

# 长期不同施肥对南方丘陵红壤旱地生产力和土壤结构的影响

黄山<sup>1</sup>, 潘晓华<sup>1</sup>, 黄欠如<sup>2</sup>, 余喜初<sup>2</sup>, 李昌新<sup>3</sup>, 张卫建<sup>3\*</sup>

(1. 江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045; 2. 江西省红壤研究所, 江西 进贤 331700; 3. 南京农业大学 应用生态研究所, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 农田施肥管理能显著影响土壤结构及其团聚体形成。通过长期定位试验, 明确了不同施肥措施对南方丘陵红壤旱地(双季玉米-冬闲)周年生产力和土壤结构的影响。结果表明, 与无肥对照相比, 化肥 NPK 配施和有机施肥(M 和 NPK+M) 均能显著提高双季玉米的周年产量及产量的稳定性。与对照相比, 单施 N 肥虽然能增加玉米产量, 但不能提高作物生产的稳定性。对照和单施 N 肥处理周年玉米产量均随种植年限延长呈下降趋势, 而有机肥处理均呈上升趋势, NPK 处理则保持相对稳定。与对照相比, 长期施用有机肥显著降低了耕层土壤容重, 提高了土壤有机质含量, 促进了土壤大团聚体(>2 000 μm) 的形成, 降低了微团聚体(53~250 μm) 在土壤中的比重, 但施用化肥无显著影响。此外, 长期施用有机肥能显著提高红壤旱地土壤团聚体的平均重量直径和几何平均直径, 而仅施化肥无显著影响。因此, 长期施用有机肥可以改善南方丘陵红壤旱地的土壤结构, 提高土壤有机质含量, 从而增强红壤旱地作物生产的稳定性和可持续性。

**关键词:** 长期施肥; 南方丘陵; 红壤旱地; 土壤结构; 湿筛法

中图分类号: S152.4; S158 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)02-0403-06

## Effect of Long-term Fertilization in Different Patterns on the Productivity and Soil Structure of Red Hilly Upland in Southern China

HUANG Shan<sup>1</sup>, PAN Xiao-hua<sup>1</sup>, HUANG Qian-ru<sup>2</sup>,  
YU Xi-chu<sup>2</sup>, LI Chang-xin<sup>3</sup>, ZHANG Wei-jian<sup>3\*</sup>

(1. Department of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Institute of Red Soil, Jinxian 331700, China; 3. Institute of Applied Ecology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Fertilization practice can significantly affect soil aggregation and structure in cropland. In the present study, the effect of long-term fertilization in different patherns on the year-round productivity and soil structure in red upland with double corn cropping was investigated. The results showed that compared with the unfertilized control, inorganic NPK fertilization and manure amendment (M and NPK+M) significantly increased the year-round corn yield and its stability. Inorganic N fertilization significantly increased corn yield, but did not increase its stability. Corn yields showed significantly declining trends in the control and N treatments with increasing experimental duration, while increasing in the manure-applied plots with no significant trend in the NPK treatment. Compared with the control, long-term manure application significantly reduced

收稿日期: 2011-10-21 修回日期: 2011-12-05

基金项目: 教育部新世纪优秀人才资助计划(NCET-05-0492) 和国家“十二五”粮食丰产科技工程(2011BAD16B14) 资助

作者简介: 黄山(1983—), 博士, 讲师, 主要从事农业生态研究, E-mail: ecohs@126.com; \* 通讯作者: 张卫建, 博士, 教授, 主要从事耕作制度与农业生态研究, E-mail: zwj@njau.edu.cn。

soil bulk density in the plow layer, increased the content of soil organic matter, and promoted the formation of soil macroaggregates ( $>2\ 000\ \mu\text{m}$ ) with a corresponding decline in the proportion of microaggregates ( $53\sim 250\ \mu\text{m}$ ), while no significant effects were found in the inorganic fertilization treatments. Furthermore, the values of mean weight diameter and geometric mean diameter were significantly higher in the manure-applied treatments compared with the control, but not in the inorganic fertilization treatments. Thus, long-term manure amendment improves soil structure and organic matter content in the red upland, thereby enhancing the stability and sustainability of crop production.

