

官利兰, 李水源, 谭卫娜, 陈健章, 张新明. 有机肥替代化肥对南方冬作马铃薯产量和品质的影响 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(11): 62-68.

## 有机肥替代化肥对南方冬作马铃薯 产量和品质的影响

官利兰<sup>1,2</sup>, 李水源<sup>1</sup>, 谭卫娜<sup>1</sup>, 陈健章<sup>1</sup>, 张新明<sup>2</sup>

(1. 恩平市农业科学技术研究所, 广东 恩平 529400; 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510642)

**摘要:**【目的】化学肥料减量施用技术是避免过量施肥带来环境污染, 促进农业可持续发展的重要技术。探讨有机肥替代化学肥料, 为广东冬作马铃薯的商品有机肥部分替代化肥, 实现化肥减量提供科学依据。【方法】以费乌瑞它为试验材料, 研究3种商品有机肥处理和等施肥量的化肥处理对广东冬作马铃薯产量、经济效益、肥料表观利用率和品质的影响。【结果】有机肥处理马铃薯块茎对品质的影响与化肥处理无显著差异。3种有机肥处理中商品有机肥2处理总产量、商品薯产量和总产值高于另外两种有机肥处理, 而肥料成本低于另外两种有机肥处理。商品有机肥2处理肥料表观利用率为10.17%, 分别比商品有机肥1和商品有机肥3处理高1.96%、3.52个百分点。产量和经济效益占优势的商品有机肥2处理有机肥同效当量为66.02%。【结论】在南方冬作马铃薯种植中有机肥可以部分替代化肥, 实现化肥减施。

**关键词:**有机肥; 化肥; 冬作马铃薯; 化肥减施

中图分类号: S141

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)11-0062-07

## Effects of Replacement of Chemical Fertilizer with Organic Manure on Yield and Quality of Winter Potato in South China

GUAN Lilan<sup>1,2</sup>, LI Shuiyuan<sup>1</sup>, TAN Weina<sup>1</sup>, CHEN Jianzhang<sup>1</sup>, ZHANG Xinming<sup>2</sup>

(1. Enping Institute of Agricultural Science and Technology, Enping 529400, China

2. College of Nature Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:**【Objective】The technology of chemical fertilizer application reduction is an important way to avoid environmental pollution caused by excessive fertilization and promote the sustainable development of agriculture. This study was conducted to explore the replacement of chemical fertilizer with organic fertilizer, and provide scientific basis for the application of commercial organic fertilizers in winter potato by replacing chemical fertilizers.【Method】With Favorita as experimental material, the effects of three commercial organic fertilizers and chemical fertilizer treatments on yield, economic benefit, apparent fertilizer use efficiency and quality of winter potato in Guangdong Province were studied.【Result】There was no significant difference between the quality of potato tubers treated with organic fertilizer and chemical fertilizer. Among the three organic fertilizer treatments, the commercial organic fertilizer 2 had higher total yield, marketable tuber yield and total value than those of the other two commercial organic fertilizer treatments while the cost was lower than that of the other two. The apparent fertilizer use efficiency of commercial organic fertilizer 2 was 10.17%, which was 1.96% and 3.52% higher than that of commercial organic fertilizer 1 and commercial organic fertilizer 3, respectively. The organic manure equivalence

收稿日期: 2019-08-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200801)

作者简介: 官利兰(1988—), 女, 硕士, 农艺师, 研究方向为养分资源管理与可持续利用, E-mail: g\_llan@126.com

通信作者: 张新明(1965—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为土壤肥力与养分资源管理, E-mail: xmzhang@scau.edu.cn

of commercial organic fertilizer 2 treatment was 66.02%. Overall, commercial organic fertilizer 2 was a better choice with a good price in the process of replacing chemical fertilizer with organic fertilizer in winter potato. 【Conclusion】The organic fertilizer could partly replace chemical fertilizer in winter potato cultivation, and achieve reduction of fertilizer application.

