

## 海南有机肥替代氮肥对辣椒生长和品质的影响

李晓亮<sup>1</sup>, 余小兰<sup>2,3</sup>, 戚志强<sup>1</sup>, 杜公福<sup>1</sup>, 杨 衍<sup>1\*</sup>

1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南 儋州 571737;
2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 海口 571101;
3. 海南省热带生态循环农业重点实验室, 海南 海口 571101)

**摘 要:** 过量施用氮肥会提高蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量, 且易造成环境污染。以优化施肥配方为基础, 设置对照 (100% 化肥), 另外 3 个处理分别为 20%、40%、60% 有机肥替代化肥, 4 个处理的氮肥用量相同, 研究有机肥部分替代氮肥对辣椒生长、品质和土壤性状影响。结果表明, 不同处理的辣椒产量无显著差异。有机肥替代氮肥可显著提高辣椒果实中 Vc 含量, 降低亚硝酸盐含量。40% 和 60% 处理有机肥叶片、茎秆生物量以及株高、冠幅等指标在后期显著低于化肥和 20% 替代处理。有机肥替代氮肥显著提升了土壤 pH 值和有机质含量。可见, 有机肥替代氮肥不会造成海南辣椒前期生长、产量、外观品质下降, 且有助于酸性土壤改良, 其合理的替代比例是 20%。

**关键词:** 辣椒; 有机肥; 氮肥; 替代比例; 生长; 品质

海南以红壤为主<sup>[1]</sup>, 有机质含量低<sup>[2]</sup>, 保水保肥能力差, 导致肥料利用率低。而且土壤有机质缺乏也不利于土壤孔隙结构的形成, 使得土壤对极端天气的缓冲能力较差, 进而导致辣椒生长易受季节性干旱影响<sup>[3-4]</sup>。此外, 随着海南农业的快速发展, 土地复种指数较高<sup>[5]</sup>, 常年种植水稻和蔬菜作物, 而很少施用有机肥, 导致含量本就不高的土壤有机质进一步下降, 不利于海南农业的可持续发展。

氮是辣椒和玉米生长中需求最多的养分, 吸收量达到 186 kg/hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。由于土壤有机质含量低, 土壤保肥能力差, 农民需要过量施用氮肥以保证养分供应, 农户平均氮肥投入达到 357 kg/hm<sup>2</sup><sup>[7]</sup>。然而, 过量施用氮肥会提高蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量, 严重降低蔬菜品质, 且硝态氮在土壤中大量累积, 促进了氧化亚氮的排放, 造成严重的大气污染<sup>[8]</sup>。海南辣椒氮肥利用率为 19.7% ~ 26.9%, 且

氮肥利用率与有机氮、铵态氮、硝态氮的配比密切相关<sup>[9]</sup>。虽然, 目前有机肥增施的相关研究较多, 但是, 在优化施肥条件下, 有机肥部分替代氮肥对辣椒生长、品质和土壤性状影响的研究非常缺乏, 有必要开展相关研究, 为有机肥的应用提供理论基础。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

本研究在海南省琼海市的砖红壤旱地开展, 前茬作物为玉米, 收获后秸秆还田, 腐熟 60 d 后使用, 土壤基本理化性状为: pH 值 6.36, 碱解氮 42.92 mg/kg, 有效磷 56.75 mg/kg, 速效钾 94.89 mg/kg, 有机质 36.15 g/kg。辣椒品种为“巨陇 828”, 该品种为用于鲜食的青果螺丝椒。

#### 1.2 试验设计

本研究采用羊粪有机肥替代氮肥, 设置 4 个处理, 分别是 100% 化肥 (对照), 有机肥替代 20% 氮肥 (20%)、有机肥替代 40% 氮肥 (40%)、有机肥替代 60% 氮肥 (60%), 每个处理设置 4 个重复, 每个重复 84 m<sup>2</sup>。试验所用材料中羊粪有机肥含 N 2%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.5%、K<sub>2</sub>O 1.3%, 尿素含 N 46%, 硫酸钾含 K<sub>2</sub>O 50%, 过磷酸钙含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18%。每公顷辣椒 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 投入量分别为 421.5、120、397.5 kg。各处理具体肥料投入量详见表 1。