**Key words:** long-term fertilization; hilly area; red upland; soil structure; wet-sieving method

红壤是我国最重要的土壤类型之一,广泛分布于我国南方地区,总面积约218万 $\text{km}^2$ ,占全国土地总面积18%,耕地面积约占全国总面积28%<sup>[1-2]</sup>。由于地处热带、亚热带地区,高温与多雨同步,水热充沛,既有利于作物生长又有利于多熟种植,是我国农业生产潜力最大的地区之一<sup>[1]</sup>。特别是旱地农田约占该地区耕地总面积的40%,对保障我国南方农区粮食安全和农民增收具有重要意义<sup>[3]</sup>。但是,另一方面,由于高温高湿、降雨集中,土壤风化和淋溶作用强烈,加之人为的不合理利用,导致土壤贫瘠、水土流失严重,已经成为制约该区农业可持续发展的主要因素<sup>[1-2]</sup>。

已有研究表明,合理的施肥措施,特别是增施有机肥,可以提高红壤的有机质含量和改善土壤结构,从而显著提高红壤的质量和生产力<sup>[2]</sup>。土壤结构通过影响作物根系的分布和对水肥的吸收从而显著影响作物的生长,是农田土壤肥力的重要方面<sup>[4]</sup>。施用有机肥不仅可以直接增加土壤养分供应,还能够降低红壤的容重,改善土壤结构,提高土壤调节和供应水热肥的能力,从而改善土壤对养分和水分的保蓄和调控性能<sup>[5]</sup>。此外,土壤结构的改善和团聚体稳定性的提高还能够增强土壤的抗侵蚀能力<sup>[6]</sup>。因此,增施有机肥可以在改善土壤肥力和提高红壤生产力的同时,降低土壤侵蚀和水土流失,从而提高整个红壤农田生态系统的稳定性和可持续性<sup>[5-7]</sup>。但是,目前的研究主要集中在红壤稻田系统<sup>[5-7]</sup>。另外,土壤团聚体形成是一个长期的作用过程,需要稳定的长期定位试验系统来验证,而目前有关长期不同施肥措施对红壤旱地土壤结构和团聚体特征的影响研究较少<sup>[8-10]</sup>。

土壤结构的变化是一个缓慢的过程,长期定位试验能够提供良好的机会以监测不同施肥的影响<sup>[4]</sup>。本文假设长期有机肥施用可以改善土壤结构,提高作物的产量及其可持续性,而化肥施用虽然能提高产量,但对土壤结构的改善作用有限,甚至可能恶化土壤的结构并导致作物产量呈下降趋势。本研究借助红壤旱地(双季玉米)长期定位试验,利用土壤团聚体湿筛分组方法,揭示长期不同施肥管理对土壤结构的影响及其产量效应,以为红壤旱地的可持续利用提供科学依据和技术途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于江西省进贤县江西省红壤研究所内( $28^{\circ}15'30''\text{N}$ ,  $116^{\circ}20'24''\text{E}$ ),为典型低丘红壤地区(海拔高度25~30 m,坡度 $5^{\circ}$ )。该区气候属于典型的亚热带季风气候,年均雨量1 549 mm;年蒸发量1 100~1 200 mm;年平均气温 $17.3\ ^{\circ}\text{C}$ 。土壤是由第四纪红色粘土发育而来的典型红壤。种植制度为早玉米-晚玉米-冬闲。

长期定位试验自1986年开始,完全随机区组设计,3次重复。小区面积为 $22.2\ \text{m}^2$ 。各小区四周用水泥板隔开。本研究包括以下5个处理:(1)对照(Control),无任何肥料施用;(2)单施氮肥(N);(3)无机肥氮、磷、钾配施(NPK);(4)单施有机肥(M);(5)无机肥和有机肥配施(NPK+M)。化肥的施用量分别为每季玉米N  $60\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , P  $13\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , K  $33\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为氯化钾。有机肥为猪粪,每季施用量为 $15\ \text{t}/\text{hm}^2$ (鲜质量)。早玉米4月初播种,7月下旬收获。晚玉米7月底播种,11月中旬收获。玉米行株距为 $50.0\ \text{cm}\times 33.3\ \text{cm}$ 。品种每3~5年更换一次。玉米收获后,地上部秸秆全部移出小区,根茬还田。每季玉米成熟后,整个小区收获,测定各处理的籽粒产量。试验开始时的土壤基本性状为有机质 $16.2\ \text{g}/\text{kg}$ 、总氮 $0.98\ \text{g}/\text{kg}$ 、总磷 $0.62\ \text{g}/\text{kg}$ 、总钾 $11.36\ \text{g}/\text{kg}$ 、pH 6.0。

