

赵懿,陈海斌,杜建军,等. 不同施肥模式对华南典型红壤菜地肥力与氮肥利用率的影响[J].江苏农业学报,2023,39(3):692-698.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2023.03.009

# 不同施肥模式对华南典型红壤菜地肥力与氮肥利用率的影响

赵懿<sup>1</sup>, 陈海斌<sup>1</sup>, 杜建军<sup>1</sup>, 施新育<sup>1</sup>, 张振华<sup>2</sup>, 范如芹<sup>1</sup>

(1.仲恺农业工程学院资源与环境学院/广东省农业产地环境污染防控工程技术中心,广东 广州 510225; 2.江苏沿海地区农业科学研究所,江苏 盐城 224002)

**摘要:** 为筛选华南地区典型红壤蔬菜地最佳施肥模式,提升肥料利用率与蔬菜产量,本研究依托典型红壤蔬菜种植区定位试验,设不施肥对照(CK)、常规单施化肥(CF)、测土配方施肥(TF)、有机肥替代15%化肥(MNPK15)、有机肥替代30%化肥(MNPK30)、有机肥替代15%化学氮肥(MN15)和有机肥替代30%化学氮肥(MN30)7个处理,系统研究不同有机无机肥配施模式及有机肥替代化学氮肥替代水平对红壤菜地土壤理化性质、生菜产量及氮肥利用率的影响。经过连续4个生长季的施肥试验,结果表明,与常规单施化肥处理相比,有机肥替代化肥特别是有机肥高比例(30%)替代化肥虽然能有效增加有机质(SOM)、碱解氮含量,但对土壤全氮含量、速效磷含量、速效钾含量的提高作用不明显。各施肥处理之间生菜产量差异不显著,但均显著高于不施肥对照;各施肥处理的氮肥表观利用率(除MNPK30处理)与氮肥农学利用率差异不显著,MNPK15处理氮素土壤依存率最低,显著低于CF和MNPK30处理( $P < 0.05$ )。综上所述,有机肥替代15%化肥(MNPK15处理)在提升土壤肥力,保持生菜养分吸收与生菜产量方面具有较大潜力。本研究结果对于改善研究区红壤菜地土壤性状,减少化肥使用量及缓解农业面源污染问题具有一定参考意义。

**关键词:** 有机肥替代化肥; 红壤; 菜地肥力; 生菜; 氮肥利用率

**中图分类号:** S147 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)03-0692-07

## Effects of different fertilization patterns on red soil fertility and nitrogen use efficiency in typical vegetable fields in South China

ZHAO Yi<sup>1</sup>, CHEN Hai-bin<sup>1</sup>, DU Jian-jun<sup>1</sup>, SHI Xin-yu<sup>1</sup>, ZHANG Zhen-hua<sup>2</sup>, FAN Ru-qin<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Zhongkai University of Agriculture and Engineering/Guangdong Engineering and Technology Center for Environmental Pollution Prevention and Control in Agricultural Producing Areas, Guangzhou 510225, China; 2. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China)

**Abstract:** In order to screen the best fertilization mode in typical vegetable producing area in South China and improve fertilizer utilization rate and vegetable yield, seven fertilization treatments were comparatively studied, including no fertilization control (CK), conventional chemical fertilizer application (CF), soil testing and formula fertilization (TF), organic fertilizer replacing 15% chemical chemical fertilizer (MNPK15), organic fertilizer replacing 30% chemical chemical fertilizer (MNPK30), organic fertilizer replacing 15% nitrogen fertilizer (MN15)

收稿日期:2022-12-03

基金项目:广东省重点领域研发计划-精准农业项目(2020B0202080002);  
广东省现代农业产业技术体系农业资源环境创新团队项目  
(2020KJ118);国家自然科学基金项目(42177299)