**Key words:** organic manure; chemical fertilizer; winter potato; reduction of chemical fertilizer application

【研究意义】种植业中的化肥投入，尤其是氮肥的过量投入引起了中国农业面源污染，成为中国水体污染和富营养化的主要原因之一。减少化肥投入、科学推进化肥减量任务成为控制面源污染、促进农业可持续发展的关键所在。2017、2018年中央一号文件明确要求深入推进化肥零增长行动，增强农业可持续发展能力。有机肥的肥料来源广泛，为作物提供生长所需的养分，有利于土壤微生物活动，从而促进作物生长发育。有机肥料在土壤溶液中离解出氢离子，具有很强的阳离子交换能力，施用有机肥料可增强土壤的保肥性能。通过配施有机肥，不仅能够改善土壤养分平衡和有效性、土壤物理性状、增加土壤有机质含量、降低土壤容重、增加土壤孔隙度和降低化肥损失率，对培肥和提高生态系统生产力起着关键作用，而且在提高作物产量和改善作物品质方面也有重要作用<sup>[1-4]</sup>，增施有机肥、减少化学肥料的施用是减少环境污染和可持续生产的重要途径<sup>[5]</sup>。

【前人研究进展】施肥是农业生产中为实现作物增产高产而采取的一个重要管理措施，对维持农田土壤生产力和农田生态系统健康至关重要<sup>[6]</sup>。施用化肥可以通过增加土壤养分来增加作物产量，有机肥养分全面，富含微生物和酶，能全面、稳定地供给作物生长所需的各种养分<sup>[7-9]</sup>。当前我国马铃薯种植区氮、磷化肥过量和不平衡施用问题严重，化肥减量、配施有机肥是实现化肥减量增效的重要举措之一<sup>[10-11]</sup>。随着我国集约化农业的发展，在马铃薯生产过程中存在化肥过量使用、有机肥使用比例过低等现象<sup>[12]</sup>。在恩平市调查的结果也显示，冬作马铃薯生产中存在化肥氮、磷施用量偏高，有机肥施用水平偏低的现象<sup>[13]</sup>。

【本研究切入点】恩平市位于广东省西南部，珠江三角洲西南端，北靠大陆丘陵，南临南海<sup>[14]</sup>，是广东省马铃薯种植的主要区域，年种植面积2 333.3~2 666.7 hm<sup>2</sup><sup>[15-16]</sup>。马铃薯南方冬作区主要采用稻-稻-薯一年三熟种植模

式，农田利用强度高，土壤生态系统日趋脆弱。采用化学肥料减量施用的有机肥和无机肥配合施用技术，既符合化肥减施的背景，又能满足当前马铃薯南方冬作区农田生态系统的迫切需求。【拟解决的关键问题】在恩平市开展有机肥料与化学肥料配施技术，探讨有机肥养分对化肥养分的替代比例，为广东冬作马铃薯的商品有机肥部分替代化肥实现化肥减施提供科学依据，同时优化稻-稻-薯种植模式生态系统。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试马铃薯品种为费乌瑞它(Favorita)，种薯为一级脱毒种薯。供试肥料包括商品有机肥1(N 5.3 g/kg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 42.4 g/kg; K<sub>2</sub>O 21.5 g/kg)、商品有机肥2(N 12.8 g/kg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 31.9 g/kg; K<sub>2</sub>O 8.2 g/kg)、商品有机肥3(N 4.4 g/kg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6.8 g/kg; K<sub>2</sub>O 3.8 g/kg)、花生麸(N 89.1 g/kg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 22.3 g/kg; K<sub>2</sub>O 9.5 g/kg)、茶籽粕(N 11.4 g/kg; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3.2 g/kg; K<sub>2</sub>O 6.0 g/kg)、常规尿素(N 46%)、常规过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、常规硫酸钾(K<sub>2</sub>O 50%)。

### 1.2 试验地概况

试验在广东省恩平市恩城街道北郊恩平市农业科学技术研究所试验基地(112° 20' 37'' E, 22° 13' 3'' N)进行，气候类型为南亚热带季风气候，前作为水稻。土壤质地为中壤土，含碱解氮92.60 mg/kg、有效磷73.09 mg/kg、速效钾130.35 mg/kg，pH为6.01，呈弱酸性。

### 1.3 试验方法

根据等量施肥原则，试验设置7个处理，其中有机肥处理3个，分别为商品有机肥1(OM1)、商品有机肥2(OM2)、商品有机肥3(OM3)，养分由有机肥提供。3种商品有机肥施用量均为600 kg/667m<sup>2</sup>，每个有机肥处理同时施用花生麸25 kg/667m<sup>2</sup>和茶籽粕25 kg/667m<sup>2</sup>。同时设分别与3种商品有机肥处理总施肥量相等的化肥处理3个，分别为化肥1(CF1)、化肥2(CF2)、化肥3(CF3)，养分由常规化肥提供。3个化肥处

