

有机肥替代化肥对辣椒生长发育的影响

李培玲¹, 孙信成^{2*}, 郭指君², 蒋万², 左丽芬³, 雷慧兰⁴,
杨丹², 李琪², 肖鑫⁵, 杨苑艺⁵, 乐熹子⁵, 张忠武²

(1.湖南应用技术学院 农林科技学院, 湖南 常德 415000; 2.常德市农林科学研究院,
湖南 常德 415000; 3.澧县农业农村局, 湖南 常德 415000; 4.鼎城区农业农村局,
湖南 常德 415000; 5.汉寿县农业农村局, 湖南 常德 415000)

摘要:【目的】研究辣椒最佳有机肥替代化肥的施用比例。【方法】以“六十早”辣椒为试材, 根据化肥减施水平设计纯化肥、减施1/6、减施1/3、减施1/2、减施2/3、减施5/6和纯有机肥共7个施肥梯度, 研究有机肥替代化肥对辣椒生长发育的影响, 分析不同施肥处理下辣椒农艺性状、产量和偏生产力, 建立肥料施用量与产量、偏生产力的数学模型。

【结果】不同有机肥替代化肥处理下辣椒农艺性状和单株产量等存在显著性差异; 辣椒产量(Y1)、PFP(Y2)与复合肥料施用量(X)之间的肥料效应方程为 $Y1 = -0.0324X^2 + 33.936X + 65657$, $Y2 = -0.000002X^2 + 0.0018X + 2.6682$ 。【结论】辣椒获得最大产量时, 最佳复合肥料施用量和有机肥施用量分别为523.70 kg/hm²和31907.41 kg/hm²; 辣椒获得最大肥料利用效率(PFP)时, 最佳复合肥料施用量和有机肥施用量分别为450 kg/hm²和33750 kg/hm²。

关键词: 有机肥; 辣椒; 生长发育; 偏生产力; 产量

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023091

李培玲, 孙信成, 郭指君, 等. 有机肥替代化肥对辣椒生长发育的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 10-13.

LI Peiling, SUN Xincheng, GUO Zhijun, et al. Effect of Organic Fertilizer Replacing Chemical Fertilizer on Growth and Development of Pepper[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 10-13.

0 引言

【研究意义】辣椒(*Capsicum annuum* L.)为茄科辣椒属一年生草本植物, 起源于中南美洲热带地区, 适应性强, 全国各地栽培广泛。农作物生长发育所需要的主要营养元素大多来源于肥料, 施肥对作物产量的影响极大。国家目前要求农业生产要质量, 最主要是从源头开展绿色生态生产, 即减少化肥、农药的使用, 不但能够减少面源污染物, 还能提高粮食、蔬菜和水果的口感和品质, 其中有机肥替代化肥是一项亟需推广的科学生产方式。施用化肥短期内可以促进农作物生长, 提高作物产量; 但长时间使用化肥或过量使用化肥会造成土壤板结、土壤有机质量偏低、土壤酸化和次生盐渍化等, 从而降低农产品品质, 而且还会增加作物生长成本^[1]。【研究进展】前人在花椰菜^[2]、茼蒿^[3]、结球生菜^[4]、结球甘蓝^[5]、番茄^[6]、西兰花^[7]和大白菜^[8]等蔬菜作物上开展有机肥替代化肥的研究中, 表明一定比例的有机肥替代能提高产量等农艺性状, 较100%替代或纯化肥施入的效果要好。

有机肥中含有丰富的营养元素和有机物质, 能够达到增强土壤保水保肥能力, 改良土壤结构和土壤营养物质, 提高土壤总孔隙度, 提高土壤微生物种类和酶活性, 促进有机质的积累, 培肥地力; 减少土壤病害的发生; 可以将畜禽粪得到有效利用, 进而减少农业面源污染; 使农牧结合更紧密, 提升农产品质量。但有机肥施入过量, 也会造成土壤养分失衡以及农产品品质下降。开展有机肥替代化肥、化肥减量增效, 是改善土壤理化性质、减少作物病虫害, 改善生态环境, 促进农业增产、农民增收的重要措施^[9]。【切入点】但关于辣椒的有机肥替代化肥适宜比例尚不清晰。

