fertilizer plus  $\text{GA}_3$  significantly promotes *Capsicum annuum* growth and quality[J]. Soils and Crops, 2019, 8(3): 308–319.

# $\text{GA}_3$ 与有机无机肥配施显著促进辣椒生长并改善其果实品质

李 龙

(甘肃省张掖市高台县农业技术推广中心, 甘肃 张掖 734000)

**摘 要:** 以有机基质配比菇渣 + 泥炭土 + 玉米秆代替土壤, 采用随机区组实验设计设置正常施肥、施无机有机复混肥及喷施  $\text{GA}_3$  + 无机有机复混肥等 7 种施肥处理, 探讨了日光温室叶面喷施  $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{GA}_3$  与有机无机肥配施对辣椒生长发育、产量及果实品质的影响。结果表明: 在不同施肥及其配比条件下, 喷施  $\text{GA}_3$  对辣椒生长发育、果实产量和品质产生了显著的影响。在正常施肥条件下, 与单独施用有(无)机肥或有机无机肥配施相比较, 喷施  $\text{GA}_3$  与有机无机肥配施(处理 H: 50% (OF + GF) +  $\text{GA}_3$ ) 辣椒植株生长发育、果实产量和品质的促进效果更为明显。在正常施肥条件下, 与不喷施  $\text{GA}_3$  (处理 A: 正常施肥) 相比, 喷施  $\text{GA}_3$  与有机无机肥配施对辣椒植株生长发育、产量提高及品质改善的促进作用进一步提高。在有机复合基质栽培下, 处理 H: 50% (OF + GF) +  $\text{GA}_3$  (喷施  $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{GA}_3$  与 50% 有机肥 + 50% 化肥配施) 对辣椒的栽培的效果最好, 其株高、单株产量及单位面积产量与处理 B (正常施肥 + 喷施  $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的  $\text{GA}_3$ ) 相比分别增加了 40.1%、82.7% 和  $5.01\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 与处理 G: 50% (OF + GF) (50% 有机肥 + 50% 化肥配施) 相比分别增加了 9.6%、24.8% 和  $2.23\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。此外, 处理 H 显著改善了辣椒果实的品质, 与处理 B 相比, 处理 H 辣椒果实 Vc、可溶性蛋白及还原糖含量分别提高了 32.6%、37.8% 和 65.0%; 与处理 G 相比分别增加了 15.4%、11.7% 和 26.5%。以上结果表明, 处理 H: 叶面喷施  $\text{GA}_3$  ( $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 与 50% 有机肥 + 50% 化肥配施在促进辣椒生长发育并改善其果实品质中起着重要作用, 可广泛应用于设施蔬菜类作物的反季节栽培实践中。

**关键词:**  $\text{GA}_3$ ; 有机无机肥料; 配施; 辣椒; 生长发育; 产量; 果实品质

**中图分类号:** S641.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2095–2961 (2019) 03–308–12

**DOI:** 10.11689/j.issn.2095–2961.2019.03.012

## Combined application of organic and inorganic fertilizer plus $\text{GA}_3$ significantly promotes *Capsicum annuum* growth and quality

LI Long

(Agricultural Technology and Popularization Center of Gaotai County, Zhangye 734000, China)

**Abstract:** Taking mushroom residue, corn stalks and peat as substrates of soil, we conducted a random block experiment to discuss the effects of combined application of organic and inorganic fertilizer plus  $\text{GA}_3$  on growth, yield and fruit quality of *Capsicum annuum* in greenhouse vegetables. The treatments were as follows: A as CK, general fertilization (GF); B, CK +  $\text{GA}_3$ ; C, 50% organic fertilization (OF); D: C +  $\text{GA}_3$ ; E: 50% GF; F: E +  $\text{GA}_3$ ; G: 50% (GF + OF); H: G +  $\text{GA}_3$ . The results showed that the effects of  $\text{GA}_3$  on growth, fruit yield and quality of *Capsicum annuum* were significant under different fertilization conditions. Under normal fertilization conditions, the effect of  $\text{GA}_3$  combined with organic and inorganic fertilizer (treatment H: 50% (OF + GF) +  $\text{GA}_3$ ) on the growth and development of *Capsicum annuum*, fruit yield and quality was more obvious than that of application of organic or inorganic fertilizers alone or combined application of organic and inorganic fertilizers. Treatment B significantly effected growth, yield and quality of *Capsicum annuum* compared with treatment A; and treatment H was with the optimal effect. As for *Capsicum annuum* growth and yield, the plant height, yield per plant, and yield per plot with treatment H increased by 40.1%, 82.7% and 12.0 kg more than those with treatment B, respectively; and increased by 9.6%, 24.8% and 5.36 kg more than those with treatment G, respectively. As for *Capsicum annuum* quality, the Vc, soluble protein, and reducing sugar content with treatment H increased by 32.6%,

收稿日期: 2018–08–15; 修回日期: 2018–12–03.

基金项目: 甘肃省星火计划项目 (1006NCXG004) .

第一作者及通信作者: 李 龙 (1976–), 男, 本科, 高级农艺师, 主要从事作物育种方面的研究. E-mail: 421816894@qq.com.

37.8% and 65.0% more than those with treatment B, respectively, and increased by 15.4% , 11.7% and 26.5% than those with treatment G, respectively. Therefore, the combination of organic and inorganic fertilizer plus GA<sub>3</sub> played an important role in *Capsicum annuum* production, which would be widely used in the off season cultivation practice in greenhouse vegetables.

**Key words:** GA<sub>3</sub> ; organic and inorganic fertilizer; combined application; *Capsicum annuum* ; growth; yield; fruit quality

0 引 言

随着我国城乡居民生活水平的显著改善，人们对蔬菜的需求逐步由数量型向质量型转变。设施蔬菜栽培是在具有一定设施的基础上利用人工或现代化农业工程和机械技术，在不适宜蔬菜生长发育的季节，在局部范围内创造适宜蔬菜生长的小气候及生境条件，从而获得蔬菜类作物的高产、优产而进行的保护性生产方式<sup>[1]</sup>。目前，全国设施蔬菜栽培面积已达 386 万 hm<sup>2</sup>，是我国具有发展潜力的农业产业之一，已成为区域农业现代化发展水平的显著性标志之一<sup>[2]</sup>。

施肥对于提高设施蔬菜的产量及品质起着十分重要的作用<sup>[3-4]</sup>。然而，设施蔬菜因长期处在局部设施内，生长在大水漫灌、反季节、高温/高湿及病虫害等生长环境中，加之为了追求经济效益而大量施用化肥、不平衡施肥以及施肥方式不当等原因，不但在蔬菜生产中积累了大量硝酸盐，造成蔬菜品质下降，而且导致地下水污染及土壤酸化、盐害或离子毒害等问题<sup>[5-6]</sup>。实践证明，合理施肥可以提高蔬菜作物的产量并改善其品质，保证土壤地力不退化和免受肥料污染，从而保持蔬菜产业的可持续发展<sup>[7-8]</sup>。研究证实，设施温室生物物质复合基质在蔬菜类作物生产中的广泛应用对提高蔬菜作物产量，改善其品质，增加农民经济收入及推动设施蔬菜产业健康发展等方面起到积极作用<sup>[9]</sup>。有机生态型无土栽培技术，因不使用土壤作为育苗基质，通过生物转化改变了以无机盐配成营养液的传统无土栽培方式，具有易操作、投资少、用工省及效益好等特点，是设施蔬菜生产中有机与无机农业有机结合的新型栽培模式<sup>[10]</sup>。

