

## 广东冬作马铃薯有机肥施用技术研究

黄美华<sup>1</sup>, 钟春燕<sup>1</sup>, 孟醒<sup>1</sup>, 王茂辉<sup>1</sup>, 聂金泉<sup>1</sup>, 曹先维<sup>2</sup>, 张新明<sup>3\*</sup>

(1. 肇庆市农业科学研究所, 广东肇庆 526000; 2. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642; 3. 华南农业大学资源与环境学院, 广东广州 510642)

**摘要** 探究广东省肇庆地区单施有机肥、有机肥与芭田复合肥混施及常规施肥对冬作马铃薯产量、经济效益、氮磷钾含量及品质指标的影响。结果表明, 单施有机肥处理干物质与淀粉含量较高, 有机肥与化肥混施处理粗蛋白与  $V_C$  含量较高。单施有机肥的条件下, 随着有机肥施用量的增加, 产量、经济效益、干物质含量及淀粉含量先增后降。常规施肥块茎氮含量较高, 磷钾含量较低。有机肥与芭田复合肥混施处理产量、经济效益最高, 块茎氮磷钾含量较高, 故推荐肇庆地区冬作马铃薯较适合的肥料种类及用量是有机肥 9 000 kg/hm<sup>2</sup>, 芭田肥料 1 500 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 冬作马铃薯; 有机肥; 常规施肥; 混施; 肇庆

**中图分类号** S532 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)09-0159-03

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.09.042



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study of Organic Fertilizer Application Technology of Winter Potato in Guangdong Province

HUANG Mei-hua, ZHONG Chun-yan, MENG Xing et al (Zhaoqing Institute of Agricultural Sciences, Zhaoqing, Guangdong 526000)

**Abstract** To discuss the effects of single application of organic fertilizer, mixed application of organic fertilizer and Batian complex fertilizer and conventional fertilization on the yield, economic benefit, N, P and K content and quality indicators for winter-planting potato in Zhaoqing of Guangdong Province. The results showed that the content of dry matter and starch was higher in the single application of organic fertilizer, and the content of crude protein and  $V_C$  was higher in the mixed application of organic fertilizer and complex fertilizer. Under the condition of single application of organic fertilizer, the yield, economic benefit, dry matter content and starch content increased first and then decreased, whereas the organic fertilizer application rate increased. The potato tubers had higher N content and lower P and K content for conventional fertilization. The mixed application of organic fertilizer and Batian complex fertilizer had the highest yield and economic benefit, the yield and economic benefit was the highest for the mixed application of organic fertilizer and Batian complex fertilizer, and the N, P and K content of potato tuber was higher. Therefore, it was recommended that the suitable types and dosage of fertilizer for winter-planting potato in Zhaoqing: organic fertilizer 9 000 kg/hm<sup>2</sup>, Batian complex fertilizer 1 500 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words** Winter-planting potato; Organic fertilizer; Conventional fertilization; Mixture of organic fertilizer and compound fertilizer; Zhaoqing

肥料是作物的“粮食”, 在农业生产中发挥着不可替代的作用。由于化肥具有施用方便、肥效快、增产效果明显等优点, 在所有肥料中占有至关重要的地位。我国是最大的化肥生产国和消费国, 约占世界化肥消费总量的 34%<sup>[1]</sup>。近年来, 过量施用化肥的现象越来越严重, 且偏施氮肥, 利用率低。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>[2]</sup>, 导致土壤板结, 矿物质营养比例失衡, 严重影响根系活性, 削弱农作物抗病虫害的能力。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, 要更加注重土壤生态系统养护。

有机肥属于纯天然的生态肥料, 含有植物所需的各种营养元素, 且有机质含量较高, 有机质中的氨基酸、酰胺和核酸可以直接被植物吸收, 糖类和脂肪是土壤微生物生命活动的能源, 而且有机质在矿质化过程中, 生成的有机酸可以使土壤中的无效养分有效化, 从而培肥土壤<sup>[3]</sup>。研究表明, 有机肥还可改善土壤微生物群落结构<sup>[4-5]</sup>, 降低土壤重金属活性<sup>[6-7]</sup>, 改善土壤环境。研究表明, 施用有机肥或有机肥与化肥配施, 不仅可以改善土壤生态系统, 还可提高农作物产量和品质<sup>[8-11]</sup>, 故研究马铃薯有机肥的适宜用量及与化肥配施