收稿日期: 2019-12-05; 录用日期: 2020-01-11

基金项目: 中国热带农业科学院基本科研业务费专项 (16300320 19001); 国家自然科学基金 (31702002); 国际镁营养研究所。

作者简介: 李晓亮 (1986-), 男, 安徽阜阳人, 副研究员, 博士, 主要从事蔬菜高效栽培技术方面的研究。E-mail: jueshi199777@163.com。

通讯作者: 杨衍, E-mail: yzqi@126.com。

表 1 不同处理的有机肥和化肥投入量

处理	(kg/hm <sup>2</sup> )			
	有机肥	尿素	硫酸钾	过磷酸钙
对照	0	916	667	795
20%	4215	733	550	685
40%	8430	550	433	576
60%	12645	367	315	466

有机肥全部用于底肥，采取等量控制的原则，分配底肥和追肥量。4个处理总氮量相同，20%、40%、60%处理从总养分中减去有机肥所含养分，余下养分采用化学肥料补足。磷肥全部用于基肥，氮钾养分按底肥30%、追肥70%的原则分配。坐果期追肥占追肥总量的30%，采摘期追肥占70%。追肥的尿素和硫酸钾采取膜下滴灌的方式。辣椒于2017年10月14日种植，2018年3月14日收获，于收获期采集土壤及植株样品，进行各生理指标测定。

1.3 样品分析

记录辣椒产量。在盛果期采集辣椒植株，每个小区随机取3株，将根、茎、叶分别洗净烘干并称量，粉碎后分析果实、叶片和茎秆中的氮磷钾养分含量，同时采集0~20cm土壤样品，分析土壤物理、化学性状。

表 2 有机肥替代氮肥对辣椒生长的影响

处理	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	单果重 (g/个)	果长 (cm)	果宽 (cm)	株高 (cm)	冠幅 (cm)
对照	40110 ± 3420a	133.3 ± 4.5a	17.2 ± 0.3a	34.4 ± 0.3a	43.7 ± 0.4a	56.2 ± 1.8a
20%	39780 ± 3120a	131.3 ± 8.5a	17.1 ± 0.3a	32.0 ± 0.8a	44.6 ± 2.2a	58.1 ± 2.1a
40%	41820 ± 4020a	132.4 ± 3.9a	17.4 ± 0.1a	33.6 ± 0.5a	42.3 ± 0.3ab	58.5 ± 2.9a
60%	38070 ± 1275a	138.4 ± 10.3a	17.2 ± 0.3a	34.3 ± 0.7a	39.0 ± 2.1b	50.0 ± 1.4b

注：数据为平均值 ± 标准差 (n=4)。数据后不同的小写字母表明处理间有显著差异。下同。

总体来说，随着有机肥替代量的增加，植物各组织的生物量逐渐下降。有机肥替代40%~60%的氮肥后，显著降低了辣椒叶片和茎秆的生物量，虽然果实和根系生物量均有下降的趋势，但是未达显著水平（图1）。此外，辣椒株高和冠幅也在替代40%氮肥处理时开始下降（表2）。该结果表明40%替代量已经不能满足辣椒后期生长的需求。

2.2 有机肥替代氮肥对植株养分吸收的影响

有机肥替代氮肥显著降低了辣椒茎秆中的氮含量（图2），对叶片、果实和根系中的氮含量（图2），各器官内的磷含量（图3）以及叶片、茎秆、根内的钾含量无显著影响（图4），但提高了果实中的钾含量（图4）。

所有样品均采用鲍士旦<sup>[10]</sup>的分析方法进行测定。土壤pH采用土水比为1:10(m/v)进行测定，采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量，采用碱解扩散法测定土壤碱解氮，采用乙酸铵提取土壤，用火焰光度计测定速效钾含量，采用氟化铵-盐酸溶液提取土壤，并用钼蓝比色法测定土壤有效磷含量。植株养分采用硫酸-双氧水消煮至透明，分别采用凯氏定氮仪、钼黄比色法和火焰光度计测定植株全氮、全磷、全钾含量。

1.4 数据处理

在SPSS 18.0中使用One-way ANOVA分析不同有机肥替代处理的土壤理化性状、植株生物量、植株生长指标、果实品质，采用Tukey's HSD进行多重比较。