有机-无机复混肥是集有机肥和无机肥优点于一身的新型肥料，在不良的生长环境下可以很好地调节植物的生长发育，还可以提高植物对逆境的抵抗能力<sup>[7]</sup>，目前已成为我国肥料行业最终发展的方向和发展趋势。然而，到目前为止，对设施蔬菜类作物栽培的研究主要集中在施用单一的无机肥、有机肥或专用肥等对其生长发育、产量提高和品质改善等方面<sup>[7,11-12]</sup>，对有机无机复混肥在设施蔬菜类作物上产生的经济效益、环境效益和社会效益，养分利用，作物产量和品质及培肥土壤潜力等方面缺乏深入的认识，加之没有在蔬菜类作物栽培生产中将作物的需肥特征和规律与肥料的供肥特性和方式有机的结合，造成肥料的不合理利用和生态环境的污染，进而影响到蔬菜产业的可持续发展。植物生长调节剂不仅对蔬菜作物的生长发育起着重要的生理调节作用<sup>[13-14]</sup>，还可显著增强植物对不良环境的抗逆性（抗旱、寒、病及盐碱等），在农作物的增产和改良农产品品质中获得了广泛的应用<sup>[15-17]</sup>。

目前，关于不同有机基质配比、植物生长调节剂及有机-无机复混肥促进蔬菜类作物的生长发育、产量及品质的相关研究已有大量报道，但是有关有机生物物质复合基质栽培下，生长调节剂和有机无机复混肥混施作用下设施蔬菜生长发育及适应性究竟如何，对其产量及品质的提升效果到底有多大，以及如何栽培等关键科学问题尚未解决。因此，为了明确有机生物物质复合基质下，植物生长调节剂和有机无机肥料配施在设施蔬菜上的施用效果，本研究以前期研究筛选的最佳有机基质配比菇渣+泥炭土+玉米秆为育苗基质<sup>[9]</sup>，200 mg·L<sup>-1</sup>的 GA<sub>3</sub>为最佳的叶面喷施浓度<sup>[17]</sup>，与正常施肥和施无机有机复混肥等施肥处理相比较，探讨了荒漠区日光温室喷施 GA<sub>3</sub>和有机无机肥料配施对促进辣椒（陇椒 2 号）生长发育，提高其产量和改善其果实品质的作用效果，旨在为设施蔬菜辣椒高效优质栽培及其产业的健康可持续发展，增加农民经济收入等方面提供技术指导，为生长调节剂和有机无机复混肥在蔬菜作物上的应用提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料、基质、肥料及外源物质

实验材料选用甘肃省农业科学研究院蔬菜研究所培育的辣椒杂交新品种－陇椒 2 号；无土栽培基质材料选用育苗前经堆沤后充分发酵腐熟的菇渣 + 泥炭土 + 玉米秆；供试肥料为：有机肥（有机质：32.3%，N：1.58%，P：6.80%，K：3.84%）、尿素（N：40.2%）、过磷酸钙（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：12.0%）、硫酸钾（K<sub>2</sub>O：50.0%）。用 GF 表示普通化肥，OF 表示有机肥料。试验中各肥料施用量均以纯含量进行计算。供试外源物质选用郑州万瑞达化工产品有限公司生产的赤霉素（喷施 GA<sub>3</sub> 200 mg·L<sup>-1</sup>）。

1.2 实验方案

采用完全随机区组设计，设置喷施 GA<sub>3</sub>、施有机肥料和无机肥料 3 个因素。其中，喷施 GA<sub>3</sub> 处理设置 2 个处理：A 对照（正常施肥，CK）和 B：正常施肥 + 喷施 200 mg·L<sup>-1</sup> 的 GA<sub>3</sub>（CK + GA<sub>3</sub>）；施有机肥设置 2 个处理：C：50% 有机肥（50% OF）和 D：50% 有机肥 + 喷施 200 mg·L<sup>-1</sup> 的 GA<sub>3</sub>（50% OF + GA<sub>3</sub>）；施无机肥设置 2 个处理：E：50% 化肥（50% GF）和 F：50% 化肥 + 喷施 200 mg·L<sup>-1</sup> 的 GA<sub>3</sub>（50% GF + GA<sub>3</sub>）；有机无机肥配施设置 2 个处理：G：50% 有机肥 + 50% 化肥（50% OF + 50% GF）和 H：50% 有机肥 + 50% 化肥 + 喷施 200 mg·L<sup>-1</sup> 的 GA<sub>3</sub>（50% OF + 50% GF + GA<sub>3</sub>）。GA<sub>3</sub> 处理的喷施量和有机无机肥各配施量见表 1。沟施且所有肥料作为基肥一次性施入。

| 表 1 GA <sub>3</sub> 和有机－无机复混肥的配比                                                            |                                    |                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Table 1 Combinations of organic and inorganic fertilizer plus GA <sub>3</sub> in treatments |                                    |                                                                                                                    |
| 因素                                                                                          | 处理<br>Treatment                    | 单位面积施肥量<br>Fertilization of each plot/ (kg·m <sup>-2</sup> )                                                       |
| GA <sub>3</sub>                                                                             | A: CK                              | 正常施肥                                                                                                               |
|                                                                                             | B: CK + GA <sub>3</sub>            | 正常施肥 + 喷施 GA <sub>3</sub>                                                                                          |
| 施有机肥 + GA <sub>3</sub>                                                                      | C: 50% OF                          | 5.29 kg                                                                                                            |
|                                                                                             | D: 50% OF + GA <sub>3</sub>        | 5.29 kg + 喷施 GA <sub>3</sub>                                                                                       |
| 施无机肥 + GA <sub>3</sub>                                                                      | E: 50% GF                          | 0.03 kg 纯氮、0.0125 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、0.017 kg K <sub>2</sub> O                                      |
|                                                                                             | F: 50% GF + GA <sub>3</sub>        | (0.03 kg 纯氮、0.0125 kg 纯磷、0.0017 kg K <sub>2</sub> O) + 喷施 GA <sub>3</sub>                                          |
| 有机无机配施 + GA <sub>3</sub>                                                                    | G: 50% (OF + GF)                   | 5.29 kg 有机肥 + 0.03 kg 纯氮、0.0125 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、0.0017 kg K <sub>2</sub> O                       |
|                                                                                             | H: 50% (OF + GF) + GA <sub>3</sub> | (5.29 kg 有机肥 + 0.03 kg 纯氮、0.0125 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、0.017 kg K <sub>2</sub> O) + 喷施 GA <sub>3</sub> |

试验在甘肃省张掖市甘州区农技中心试验基地（38°21'N，100°22'E）荒漠区日光温室中进行（2016 年 9 月 15 日－2017 年 5 月 15 日），温室面积为 630 m<sup>2</sup>（长 63 m，宽 10 m）。温室内布设了沟长均为 8 m 的基质槽 38 沟（基质槽设计槽宽 60 cm、操作间宽 70 cm 和曹深 25 cm），在基质槽由北向南的方向均设计有一个便于排水的较小坡度；发酵腐熟后的栽培基质菇渣 + 泥炭土 + 玉米秆按 1:1:1 的比例复配而成。2016 年 9 月 15 日育苗，11 月 1 日定值，株行距 30 cm×40 cm。小区面积为 2.4 m<sup>2</sup>，4 次重复。每穴定值 1 株，密度 21 株·(2.4 m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>。定值时浇透水，其后定期灌水。各实验处理的辣椒植物定植 20 d 后，待各处理辣椒门椒开花时、第 4 层辣椒开花时和盛花期分别在辣椒整株叶面上喷施 200 mg·L<sup>-1</sup> 的 GA<sub>3</sub>。