### 1.2 土样采集

于 2007 年 11 月晚玉米收获后采集耕层土壤样品(0 ~ 15 cm)。每个小区 6 点取样,然后均匀混合做为一个混合样用于分析。土壤有机质含量采用元素分析仪进行测定( Elementar , Vario Max , Germany)。于 2008 年 11 月晚玉米收获后利用环刀法补测土壤容重。

### 1.3 土壤团聚体分组

首先用手将鲜土中的大土块沿自然裂缝轻轻掰开,之后过 8 mm 筛,并自然风干。然后取 100 g 过 8 mm 筛的风干土,按照 Six et al<sup>[11]</sup> 的湿筛法将土壤依次过 2 000、250 和 53 μm 筛,从而获得 > 2 000 μm、250 ~ 2 000 μm、53 ~ 250 μm 和 < 53 μm 4 个级别的土壤团聚体。由于各级别团聚体的含沙量存在差异,将 > 2 000 μm、250 ~ 2 000 μm、53 ~ 250 μm 级别的团聚体统一过 53 μm 筛以校正含沙量<sup>[11]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用平均重量直径 ( mean weight diameter ,MWD) 和几何平均直径 ( geometric mean diameter ,GMD) 来描述土壤团聚体的分形特征<sup>[7]</sup>。其计算公式如下:

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \tag{1}$$

$$GMD = \exp [ ( \sum_{i=1}^n W_i \log X_i ) / ( \sum_{i=1}^n W_i ) ] \tag{2}$$

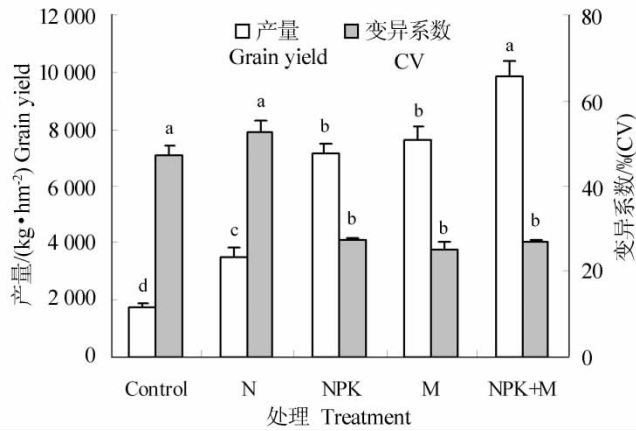
式中,  $W_i$  为团聚体平均直径,  $X_i$  为团聚体的重量百分数。

统计分析采用 SPSS 11.0 软件进行,采用 LSD( Least Significant Difference) 法进行多重比较,于  $P < 0.05$  水平上进行统计显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 周年生产力特征

与对照 ( Control) 相比,无论是化肥 ( N 和 NPK) 还是有机肥 ( M 和 NPK + M) 施用均显著提高了双季玉米的周年作物产量(图 1)。有机无机肥配施处理的作物产量最高,显著高于其它处理。NPK 和 M 处理之间周年玉米产量无显著差异。与 N 肥单施相比,化肥 NPK 配施显著提高了玉米产量。与 Control 相比,NPK 平衡施肥和有机肥施用均显著降低了周年玉米产量的变异系数,而 Control 和 N 肥单施处理之间无显著差异(图 1)。从长期演变趋势来看,Control 和 N 肥单施处理周年玉米产量均呈显著下降趋势,而施用有机肥处理则呈显著上升趋势,化肥 NPK 配施处理虽然呈下降趋势,但统计分析不显著(图 2 表 1)。



图柱表示: 平均值 + 标准误。不同小写字母表示处理间差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

Bars represent mean + SE. Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P < 0.05$ ).