作者简介:赵懿(1997-),女,云南楚雄人,硕士研究生,主要从事科学施肥和土壤改良方面的研究。(E-mail)zhaoyi12cwj520@163.com

通讯作者:范如芹,(E-mail)fanruqin2007@126.com

and organic fertilizer replacing 30% nitrogen fertilizer (MN30). The effects of different fertilization modes on soil physico-chemical properties, lettuce yield and nitrogen use efficiency were systematically studied. The results showed that after continuous vegetable cultivation for four seasons, compared with CF treatment, organic fertilizer replacing treatments, especially the high replacing proportion (30%) treatments effectively increased contents of soil organic matter and alkali-hydrolyzable nitrogen, however, the effects on contents of soil total nitrogen, available phosphorus and available potassium were not significant. The difference of lettuce yield among fertilization treatments was not significant, but the lettuce yield under six fertilization treatments was significantly higher than that under CK. Except for MNPK30 treatment, there was no significant difference in the apparent nitrogen utilization rate and agronomic nitrogen utilization rate among the fertilization treatments. The nitrogen soil dependency rate under MNPK15 treatment was the lowest, which was significantly lower than that under CF and MNPK30 treatments ( $P < 0.05$ ). In conclusion, organic fertilizer replacing 15% fertilizer treatment (MNPK15 treatment) had great potential in improving soil fertility, maintaining nutrient uptake and yield of lettuce. The results of this study have certain reference significance for improving the red soil properties of vegetable fields, reducing the use of chemical fertilizers and alleviating agricultural non-point source pollution in the study area.

**Key words:** organic fertilizer replacing chemical fertilizer; red soil; soil fertility of vegetable fields; ; lettuce; nitrogen fertilizer utilization rate

中国农业面源污染问题日趋突出,化肥和农药的滥用是面源污染的主要原因之一<sup>[1-2]</sup>。大量研究表明,合理施肥可以有效提高肥料利用率,在降低氮、磷流失和降低农业面源污染风险方面具有较大潜力<sup>[3]</sup>;施用有机肥处理的作物产量及品质显著高于单施化肥处理<sup>[4-5]</sup>。研究结果证明,有机肥与化肥之间存在能促进作物生长的最佳组合比例,而该比例受各地区农田土壤肥力水平、肥料种类、施肥方法、气候条件和作物种类等影响因子控制<sup>[6-7]</sup>。

为追求高产量和经济效益,化肥过量施用在蔬菜种植区尤为普遍。黄绍文等<sup>[8]</sup>的研究结果表明,中国蔬菜栽培中N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O各自总投入超量严重,在有机无机配施的模式下,蔬菜种植化肥减施潜力可高达50%以上。2018年中国蔬菜种植面积占农作物种植面积的12.3%,然而关于中国有机肥氮替代化肥氮施肥模式对蔬菜产量及经济效益的研究不足,不同地区特定土壤、气候和种植模式下最佳的施肥比例尚不明确。近年来,有研究表明,包心菜(结球甘蓝)和小青菜(不结球白菜)在有机肥替代25%化学氮肥模式下产量最高,提高了氮肥利用率,达到了最佳的经济效益<sup>[9]</sup>;对包菜(结球甘蓝)和茄子<sup>[10]</sup>、小白菜(不结球白菜)和生菜(叶用莴苣)<sup>[11]</sup>等蔬菜种植的研究结果均表明合理比例的有机肥替代化肥能有效提高蔬菜品质与产量,降低氮、磷流失。华南地区复种指数高,红壤菜地利用强度高,土壤酸化较为严重<sup>[12]</sup>;华南地区降雨量大、降雨强度高的自然环境特征,导致常年菜地系统成为化

肥面源污染高风险区,耕地质量退化,威胁农产品安全<sup>[13]</sup>。生菜(叶用莴苣)是华南地区较受欢迎的蔬菜,近年来已成为华南地区主要栽培蔬菜,种植面积最大,具有多种营养价值,在市场上的需求量持续走高<sup>[14]</sup>。因此本研究拟以生菜为研究对象,依托华南红壤地区典型的蔬菜生产基地,通过定位试验综合对比研究7种不同施肥模式下红壤菜田土壤理化性质、生菜养分吸收及氮肥表观利用率等的差异,确定最佳施肥方案,以期研究区域地力提升、化肥减量增效与面源污染防控提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况及试验材料