1.3 测定指标及观测方法

物候观测：各处理随机选取生长一致且健壮的辣椒植株 5 株，在辣椒各物候期，观测并记录开花期（以 50% 的植株开花日期为准）、坐果期（以 50% 的植株坐果日期为准）及采收期（以开始采收成熟果实日期为准）。

生长发育特性观测：在各处理植株生长的旺盛期，调查并记录株高（钢卷尺测定）、侧枝数（计数法）及干物质量（烘干法）变化等生长指标。

光合指标测定：在各处理植株生长的旺盛期，用 LI-6400 便捷式光合测定仪测定辣椒叶片光合速率、蒸腾速率和气孔导度的变化。采用丙酮法来测定辣椒叶片叶绿素含量<sup>[18]</sup>，将叶片鲜材料剪碎放入研钵中并加入少量的细石英砂研磨成糊状，再用丙酮水溶液提取，过滤后定容，用紫外分光光度计（UV-2102C）分别测定 OD<sub>645</sub> 和 OD<sub>663</sub> 值。

$$\text{叶绿素 a 含量 (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = (12.7 \times \text{OD}_{663} - 2.69 \times \text{OD}_{645}) \times V_{\text{提}} / (1\,000 \times W_{\text{鲜}})$$

式中：V<sub>提</sub> 为丙酮提取液体积（mL）；W<sub>鲜</sub> 为所取样品的鲜重（g）。

酶活性测定：在各处理植株生长的旺盛期，称取辣椒第四片成熟叶鲜重 0.2 g 左右，加入适量的磷酸缓冲液和石英砂，在研钵中研磨成匀浆，定溶至 25 ml，5℃ 冰箱中静置 10 min，冷冻离心机 10 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 20 min，上清液为所得到的粗酶液。采用 NBT 光化学还原法测定叶片中的 SOD 含量；POD 活性测定采用比色法；CAT 的活性采用紫外吸收法测定 240 nm 处的吸光度<sup>[19-20]</sup>。

辣椒产量和品质测定：在果实采收期分别统计各处理辣椒植株单果重（称重法）、小区产量（称重法）及辣椒长度（钢卷尺测定）、直径及厚度（游标卡尺测定）等指标，具体参照丁亮等<sup>[17]</sup>的测定方法。采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量；二氯萘酚滴定法测定 Vc 含量；紫外吸收法测定还原糖含量；采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量；NaOH 标准滴定法测定有机酸含量，具体参照鲍士旦<sup>[20]</sup>的测定方法。

1.4 数据处理

数据用 Microsoft Excel 2007 软件作图，并用 SPSS 15.0（SPSS Inc.，USA）软件进行统计性分析，采用单因素方差分析来检验不同处理间各项指标的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 喷施 GA<sub>3</sub>与不同施肥处理对辣椒植株生长发育的影响

在不同施肥及其配比条件下，喷施 GA<sub>3</sub>对辣椒生长发育产生显著的影响（表 2）。与不喷施 GA<sub>3</sub>（处理 A：CK）相比，喷施 GA<sub>3</sub>（处理 B：CK + GA<sub>3</sub>）的辣椒侧枝数显著增加（*P* < 0.05），辣椒开花期、坐果期和采收期分别提前了 4 d、2 d 和 3 d。在正常施肥条件下，与单独施用有（无）机肥或有机无机肥配施相比较，喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施（处理 H：50%（OF + GF）+ GA<sub>3</sub>）对辣椒植株生长发育产生的促进作用更为显著（表 2）。与正常施肥 + GA<sub>3</sub> 相比（处理 B），有机无机肥配施 + GA<sub>3</sub> 处理的辣椒在生长旺盛期其株高和干物质积累量最高，分别为 73.4 cm 和 166 g·株<sup>-1</sup>；其次为有机无机肥配施（处理 G：50%（OF + GF））、有机肥 + GA<sub>3</sub> 处理（处理 D：（50% OF + GA<sub>3</sub>））和无机肥 + GA<sub>3</sub> 处理（处理 F（50% GF + GA<sub>3</sub>））。与处理 B（CK + GA<sub>3</sub>）相比，处理 H 的株高和干物质积累量分别显著增加了 40.1% 和 30.8%（*P* < 0.05）。处理 H 的侧枝个数最多为 9.8 个·株<sup>-1</sup>，其次为处理 G、D、F 和 C，且平均侧枝个数差异不显著。处理 H 的开花期、坐果期和采收期均最早，其次为处理 G、D 和 F。与处理 B 相比，处理 H 开花期、坐果期和采收期分别提前了 6 d、6 d 和 7 d。处理 H（50%（OF + GF）+ GA<sub>3</sub>）对辣椒前期生长发育的促进效果最好，处理 G、D 和 F 次之。

2.2 喷施 GA<sub>3</sub>与不同施肥处理对辣椒叶片光合生理功能的影响

在不同施肥及其配比条件下，喷施 GA<sub>3</sub>对辣椒生长旺盛期的光合生理产生显著的影响（表 3）。与不喷施 GA<sub>3</sub>（处理 A：CK）相比，喷施 GA<sub>3</sub>（处理 B：CK + GA<sub>3</sub>）的辣椒气孔导度和叶绿素 a 含量显著增加了 6.04% 和 11.3%（*P* < 0.05）。在正常施肥情况下，与单独施用有（无）机肥或有机无机肥配施相比

较，喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施（处理 H）对促进辣椒光合生理作用效果更为显著（表 3）。与正常施肥 + GA<sub>3</sub>（处理 B）相比，有机无机肥配施 + GA<sub>3</sub>处理（处理 H）的辣椒净光合速率和叶绿素 a 含量均最高，其次为无机肥 + GA<sub>3</sub>处理（处理 F）、有机无机肥配施（处理 G）和有机肥 + GA<sub>3</sub>处理（处理 D）。与处理 B 相比，处理 H 辣椒净光合速率、蒸腾速率和叶绿素 a 含量分别显著提高了 27.2%、72.7% 和 58.5% ( $P<0.05$ )。喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施（处理 H）下辣椒叶片气孔导度和蒸腾速率变化趋势与光合速率相一致，高的叶片气孔导度有利于叶片内部 CO<sub>2</sub>的扩散及蒸腾作用和水分代谢的正常进行，不仅有助于提高辣椒的光合作用，还有利于辣椒吸收和积累各种矿质养分，进而为辣椒的正常生长提供充足的物质和能量。