理分别施用尿素 12.4、22.2、11.2 kg/667m<sup>2</sup>, 过磷酸钙 217.3、164.8、39.3 kg/667m<sup>2</sup>, 硫酸钾 25.6、10.2、5.1 kg/667m<sup>2</sup>。以不施肥为对照 (CK)。每个处理 3 次重复。所有处理均采用黑膜覆盖下一次性施肥。

高垄双行种植, 每个小区设 3 垄, 小区面积为 39.6 m<sup>2</sup> (1.2 m × 11 m × 3), 每垄 100 株。结合滴灌进行水分管理, 按照已集成的“广东冬种马铃薯高产优质高效栽培关键技术”进行病虫害防治。于 2018 年 11 月 24 日播种, 生长期间水分供给采用滴灌。

#### 1.4 测定项目及方法

在成熟收获期马铃薯收获后, 于测产垄进行商品薯 (≥75 g 的无病烂、畸形块茎)、次品薯 (包括<75 g 的小薯和畸形薯等) 的分类称重测产, 测产后在每小区测产垄采 5 kg 左右商品薯作为收获分析样品。

土壤分析: pH 用酸度计法, 碱解氮用扩散法, 速效磷用钼锑抗比色法, 速效钾用火焰光度法测定。植株分析: 全氮用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮蒸馏定氮法, 全磷用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮钼锑抗比色法, 全钾

用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮火焰光度计法, Vc 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法, 淀粉含量采用乙醇提取葡萄糖测定法, 粗蛋白含量采用半微量凯氏定氮法测定。

试验数据采用 Excel 2010 和 DPS14.10 软件<sup>[17]</sup>进行 LSD 统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机肥替代化肥对马铃薯总产及商品薯、商品薯率的影响

由表 1 可知, 等施肥量的有机肥处理和化肥处理总产量差异不显著, 其中 CF1 处理和 CF2 处理显著高于对照。CF2 增产量最高, 为 1 130.82 kg/667m<sup>2</sup>, 增产率达 144.74%; 等施肥量的有机肥 OM2 处理增产量为 746.52 kg/667m<sup>2</sup>。有机肥处理与等施肥量的化肥处理商品薯产量差异不显著, 商品薯产量较对照高, 各处理商品薯率为 80.96%~91.92%, 各处理间差异不显著。施用有机肥的增产效果为化肥增产效果的 76.76%~82.38%。有机肥处理中 OM2 处理总产量和商品薯产量均高于 OM1 和 OM3 处理。

表 1 有机肥替代化肥对马铃薯总产及商品薯、商品薯率的影响  
Table 1 Effect of different treatments on potato total yield, marketable yield and marketable rate

处理 Treatment	总产 Total yield (kg/667m <sup>2</sup> )	增产量 Increased production (kg/667m <sup>2</sup> )	增产率 Increased yield (%)	商品薯产量 Marketable potato yield (kg/667m <sup>2</sup> )	商品薯率 Marketable potato rate (%)
OM1	1447.73 ± 60.02ab	666.48	85.31	1278.42 ± 105.19ab	88.01 ± 3.95a
OM2	1527.77 ± 118.4ab	746.52	95.55	1314.33 ± 117.00ab	85.91 ± 2.73a
OM3	1117.82 ± 110.61ab	336.57	43.08	945.77 ± 138.47bc	83.83 ± 4.13a
CF1	1757.29 ± 193.53a	976.04	124.93	1569.16 ± 206.11a	88.88 ± 2.30a
CF2	1912.07 ± 164.48a	1130.82	144.74	1761.56 ± 175.2a	91.92 ± 1.67a
CF3	1456.28 ± 290.45ab	675.03	86.40	1305.78 ± 297.59ab	88.43 ± 3.34a
CK	781.25 ± 109.61b			638.44 ± 107.00c	80.96 ± 2.76a

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences.

### 2.2 有机肥替代化肥对马铃薯块茎品质的影响

表 2 显示, 各处理马铃薯块茎干物质含量、Vc 含量和淀粉含量差异不显著, 分别在 20.31%~22.19%、272.30~286.23 mg/kg、14.37%~16.19% 之间; CF2 处理粗蛋白含量较 OM2 处理高 0.34%, 差异显著; CF3 处理粗蛋白含量较 OM3 处理高 0.48%, 差异显著; 除粗蛋白含量外, 施用有机肥和化肥马铃薯块茎的品质影响不大。