养分收获指数 (%) = 果实吸收量 / 作物吸收量 × 100

养分吸收效率 (%) = 作物吸收量 / 养分投入量 × 100

2 结果与分析

2.1 有机肥替代氮肥对辣椒生长的影响

有机肥替代氮肥对辣椒产量、单果重、果长和果宽均无显著影响。20%替代量不会影响辣椒的株高和冠幅，但是40%替代量会降低辣椒株高，60%替代量下的株高和冠幅均会降低（表2）。

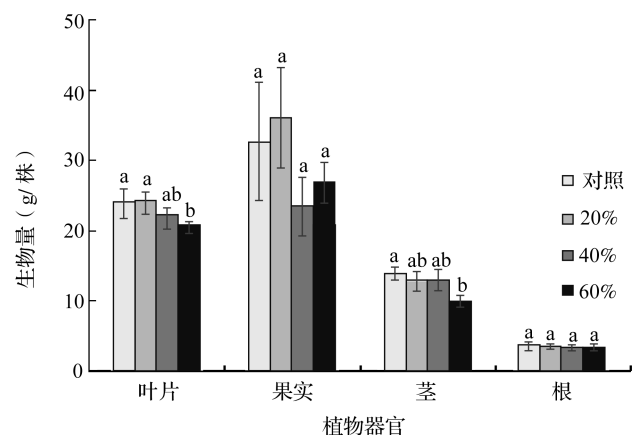


图 1 有机肥替代氮肥处理对辣椒各器官生物量的影响

注：柱上字母不同表示同一器官处理间差异显著。下同。

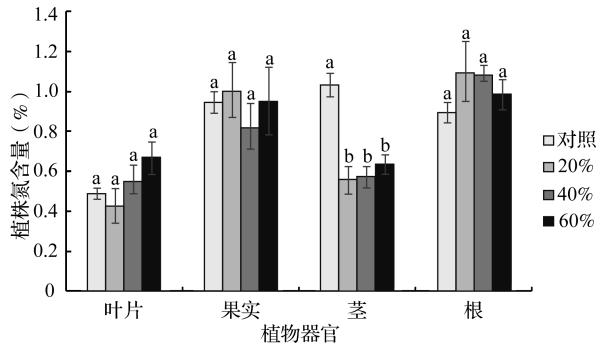


图2 有机肥替代氮肥对辣椒植株各器官氮含量的影响

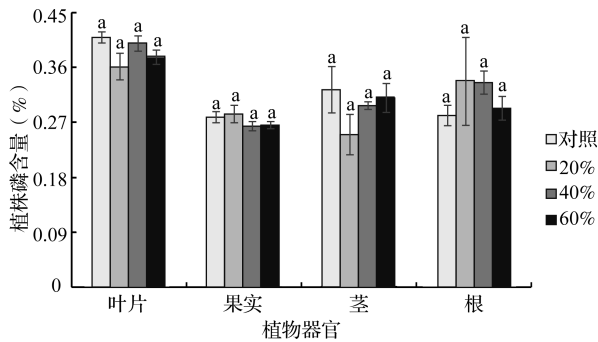


图3 有机肥替代氮肥对辣椒植株各器官磷含量的影响

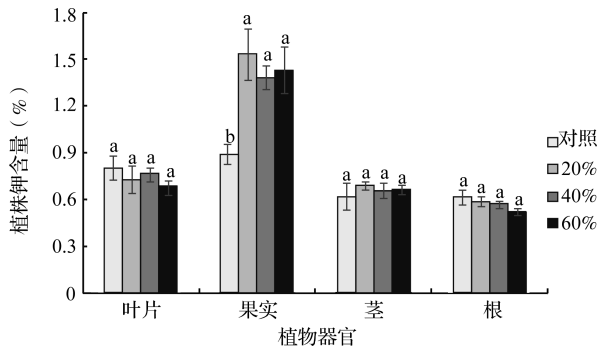


图4 有机肥替代氮肥对辣椒植株各器官钾含量的影响

随着有机肥替代量的增加,氮、磷的养分吸收效率逐渐降低,钾的养分吸收效率呈先升高后降低的趋势。氮、磷、钾的养分收获指数均随有机肥替代量的增加而升高(表3)。

表3 有机肥替代氮肥对氮、磷、钾养分吸收利用效率和收获指数的影响 (%)