【拟解决的关键问题】为此, 以辣椒为研究对象, 开展有机肥替代化肥对辣椒农艺性状、产量和肥料利用率(PFP)影响的试验研究, 建立数学模型以期筛选出最佳的有机肥替代化肥比例及有机肥和复合肥的最佳施用量, 为辣椒施肥的生产实践提供科学参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试辣椒品种为湖南常德汉寿县地方品种“六十早”辣椒, 该品种为牛角椒型的早熟辣椒品种, 根系较浅, 主要分布在耕作层10~15 cm, 茎秆直立, 株高70~75 cm, 开展度85~90 cm, 青果呈绿色, 成熟

收稿日期: 2023-03-13 修回日期: 2023-03-14

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-23); 常德市果蔬产业发展专项

作者简介: 李培玲(1997-), 女, 学士, 主要从事农业栽培方面研究。

通信作者: 孙信成(1988-), 男, 湖北荆门人。农艺师, 硕士, 主要从事蔬菜栽培与环境调控研究。E-mail: blue995299@126.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

后呈鲜红色，其味辣、皮薄，以鲜食为主，也可作加工用；该品种适于在长江流域平原地区春夏季栽培。试验地点位于湖南省常德市农林科学研究院蔬菜研究所基地，试验田土壤为壤土，试验前土壤全氮、速效磷、速效钾、有机质量分别为 1.48 g/kg、50.80 mg/kg、73.60 mg/kg、17.50 g/kg。试验田前茬作物为白菜薹，试验于 2022 年 3—8 月在露地大田进行，2021 年 11 月在塑料大棚内电热温床育苗。供试肥料为复合肥（15-15-15）；有机肥为商品有机肥料，为复合微生物发酵腐熟型，总养分（N+P₂O₅+K₂O）≥5.0%，有机质≥45%，复合肥和有机肥均为新洋丰农业科技股份有限公司生产。

1.2 试验方法

设计 7 个有机肥和化肥的施肥梯度（表 1），T1：施入有机肥 0 kg/hm²+复合肥 1 800 kg/hm²（纯化肥）；T2：施入有机肥 7 500 kg/hm²+复合肥 1 500 kg/hm²（化肥减施 1/6）；T3：施入有机肥 15 000 kg/hm²+复合肥 1 200 kg/hm²（化肥减施 1/3）；T4：施入有机肥 22 500 kg/hm²+复合肥 900 kg/hm²（化肥减施 1/2）；T5：施入有机肥 30 000 kg/hm²+复合肥 600 kg/hm²（化肥减施 2/3）；T6：施入有机肥 37 500 kg/hm²+复合肥 300 kg/hm²（化肥减施 5/6）；T7：施入有机肥 45 000 kg/hm²+复合肥 0 kg/hm²（化肥减施 100%）；每个处理设 3 次重复，共计 21 个小区，小区面积为 1.5 m×14 m=21 m²，试验采用完全随机区组设计。试验处理用的有机肥和复合肥均作基肥，于定植前 10 天整地翻耕时施入，按照垄宽（包沟）1.5 m 开垄，垄面覆盖银灰双色地膜，沟内铺防草布；单株栽培，每垄定植 2 行，株距 40 cm，每个小区定植辣椒 35 株；田间栽培管理方式同常规大田管理。

每个小区选择长势一致的 5 株辣椒，在辣椒结果盛期，用直尺和电子天平测定果长、果实横径、果柄长、单果质量、单株产量和小区产量；采用烘干法测定植株地上部分和地下部分的干质量、鲜质量。肥料

利用效率通过偏生产力（PFP）来反应，计算式为：
PFP（kg/kg）=施肥后获得的作物产量/施肥量。

表 1 辣椒有机肥替代化肥试验设计

Table 1 Experimental design of organic fertilizer instead of chemical fertilizer on pepper

处理	减施水平	有机肥施用量/(kg hm ⁻²)	复合肥施用量/(kg hm ⁻²)
T1	纯化肥	0	1 800
T2	减施 1/6	7 500	1 500
T3	减施 1/3	15 000	1 200
T4	减施 1/2	22 500	900
T5	减施 2/3	30 000	600
T6	减施 5/6	37 500	300
T7	减施 100%	45 000	0

1.3 数据处理

用 Excel 软件进行数据整理和作图，用 SPSS 软件进行数据的差异显著性和多重比较分析。表中数据为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 不同有机肥替代化肥比例对辣椒农艺性状的影响