图 1 长期施肥对周年玉米产量及其变异系数的影响

Fig. 1 Effect of long-term fertilization on the year-round corn yield and coefficient of variation

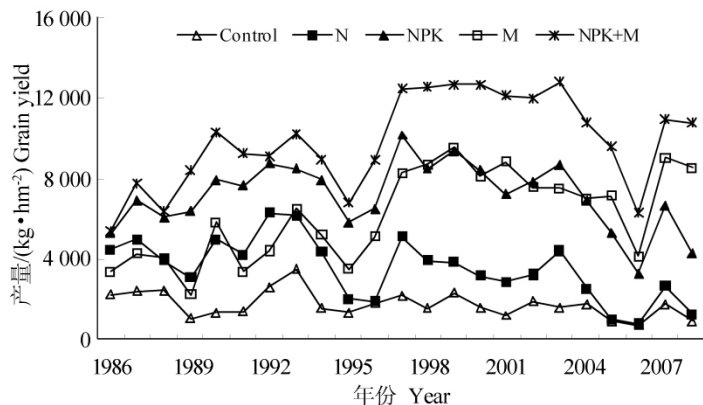


图 2 不同施肥下周年玉米产量的年际波动

Fig. 2 Annual differences in the year-round corn yield under different fertilization

表 1 不同施肥下周年玉米产量的演变趋势  
Tab.1 Trends in the year – round corn yield under different fertilization

处理 Treatment	产量趋势/(kg·hm <sup>-2</sup> ) Production trend	R <sup>2</sup>	P
Control	-44.0	0.21	<0.05
N	-144.6	0.41	<0.001
NPK	-46.8	0.04	0.38
M	224.3	0.47	<0.001
NPK + M	172.0	0.26	<0.05

2.2 土壤容重和有机质含量

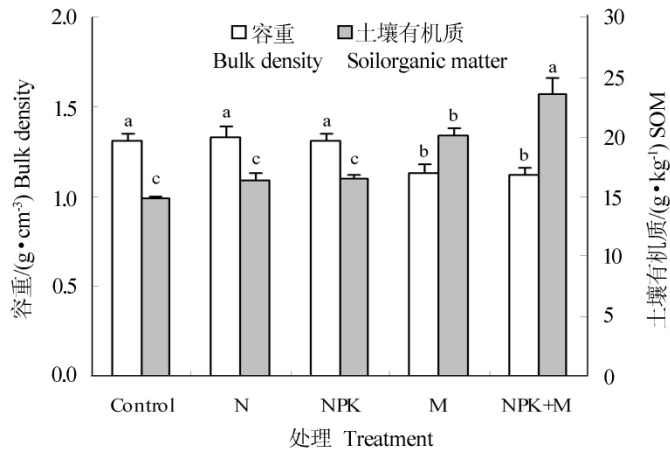
与 Control 相比,长期有机肥施用显著降低了耕层土壤的容重(图 3),其分别比 Control 低 13.2%和 14.5%。但 M 和 NPK + M 处理之间无显著差异。长期化肥施用对土壤容重无显著影响。与 Control 相比,长期化肥施用对土壤有机质含量无显著影响,而施加有机肥显著提高了土壤有机质的含量,而且有机无机肥配施处理显著高于有机肥单施处理(图 3)。

2.3 土壤团聚体分布

在土壤团聚体的各级别中,250 ~ 2 000 μm 大团聚体含量最高,平均占土壤重量的 45.2% ~ 51.6% 其次是 53 ~ 250 μm 微团聚体,平均占 27.3% ~ 32.7% (图 4)。> 2 000 μm 大团聚体所占比例最小。与 Control 相比,长期有机肥施用显著提高了 > 2 000 μm 大团聚体比重,相应降低了 53 ~ 250 μm 微团聚体的比例,而对 250 ~ 2 000 μm 大团聚体含量无显著影响。化肥施用对各级别土壤团聚体的比重均无显著影响(图 4)。