### 2.3 有机肥替代化肥肥料表观利用率和有机肥同效当量

试验结果显示, 有机肥处理肥料表观利用率低于化肥处理, 有机肥处理中, OM2 处理肥料表观利用率为 10.17%, 分别比 OM1 和 OM3 处理高 1.96、3.52 个百分点, 且与 OM3 处理差异显著。化肥处理 CF1、CF2、CF3 肥料表观利用率为 9.27%、15.35%、28.00%, 3 个处理间差异显著。

某种有机肥料所含的养分相当于几个单位

表 2 有机肥替代化肥对马铃薯块茎品质的影响  
Table 2 Effect of different treatments on quality of potato tuber

处理 Treatment	干物质含量 Dry matter content (%)	Vc 含量 Vitamin C content (mg/kg)	粗蛋白含量 Crude protein content (%)	淀粉含量 Starch content (%)
OM1	20.31 ± 0.56a	272.30 ± 10.77a	1.49 ± 0.03cd	14.34 ± 0.55a
OM2	22.19 ± 0.73a	275.27 ± 7.44a	1.36 ± 0de	16.19 ± 0.72a
OM3	20.75 ± 0.93a	281.50 ± 9.70a	1.46 ± 0.06cd	14.78 ± 0.91a
CF1	21.52 ± 0.73a	284.23 ± 18.99a	1.63 ± 0.05bc	15.53 ± 0.72a
CF2	20.77 ± 0.03a	272.80 ± 23.27a	1.70 ± 0.05b	14.79 ± 0.03a
CF3	21.60 ± 0.91a	286.23 ± 21.08a	1.94 ± 0.10a	15.61 ± 0.89a
CK	21.39 ± 0.63a	272.87 ± 8.19a	1.19 ± 0.05e	15.40 ± 0.62a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences.

的化肥所含养分的肥效，这个系数称为“同效当量”。同效当量 = (有机肥处理的产量 - 无肥处理的产量) / (化肥处理的产量 - 无肥处理的产量)。由表 3 可知，3 种有机肥同效当量表现为：OM1 > OM2 > OM3。试验中有机肥同效当量在 46.05%~68.76% 之间，其中产量和经济效益占优势的 OM2 处理有机肥同效当量为 66.02%。

表 3 有机肥同效当量

Table 3 Organic manure equivalence of different organic fertilizer treatments

处理 Treatment	同效当量		同效当量	
	(%, 以总产量计算) Equivalence (%, calculated in terms of total yield)	(%, 以商品薯产量计算) Equivalence (%, calculated in terms of marketable yield)	(%)	(%)
OM1	68.28	68.76		
OM2	66.02	60.18		
OM3	49.86	46.05		

#### 2.4 有机肥替代化肥对马铃薯经济效益的影响

由表 4 和表 5 可知，由于有机肥的使用量较大，因此施用商品有机肥处理的肥料成本高于化肥处理。3 种有机肥处理中 OM2 处理肥料成本低于另外两种有机肥处理，而总产值高于 OM1 和 OM3 处理。从经济效益考虑，OM2 处理具有一定的优势。

#### 3 讨论

本研究中施用有机肥的增产效果为化肥增产效果的 76.76%~82.38%。使用有机肥增产效果没有化肥肥效增产快<sup>[18]</sup>，增施有机肥对作物的增产效应随施肥年限的延长而逐渐增强<sup>[19]</sup>。化肥是一种速效肥料，长期大量施用会使土壤板结、结构变差、肥力下降、理化性状变劣，不利于土

表 4 肥料成本核算(元/667m<sup>2</sup>)

Table 4 Fertilizer cost calculation (yuan/667m<sup>2</sup>)

处理 Treatment	有机肥 Organic manure	花生麸 Peanut cake	茶籽粕 Camellia dregs	尿素 Urea	过磷酸钙 Superphosphate	硫酸钾 Potassium sulphate	合计 Total
OM1	1050	75	75	0	0	0	1200
OM2	600	75	75	0	0	0	750
OM3	1950	75	75	0	0	0	2100
CF1	0	0	0	26	196	113	334
CF2	0	0	0	47	148	45	240
CF3	0	0	0	24	35	22	81
CK	0	0	0	0	0	0	0

注：商品有机肥 1 为 1.75 元/kg、商品有机肥 2 为 1.0 元/kg、商品有机肥 3 为 3.25 元/kg、花生麸 3.0 元/kg、茶籽粕 3.0 元/kg、尿素 2.1 元/kg、过磷酸钙 0.9 元/kg、硫酸钾 4.4 元/kg。

Note: The prices of commercial organic fertilizer 1, 2 and 3 are 1.75 yuan/kg, 1.0 yuan/kg and 3.25 yuan/kg, respectively. The prices of peanut cake, camellia dregs, urea, superphosphate and potassium sulphate are 3.0 yuan/kg, 3.0 yuan/kg, 2.1 yuan/kg, 0.9 yuan/kg and 4.4 yuan/kg, respectively.