处理	养分吸收效率			养分收获指数		
	氮	磷	钾	氮	磷	钾
对照	72.06	41.70	77.36	43.10	35.76	43.35
20%	71.66	41.12	115.90	45.85	36.63	47.39
40%	52.66	34.70	95.20	46.81	37.29	51.62
60%	61.70	33.55	91.32	46.54	38.74	50.94

### 2.3 有机肥替代氮肥对土壤理化性状和果实营养品质的影响

土壤pH值随有机肥替代量的增加而升高,不同有机肥替代处理对土壤碱解氮、有效磷、速效钾无显著影响,60%有机肥替代氮肥处理的土壤有机质含量显著高于其他3个处理(表4)。

随着有机肥替代氮肥比例的提高,辣椒果实中的Vc含量呈现先升高后降低的趋势,并在替代比例为20%和40%时达到最高,与纯化肥处理相比提高了约1倍(表4)。此外,20%、40%和60%有机肥替代氮肥处理均显著降低了辣椒果实中的亚硝酸盐含量,但是3个有机肥处理之间并无显著差异(表4)。然而,有机肥替代氮肥并不会影响辣椒果实中的可溶性糖和可溶性蛋白含量(表4)。

表4 有机肥替代氮肥对土壤理化性状和果实营养品质的影响

处理	土壤理化性状				果实品质				
	pH	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	Vc (mg/100g)	可溶性糖 (mg/g)	亚硝酸盐 (μg/kg)	可溶性蛋白 (mg/g)
对照	6.13 ± 0.10c	45.12 ± 2.02a	52.38 ± 2.64a	88.49 ± 16.66a	35.00 ± 1.14b	76.2 ± 13.8b	77.7 ± 0.5a	12.5 ± 0.4a	4.14 ± 0.01a
20%	6.42 ± 0.07b	46.44 ± 2.75a	52.86 ± 3.16a	123.66 ± 9.59a	35.62 ± 1.01b	141.5 ± 6.1a	77.7 ± 0.2a	6.9 ± 0.2b	4.15 ± 0.01a
40%	6.65 ± 0.08ab	45.44 ± 2.14a	53.52 ± 2.40a	155.62 ± 54.59a	35.83 ± 0.47b	143.3 ± 13.6a	77.4 ± 0.3a	7.2 ± 0.3b	4.14 ± 0.01a
60%	6.74 ± 0.03a	47.32 ± 4.68a	63.22 ± 7.13a	142.84 ± 5.23a	42.78 ± 0.96a	96.9 ± 26.1ab	77.6 ± 0.3a	6.6 ± 0.8b	4.13 ± 0.01a

### 3 讨论

有机肥替代化肥是减少化肥用量、改良土壤的一项重要措施。在马铃薯上的研究发现,有机肥

替代化肥可以提高马铃薯块茎产量,提高氮肥利用效率,而单纯施用有机肥则会降低产量<sup>[11]</sup>。与单纯施用化肥相比,有机肥替代氮肥降低了中后期水稻叶面积衰减率,提高了结实率、叶面积指

数、叶片叶绿素含量,同时早晚稻的产量分别提高 4.86% ~ 7.74% 和 1.27% ~ 8.10%<sup>[12]</sup>。在优化施肥的基础上,增施有机肥、氨基酸发酵废液等有机物料,则会显著提高辣椒产量<sup>[13-14]</sup>。然而,本研究发现,在优化辣椒养分投入量的基础上,采用有机肥替代氮肥不会提高辣椒产量,而且 40% 氮肥处理的辣椒株高、冠幅以及叶片和茎秆生物量均显著降低,表明 40% 的替代量已经不能满足辣椒后期生长的需求(表 2)。究其原因可能是由于本研究的养分投入量较为合理,没有造成养分的过量投入,而且有机肥替代氮肥可以降低茎秆中氮含量(图 2)。同时本研究采取膜下滴灌的水肥一体化技术,有效提高了肥料利用效率,其中化肥处理的氮吸收效率达到 72.06% (表 3),而随着有机肥替代比例增加,有机态的养分占比升高,反而会降低氮的吸收效率。