由表 2 可知，不同有机肥替代化肥比例处理对辣椒果长、果横径、果柄长、单果质量、单株产量、鲜质量根冠比和干质量根冠比均有显著影响。T3 处理的果长显著高于 T1、T2 处理，T4、T5、T6、T7 处理的果长与其他处理无显著性差异；T6 处理的果横径极显著高于其他处理，T3、T5 处理的果横径显著高于 T4 处理；T6 处理的果柄长显著高于 T2、T7 处理，T3 处理的果柄长显著高于 T2 处理，其他处理间的果柄长差异不显著；T6 处理的单果质量显著高于其他处理，T3 处理的单果质量显著高于 T4 处理，其他处理间的单果质量差异不显著；T2、T3 处理的单株产量极显著高于其他处理，T1、T4、T5 处理的单株产量显著高于 T6、T7 处理，T6 处理的单株产量显著高于 T7 处理；各处理的鲜质量根冠比和干质量根冠比均无显著差异（P<0.05）。

表 2 不同有机肥替代化肥比例对辣椒农艺性状的影响

Table 2 Effects of different fertilization ratios on agronomic traits of pepper

处理	果长/cm	果横径/cm	果柄长/cm	单果质量/g	单株产量/kg	鲜质量根冠比/%	干质量根冠比/%
T1	7.27±0.25bA	2.38±0.16bcB	3.80±0.36abcA	12.98±2.82bcB	1.82±0.08bBC	12.73±0.05aA	0.17±0.07aA
T2	8.00±0.53bA	2.33±0.06bcB	3.33±1.15cA	12.10±0.41bcB	2.28±0.25aA	16.15±0.08aA	0.19±0.08aA
T3	10.20±1.93aA	2.54±0.25bB	5.07±0.67abA	16.47±3.35bAB	2.61±0.31aA	18.93±0.10aA	0.16±0.06aA
T4	8.40±0.87abA	2.19±0.10cB	4.30±0.40abcA	10.55±1.40cB	1.81±0.37bBC	12.76±0.07aA	0.21±0.08aA
T5	8.43±1.37abA	2.54±0.11bB	4.23±0.71abcA	14.30±0.62bcB	1.71±0.03bBC	10.53±0.02aA	0.27±0.25aA
T6	9.33±0.98abA	3.09±0.16aA	5.27±0.49aA	21.61±2.59aA	1.24±0.30cCD	9.64±0.05aA	0.22±0.05aA
T7	8.50±0.96abA	2.44±0.24bcB	3.43±1.37bcA	13.81±3.30bcB	0.75±0.03dD	9.11±0.01aA	0.17±0.01aA

注 表中同列不同小写字母表示在 P<5%水平差异显著，同列不同大写字母表示在 P<1%水平差异极显著。

2.2 不同有机肥替代化肥比例与产量和 PFP 的数学模型

根据肥料效应函数法^[10-11]，得到 7 个有机肥替代化肥比例下的产量（Y1）、PFP（Y2）与复合肥施用

量（X）之间的肥料效应曲线和方程（图 1），即为开口朝下的抛物线，故存在复合肥施用量和产量、PFP 的最大值。产量（Y1）与复合肥施用量（X）之

间的数学模型为: $Y1 = -0.032 4X^2 + 33.936X + 65\ 657$, $R^2 = 0.875\ 8$; PFP ($Y2$) 与复合肥施用量 (X) 之间的数学模型为: $Y2 = -0.000\ 002X^2 + 0.001\ 8X + 2.668\ 2$, $R^2 = 0.847\ 4$ 。