表 2 喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施对辣椒植株生长旺盛期生长发育的影响

Table 2 Effect of combined application of organic and inorganic fertilizer plus GA<sub>3</sub> on *Capsicum annuum* growth in the rapidly growing season

| 处理<br>Treatment | 株高<br>Plant<br>height/cm | 干物质量<br>Dry weight/<br>(g·plant <sup>-1</sup> ) | 侧枝个数<br>Lateral branches/<br>(Number·plant <sup>-1</sup> ) | 开花期<br>Flowering<br>period/d | 坐果期<br>Fruiting<br>period/d | 采收期<br>Harvesting<br>period/d |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| A               | 51.6 de                  | 113 de                                          | 7.1 d                                                      | 43                           | 44                          | 60 a                          |
| B               | 52.4 d                   | 127 d                                           | 8.0 c                                                      | 39                           | 42                          | 57 a                          |
| C               | 59.6 c                   | 138 c                                           | 8.4 b                                                      | 37                           | 40                          | 55 ab                         |
| D               | 66.5 b                   | 148 b                                           | 8.8 b                                                      | 34                           | 37                          | 53 ab                         |
| E               | 60.1 c                   | 137 c                                           | 8.3 b                                                      | 37                           | 40                          | 54 ab                         |
| F               | 66.7 b                   | 147 b                                           | 8.6 b                                                      | 35                           | 38                          | 52 b                          |
| G               | 67.0 b                   | 150 b                                           | 8.8 b                                                      | 34                           | 37                          | 52 b                          |
| H               | 73.4 a                   | 166 a                                           | 9.8 a                                                      | 33                           | 36                          | 50 b                          |

注：开花期、坐果期和采收期是从定植开始生长到该期所持续的时间（天）；各处理同列数据后所标注的不同字母表示各项指标的差异显著性（ $P<0.05$ ）。同下表。

Note: The flowering, fruit setting and harvesting dates are the duration (days) started from the beginning of planting; the different letters in the same column indicate significant differences of each index at 0.05 level. The same is as below.

表 3 喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施对辣椒生长旺盛期光合生理功能的影响

Table 3 Effect of combined application of organic and inorganic fertilizer plus GA<sub>3</sub> on *Capsicum annuum* photosynthesis physiology in the rapidly growing season

| 处理<br>Treatment | 净光合速率<br>Photosynthetic rate/<br>( $\mu\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) | 蒸腾速率<br>Transpiration rate/<br>( $\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) | 气孔导度<br>Stomatal conductance/<br>( $\text{mol}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{s})^{-1}$ ) | 叶绿素 a 含量<br>Chlorophylla/<br>( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| A               | 13.0 cd                                                                                 | 3.02 d                                                                             | 331 d                                                                                | 30.1 d                                                         |
| B               | 13.6 c                                                                                  | 3.11 cd                                                                            | 351 c                                                                                | 33.5 c                                                         |
| C               | 14.9 bc                                                                                 | 3.68 c                                                                             | 357 c                                                                                | 34.0 c                                                         |
| D               | 15.7 b                                                                                  | 4.46 b                                                                             | 366 b                                                                                | 44.6 b                                                         |
| E               | 15.0 bc                                                                                 | 3.61 c                                                                             | 360 bc                                                                               | 33.9 c                                                         |
| F               | 15.6 b                                                                                  | 4.41 b                                                                             | 370 b                                                                                | 45.0 b                                                         |
| G               | 15.5 b                                                                                  | 4.63 b                                                                             | 369 b                                                                                | 43.5 b                                                         |
| H               | 17.3 a                                                                                  | 5.37 a                                                                             | 397 a                                                                                | 53.1 a                                                         |

2.3 喷施 GA<sub>3</sub>与不同施肥处理对辣椒生长旺盛期叶片酶活性的影响

喷施 GA<sub>3</sub>对不同施肥及其配比条件下生长旺盛期辣椒叶片酶活性产生显著的影响。与不喷施 GA<sub>3</sub>（处理 A：CK）相比，处理 B（CK + GA<sub>3</sub>）显著提高了辣椒叶片 SOD、POD 和 CAT 活性（ $P < 0.05$ ），但是对 PPO 活性没有显著影响（表 4）。与正常施肥（处理 A：CK）相比，其它所有的处理均能显著提高辣椒 SOD、POD 和 CAT 的活性，但是 PPO 的活性则有降低的趋势。处理 H 对提高辣椒叶片 CAT、POD 和 SOD 的活性效果最好，显著高于处理 G（有机无机肥配施）、D（有机肥 + GA<sub>3</sub>处理）和 F（无机肥 + GA<sub>3</sub>处理）。与处理 B（CK + GA<sub>3</sub>）相比，处理 H 辣椒 SOD、POD 和 CAT 活性分别增加了 44.9%、84.4% 和 65.7%；PPO 活性则显著降低了 23.7%（ $P < 0.05$ ）。与处理 G（有机无机肥配施）相比，处理 H 辣椒 SOD、POD 和 CAT 活性分别增加了 9.4%、14.9% 和 14.0%；PPO 活性则显著降低了 11.5%（ $P < 0.05$ ）。

表 4 喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施对辣椒生长旺盛期叶片酶活性的影响

| Table 4 Effect of combined application of organic and inorganic fertilizer plus GA <sub>3</sub> on the leaves enzyme activities of <i>Capsicum annuum</i> in the rapidly growing season |                                                                  |                                                      |                                                    |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                                                                                                                         | 超氧化物歧化酶 (SOD)<br>Superoxide dismutase/<br>(u·g <sup>-1</sup> FW) | 过氧化物酶 (POD)<br>Peroxidase/<br>(u·g <sup>-1</sup> FW) | 过氧化氢酶 (CAT)<br>Catalase/<br>(u·g <sup>-1</sup> FW) | 多酚氧化酶 (PPO)<br>Polyphenol oxidase/<br>(u·g <sup>-1</sup> FW) |
| A                                                                                                                                                                                       | 126 e                                                            | 87.3 e                                               | 97.6 f                                             | 107 a                                                        |
| B                                                                                                                                                                                       | 136 d                                                            | 92.2 d                                               | 108 e                                              | 101 ab                                                       |
| C                                                                                                                                                                                       | 154 c                                                            | 110 c                                                | 120 d                                              | 97.4 b                                                       |
| D                                                                                                                                                                                       | 171 bc                                                           | 152 ab                                               | 160 bc                                             | 85.3 c                                                       |
| E                                                                                                                                                                                       | 152 c                                                            | 114 d                                                | 124 d                                              | 97.0 b                                                       |
| F                                                                                                                                                                                       | 173 bc                                                           | 151 ab                                               | 154 c                                              | 86.5 c                                                       |
| G                                                                                                                                                                                       | 180 b                                                            | 148 b                                                | 157 b                                              | 87.1 c                                                       |
| H                                                                                                                                                                                       | 197 a                                                            | 170 a                                                | 179 a                                              | 77.1 d                                                       |

2.4 喷施 GA<sub>3</sub>与不同施肥处理下辣椒采收期果实产量和品质的变化

2.4.1 果实长度、直径和单果鲜重（个）的变化。在正常施肥条件下，与单独施用有（无）机肥或有机无机肥配施相比较，喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施（处理 H）可进一步增加辣椒果实的直径、果实长度和鲜重。与正常施肥（处理 A：CK）相比较，喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施（处理 H）对辣椒直径、果实长度和鲜重（个）的增加效果最为显著（表 5），分别达到 2.6 cm、21.7 cm 和 45.6 g·个<sup>-1</sup>；其次为处理 G（有机无机肥配施）、D（有机肥 + GA<sub>3</sub>处理）和 F（无机肥 + GA<sub>3</sub>处理）。与处理 B 相比，处理 H 辣椒直径、果实长度和鲜重（个）分别增加了 11.6%、27.6% 和 21.3%。