本研究中,有机肥替代氮肥对辣椒果长、果宽和单果重等外观品质无显著影响(表 2),但是显著提高了果实中的 Vc 含量,降低了硝酸盐含量,从而提高了果实的营养品质(表 4)。其他研究也发现,施用 1200 kg/hm<sup>2</sup> 菌糠有机肥后,Vc 含量提高了 85.7%,可溶性糖提高 4.2 倍,可溶性蛋白含量是对照的 1.46 倍<sup>[15]</sup>。施用 45 t/hm<sup>2</sup> 的猪粪和鸡粪有机肥可以显著提高辣椒可溶性蛋白和游离氨基酸含量,同时降低硝酸盐含量<sup>[16]</sup>,其原因可能是由于有机肥中的养分主要以有机态存在,必须经分解矿化后才能被作物吸收利用,不会导致硝态氮在植物体内的快速积累<sup>[17]</sup>。此外,有机肥中富含多糖、有机酸、肽类、氨基酸等营养成分,可以提高土壤对铵态氮的吸附能力,同时抑制了硝化作用<sup>[18-19]</sup>。辣椒品质与有机肥种类密切相关,牛粪处理的辣椒可溶性糖和可溶性蛋白质含量显著高于羊粪和鸡粪处理<sup>[20]</sup>。此外,过量施用有机肥也会降低辣椒产量,影响品质<sup>[14]</sup>。因此,有必要根据不同地区的生产条件,合理地选择有机肥种类,优化其用量。

目前,施用有机肥能否提高土壤有机质含量仍然有一些争议。研究发现,合理施用化肥可以维持土壤有机质含量,而长期不施肥会导致土壤有机质矿化,含量下降<sup>[21]</sup>。通过氮磷钾肥合理配施,可以提高土壤中残留的根系生物量,从而提高土壤有机质含量。在土壤肥力较低的情况下,施用有机肥可以提高土壤有机质含量<sup>[22]</sup>。本研究发现,与化

肥处理相比,20% ~ 40% 替代量的土壤有机质含量均无显著差异,而 60% 替代量下的土壤有机质含量显著高于其他 3 个处理(表 4),该结果可能是由于本试验田的碱解氮含量较低,而 60% 处理的有机肥投入较多,导致有机质矿化速率较慢,从而提高了该处理下的土壤有机质含量(表 4);此外,施用有机肥提高了土壤 pH 值,而且 60% 替代处理的 pH 值最高(表 4),在一定范围内,有机质的矿化速率与 pH 值呈负相关,这也可能是导致 60% 替代处理下的有机质含量高的原因。例如,在酸性土壤的茶园施用生物炭提高了土壤 pH 值,显著降低了茶园土壤氮矿化量、净氮矿化速率和净硝化速率<sup>[23]</sup>。

#### 4 结论

有机肥替代氮肥可显著提高辣椒果实中 Vc 含量,降低亚硝酸盐含量,提高土壤 pH 值和土壤有机质含量。因此,在海南酸性土壤中使用有机肥替代氮肥,可以提高辣椒品质、改良土壤,合理的替代比例为 20%。

#### 参考文献:

- [1] 徐卫清,杨春,张冬明,等.海南岛主要土壤类型全硒含量的分布特征[J].贵州农业科学,2018,46(10):73-77.
- [2] 姜赛平.海南岛土壤有机质时空变异特征及驱动因素研究[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [3] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(3): 809-816.
- [4] Chen X, Li Z, Liu M, et al. Microbial community and functional diversity associated with different aggregate fractions of a paddy soil fertilized with organic manure and/or NPK fertilizer for 20 years[J]. Journal of Soils & Sediments, 2015, 15(2): 292-301.
- [5] 陈云.万宁黄瓜高产栽培技术[J].北京农业,2014(30):39.
- [6] 刘彬,王孝忠,管西林,等.膜下滴灌条件下温室秋延辣椒养分吸收及分配规律[J].中国蔬菜,2017(5):50-57.
- [7] 余小兰,杨福锁,蔡卫音,等.海南临高辣椒主产区产量差及其限制因子分析[J].热带作物学报,2018,39(11):41-46.
- [8] 汤宏,张杨珠,曾掌权,等.施用有机肥对蔬菜品质影响的研究进展[J].湖南农业科学,2009(6):69-72.
- [9] 张文,谢良商,吉清妹,等.不同形态氮肥对辣椒产量与氮肥利用率的研究[J].长江蔬菜,2011(8):55-58.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.25-114.
- [11] 高怡安,程万莉,张文明,等.有机肥替代部分化肥对甘肃