2.4 土壤团聚体分形特征

与 Control 相比,长期有机肥施用显著提高了土壤团聚体的平均重量直径(MWD)(图 5)。但 M 和 NPK + M 处理之间无显著差异。化肥施用对土壤团聚体的平均重量直径无显著影响。与 MWD 相似,施加有机肥显著提高了土壤团聚体的几何平均直径(GMD),但二者之间差异不显著(图 5)。长期施用化肥对土壤团聚体的几何平均直径无显著效应。

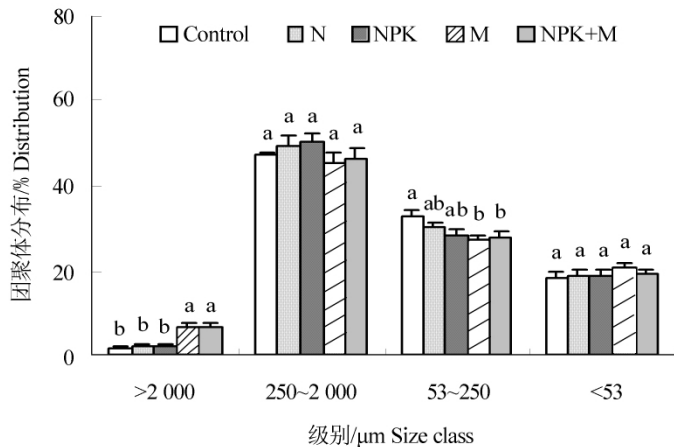


图柱表示:平均值 + 标准误。不同小写字母表示处理间差异达到显著水平(P < 0.05)。

Bars represent mean + SE. Different lowercase letters indicate significant differences among treatments (P < 0.05).

图 3 长期施肥对土壤容重和有机质含量的影响

Fig.3 Effect of long-term fertilization on the bulk density and soil organic matter (SOM) content



图柱表示:平均值 + 标准误。不同小写字母表示处理间差异达到显著水平(P < 0.05)。

Bars represent mean + SE. Different lowercase letters indicate significant differences among treatments (P < 0.05).

图 4 长期施肥对土壤团聚体分布的影响

Fig.4 Effect of long – term fertilization on the distribution of soil aggregates

### 3 讨 论

研究表明,长期有机肥施用显著降低了红壤旱地的土壤容重,提高了土壤大团聚体的比例,改善了土壤结构,这与以往的研究相符<sup>[4,8]</sup>。另外,长期有机肥施用在降低土壤容重的同时,可能增加耕层的厚度,从而有利于作物根系的生长和提高作物产量<sup>[2,4]</sup>。而本研究仅仅关注表层土壤的变化,可能并不能全面反映有机肥对土壤结构的改善效应。因此,长期不同施肥下,红壤旱地土壤结构在整个剖面上的变化值需进一步研究。长期有机肥施用能显著增加土壤有机质的含量,而施用化肥无显著影响。有机质是土壤团聚体形成的重要胶结物质。而且,不同类型的有机物质对团聚体形成的作用也有差异<sup>[4]</sup>。大团聚体主要是通过植物凋落物、根系、真菌菌丝和细菌的细胞壁等胶结而成,而微团聚体主要是由多糖或高度腐殖质化的有机物质胶结形成的<sup>[4,12]</sup>。Schjørring et al<sup>[13]</sup>研究也显示,有机增补有利于大团聚体的形成。亦有证据表明,新鲜有机物的输入导致土壤颗粒和有机物质相互绑定形成大团聚体,而且证明有机质首先被包裹于大团聚体之中,经过进一步分解之后与土壤颗粒共同形成新的微团聚体<sup>[11]</sup>。研究也发现,有机肥施用促进了土壤大团聚体的形成,而相应降低了微团聚体的比例。因此,施加有机肥可能同时促进了土壤大团聚体内的微团聚体的形成<sup>[11-12]</sup>。