试验于2021年10月至2022年1月在广东省梅州市五华县安流镇长江村(23°76' N, 115°72' E)进行,该地属于典型的南亚热带季风气候,年平均温度为21.1~22.3℃,年平均日照为1 946.1 h,年降雨量为1 000~2 000 mm。试验点位于蔬菜生产基地内,蔬菜种植历史20年以上,土壤为典型红壤。试验前土壤理化性状如下:pH 5.98、有机质含量 18.84 g/kg、全氮含量 1.14 g/kg、全磷含量 0.42 g/kg、全钾含量 26.42 g/kg、碱解氮含量 94.49 mg/kg、速效磷含量 16.77 mg/kg、速效钾含量 85.56 mg/kg、阳离子交换量(CEC) 9.87 cmol/kg。当季供试蔬菜品种为生菜。肥料品种为:尿素(N 46%)、过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、氯化钾(K<sub>2</sub>O 60%)、复合肥(N 15%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15%、K<sub>2</sub>O 15%)、有机肥(N 1.10%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.63%、K<sub>2</sub>O 1.13%)。

## 1.2 试验设计与测定方法

1.2.1 试验设计 试验设不施肥对照(CK)、常规单施化肥(CF)、测土配方施肥(TF)、有机肥替代 15%化肥(MNPK15)、有机肥替代 30%化肥(MNPK30)、有机肥替代 15%化学氮肥(MN15)、有机肥替代 30%化学氮肥(MN30)7 个处理,每个处理设 3 个重复。MNPK15 和 MNPK30 处理采用化学化肥减量配合有机肥施用,氮、磷、钾养分的有机肥替代率为 15%和 30%;MN15 和 MN30 处理采用化学氮肥减量配合有机肥施用,氮素的有机肥替代率为 15%和 30%,磷、钾养分没有替代。MNPK15、MN15 处理有机肥施入量为 2 044.4

kg/hm<sup>2</sup>, MNPK30、MN30 处理有机肥施入量为 4 088.9 kg/hm<sup>2</sup>;MNPK15、MNPK30 有机肥替代化肥处理中磷、钾用量扣除了有机肥带量,剩余部分以化肥补充,氮、磷、钾总施用量与常规单施化肥处理一致,而 MN15、MN30 替代氮肥处理未扣除有机肥本身磷、钾含量,化学磷、钾肥施用量与测土配方施肥处理施用量一致。各施肥处理方案见表 1。每个小区面积为 20 m<sup>2</sup>,采用随机区组方式分配各处理小区。结球生菜育苗后于 4 叶期进行移栽,移栽前土壤施基肥,行株距为 30 cm×20 cm,移栽后 10 d 进行第 1 次追肥,移栽后 25 d 进行第 2 次追肥,第 2 次追肥后 16 d 收获并测产。

表 1 各处理施肥量

Table 1 Fertilizer application rate of each treatment

| 处理     | 有机肥<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 化肥总量(kg/hm <sup>2</sup> ) |                               |                  | 基肥(kg/hm <sup>2</sup> ) |                               |                  | 第 1 次追肥(kg/hm <sup>2</sup> ) |                  |        | 第 2 次追肥(kg/hm <sup>2</sup> ) |                  |        |
|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------|------------------|--------|------------------------------|------------------|--------|
|        |                              | N                         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N                            | K <sub>2</sub> O | 复合肥    | N                            | K <sub>2</sub> O | 复合肥    |
| CK     | 0                            | 0                         | 0                             | 0                | 0                       | 0                             | 0                | 0                            | 0                | 0      | 0                            | 0                | 0      |
| CF     | 0                            | 112.45                    | 112.45                        | 112.45           | 0                       | 0                             | 0                | 0                            | 0                | 299.85 | 0                            | 0                | 449.78 |
| TF     | 0                            | 326.54                    | 374.81                        | 209.9            | 65.52                   | 374.81                        | 41.98            | 98.05                        | 62.97            | 0      | 162.97                       | 104.95           | 0      |
| MNPK15 | 2 044.4                      | 277.44                    | 294.45                        | 200.45           | 16.42                   | 294.45                        | 32.53            | 98.05                        | 62.97            | 0      | 162.97                       | 104.95           | 0      |
| MNPK30 | 4 088.9                      | 228.04                    | 213.94                        | 191.46           | 0                       | 213.94                        | 23.54            | 65.07                        | 62.97            | 0      | 162.97                       | 104.95           | 0      |
| MN15   | 2 044.4                      | 277.51                    | 374.81                        | 209.9            | 16.49                   | 374.81                        | 41.98            | 98.05                        | 62.97            | 0      | 162.97                       | 104.95           | 0      |
| MN30   | 4 088.9                      | 228.04                    | 374.81                        | 209.9            | 0                       | 374.81                        | 41.98            | 65.07                        | 62.97            | 0      | 162.97                       | 104.95           | 0      |