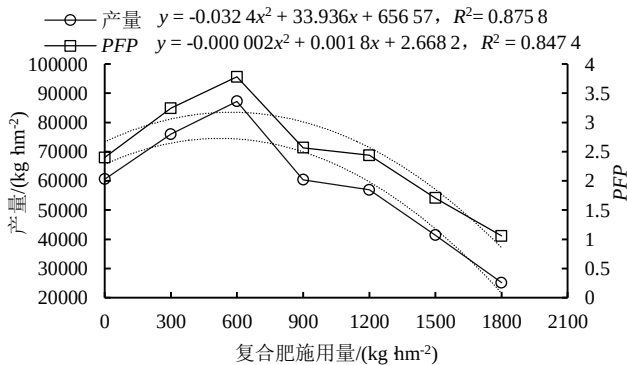


图 1 不同有机肥替代化肥比例对辣椒产量和 PFP 的影响

Fig.1 Effects of different fertilization ratios on yield and PFP of pepper

3 讨论

由于有机肥与复合肥性质不同,即使施入有机肥和复合肥的 N 、 K 素量相同,但有机肥还有大量丰富的碳源,有利于提高土壤微生物的丰富度和活性,使得土壤中的微生物多样性更高,能够更好的执行养分的活化、供应等功能,极大地改善根际环境,从而促进作物生长、提高产量和提升品质。苏光秋^[12]在西瓜上和郑爱霞等^[13]在辣椒上研究发现,作物产量会随着有机肥用量的增加而增加,有机肥用量超过一定范围后,增施有机肥反而会导致产量降低。郑爱霞等^[13]研究表明,辣椒栽培中配施有机肥 $18\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 可以达到最高的辣椒产量和氮肥利用率。张佳佳等^[2]在花椰菜有机肥替代化肥试验中发现,有机肥替代 50% 化肥能提升花椰菜农艺性状,提高其产量,但过高或过低的有机肥替代均会造成花椰菜产量的下降。孟爱红等^[3]在有机肥不同化肥替代比例对大棚茼蒿生长的影响研究中表明,有机肥替代化肥比例控制在 20%~40% 的肥料利用率和产量最佳。白洁瑞等^[4]研究表明,有机肥替代 40% 化肥对结球生菜的株高、产量、可溶性糖和 Vc 量有显著促进效果,能有效提高商品品质。刘金雨等^[5]研究发现氮肥减量 50% 配施总氮量 10% 有机肥对结球甘蓝农艺性状、产量和品质的促进效果最佳。谢启兴^[8]研究表明,胡萝卜产量最高的商品有机肥施用量为 $6\ 000\sim 9\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。郑剑超等^[6]在化肥减量对设施番茄的肥料利用率试验中表明,肥料偏生产力以基肥减施 40% 最高。杨世学^[7]在化肥减量有机肥替代对西兰花的试验中表明,化肥减量 10%~30% 有机肥替代区种植的西兰花经济效益较好。施全勇等^[14]试验表明,番茄化肥减量 10% 或 20% 的产量均显著高于常规施肥 (CK)。王天一等^[15]对大

白菜有机肥替代化肥最佳比例筛选试验中,表明有机肥替代 20% 化肥氮提质增产效果显著。

有机肥 100% 替代复合肥,由于有机肥养分释放慢、作物利用率较低,会造成作物无法吸收足够的养分,进而影响产量;有机肥替代化肥比例低时,对土壤理化性质等改良不显著,会影响作物的养分吸收,进而影响产量^[16]。因此,有机肥替代复合肥的配比比例是决定产量和肥料利用率的主要原因。

4 结论

1) 辣椒产量 ($Y1$)、 PFP ($Y2$) 与复合肥施用量 (X) 之间的肥料效应方程为 $Y1 = -0.032 4X^2 + 33.936X + 65\ 657$, $Y2 = -0.000\ 002X^2 + 0.001\ 8X + 2.668\ 2$ 。