2.4.2 单株结果数、单株产量及单位面积产量的变化。在正常施肥条件下，与单独施用有（无）机肥或有机无机肥配施相比较，喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施（处理 H）对辣椒采收期单株结果数、单株产量及单位面积产量的促进作用最为显著，分别为 29.0 个·株<sup>-1</sup>、1.26 kg·株<sup>-1</sup>和 11.1 kg·m<sup>-2</sup>；处理 G（有机无机肥配施）、D（有机肥 + GA<sub>3</sub>处理）和 F（无机肥 + GA<sub>3</sub>处理）次之（表 6）。与处理 B 相比，处理 H 单株果数、单株及单位面积产量分别增加了 57.6%、82.6% 和 83.4%；与处理 G 相比，处理 H 辣椒单株结果数、单株及单位面积产量分别增加了 15.5%、24.8% 和 25.5%。

表 5 喷施 GA<sub>3</sub> 与有机无机肥配施下辣椒采收期果实长度、直径和鲜重的变化

Table 5 The changes of fruit length, diameter and single fruit fresh weight of *Capsicum annuum* with combined application of organic and inorganic fertilizer plus GA<sub>3</sub> in harvesting period

| 处理        | 直径          | 果实长度            | 鲜重                           |
|-----------|-------------|-----------------|------------------------------|
| Treatment | Diameter/cm | Fruit length/cm | Fresh weight of single fruit |
| A         | 2.23 cd     | 16.2 e          | 36.8 d                       |
| B         | 2.33 c      | 17.0 de         | 37.6 cd                      |
| C         | 2.40 bc     | 17.8 d          | 38.9 c                       |
| D         | 2.45 b      | 18.9 bc         | 39.6 bc                      |
| E         | 2.39 bc     | 18.0 cd         | 38.5 c                       |
| F         | 2.48 b      | 19.1 bc         | 39.0 bc                      |
| G         | 2.51 ab     | 19.7 b          | 40.2 ab                      |
| H         | 2.60 a      | 21.7 a          | 45.6 a                       |

表 6 GA<sub>3</sub> 与有机无机肥配施对辣椒采收期产量的影响

Table 6 Effect of combined application of organic and inorganic fertilizer plus GA<sub>3</sub> on *Capsicum annuum* yield in harvesting period

| 处理 | 单株结果数   | 单株产量    | 单位面积产量相比较                                    |                                         |                                         |
|----|---------|---------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|    |         |         | Comparison of yield among experimental plots |                                         |                                         |
|    |         |         | 单位面积产量                                       | 比 A 增减量                                 | 比 B 增减量                                 |
|    |         |         | Yield per unit/<br>kg·m <sup>-2</sup>        | Increase or decrease<br>compared to A/% | Increase or decrease<br>compared to B/% |
| A  | 18.0 de | 0.66 de | 5.79 de                                      | 0                                       | -0.25 ( -4.5% )                         |
| B  | 18.4 d  | 0.69 d  | 6.04 d                                       | 0.25 (4.5%)                             | 0                                       |
| C  | 21.7 c  | 0.84 c  | 7.38 c                                       | 1.59 (27.5%)                            | 1.34 (22.0%)                            |
| D  | 24.4 b  | 0.97 b  | 8.46 b                                       | 2.85 (45.9%)                            | 2.42 (39.6%)                            |
| E  | 21.0 c  | 0.81 c  | 7.08 c                                       | 1.54 (22.1%)                            | 1.04 (16.9%)                            |
| F  | 24.7 b  | 0.96 b  | 8.42 b                                       | 2.63 (45.4%)                            | 2.38 (39.2%)                            |
| G  | 25.1 b  | 1.01 b  | 8.83 b                                       | 3.03 (52.3%)                            | 2.79 (45.8%)                            |
| H  | 29.0 a  | 1.26 a  | 11.1 a                                       | 5.25 (90.9%)                            | 5.04 (82.7%)                            |

2.4.3 对辣椒果实品质的影响。在正常施肥条件下，与等养分的无机肥相比，有机无机肥配施（处理 G）、有机肥 + 喷施 GA<sub>3</sub>（处理 D）和无机肥 + 喷施 GA<sub>3</sub>（处理 F）显著提高了辣椒果实品质，且三者之间差异不显著（表 7）。与单独施用有（无）机肥或有机无机肥配施相比较，喷施 GA<sub>3</sub> 与有机无机肥配施（处理 H）更有利于辣椒果实中维生素 C、有机酸、可溶性蛋白及还原糖含量的积累，对辣椒品质的改善效果最好，其次为处理 G、D 和 C。与处理 B（CK + GA<sub>3</sub>）相比，处理 H 的 Vc 含量显著提高了 32.6%，有机酸和可溶性蛋白含量分别显著提高了 36.2% 和 37.8%，还原糖和可溶性糖含量分别显著提高了 65.0% 和 61.2%（*P* < 0.05）。处理 H 糖/酸值最高，其果实品质较好。

表 7 喷施 GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施对辣椒果实品质的影响

| Table 7 Effect of combined application of organic and inorganic fertilizer plus GA <sub>3</sub> on <i>Capsicum annuum</i> quality |                                                     |                                                     |                                                    |                                                 |                            |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                                                                   | Vc 含量<br>Vc content/<br>(mg·(100 g) <sup>-1</sup> ) | 有机酸<br>Organic acid/<br>(mg·(100 g) <sup>-1</sup> ) | 可溶性蛋白<br>Soluble protein/<br>(mg·g <sup>-1</sup> ) | 还原糖<br>Reducing sugar/<br>(g·kg <sup>-1</sup> ) | 可溶性糖<br>Soluble<br>sugar/% | 糖/酸<br>Sugar/Acid |
| A                                                                                                                                 | 54.3 de                                             | 3.56 de                                             | 18.6 cd                                            | 20.5 cd                                         | 2.71 d                     | 5.76              |
| B                                                                                                                                 | 58.2 cd                                             | 3.70 cd                                             | 20.1 c                                             | 22.3 c                                          | 2.89 cd                    | 6.03              |
| C                                                                                                                                 | 65.8 b                                              | 4.56 b                                              | 25.0 b                                             | 27.7 b                                          | 3.56 b                     | 6.07              |
| D                                                                                                                                 | 63.1 b                                              | 4.48 b                                              | 25.3 b                                             | 29.4 b                                          | 3.82 b                     | 6.56              |
| E                                                                                                                                 | 59.0 c                                              | 3.90 c                                              | 20.9 c                                             | 23.1 c                                          | 3.17 c                     | 5.92              |
| F                                                                                                                                 | 63.6 b                                              | 4.53 b                                              | 24.6 b                                             | 28.7 b                                          | 3.79 b                     | 6.34              |
| G                                                                                                                                 | 66.9 b                                              | 4.61 b                                              | 24.8 b                                             | 29.1 b                                          | 3.91 b                     | 6.32              |
| H                                                                                                                                 | 77.2 a                                              | 5.04 a                                              | 27.7 a                                             | 36.8 a                                          | 4.66 a                     | 7.30              |