表 5 经济效益核算(元/667m<sup>2</sup>)

Table 5 Accounting of economic benefit (yuan/667m<sup>2</sup>)

处理 Treatment	成本 Production cost					总产值 Total output value
	种薯 Seed potato	肥料 Fertilizer	黑膜 Black film	农药 Pesticide	人工 Labor costs	
OM1	600	1200	80	150	500	2530 3238
OM2	600	750	80	150	500	2080 3368
OM3	600	2100	80	150	500	3430 2442
CF1	600	334	80	150	500	1664 3954
CF2	600	240	80	150	500	1570 4378
CF3	600	81	80	150	500	1411 3284
CK	600	0	80	150	500	1330 1675

注：种薯 4.0 元/kg，人工按每 667 m<sup>2</sup> 试验田每次 100 元/d 计算，按种植 2 d、田间管理 2 d、收获 1 d 计算。商品薯 2.4 元/kg，次品薯 1.0 元/kg。

Note: The price of seed potato is 2.4 yuan/kg. Labor costs are calculated at 100 yuan per 667 m<sup>2</sup> per person per day, 2 days for planting, 2 days for field management and 1 day for harvest. The price of marketable potatoes is 2.4 yuan/kg. The price of substandard potatoes is 1.0 yuan/kg.

壤生态系统的可持续发展。而施用有机肥不仅能够为农作物提供全面营养，而且肥效长，可增加和更新土壤有机质，培肥地力，促进土壤养分的释放，促进微生物繁殖，改善土壤的理化性质和生物活性，提高农产品质量<sup>[20-21]</sup>。本研究施用有机肥对马铃薯品质的影响未表现出来，可能是由于所选用商品有机肥的肥效表现时间还不够。技术特征和经济效益是作物化肥减施增效技术评价体系的主要指标<sup>[22-23]</sup>。本研究中有机肥处理成本偏高的原因是商品有机肥的价格偏高，造成总成本偏高。3种商品有机肥处理成本差异的主要因素是价格的差异。化肥和有机肥的配施则可以形成互补或协同作用，从而达到提高作物产量<sup>[24-25]</sup>。化肥和有机肥配施能够在碳氮资源的生物有效性上形成互补关系，能够同时促进土壤生物和作物生长，从而满足土壤生态系统服务功能持续发挥的需要<sup>[26]</sup>。有机肥无机肥配合施用在改善土壤物理性能、创造良好团粒结构、增加土壤微生物活力、为作物提供较完全的养分等方面具有特别的优势<sup>[27]</sup>。有机肥无机肥配施可改善土壤肥力，较单施无机肥或有机肥更高效<sup>[28-30]</sup>。

本研究中，商品有机肥2对产量和经济效益的影响较另外两种有机肥占有优势，其同效当量以总产量和商品薯产量计算分别为66.02%和60.18%。为更好地保证马铃薯产量和品质，建议根据马铃薯需肥规律有机肥与化肥配合施用，选用价格适中的有机肥2与化肥按比例配合施用。

#### 4 结论

施肥量相同时，3种商品有机肥对广东省恩平市冬作马铃薯均有增产效果，有机肥可以部分替代化肥，实现化学肥料减量施用，进而减少因化肥过量施用带来的土壤生态系统失衡和农业面源污染等问题。试验所用3种商品有机肥中，从经济效益考虑价格适中的商品有机肥2较适合在生产中推荐使用，以总产量计算同效当量为66.02%。有机肥的种类、安全性、生产成本等因素是选择替代化学肥料的主要考虑方面，肥效高、安全、施用方便、成本合适是首选。综合冬作马铃薯产量、品种、肥料利用率、经济效益等方面考虑，有机肥对化肥的最佳替代比例有待进一步研究。而不同马铃薯品种、不同土壤、不同地域有机肥部分替代化肥，增施有机肥，化肥减施量