- 省中部沿黄灌区马铃薯产量、土壤矿质氮水平及氮肥效率的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51 (2): 54-60.
- [12] 李超, 肖小平, 汤文光, 等. 提前喷施叶面肥对增强翻秋晚稻抵御寒露风能力的分析 [J]. 中国农业气象, 2018, 39 (5): 337-343.
- [13] 张世标, 韦寿莲, 刘永, 等. 有机肥与磷钾肥配施对辣椒产量及土壤肥力的影响 [J]. 南方农业学报, 2016, 47 (7): 1105-1109.
- [14] 关天霞, 马国泰, 张昊, 等. 不同类型畜禽粪便有机肥对辣椒产量及根际土壤酶活性的影响 [J]. 广东农业科学, 2018, 45 (11): 59-65.
- [15] 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.
- [16] 马国泰, 杨继刚, 关天霞, 等. 畜禽粪便来源的有机肥对辣椒品质的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2018 (4): 34-38.
- [17] 徐文军, 王希平. 硝酸盐对蔬菜的污染与防治 [J]. 北方园艺, 2003 (6): 54-55.
- [18] Tarkalson D D, Jolley V D, Robbins C W, et al. Mycorrhizal colonization and nutrition of wheat and sweet corn grown in manure-treated and untreated topsoil and subsoil [J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21 (9): 1985-1999.
- [19] Mafongoya P L, Barak P, Reed J D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure [J]. Biology & Fertility of Soils, 2000, 30 (4): 298-305.
- [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] 王旭东, 张一平, 吕家珑, 等. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2000, 33 (2): 75-81.
- [22] 宋永林, 袁锋明, 姚造华. 化肥与有机物料配施对作物产量及土壤有机质的影响 [J]. 华北农学报, 2002, 17 (4): 73-76.
- [23] 陈玉真, 王峰, 吴志丹, 等. 添加生物质炭对酸性茶园土壤 pH 和氮素转化的影响 [J]. 茶叶学报, 2016, 57 (2): 64-70.

### Study on the effect of organic fertilizer replacing nitrogen fertilizer on growth and quality of pepper in Hainan province

LI Xiao-liang<sup>1</sup>, YU Xiao-lan<sup>2, 3</sup>, QI Zhi-qiang<sup>1</sup>, DU Gong-fu<sup>1</sup>, YANG Yan<sup>1\*</sup> (1. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou Hainan 571737; 2. Environment and Plant Protection Institute, CATAS, Haikou Hainan 571101; 3. Hainan Key Laboratory of Tropical Eco-Circular Agriculture, Haikou Hainan 571101)

**Abstract:** Excessive application of nitrogen fertilizer can increase the content of nitrate and nitrite in vegetables and easily cause environmental pollution. Based on the optimization of fertilization formula, four treatments were set up in this study, namely fertilizer treatment, 20%, 40% and 60% chemical fertilizer replaced by organic fertilizer in order to study the effects of organic fertilizer replacement of nitrogen on growth, quality and soil properties of pepper. The same amount of nitrogen fertilizer was used in the four treatments. No significant difference in pepper yield was found among the different treatments. Concentration of Vc in pepper significantly increased after the chemical nitrogen was replaced by organic fertilizer, while the concentration of nitrite decreased. Compared with chemical fertilizer treatment, the biomass of leaves, stems, plant height and crown width of pepper in 40% and 60% organic fertilizer treatments were lower than those of chemical fertilizer and 20% replacing treatment. The replacement of organic fertilizer for nitrogen fertilizer significantly increased soil pH and soil organic matter content. In summary, the replacement of nitrogen fertilizer by organic fertilizer in pepper planting of Hainan province did not cause the decline of growth, yield and appearance quality of pepper in early stage, and was conducive to acid soil improvement, and the reasonable replacement ratio was 20%.

**Key words:** pepper; organic fertilizer; nitrogen; replacement ratio; growth; quality