CK:不施肥对照;CF:农户常规单施化肥;TF:测土配方施肥;MNPK15:有机肥替代 15%化肥;MNPK30:有机肥替代 30%化肥;MN15:有机肥替代 15%化学氮肥;MN30:有机肥替代 30%化学氮肥。

1.2.2 样品采集及测定方法 土壤样品用“梅花形”5 点采集。用土钻取 0~15 cm 土层土壤样品,除去可见动植物残体和石子等杂质后,进行均匀混合处理。土壤理化性质指标测定在土壤样品风干、过筛后进行。土壤 pH 值采用 2.5:1.0 水土比(质量比),搅拌 5 min 后,静置 30 min 直接用 pH 计测定。容重、土壤有机质(SOM)含量、全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量和阳离子交换量等具体测定方法参考《土壤农化分析》<sup>[15]</sup>。

生菜收获后每个小区计算产量,随机采集 6 株生菜样品,称鲜质量后,放入 105 °C 干燥箱杀青 0.5 h,80 °C 烘干至恒质量,称干物质质量,磨细过 60 目筛后密封备用。测定生菜氮、磷、钾养分含量及累积量<sup>[15]</sup>,并计算氮肥表观利用率、氮肥农学利用率和氮素土壤依存率<sup>[6]</sup>。

氮肥表观利用率=(施氮肥区作物总氮素吸收量-不施氮肥区作物总氮素吸收量)/氮肥施用量×

100%;

氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮肥区作物产量-不施氮肥区作物产量)/氮肥施用量;

氮素土壤依存率=不施氮肥区作物总氮素吸收量/施氮肥区作物总氮素吸收量×100%。

1.2.3 数据统计与分析 用 Excel 2016 软件进行试验数据处理及图表绘制,用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析,并利用 LSD 检验进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对土壤基本理化性质的影响

由表 2 可知,土壤酸碱度和容重在不同施肥处理间的差异均不显著;MNPK30 处理 SOM 含量最高(23.02 g/kg),较 CF、TF 处理显著提高 28.68%、21.41% ( $P<0.05$ ),MNPK15 处理与 MN30 处理间 SOM 含量差异不显著;土壤全氮含量除 CK 外各处

理间均无显著差异;碱解氮含量表现为MN30>MNPk30>MN15>MNPk15>TF>CK>CF, MN30 碱解氮含量(270.10 mg/kg)显著高于其他处理( $P<0.05$ );各施肥处理间,速效磷含量以TF处理最低,显著低于其他施肥处理。速效钾含量各施肥处理间差异不显著。CEC以MNPk15处理最低,显著低于

MNPk30和MN15处理,与CF、TF、MN30处理差异不显著。可见,有机肥替代化肥特别是有机肥高比例(30%)替代化肥虽然能有效增加SOM、碱解氮含量,但对土壤全氮含量、速效磷含量、速效钾含量的提高作用不明显。