也是下一步研究的重要方向。

#### 参考文献 ( References ) :

- [1] 王子腾,耿元波,梁涛,胡雪荻.减施化肥和配施有机肥对茶园土壤养分及茶叶产量和品质的影响[J].生态环境学报,2018,27(12):2243-2251. doi:10.16258/j.cnki.1674-5906.2018.12.009.  
WANG Z T, GENG Y B, LIANG T, HU X D. Effects of reducing chemical fertilizer and organic fertilizer combination on tea garden Soil and tea yield and quality [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2018,27(12):2243-2251. doi:10.16258/j.cnki.1674-5906.2018.12.009.
- [2] 王元元,李超,刘思超,杨晶,唐利忠,屠乃美,易镇邪.有机肥对水稻产量、品质及土壤特性的影响研究进展[J].中国稻米,2019,25(1):15-20. doi:10.3969/j.issn.1006-8082.2019.01.004.  
WANG Y Y, LI C, LIU S C, YANG J, TANG L Z, TU N M, YI Z X. Research advances on effects of organic fertilizer on yield, quality of rice and soil characteristics [J]. *China Rice*, 2019, 25 (1):15-20. doi:10.3969/j.issn.1006-8082.2019.01.004.
- [3] KAMAEI R, FARAMARZI F, PARSA M, JAHAN M. The effects of biological, chemical, and organic fertilizers application on root growth features and grain yield of Sorghum [J]. *Journal of Plant Nutrition*,2019,42 (18) : 2221-2233. doi:10.1080/01904167.2019.1648667.
- [4] 张新明,张志华.绿色食品肥料实用技术手册[M].北京:中国农业出版社,2016.  
ZHANG X M, ZHANG Z H. Practical Technical Manual of Green Food Fertilizer [M]. Beijing: China Agriculture Press,2016.
- [5] 秦建权,冯跃华,叶勇,李春玲,李杰,王旭,雷义,杨远志,王贵焜.有机无机肥配施对杂交水稻干物质生产、养分吸收及产量形成的影响[J].中国稻米,2017,23(3):59-62. doi:10.3969/j.issn.1006-8082.2017.03.013.  
QIN J Q, FENG Y H, YE Y, LI C L, LI J, WANG X, LEI Y, YANG Y Z, WANG G K. Effects of combined inorganic-organic fertilizer on dry matter production, nutrient absorption and yield formation in hybrid rice [J]. *China Rice*, 2017,23 (3):59-62. doi:10.3969/j.issn.1006-8082.2017.03.013.
- [6] 杨斌,陈源泉,隋鹏,石彦琴,任军,高旺盛.东北平原玉米主产区不同施肥方式对农田生态系统健康的影响[J].作物杂志,2010,21(4):77-81. doi:10.3969/j.issn.1001-7283.2010.04.021.  
YANG B, CHEN Y Q, SUI P, SHI Y Q, REN J, GAO W S. Comprehensive assessment on ecological health in intensive-cropland under different fertilization measures [J]. *Crops*, 2010,21 (4):77-81. doi:10.3969/j.issn.1001-7283.2010.04.021.
- [7] 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. doi:10.13870/j.cnki.stbcbx.2010.03.022.  
WANG B R, CAI Z J, LI D C. Effects of different long-term fertilization on the fertility of red upland soil [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010,24 (3):85-88. doi:10.13870/j.cnki.stbcbx.2010.03.022.