与我们的假设相符,长期施用有机肥显著提高了玉米的周年作物产量及其稳定性,增加了红壤旱地土壤团聚体的平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD),而化肥施用对土壤团聚体的MWD和GMD均无显著影响。尽管,试验初期,有机肥单独施用下,周年玉米产量甚至低于化肥处理,但长期来看,有机肥施用下作物产量呈显著上升趋势,有利于提高土壤生产力的可持续性。而化肥施用,特别是氮肥单施处理,产量呈显著下降趋势。土壤团聚体的MWD和GMD是反映土壤团粒结构粒径几何形状的参数,土壤团聚体的MWD和GMD值越高,表明土壤越具有良好的结构<sup>[14]</sup>。黄如等<sup>[7]</sup>对红壤性水稻土的研究表明,土壤团聚体的MWD和GMD在施用有机肥条件下可明显得以改善,且均与水稻年产量存在显著的线性关系,并且认为土壤团聚体的MWD和GMD可较为客观地反映土壤的肥力状态。

此外,大团聚体等水稳定性团聚体比例的上升和土壤结构的改善对提高红壤旱地土壤的抗侵蚀性能具有重要意义<sup>[4]</sup>。闫峰陵等<sup>[15]</sup>研究显示,团聚体的MWD和大团聚体含量与土壤侵蚀量和径流强度显著相关,团聚体稳定性的提高对增强红壤的抗蚀性具有重要作用。因此,有机肥施用在显著改善红壤旱地土壤结构的同时,还能够提高土壤的抗侵蚀能力。而且,土壤结构的改善有利于增强土壤的渗透性能,提高土壤对水分和养分的保蓄和供应能力<sup>[4,16]</sup>,对缓解红壤旱地的水分胁迫(早玉米降雨过多而晚玉米伏旱秋旱严重)至关重要<sup>[17]</sup>。因为,虽然红壤区降雨量丰富,但季节分配不均,季节性干旱频发<sup>[18]</sup>。而旱地红壤自身的持水和供水能力较弱<sup>[19-20]</sup>。因此,有机肥施用不仅显著提高了红壤旱地的土壤肥力和作物产量,而且有利于作物生产力的长期持续提升。

此外,大团聚体等水稳定性团聚体比例的上升和土壤结构的改善对提高红壤旱地土壤的抗侵蚀性能具有重要意义<sup>[4]</sup>。闫峰陵等<sup>[15]</sup>研究显示,团聚体的MWD和大团聚体含量与土壤侵蚀量和径流强度显著相关,团聚体稳定性的提高对增强红壤的抗蚀性具有重要作用。因此,有机肥施用在显著改善红壤旱地土壤结构的同时,还能够提高土壤的抗侵蚀能力。而且,土壤结构的改善有利于增强土壤的渗透性能,提高土壤对水分和养分的保蓄和供应能力<sup>[4,16]</sup>,对缓解红壤旱地的水分胁迫(早玉米降雨过多而晚玉米伏旱秋旱严重)至关重要<sup>[17]</sup>。因为,虽然红壤区降雨量丰富,但季节分配不均,季节性干旱频发<sup>[18]</sup>。而旱地红壤自身的持水和供水能力较弱<sup>[19-20]</sup>。因此,有机肥施用不仅显著提高了红壤旱地的土壤肥力和作物产量,而且有利于作物生产力的长期持续提升。

### 4 结 论

对南方丘陵红壤旱地长期定位试验的研究表明,施肥显著提高了双季玉米的周年作物产量。有机肥提高了玉米生产的稳定性,而且长期作物产量呈显著上升趋势,而对照和氮肥单施处理周年玉米产量呈显著下降趋势。与对照相比,长期施用有机肥显著促进了红壤旱地土壤大团聚体的形成,而相应降

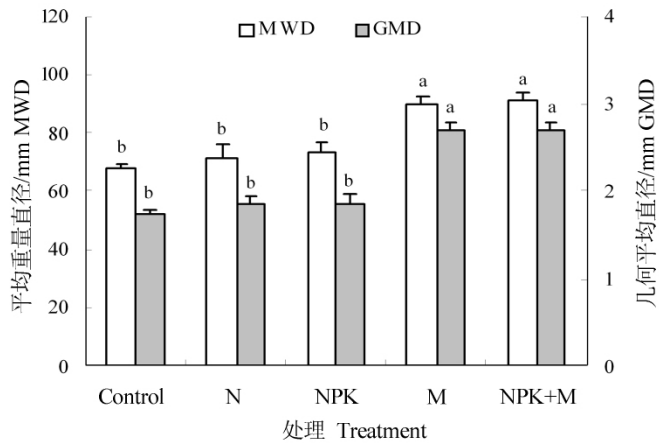


图 5 长期施肥对土壤团聚体平均重量直径和几何平均直径的影响  
图 5 Effect of long-term fertilization on the mean weight diameter and (MWD) geometric mean diameter (GMD) of soil aggregates

图柱表示: 平均值 + 标准误。不同小写字母表示处理间差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。  
Bars represent mean + SE. Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P < 0.05$ ).