表2 不同施肥条件下土壤理化性质

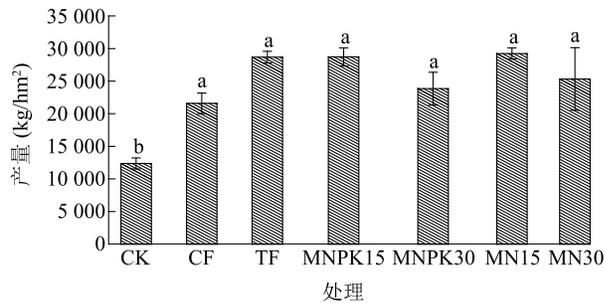
Table 2 Physical and chemical properties of soil under different fertilization conditions

| 处理     | pH          | 容重<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 有机质含量<br>(g/kg) | 全氮含量<br>(g/kg) | 碱解氮含量<br>(mg/kg) | 速效磷含量<br>(mg/kg) | 速效钾含量<br>(mg/kg) | CEC<br>(cmol/kg) |
|--------|-------------|----------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| CK     | 5.89±0.02a  | 1.11±0.05a                 | 17.38±0.38c     | 1.07±0.03b     | 101.26±9.38c     | 16.11±0.62c      | 23.65±5.34a      | 18.98±1.20ab     |
| CF     | 5.62±0.07ab | 1.09±0.03a                 | 17.89±0.54c     | 1.20±0.09ab    | 91.67±1.38c      | 34.14±0.88a      | 26.31±6.92a      | 19.16±1.47ab     |
| TF     | 5.59±0.08ab | 1.04±0.01a                 | 18.96±0.80bc    | 1.16±0.01ab    | 105.94±5.89c     | 25.85±1.27b      | 21.48±2.08a      | 19.76±0.49ab     |
| MNPk15 | 5.37±0.05b  | 1.10±0.04a                 | 22.29±2.06a     | 1.20±0.08ab    | 120.80±26.39bc   | 38.03±0.35a      | 37.49±7.23a      | 16.45±0.65b      |
| MNPk30 | 5.32±0.06b  | 1.17±0.16a                 | 23.02±0.41a     | 1.34±0.08a     | 172.43±32.83b    | 37.06±2.90a      | 32.48±6.14a      | 20.65±0.77a      |
| MN15   | 5.34±0.07b  | 1.06±0.01a                 | 21.30±0.32ab    | 1.34±0.03a     | 127.06±1.17bc    | 37.75±0.37a      | 37.30±3.34a      | 20.35±0.61a      |
| MN30   | 5.33±0.26b  | 1.03±0.01a                 | 22.98±0.53a     | 1.31±0.15a     | 271.10±4.09a     | 36.17±0.83a      | 33.14±6.33a      | 18.09±0.52ab     |

各处理见表1注。CEC:阳离子交换量。同列数据后不同字母表示不同处理之间差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.2 不同施肥处理对生菜产量的影响

由图1可知,所有施肥处理较不施肥对照(CK)均能有效提高生菜产量,不同施肥处理增产幅度不同。不同施肥处理生菜产量大小为MN15>MNPk15>TF>MN30>MNPk30>CF>CK。与CK相比,各施肥处理生菜产量增加9 230.43~16 780.46 kg/hm<sup>2</sup>,增幅高达74.60%~136.34%,各施肥处理间无显著差异。TF、MNPk15、MN15处理产量增幅相似;MNPk30、MN30处理生菜产量低于MNPk15、MN15处理。



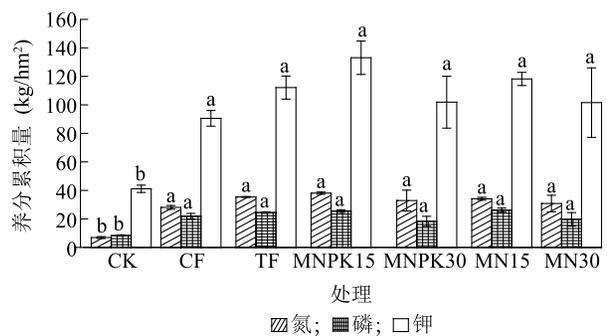
各处理见表1注。图中不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

图1 不同施肥处理对生菜产量的影响

Fig.1 Effects of different fertilization treatments on lettuce yield

## 2.3 不同施肥处理对生菜氮、磷、钾养分积累量及氮肥利用率的影响

由图2可知,不同施肥处理生菜氮、磷、钾积累量变化趋势较为一致。与CK相比,各处理生菜养分积累量均显著增加,其中MNPk15处理生菜氮、钾积累量增加最为明显,含量分别为38.10 kg/hm<sup>2</sup>、133.09 kg/hm<sup>2</sup>。有机肥替代各处理间差异不显著。