- [8] 徐娜, 党廷辉, 刘文兆. 黄土高塬沟壑区农田土壤养分与作物产量变化的长期监测[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5):1240–1248. doi:10.11674/zwyf.15229.
- XU N, DANG Y H, LIU W Z. Soil nutrient balance and crop yields 10-years' fertilization in the gully area of the loess plateau [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22 (5):1240–1248. doi:10.11674/zwyf.15229.
- [9] 宋震震, 李絮花, 李娟, 林治安, 赵秉强. 有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3):525–533. doi:10.11674/zwyf.2014.0302.
- SONG Z Z, LI X H, LI J, LIN Z A, ZHAO B Q. Long-term effects of mineral versus organic fertilizers on soil labile nitrogen fractions and soil enzyme activities in agricultural soil [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20 (3):525–533. doi:10.11674/zwyf.2014.0302.
- [10] 徐亚新, 何萍, 仇少君, 徐新朋, 马进川, 丁文成, 赵士诚, 高强, 周卫. 我国马铃薯产量和化肥利用率区域特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (1):22–35. doi:10.11674/zwyf.18018.
- XU Y X, HE P, CHOU S J, XU X P, MA J C, DING W C, ZHAO S C, GAO Q, ZHOU W. Regional variation of yield and fertilizer use efficiency of potato in China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25 (1):22–35. doi:10.11674/zwyf.18018.
- [11] 柏琼芝, 肖石江, 王晓瑞, 刘凌云, 高森, 邵艳, 王鑫, 普红梅, 梁淑敏, 张磊, 李燕山. 化肥减量配施生物有机肥对秋马铃薯产量的影响[J]. 土壤与作物, 2019, 8 (2):158–165. doi: 10.11689/j.issn.2095–2961.2019.02.006.
- BAI Q Z, XIAO S J, WANG X R, LIU L Y, GAO S, SHAO Y, WANG X, PU H M, LIANG S M, ZHANG L, LI Y S. Effect of reduced chemical fertilizer plus biological fertilizer on autumn potato yield [J]. *Soils and Crops*, 2019, 8 (2):158–165. doi: 10.11689/j.issn.2095–2961.2019.02.006.
- [12] 王贺东, 吕泽先, 刘成, 刘晓雨, 潘根兴. 生物质炭施用对马铃薯产量和品质的影响[J]. 土壤, 2017, 49(5):888–892. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2017.05.005.
- WANG H D, LYU Z X, LIU C, LIU X Y, PAN G X. Effects of biochar amendment on yield and quality of potato [J]. *Soils*, 2017, 49 (5):888–892. doi: 10.13758/j.cnki.tr.2017.05.005.
- [13] 张新明, 张洪秀, 李水源, 谭乾开, 曹先维, 何露堂. 恩平市典型种植户冬作马铃薯施肥状况调查分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (36):22286–22288. doi: 10.3969/j.issn.0517–6611.2011.36.034.
- ZHANG X M, ZHANG H X, LI S Y, TAN Q K, CAO X W, HE L T. Investigation and analysis of fertilization application status of winter potato (*Solanum tuberosum*) with typical planters in Enping City [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39 (36):22286–22288. doi: 10.3969/j.issn.0517–6611.2011.36.034.
- [14] 李锦洪, 谭文春, 韦莉菊, 卓贞蓉, 林雪仪. 恩平市高温气候特征及成因分析[J]. 广东气象, 2013, 35 (2):44–47, 60. doi:10.3969/j.issn.1007–6190.2013.02.009.
- LI J H, TAN W C, WEI L J, ZHUO Z R, LIN X Y. Climate characteristics and causes of high temperature in Enping [J]. *Guangdong Meteorology*, 2013, 35 (2):44–47, 60. doi: 10.3969/j.issn.1007–6190.2013.02.009.
- [15] 杨亚东. 中国马铃薯种植空间格局演变机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- YANG Y D. Research on evolution mechanism of potato planting spatial pattern in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [16] 张新明. 2017年广东省马铃薯产业现状、存在问题及发展建议//中国作物学会马铃薯专业委员会. 马铃薯产业与脱贫攻坚 (2018) [C]. 北京: 中国作物学会马铃薯专业委员会, 2018.
- ZHANG X M. Current situation, existing problems and development suggestions of potato industry in Guangdong Province in 2017 // Potato Specialty Committee, Crop Science Society of China. Potato Industry and Poverty Alleviation (2018) [C]. Beijing: Potato specialty committee, crop science society of China, 2018.
- [17] TANG Q Y, ZHANG C X. Data Processing System (DPS) Software with Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining Developed for Use in Entomological Research [CP/OL]. 2012.
- [18] 何丽娟, 王永强. 补贴政策、有机肥使用效果认知与果农有机肥使用行为——基于陕西省部分有机肥补贴试点县和非试点县的调查[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33 (8):85–91. doi: 10.13448/j.cnki.jahre.2019.232.
- HE L J, WANG Y Q. Subsidies on organic fertilizer, perception of the effect of organic fertilizer use and farmers' use of organic fertilizer [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33 (8):85–91. doi: 10.13448/j.cnki.jalre.2019.232.
- [19] 盖霞普, 刘宏斌, 杨波, 王洪媛, 翟丽梅, 雷秋良, 武淑霞, 任天志. 不同施肥年限下作物产量及土壤碳氮库容对增施有机物料的响应[J]. 中国农业科学, 2019, 52 (4):676–689. doi: 10.3864/j.issn.0578–1752.2019.04.009.
- GAI X P, LIU H B, YANG B, WANG H Y, ZHAI L M, LEI Q L, WU S X, REN T Z. Responses of crop yields, soil carbon and nitrogen stocks to additional application of organic materials in different fertilization years [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52 (4):676–689. doi: 10.3864/j.issn.0578–1752.2019.04.009.
- [20] 李先, 刘强, 荣湘民, 谢桂先, 张玉平, 彭建伟, 宋海星. 有机肥对水稻产量及产量构成因素的影响[J]. 湖南农业科学, 2010, 38 (5):64–66. doi: 10.3969/j.issn.1006–060X.2010.05.021.
- LI X, LIU Q, RONG X M, XIE G X, ZHANG Y P, PENG J W, SONG H X. Effects of organic fertilizer on yield and yield composition factors of rice [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010, 38 (5):64–66. doi: 10.3969/j.issn.1006–060X.2010.05.021.
- [21] 马义虎. 有机肥对水稻根系生长和养分吸收及稻田温室气体排放的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- MA Y H. Effects of organic fertilizer on root growth, nutrient absorption and greenhouse gas emission of rice [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013.
- [22] 尼雪妹, 罗良国, 李宁辉, 王娜娜, 潘亚茹, 杨森. 水稻作物化肥减施增效技术评价指标体系构建[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35 (4): 301–310. doi: 10.13254/j.jare.2018.0059.