2) 辣椒获得最大产量时,最佳复合肥施用量和有机肥施用量分别为 $523.70\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $31\ 907.41\ \text{kg}/\text{hm}^2$;辣椒获得最大肥料利用效率 (PFP) 时,最佳复合肥施用量和有机肥施用量分别为 $450\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $33\ 750\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- 梁朗玛, 汪洋, 黄芳薇, 等. 生物有机肥改善蔬菜栽培土壤环境的研究进展[J]. 南方农业, 2022, 16(10): 235-237.
- 张佳佳, 张丽君, 黄祥玉, 等. 有机肥部分替代化肥对花椰菜产量的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(8): 1 785-1 787, 1 790.
- 孟爱红, 荀贤玉, 杨宜生, 等. 有机肥不同比例替代化肥对大棚茼蒿生长的影响[J]. 蔬菜, 2019(11): 19-24.
- 白洁瑞, 王蓓, 胡卫丛, 等. 生物有机肥部分替代化肥对结球生菜的应用效果[J]. 长江蔬菜, 2022(16): 54-57.
- 刘金雨, 刘彦旭, 许忠民, 等. 减氮配施有机肥对结球甘蓝产量及品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2022(24): 62-66.
- 郑剑超, 董飞. 化肥减量对番茄生长特性和肥料利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2023, 39(6): 52-57.
- 杨世学. 化肥减量有机肥替代对西兰花产量效益影响试验[J]. 基层农技推广, 2023, 11(2): 42-45.
- 谢启兴. 湟源县胡萝卜有机肥梯度试验总结[J]. 青海农技推广, 2022(4): 52-54.
- 熊俏, 赵晓美, 谭海文, 等. 有机肥替代部分化肥对苦瓜生长和产量的影响[J]. 长江蔬菜, 2022(4): 67-69.
- 孙信成, 张忠武, 杨连勇, 等. 密度与追肥量对豇豆产量及农艺性状的影响[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(6): 71-76.
- 孙信成, 田军, 张忠武, 等. 施肥量对洞庭湖区大棚苦瓜生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(S1): 19-21.
- 苏光秋. 有机肥施用量对西瓜产量和品质及土壤理化性状的影响[J]. 长江蔬菜, 2023(2): 63-65.
- 郑爱霞, 周康才, 何川. 有机肥配施化肥对辣椒产量和氮肥利用率的影响[J]. 农家参谋, 2023(2): 69-71.
- 施全勇, 钱春平, 李红艳, 等. 番茄增施有机肥及化肥减量增效试验研究[J]. 云南农业, 2022(3): 68-70.
- 王天一, 徐丽萍, 胡娟. 大白菜种植中有机肥替代化肥最佳比例筛选试验[J]. 农业工程技术, 2021, 41(5): 15-16.
- 张永杰, 韩冰, 张晨亮. 生物有机肥对土壤质量及蔬菜产量的影响[J]. 农业开发与装备, 2022(12): 183-184.

Effect of Organic Fertilizer Replacing Chemical Fertilizer on Growth and Development of Pepper

LI Peiling¹, SUN Xincheng^{2*}, GUO Zhijun², JIANG Wan², ZUO Lifeng³, LEI Huilan⁴,
YANG Dan², LI Qi², XIAO Xin⁵, YANG Yuanyi⁵, LE Xizi⁵, ZHANG Zhongwu²

(1. Agriculture and Forestry Science and Technology College of Hunan Applied Technology University, Changde 415000, China;
2. Changde Agriculture and Forestry Science Academy, Changde 415000, China; 3. Agricultural and Rural Bureau of Lixian County,
Changde 415000, China; 4. Agricultural and Rural Bureau of Dingcheng District, Changde 415000, China;
5. Agricultural and Rural Bureau of Hanshou County, Changde 415000, China)

Abstract: 【Objective】The optimum proportion of organic fertilizer instead of chemical fertilizer was screened out to provide scientific basis for fertilization in pepper production. 【Method】According to the level of chemical fertilizer reduction, seven fertilization gradients, such as pure chemical fertilizer, 1/6, 1/3, 1/2, 2/3, 5/6 and pure organic fertilizer, were designed to study the effect of organic fertilizer instead of chemical fertilizer on the growth and development of pepper. Taking pepper “Liushizao” as test material, the agronomic traits, yield and partial productivity of pepper under different fertilizer treatments were investigated, and the mathematical models of fertilizer application amount, yield and partial productivity were established. 【Result】There were significant differences in agronomic traits and yield per plant of pepper under different organic fertilizer substitution treatments. Under the condition of soil fertility in this study, the fertilizer effect equation between pepper yield (Y_1), PFP (Y_2) and compound fertilizer application rate (X) was obtained ($Y_1 = -0.0324X^2 + 33.936X + 65657$, $Y_2 = -0.000002X^2 + 0.0018X + 2.6682$). 【Conclusion】The optimum application amount of compound fertilizer and organic fertilizer was 523.70 kg/hm² and 31907.41 kg/hm², respectively, when the maximum yield of pepper was obtained. The optimum application rate of compound fertilizer and organic fertilizer were 450 kg/hm² and 33750 kg/hm² respectively when the maximum fertilizer use efficiency (PFP) was obtained.

Key words: organic fertilizer; pepper; growth and development; partial factor productivity; yield

责任编辑：白芳芳