比例, 对提高马铃薯品质以及改善土壤性质, 具有非常重要的意义。

### 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 于 2018 年 11 月至 2019 年 3 月在肇庆市农业科学研究所基地内进行。气候类型为南亚热带季风气候, 前作为水稻, 质地为重壤土, 土壤 pH 5.84, 有机质 29.4 g/kg、碱解氮 73.9 mg/kg、有效磷 118.8 mg/kg、速效钾 118.9 mg/kg。

**1.2 试验材料** 供试种薯: 费乌瑞它合格脱毒种薯; 肥料: 过磷酸钙 ( $P_2O_5$ , 12.0%)、尿素 (N, 46%)、硫酸钾 ( $K_2O$ , 50.0%)、精制有机肥 (鸡粪, 氮磷钾含量: 1.26%、1.49%、1.26%)、芭田复合肥 (氮磷钾含量: 15-6-21)。

**1.3 试验设计** 共设 6 个处理, 分别是 3 个纯有机肥处理, 施用梯度是 4 500、9 000、13 500 kg/hm<sup>2</sup>; 1 个有机肥和芭田肥料混施处理, 有机肥 9 000 kg/hm<sup>2</sup>, 芭田肥料 1 500 kg/hm<sup>2</sup>; 1 个当地常规施肥量处理; 1 个空白对照。各处理肥料用量见表 1。设 3 次重复, 重复间的处理均随机排列, 肥料全部作基肥一次性施入, 实行黑膜覆盖高垄双行栽培技术。共 18 个小区, 小区面积 19.8 m<sup>2</sup> (1.1 m×6.0 m×3), 株距 30 cm。

**1.4 测定项目与方法** 收获时对马铃薯块茎进行分级, 共分 2 个等级: 商品薯和次品薯。商品薯的标准: 单个薯大于或等于 75 g, 无畸形、无病、无虫蛀、无裂口等; 次品薯的标准: 单个薯小于 75 g、裂薯和畸形薯。收获时采集有代表性的块茎作为样品, 150 ℃ 烘 30 min 杀青, 75 ℃ 烘至恒重, 测干

**基金项目** 国家重点研发计划项目 (2018YFD0200801)。

**作者简介** 黄美华 (1988—), 女, 广西桂林人, 农艺师, 硕士, 从事园艺作物栽培管理研究。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事土壤肥力与养分资源管理研究。

**收稿日期** 2020-09-09

重,粉碎,放置于密封袋保存供分析测定。取0.200 g样品进行浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,将消煮液保存至样品瓶中待测氮磷钾。氮采用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化-奈氏比色法测定;磷采用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化-钼锑抗比色法测定;钾采用浓 $H_2SO_4-$

$H_2O_2$ 消化-火焰光度法测定;淀粉含量采用乙醇提取葡萄糖测定法; $V_C$ 采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定;土壤理化性质采用常规方法进行测定。具体分析方法参照《土壤农化分析》<sup>[12]</sup>和《马铃薯试验研究方法》<sup>[13]</sup>。

表1 各处理肥料施用量

Table 1 Application amount of fertilizer in each treatment

kg/hm<sup>2</sup>

编号 Serial number	处理 Treatment	有机肥 Organic fertilizer	尿素 Urea	过磷酸钙 Calcium superphosphate	硫酸钾 Potassium sulfate	芭田肥 Batian fertilizer	氮素 Nitrogen	磷素 Phosphorus	钾素 Potassium
①	有机肥1	4 500.0	0	0	0	0	56.7	67.1	56.7
②	有机肥2	9 000.0	0	0	0	0	113.4	134.1	113.4
③	有机肥3	13 500.0	0	0	0	0	170.1	201.2	170.1
④	有机肥+芭田	9 000.0	0	0	0	1 500.0	338.4	224.1	428.4
⑤	常规施肥	11 250.0	384.0	1 036.5	654.0	0	318.5	292.0	468.8
⑥	CK	0	0	0	0	0	0	0	0