3 讨论与结论

3.1 喷施 GA<sub>3</sub>与不同施肥配比对辣椒生长发育和产量的影响

研究表明，农作物产量的提升和品质的改善会随着有机栽培基质的变化而发生显著的改变，且在所处的生长环境、施用的基质比例和营养特点、施肥方式以及气候变化等外界因素影响下，农作物的产量和品质均会发生明显的变化<sup>[21-22]</sup>。Workneh 等<sup>[23]</sup>研究了传统的无土栽培与有机无土栽培基质的差异，结果发现，相对于传统意义上的无土栽培而言，新型栽培模式下的有机生态型无土栽培技术因在作物栽培中将有机与无机农业很好的结合，因而使得有机无土栽培基质微生物活性较高，且追施厩肥、绿肥等有机肥能够更加有利于维持栽培基质中微生物的多样性及提高其活性。Bossio 等<sup>[24]</sup>也得到了相似的研究结果，认为施用有机肥不仅能够为栽培基质增加有机碳源，提高栽培基质中的有机碳含量，而且在有效改善栽培基质的理化性质和特征，调控栽培基质中微生物群落的结构和功能，维持其多样性并提高其活性，促进其它有益微生物的生长和繁殖等方面均具有极其重要的作用<sup>[25]</sup>。有机肥作为有机、无机复合团聚体的物质基础，可提高栽培基质中腐殖质和可利用的无机离子含量，能够为栽培基质供给多种有益功能团，增加有机碳源、能源，促进营养物质的生成<sup>[25]</sup>。此外，通过有机肥料和无机肥料的合理配施，为农田生态系统中矿质营养成分的循环利用创造了条件。施用无机肥料的目的是为农作物的快速生长提供必需的营养物质，而施用有机肥料不仅为作物生长提供养分，还能够有效改良土壤理化性质，增强土壤肥力<sup>[26]</sup>。在农作物栽培中，施用植物生长调节剂的主要为了维持植物正常的新陈代谢，调控其生长发育，提高农作物产量、质量以及提高植物对于干旱、寒冷、病虫害及盐碱逆境等的抵抗能力<sup>[13-14,27]</sup>。赤霉素（GA<sub>3</sub>）是目前被公认的高效植物生长调节剂，对促进植物生长，提高开花坐果率，促进作物早熟、增产、改善品质以及增强作物抗逆性及延缓衰老等方面具有重要的作用。大量研究证实，在蔬菜类作物辣椒生长发育过程中用一定浓度的 GA<sub>3</sub>处理其种子，可促进其种子快速发芽，提高成苗率，并在生育期对辣椒果实的保鲜及杀雄能力等方面起到积极作用<sup>[17,28-29]</sup>。本研究结果表明，与施用等量的无机养分（N、P 和 K）相比，施用有机复混肥以后因其与无机肥的功效相同，故而对辣椒的增产作用无明显的差异（表 2 和表 6）。从理论上来说，有机肥中由于添加了一定量的有机氮和磷等营养成分，在作物生长季能够为作物生长提供的速效养分原则上要比施用无机肥料的少，但实际上有机肥料的施用在提高作物产量方面没有显著的影响，这可能是由于无机肥中矿质营养的高浓度和速效性，会促使土壤基质中无机养分的快速转化和固定，极大地限制了无机

肥料在作物生长过程中肥效的发挥，但是有机复混肥料的施用却能够很好地弥补这一缺陷，与施用无机肥料获得相同的增产效应。此外，喷施  $GA_3$  与有机无机肥配施对辣椒的生长发育产生显著的影响。与对照（正常施肥）相比，其它施肥处理在一定程度上都可以增强辣椒叶片的抗氧化酶（SOD、POD 和 CAT）活性，但是叶片中多酚氧化酶（PPO）的活性则与之相反（表 4）。有机肥料的施用虽然对增强辣椒叶片中抗氧化酶的活性比施用无机肥稍强，但二者之间无显著性差异，且有机无机复混肥、有机无机肥配施 + 喷施  $GA_3$  进一步提高了辣椒酶活性（表 4），表明施肥增强辣椒植株叶片中抗氧化酶的活性，而 CAT、POD 和 SOD 这 3 种酶活性的增强对保持辣椒的正常生长发育，清除辣椒体内对生长造成的不良影响有害物质的积累具有重要作用；而本研究中叶片 PPO 的活性呈现降低的趋势，这是由于辣椒处在正常的生长环境中，并没有遭受逆境胁迫，导致其叶片中磷酸戊糖代谢途径不活跃。施肥还有利于提高辣椒的光合作用，促进碳水化合物在作物体内的大量积累，有机复混肥以及有机无机肥配施 + 喷施  $GA_3$  的作用比单独施用有机肥或者是无机肥效果更好，保证了辣椒产量的进一步提高（表 5 和表 6），这可能与有机无机复混肥提高了辣椒生育期功能叶叶绿素 a 含量（表 3），从而有利于辣椒光合产物的合成和积累<sup>[12,30-31]</sup>。从生长发育来看，与其它处理相比，处理 H 50%（OF + GF）+  $GA_3$  对辣椒生长的促进作用最好，可使辣椒株高、生物量的积累、抗氧化酶活性及光合作用能力显著增加（表 2、表 3 和表 4）。从增产效果来说，处理 H 可使辣椒植株结果量及产量均达到最大，处理 E：50%（OF + GF）、F（50% OF +  $GA_3$ ）和 G（50% GF +  $GA_3$ ）次之（表 5 和表 6），处理 A（CK）和 B（CK +  $GA_3$ ）最低。从施用  $GA_3$  与有机无机肥配施对辣椒增产的促进作用来说，处理 H：50%（OF + GF）+  $GA_3$  应该为辣椒栽培实践中最佳的配比组合，增产效果明显。以上研究表明：在辣椒栽培的生长基质中，由于有机无机肥的配施为辣椒正常的生长发育供应了充足的有机无机营养成分，在一定程度上改善了辣椒正常生长发育的营养环境及根系生长环境；加之  $GA_3$  的施用能够对辣椒体内各种生理代谢活动（内源激素、酶活性及光合活性等）进行有效地调节，进而为辣椒正常的生长发育及产量的提高奠定了基础<sup>[17,32]</sup>。

3.2 喷施  $GA_3$  与不同施肥配比对辣椒果实品质的影响

维生素 C、可溶性蛋白和辣椒素等营养物质含量是评价辣椒品质好坏的重要指标<sup>[9]</sup>。辣椒果实中维生素 C 含量的多少与辣椒营养品质呈正相关关系。施肥特别是施用有机肥在辣椒的增产方面，调节硝酸盐积累来提高辣椒的营养价值及改善其果实品质方面起着重要作用<sup>[3]</sup>。此外，合理施用钾肥与氮肥对辣椒果实品质的改善作用更明显，能够促进辣椒果实中维生素 C 和可溶性糖的大量积累，是决定蔬菜品质好坏的主要原因<sup>[9,33]</sup>。还有研究表明，与常规的施肥方式相比，有机肥料的施用不仅对辣椒的增产增收及品质改善方面有影响，而且还使辣椒果实的表面光滑油亮，植株结果量增加，抵抗早寒能力显著增强<sup>[34-35]</sup>。施用一定浓度的外源激素对有效调控辣椒生长发育、产量的形成、营养价值的提高以及品质的改善（促进维生素 C、可溶性糖及粗蛋白含量的积累，调控硝酸盐的产生）等方面具有重要影响<sup>[36]</sup>。外源物质  $GA_3$  作为植物生长发育的重要调节物质，在植物生育期适量施用不仅可以起到维持辣椒果实内多种营养物质（叶绿素、VC、可溶性固形物等）的稳定，而且对于有效降低因外界不良环境造成的辣椒果实失重率、腐烂率，提高辣椒保果保鲜等具有重要作用<sup>[37]</sup>。作为农业栽培中检测农作物碳素营养代谢和农产品质量好坏的主要观测指标之一，可溶性糖积累量的高低是决定农作物质量好坏的主要因素之一，其含量的高低与农作物的保鲜期和抗冻能力有很大关系<sup>[17,38]</sup>。本研究表明，与施用无机肥相比，施用有机复混肥对辣椒果实的品质产生积极的影响，在  $GA_3$  和有机无机肥的相互作用下，辣椒果实品质发生了显著的变化，且有机复混肥以及有机无机肥配施 + 喷施  $GA_3$  的作用比单独施用有机肥或者是无机肥效果更好，保证了辣椒果实品质的进一步提高（表 7）。出现这一结果的原因一方面可能是由于有机无机复混肥中矿质营养物质很丰富，容易分解及释放小分子类有机物质、次生代谢物质及各种微量营养成分，这些营养物质