各处理见表1注。图中不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

图2 不同施肥处理对生菜氮、磷、钾养分积累的影响

Fig.2 Effects of different fertilization treatments on the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in lettuce

由表3可知,生菜的氮肥农学利用率和氮肥表观利用率均以MNPk15处理最高,分别为120.13

kg/kg和 20.81%,但各施肥处理间氮肥农学利用率无显著差异,而 MNPK15 处理氮肥表观利用率显著高于 MNPK30 处理( $P<0.05$ )。MN15 处理氮肥农学利用率和氮肥表观利用率与 MN30 处理差异不显著。在氮素土壤依存率方面,MNPK30 处理高达 28.81%,显著高于其他处理( $P<0.05$ ),MN15 处理与 MN30 处理间无显著差异。

表 3 不同施肥处理的氮肥利用率

Table 3 Nitrogen use efficiency under different fertilization treatments

| 处理     | 氮肥农学利用率<br>(kg/kg) | 氮肥表观利用率<br>(%) | 氮素土壤依存率<br>(%) |
|--------|--------------------|----------------|----------------|
| CF     | 98.27±7.40a        | 18.85±1.17a    | 24.71±1.13b    |
| TF     | 108.83±5.99a       | 19.01±0.19a    | 19.48±0.15c    |
| MNPK15 | 120.13±1.94a       | 20.81±0.51a    | 18.12±0.37c    |
| MNPK30 | 92.13±16.40a       | 11.37±0.03b    | 28.81±0.05a    |
| MN15   | 112.53±5.62a       | 18.17±0.68a    | 20.25±0.58c    |
| MN30   | 116.81±30.46a      | 20.26±2.41a    | 18.86±1.83c    |

各处理见表 1 注。同列数据后不同字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同施肥处理对土壤基本理化性质的影响

研究结果显示,有机肥长期施用可以降低土壤容重、改善土壤结构<sup>[16]</sup>、促进养分吸收、提升土壤肥力<sup>[17-18]</sup>。本研究各处理间容重差异不显著,可能与试验周期相对较短有关(本研究为第 4 季),有机肥对容重的作用尚没有显现<sup>[19]</sup>。本试验施用有机肥后,土壤 pH 值有所下降的原因可能是矿物氮在土壤有机肥分解过程中进行硝化反应,使土壤 pH 降低<sup>[20]</sup>,并且施用有机肥对土壤 pH 值的影响与土壤初始酸碱性也息息相关。同时土壤 pH 也与试验周期长短有关,Zhong 等<sup>[21]</sup>在酸性红壤上进行了长达 21 年的研究,发现有机肥配施化肥可使土壤的 pH 值从 5.36 增加到 5.85。本研究结果显示,有机肥替代 30%化肥处理(MNPK30)对 SOM、碱解氮的改善效果较好,这与 Cai 等<sup>[22]</sup>进行的长达 25 年的定位试验结果相似。有机肥本身 SOM 含量较高,有机肥替代处理直接增

加了 SOM 的输入。在作物生长过程中有机物料腐解后释放出氮、磷、钾等元素,促使微生物分解土壤中的有机物质<sup>[23-24]</sup>,从而提高土壤供肥能力<sup>[25-26]</sup>。可见,适量有机肥和无机肥共同施用可改善土壤基本理化性质,有利于培肥地力。由于本试验时间较短,最有效的有机肥替代比例还需进一步验证,且有机肥无机肥配施对土壤性质的影响机理则需更深入探究。