- NI X M, LUO L G, LI N H, WANG N N, PAN Y R, YANG S. Establishment of evaluation index system of chemical fertilizer application reduction and efficiency improvement technologies in rice farming [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35 (4): 301–310. doi: 10.13254/j.jare.2018.0059.
- [23] 米国华, 伍大利, 陈延玲, 夏婷婷, 冯国忠, 李前, 石东峰, 苏效坡, 高强. 东北玉米化肥减施增效技术途径探讨 [J]. 中国农业科学, 2018, 51 (14): 2758–2770. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2018.14.013.
- MI G H, WU D L, CHEN Y L, XIA T T, FENG G Z, LI Q, SHI D F, SU X P, GAO Q. The ways to reduce chemical fertilizer input and increase fertilizer use efficiency in maize in northeast China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51 (14): 2758–2770. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2018.14.013.
- [24] LIU M Q, HU F, CHEN X Y. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments [J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42 (2): 166–175. doi: 10.1016/j.apsoil.2009.02.006.
- [25] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 唐诚, 李俊华, 梁永超. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2014, 34 (21): 6137–6146. doi: 10.5846/stxb201301290184.
- TAO L, CHU G X, LIU T, TANG C, LI J H, LIANG Y C. Impacts of organic manure partial substitution for chemical fertilizer on cotton yield, soil microbial community and enzyme activities in mono-cropping system in drip irrigation condition [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (21): 6137–6146. doi: 10.5846/stxb201301290184.
- [26] 田善义, 王明伟, 成艳红, 陈小云, 李大明, 胡锋, 刘满强. 化肥和有机肥长期施用对红壤酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2017, 37 (15): 4963–4972. doi: 10.5846/stxb201604270800.
- TIAN S Y, WANG M W, CHENG Y H, CHEN X Y, LI D M, HU F, LIU M Q. Long-term effects of chemical and organic amendments on red soil enzyme activities [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37 (15): 4963–4972. doi: 10.5846/stxb201604270800.
- [27] 焦永鸽. 红壤供氮特性及对烤烟氮素营养的贡献 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- JIAO Y G. Nitrogen supply characteristics of red soil and its contribution to nitrogen nutrition of flue-cured tobacco [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.
- [28] 王萍萍, 段英华, 徐明岗, 张水清, 王小利. 不同肥力潮土硝化潜势及其影响因素 [J]. 土壤学报, 2019, 56 (1): 124–134. doi: 10.11766/trxb201804080533.
- WANG P P, DUAN Y H, XU M G, ZHANG S Q, WANG X L. Nitrification potential in fluvo-aquic soils different in fertility and its influencing factors [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2019, 56 (1): 124–134. doi: 10.11766/trxb201804080533.
- [29] 胡丹丹. 有机养分替代部分化肥对水稻生长及土壤理化性质的影响 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2018.
- HU D D. Effects of organic nutrients replacing partial chemical fertilizers on rice growth and soil physicochemical properties [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2018.
- [30] 侯红乾, 刘秀梅, 刘光荣, 李祖章, 刘益仁, 黄永兰, 冀建华, 邵彩虹, 王福全. 有机无机肥配施比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (3): 516–523. doi: 10.3864/j.ssn.0578-1752.2011.03.011.
- HOU H Q, LIU X M, LIU G R, LI Z Z, LIU Y R, HUANG Y L, JI J H, SHAO C H, WANG F Q. Effect of long-term located organic-inorganic fertilizer application on rice yield and soil fertility in red soil area of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (3): 516–523. doi: 10.3864/j.ssn.0578-1752.2011.03.011.

(责任编辑 杨贤智)