可供作物大量地吸收利用,进而在提高辣椒品质上起到一定的作用。另一方面,GA<sub>3</sub>的施用在调节辣椒生长过程中发挥了重要作用,施用GA<sub>3</sub>可能为辣椒前期的生长发育和后期的生殖生长供应了充足的营养源,促进了多种水溶性营养物质的吸收利用(如各类矿质营养物质、有机类物质、次生代谢物质和多种微量成分等),从而提高了辣椒果实的品质<sup>[13-14]</sup>;同时,GA<sub>3</sub>还能够有效减缓辣椒的呼吸代谢,在果实进行呼吸作用时可以在其表面产生一层保护屏障,使果实长期处在一个高CO<sub>2</sub>浓度、低O<sub>2</sub>浓度的生长环境中,降低果实的自身消耗来提高营养物质的大量积累,故而使辣椒果实品质显著提高<sup>[37]</sup>;此外,有研究表明,施用GA<sub>3</sub>可通过调控辣椒内源激素水平来调节多种生理代谢,对提高辣椒果实品质也具有重要影响<sup>[17,32]</sup>。至于GA<sub>3</sub>和有机无机肥配施条件下,辣椒抗逆适应性、果实中内源物质的含量变化、矿质养分积累过程以及影响因素等尚不清楚,有待进一步深入研究。

## 4 结 论

叶面喷施GA<sub>3</sub>(200 mg·L<sup>-1</sup>)与有机无机肥配施(有机肥5.29 kg·m<sup>-2</sup>;无机肥:纯氮0.03 kg·m<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.0125 kg·m<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 0.017 kg·m<sup>-2</sup>)对促进辣椒的生长发育和改善其果实品质效果较好,可广泛应用于设施蔬菜类作物的反季节栽培实践中。虽然有机复混肥、有机无机肥配施在蔬菜作物栽培上已取得了一些可喜的成就,但对荒漠区日光温室有机复合基质栽培下,GA<sub>3</sub>与有机无机肥配施对辣椒抗逆适应性、果实发育及内源激素变化等影响,高产优质栽培技术以及能否打造可推广应用的新型生态产业等研究还未见报道,有待深入研究。

## 参考文献 (References):

- [1] WANG Z Q, GAN D X, LONG Y L. Advances in soilless culture research [J]. Agricultural Science and Technology, 2013, 14 (2): 269 - 278, 323.
- [2] 史 静, 张乃明, 包 立. 我国设施农业土壤质量退化特征与调控研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2013, 21 (7): 787 - 794.  
SHI J, ZHANG N M, BAO L. Research progress on soil degradation and regulation of facility agriculture in China [J]. Chinese Journal of Eco - Agriculture, 2013, 21 (7): 787 - 794.
- [3] 李莉萍, 王 军, 段泽敏. 有机肥、无机肥与微肥配施对色素辣椒品质的影响 [J]. 热带作物学报, 2009, 30 (12): 1759 - 1763.  
LI L P, WANG J, DUAN Z M. Effects of combined application of organic, inorganic and trace elements fertilizers on the development and yield of pigment pepper [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30 (12): 1759 - 1763.
- [4] 陈俊琴, 何莉莉, 王淑杰. 不同氮水平对辣椒果实中辣椒素及其代谢物质的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44 (5): 645 - 649.  
CHEN J Q, HE L L, WANG S J. Effects of different nitrogen levels on capsaicin content and relevant substances to capsaicin metablic in hot pepper fruit [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2013, 44 (5): 645 - 649.
- [5] JU X T, KOU C L, ZHANG F S, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain [J]. Environmental Pollution, 2006, 143 (1): 117 - 125.
- [6] 曹齐卫, 张卫华, 李利斌, 等. 济南地区日光温室土壤养分的分布状况和累积规律 [J]. 应用生态学报, 2012, 23 (1): 115 - 124.  
CAO Q W, ZHANG W H, LI L B, et al. Distribution and accumulation characteristics of nutrients in solar greenhouse soil in Ji'nan, Shandong Province of east China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23 (1): 115 - 124.
- [7] 王晓凤, 成杰民, 王 倩. 有机-无机复混肥对番茄产量和品质的影响 [J]. 环境科学与管理, 2011, 36 (6): 111 - 113.  
WANG X F, CHENG J M, WANG Q. Effects of organic - inorganic complex fertilizer on tomato yield and quality [J]. Environmental Science and Management, 2011, 36 (6): 111 - 113.
- [8] 高峻岭, 宋朝玉, 王玉军, 等. 施肥对青岛市设施蔬菜产量、净产值及土壤环境的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19 (6): 1261 - 1267.