#### 3.2 不同施肥处理对生菜产量的影响

有研究者指出,有机肥以适当比例配施化肥具有明显增产效果<sup>[27]</sup>,可能是因为化肥与有机肥合理配施可通过提高作物光合能力,促进作物的生长发育<sup>[28]</sup>。本研究中不同施肥模式下生菜产量为:MN15>MNPK15>TF>MN30>MNPK30>CF>CK,各施肥处理生菜产量均显著大于不施肥对照,但各施肥处理间差异不显著,这主要是由于合适比例的有机氮替代部分化肥氮能够改善土壤中氮素的供应过程,使得土壤养分能够平稳释放所造成的结果<sup>[29]</sup>。其他研究结果也证明有机氮替代部分化肥氮可通过改善土壤中氮素供应保持蔬菜的产量<sup>[30-31]</sup>,与本试验的研究结果一致。赵吉霞等<sup>[32]</sup>针对云南红壤研究不同氮替代水平对玉米产量的影响试验结果表明,玉米产量随着替代比例的增加并没有下降,与本试验研究结果类似。说明适量的有机肥替代化肥能保持作物产量不下降。

#### 3.3 不同施肥处理对生菜养分累积及氮肥利用率的影响

本研究发现,15%有机肥替代化肥处理在显著降低( $P<0.05$ )氮素土壤依存率的同时,减少了化肥用量。这与李太魁等<sup>[33]</sup>的研究结果一致。这是因为适量有机肥配施可以促进作物生长发育,促进作物吸收利用养分,减少化肥的使用量,进而提高化肥表观利用率和农学利用率,降低化肥在土壤中的存留率<sup>[34]</sup>。有机肥替代 15%化肥(MNPK15)处理氮素土壤依存率显著低于有机肥替代 30%化肥处理(MNPK30)( $P<0.05$ ),表明适量的有机替代能有效促进作物对养分的吸收利用。此外,郭龙等<sup>[35]</sup>在不同有机

肥替代率对小麦减肥增效及减少麦田氮、磷流失的研究中发现,猪粪有机肥30%~50%的养分替代可以确保小麦高产稳产,同时有效降低麦田氮径流流失量,提高养分利用率。综合来看,本研究有机肥替代15%化肥(MNPK15)和有机肥替代30%氮肥(MN30)处理在一定程度上减少了化肥施用,对于控制研究区域氮素流失污染环境的风险具有一定意义。

## 4 结论

本研究结果表明,有机肥以合理替代比例替代化肥不仅有助于研究区域碱解氮含量和SOM含量的提高,而且能保持生菜产量和养分的吸收。供试红壤菜地上有机肥替代15%化肥的处理更有利于保持生菜产量,在减少化肥使用量的同时实现对氮的高效利用。因此,有机肥替代15%化肥处理可作为研究区域实现化肥减量增效、推进绿色种养循环农业的推荐施肥方式。