图 5 长期施肥对土壤团聚体平均重量直径和几何平均直径的影响

Fig. 5 Effect of long-term fertilization on the mean weight diameter and (MWD) geometric mean diameter (GMD) of soil aggregates

低了微团聚体在土壤中的比例。而单施化肥对土壤团聚体分布无显著影响。长期有机肥施用显著提高了红壤旱地土壤团聚体的平均重量直径和几何平均直径,而化肥施用无显著效应。而且,长期施加有机肥显著降低了耕层土壤容重,提高了土壤有机质含量。因此,长期施用有机肥显著改善了土壤结构,提高了土壤的肥力和生产力,有利于提升红壤旱地作物生产的稳定性和可持续性。

#### 参考文献:

- [1]赵其国,徐梦洁,吴志东.东南红壤丘陵地区农业可持续发展研究[J].土壤学报,2000,37(4):432-442.
- [2]王伯仁,蔡泽江,李冬初.长期不同施肥对红壤旱地肥力的影响[J].水土保持学报,2010,24(3):85-88.
- [3]黄国勤.论开发南方旱地[J].科技导报,1995,11:37-41.
- [4]Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review[J]. Geoderma, 2005, 124: 3-22.
- [5]周卫军,王凯荣,张光远,等.有机与无机肥配合对红壤稻田系统生产力及其土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2002,35(9):1109-1113.
- [6]Barthès B, Roose E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; Validation at several levels [J]. Catena, 2002, 47: 133-149.
- [7]黄欠如,胡锋,袁颖红,等.长期施肥对红壤性水稻土团聚体特征的影响[J].土壤,2007,39(4):608-613.
- [8]徐江兵,李成亮,何园球,等.不同施肥处理对旱地红壤团聚体中有机碳含量及其组分的影响[J].土壤学报,2007,44(4):675-682.
- [9]Zhang W, Xu M, Wang B, et al. Soil organic carbon, total nitrogen and grain yields under long-term fertilizations in the upland red soil of Southern China [J]. Nutr Cycl Agroecosyst, 2009, 84: 59-69.
- [10]Huang S, Zhang W, Yu X, et al. Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of Southern China [J]. Agric Ecosyst Environ, 2010, 138: 44-50.
- [11]Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon [J]. Soil Sci Soc Am J, 2000, 64: 681-689.
- [12]Abiven S, Menasseri S, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability - a literature analysis [J]. Soil Biol Biochem, 2009, 41: 1-12.
- [13]Schjønning P, Elmholt S, Munkholm L J, et al. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management [J]. Agric Ecosyst Environ, 2002, 88: 195-214.
- [14]张世熔,邓良基,周倩,等.耕层土壤颗粒表面的分形维数及其与主要土壤特性的关系[J].土壤学报,2002,39(2):221-226.
- [15]闫峰陵,史志华,蔡崇法,等.红壤表土团聚体稳定性对坡面侵蚀的影响[J].土壤学报,2007,44(4):577-583.
- [16]程伟,张兴义,叶喜文,等.不同有机质含量农田黑土的水热效应[J].农业现代化研究,2007,28(4):501-503.
- [17]陈家宙,王石,张丽丽,等.玉米对持续干旱的反应及红壤干旱阈值[J].中国农业科学,2007,40(3):532-539.
- [18]王燕.江西干旱特点、成因及抗旱抗旱对策[J].江西农业大学学报,2005,27(6):964-967.
- [19]章俊霞,左长清.红壤坡地不同水土保持措施降雨入渗规律研究[J].江西农业大学学报,2008,30(1):90-93.
- [20]柳云龙,施振香,尹骏,等.旱地红壤与红壤性水稻土水分特性分析[J].水土保持学报,2009,23(2):232-235.