- GAO J L, SONG C Y, WANG Y J, et al. Effect of fertilization on yield, net income and soil environment in Qingdao protected vegetable production systems [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19 (6): 1261-1267.
- [9] 郭 治, 丁 亮. 河西走廊有机生态型无土栽培在设施蔬菜辣椒生产中的应用 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34 (2): 206-211.
- GUO Z, DING L. Application of organic ecotype soilless cultivation in greenhouse vegetable production of *Capsicum annuum* in Hexi Corridor [J]. Agriculture Research in Arid Areas, 2016, 34 (2): 206-211.
- [10] 李国龙, 唐继伟, 袁 硕, 等. 甘肃戈壁滩日光温室蔬菜栽培基质理化性质状况评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, 2: 27-34.
- LI G L, TANG J W, YUAN S, et al. Physical and chemical properties of organic cultivation substrates for greenhouse vegetable field in Gobi desert regions of Gansu Province [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2014, 2: 27-34.
- [11] 蒋小芳, 罗 佳, 黄启为, 等. 不同原料堆肥的有机无机复混肥对辣椒产量和土壤生物性状的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14 (4): 766-773.
- JIANG X F, LUO J, HUANG Q W, et al. Effect of different organic-inorganic mixed fertilizer application on pepper yield and soil microbial properties [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14 (4): 766-773.
- [12] 范美蓉, 汤海涛, 廖育林, 等. 有机无机复混肥对柑橘产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009 (4): 71-73.
- FAN M R, TANG H T, LIAO Y L, et al. Effect of organic-inorganic complex fertilizers application on yield and quality of citrus fruit [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2009 (4): 71-73.
- [13] 张红菊, 赵怀勇, 郁继华.  $\alpha$ -萘乙酸钠对温室辣椒产量和内源激素水平的影响 [J]. 中国沙漠, 2013, 33 (5): 1390-1399.
- ZHANG H J, ZHAO H Y, YU J H. Effects of  $\alpha$ -Naphthalene acetic acid on yield and endogenous hormones of greenhouse grown pepper in desert area [J]. Journal of Desert Research, 2013, 33 (5): 1390-1399.
- [14] 张红菊, 赵怀勇, 郁继华, 等. 温室辣椒果实生长及内源激素含量对外施  $\alpha$ -萘乙酸钠的响应 [J]. 中国沙漠, 2013, 33 (6): 1750-1758.
- ZHANG H J, ZHAO H Y, YU J H, et al. Response of fruit development and endogenous hormones content of greenhouse grown pepper to  $\alpha$ -Naphthalene acetic acid in desert area [J]. Journal of Desert Research, 2013, 33 (6): 1750-1758.
- [15] FAUCONNIER M L, MOUTTALIB A, DIALLO B, et al. Short communication: changes in lipoxygenase and hydroperoxide decomposition activities in tissue cultures of soybean [J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158 (7): 953-955.
- [16] KU Y G, WOOLLEY D J. Effect of plant growth regulators and spear bud scales on growth of *Asparagus officinalis* spears [J]. Scientia Horticulturae, 2006, 108 (3): 238-242.
- [17] 丁 亮, 马 林, 张红菊. 设施蔬菜辣椒生长发育、果实品质及内源激素对外施赤霉素的响应 [J]. 土壤与作物, 2017, 6 (3): 208-216.
- DING L, MA L, ZHANG H J. Responses of plant growth, fruit quality and endogenous hormones of greenhouse cultivated *Capsicum annuum* to exogenous gibberellic acid ( $GA_3$ ) [J]. Soils and Crops, 2017, 6 (3): 208-216.
- [18] MA Q, YUE L J, ZHANG J L, et al. Sodium chloride improves photosynthesis and water status in the succulent xerophyte *Zygophyllum xanthoxylum* [J]. Tree Physiology, 2012, 32 (1): 4-13.
- [19] 中国土壤学会农业化学委员会编. 土壤农化常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- Editorial board of agricultural chemistry. Chinese soil society: conventional analytical method of soil agrochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1984.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [21] 侯立娟, 姚方杰, 宋金梯. 菌糠有机肥对辣椒品质的影响 [J]. 浙江农业学报, 2013, 25 (6): 1293-1297.
- HOU L J, YAO F J, SONG J T. Effects of organic fertilizer of mushroom residue on the quality of *Capsicum annuum* [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2013, 25 (6): 1293-1297.
- [22] DEBOSZ K, RASMUSSEN P H, PEDERSEN A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input [J]. Applied Soil Ecology, 1999, 13 (3): 209-218.
- [23] WORKNEH F, VAN BRUGGEN A H C. Microbial density, composition, and diversity in organically and conventionally managed rhizosphere soil in relation to suppression of corky root of tomatoes [J]. Applied Soil Ecology, 1994, 1 (3): 219-230.

- [24] BOSSIO D A, SCOW K M. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns [J]. *Microbial Ecology*, 1998, 35 (3-4): 265-278.
- [25] 张志刚, 董春娟, 高 苹, 等. 蔬菜残株、生物菌肥施用下日光温室辣椒土壤微生物学特征 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17 (3): 710-717.
- ZHANG Z G, DONG C J, GAO P, et al. Soil microbiologic characteristics under vegetable residues and bacterial manure application in greenhouse [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17 (3): 710-717.
- [26] 胡时友, 朱端卫. 新型有机复混肥对辣椒、番茄产量、品质及酶活性的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 1999, 18 (2): 139-142.
- HU S Y, ZHU D W. The effect of a new type of mixed organic fertilizer on yield, quality, and enzyme activities of chilli and tomato [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 1999, 18 (2): 139-142.
- [27] FINCH-SAVAGE W E, LEUBNER-METZGER G. Seed dormancy and the control of germination [J]. *New Phytologist*, 2006, 171 (3): 501-523.
- [28] 李怡斐, 黄启中, 黄任中, 等. 赤霉素浸种对加工型辣椒种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. *辣椒杂志*, 2013, 11 (4): 28-31.
- LI Y F, HUANG Q Z, HUANG R Z, et al. Effects of ginnerellic acid on seed germination and seedling growth in processing-purpose hot pepper [J]. *Pepper Magazine*, 2013, 11 (4): 28-31.
- [29] 任邦来, 李学朋. 不同浓度赤霉素处理对辣椒保鲜效果的影响 [J]. *中国食物与营养*, 2013, 19 (12): 52-55.
- REN B L, LI X P. Effect of different concentrations of gibberellin on pepper preservation [J]. *Food and Nutrition in China*, 2013, 19 (12): 52-55.
- [30] 范美蓉, 刘 强, 荣湘民, 等. 有机无机复混肥对茼蒿产量和品质的影响 [J]. *湖南农业大学学报*, 2005, 31 (3): 331-334.
- FAN M R, LIU Q, RONG X M, et al. Studies on the effects of organic-inorganic complex fertilizers on yields and quality of lettuce [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2005, 31 (3): 331-334.
- [31] 范美蓉, 刘 强, 谢桂先, 等. 有机无机复混肥对小白菜作用效果和机理的研究 [J]. *土壤通报*, 2006, 37 (4): 732-736.
- FAN M R, LIU Q, XIE G X, et al. Effects of organic-inorganic complex fertilizers on several enzymes and yield and quality of pak-choi [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37 (4): 732-736.
- [32] ASARE-BOAMAH N K, HOFSTRA G, FLCTCHER R A, et al. Triadimefon protects bean plants from water stress through its effect on abscisic acid [J]. *Plant and Cell Physiology*, 1986, 27 (3): 383-390.
- [33] 张永清. 石灰性褐土施用氮钾对青椒产量和品质的影响 [J]. *山西农业大学学报*, 2004, 3: 135-138.
- ZHANG Y Q. Effects of combined N-K fertilizer on yield and quality of green pepper in calcareous cinnamon soil [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2004, 3: 135-138.
- [34] 汪世理, 裴志军. 商品有机肥对辣椒农艺性状和产量的影响 [J]. *现代农业科技*, 2014, 7: 92-93.
- WANG S L, PEI Z J. Effects of commercial organic fertilizer on agronomic characters and yield of pepper [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2014, 7: 92-93.
- [35] 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*, 2011, 39 (10): 157-162.
- YAO X W, LIANG Y L, ZENG R, et al. Effects of different organic fertilizers in the yield and quality of pepper [J]. *Journal of Northwest Agricultural and Forestry University*, 2011, 39 (10): 157-162.
- [36] WEYERS J D B, PATERSON N W, A'BROOK R. Towards quantitative definition of plant hormones sensitivity [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1987, 10 (1): 1-10.
- [37] 杨永岗, 张化生, 李亚莉, 等. 高原夏季胡萝卜肉质根内源激素变化及其与先期抽薹的关系 [J]. *园艺学报*, 2010, 37 (7): 1102-1108.
- YANG Y G, ZHANG H S, L Y L, et al. Endogenous hormone content of fleshy root in relation to early bolting in summer cultivated carrot on plateau [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37 (7): 1102-1108.
- [38] 杨江山, 常永义, 杨立成. 赤霉素对红地球葡萄商品性状构成因素的影响 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2002, 3 (37): 299-302.
- YANG J S, CHANG Y Y, YANG L C. Effects of GA<sub>3</sub> on component factors in commodity character of 'Red Globe' grapes [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2002, 3 (37): 299-302.