### 参考文献:

- [1] 邓春梅,梁伟红,李玉萍,等.海南农户行为视角下农业面源污染治理认知研究[J/OL]. 热带农业科学,2022,42(10):63-67. [2022-11-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1038.S.20220905.1000.002.html>.
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 第二次全国污染源普查公报[EB/OL]. (2020-06-09) [2021-02-23]. [http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content\\_5518391.html](http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518391.html).
- [3] 任科宇. 氮肥优化减施和有机肥替代下我国粮食作物的氮肥利用率[D]. 北京:中国农业科学院,2020.
- [4] 杨胜玲,黄兴成,李渝,等.长期有机无机肥配施对水稻生长、干物质积累及产量的影响[J]. 浙江农业学报,2022,34(9):1815-1825.
- [5] 丁维婷,武雪萍,张继宗,等.长期有机无机配施对暗棕壤土壤酶活性及春麦产量品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2020(6):1-8.
- [6] 左婷,王新霞,侯琼,等.稻-麦轮作体系不同施肥模式对氮肥利用效率和土壤有效养分平衡的影响[J]. 水土保持学报,2021,35(1):213-221,228.
- [7] 朱莉,李贵勇,周伟,等.不同生态条件下氮高效水稻品种干物质积累和产量特性[J]. 植物营养与肥料学报,2022,28(6):1015-1028.
- [8] 黄绍文,唐继伟,李春花,等.我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(6):1480-1493.
- [9] 武星魁,姜振萃,陆志新,等.有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J]. 中国生态农业学报,2020,28(3):349-356.
- [10] 袁奇,章欢,钟月华,等.有机肥替代化肥对设施蔬菜土壤质量提升的效果评价[J]. 安徽农业科学,2022,50(12):132-136.
- [11] 徐大兵,赵书军,袁家富,等.有机肥替代氮肥对叶菜产量品质和土壤氮淋失的影响[J]. 农业工程学报,2018,34(S1):13-18.
- [12] 刘园,蔡泽江,余强毅,等.从作物轮作角度评价华南典型赤红壤农区耕地质量空间差异[J]. 农业资源与环境学报,2021,38(6):1051-1063.
- [13] 宁建凤,艾绍英,李盟军,等.化肥减量配合有机替代对赤红壤常年菜地蔬菜生长及土壤氮平衡的影响[J]. 热带作物学报,2019,40(5):1008-1014.
- [14] 熊伟任,雷雨田,杨永森,等.不同波长蓝光对紫叶生菜品质形成的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):143-148.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2008.
- [16] 席凯鹏,杨苏龙,席吉龙,等.长期棉花秸秆配施有机肥对土壤理化性质及棉花产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2022(7):82-90.
- [17] 洪永忠,王世华,杨国盟,等.3种典型有机肥对魔芋土壤养分吸收量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(15):114-118.
- [18] HE H, PENG M G, LU W D, et al. Commercial organic fertilizer substitution increases wheat yield by improving soil quality [J]. Science of the Total Environment, 2022, 851:158132.
- [19] 刘丽媛,徐艳,朱书豪,等.有机肥配施对中国农田土壤容重影响的整合分析[J]. 农业资源与环境学报,2021,38(5):867-873.
- [20] 顾思婷,陈睿,李志洋,等.有机肥部分替代化学氮肥的安全施用比例及环境容量研究——以典型土壤生菜种植为例[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2022,48(2):191-206.
- [21] ZHONG W, GU T, WANG W, et al. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity [J]. Plant and Soil, 2010, 326(1):511-522.
- [22] CAI A D, XU M G, WANG B, et al. Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility [J]. Soil and Tillage Research, 2019, 189(12):168-175.
- [23] RAJNEESH, SHARMA R P, SANKHYAN N K, et al. Long-term effect of fertilizers and amendments on depth-wise distribution of available N, P, K, micronutrient cations, productivity, and N, P, K uptake by maize-wheat system in an acid alfisol of northwestern Himalayas [J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2017, 48(18):2193-2209.

- [24] 杨莉莉,王永合,韩稳社,等.氮肥减量配施有机肥对苹果产量品质及土壤生物学特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(3): 631-639.
- [25] 高菊生,黄晶,董春华,等.长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 314-324.
- [26] 卢红玲,高鹏,鲁耀雄,等.晚稻施用有机肥对烟稻轮作烟田土壤供氮能力的影响[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(6): 17-23.
- [27] 于跃跃,郭宁,闫实,等.有机肥替代化肥对土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 148-154.
- [28] 卢合全,唐薇,罗振.商品有机肥替代部分化肥对连作棉田土壤养分、棉花生长发育及产量的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(12): 2511-2521.
- [29] 张祥明,孙义祥,王文军.有机肥部分替代化肥对水稻土壤供氮特征和氮素表观盈亏的影响[J]. 农学学报, 2018, 8(12): 28-34.
- [30] 江波,薛贞明,王静,等.有机氮不同替代量对西兰花产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(11): 142-144.
- [31] 胡国智,闫森,熊韬,等.适宜有机肥氮替代化肥氮比例提高甜瓜养分吸收、产量和品质[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(2): 260-268.
- [32] 赵吉霞,禹妍彤,周芸,等.有机肥等氮替代化肥对玉米产量和氮素吸收利用效率的影响[J]. 水土保持研究, 2022, 29(5): 374-381.
- [33] 李太魁,寇长林,郭战玲,等.有机氮替代部分无机氮对砂姜黑土冬小麦产量及氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(5): 97-101.
- [34] 鲁伟丹,李俊华,罗彤,等.连续三年不同有机肥替代率对小麦产量及土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(8): 1330-1338.
- [35] 郭龙,骆美,常珺枫,等.有机养分替代对小麦产量、土壤肥力及麦田氮磷径流流失的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(10): 2063-2071.

(责任编辑:陈海霞)