注:氮素、磷素、钾素施用量是指各处理肥料N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O总和

Note: Application amount of nitrogen, phosphorus and potassium refers to the sum of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O of each treatment fertilizer

1.5 数据分析 试验数据采用 Excel 2010 和 SPSS 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

2.1 产量及经济效益 由表2可知,各处理总产及商品薯产量表现为有机肥+芭田>常规施肥>有机肥2>有机肥1>有机肥3>CK,但有机肥+芭田处理、常规施肥处理及有机肥2处理间无显著差异。在单施有机肥的前提下,随着有机肥施用量的增加,商品薯产量、总产及商品薯率先增加再降低,且有机肥2处理商品薯产量及总产显著高于有机肥3处理。CK处理产量最低,与其余处理差异显著。除CK处理商品薯率低于90%外,其余处理均达90%以上,最高为有机肥2处理,达93.7%。

表2 各处理马铃薯产量

Table 2 Potato yield of each treatment

编号 Serial number	处理 Treatment	商品薯产量 Commercial potato production kg/hm <sup>2</sup>	总产 Total output kg/hm <sup>2</sup>	商品薯率 Commodity potato rate %
①	有机肥1	16 668±1 973 bc	18 307±2 291 bc	91.2±0.8 a
②	有机肥2	20 658±1 520 ab	22 049±1 607 ab	93.7±1.3 a
③	有机肥3	15 493±618 c	16 637±537 c	93.1±1.1 a
④	有机肥+芭田	23 534±1 381 a	25 142±992 a	93.5±2.1 a
⑤	常规施肥	21 122±1 236 a	23 008±982 a	91.7±2.6 a
⑥	CK	7 329±1 018 d	8 535±969 d	85.4±2.3 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。75 g以上(包含75 g)属于商品薯

Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicated significant difference between different treatments ( $P<0.05$ ). More than 75 g (including 75 g) belonged to commercial potato

由表3可知,有机肥+芭田处理总产值和经济效益最高,分别是47 871、29 121元/hm<sup>2</sup>。常规施肥总产值较高,但成本达24 143元/hm<sup>2</sup>,导致经济效益比有机肥1及有机肥2处理低。有机肥3处理的经济效益最低。在纯有机肥处理的前提下,随着有机肥施用量的增加,总产值及经济效益先增加后降低,其中有机肥处理2总产值及经济效益显著高于

有机肥处理3。由此可知,肇庆地区冬种马铃薯较适合的肥料种类及用量为商品有机肥9 000 kg/hm<sup>2</sup>,芭田肥料1 500 kg/hm<sup>2</sup>。

表3 各处理总产值与经济效益

Table 3 Total output value and economic benefit of each treatment

元/hm<sup>2</sup>

编号 Serial number	处理 Treatment	总产值 Total output value	经济效益 Economic benefit	成本 Cost
①	有机肥1	34 156±4 103 bc	26 506±4 103 ab	7 650
②	有机肥2	42 011±3 074 ab	26 711±3 074 ab	15 300
③	有机肥3	31 559±1 188 c	8 609±1 188 d	22 950
④	有机肥+芭田	47 871±2 559 a	29 121±2 559 a	18 750
⑤	常规施肥	43 186±2 299 a	19 044±2 299 bc	24 143
⑥	CK	15 261±2 009 d	15 261±2 009 cd	0

注:商品薯2.00元/kg,小薯0.50元/kg;有机肥1.70元/kg,尿素3.40元/kg,过磷酸钙1.12元/kg,硫酸钾3.90元/kg,芭田复合肥2.30元/kg

Note: Commodity potato was 2.00 yuan/kg, small potato was 0.50 yuan/kg; organic fertilizer was 1.70 yuan/kg, urea was 3.40 yuan/kg, calcium superphosphate was 1.12 yuan/kg, potassium sulfate was 3.90 yuan/kg, Batian compound fertilizer was 2.30 yuan/kg

2.2 块茎氮磷钾含量 由表4可知,有机肥+芭田处理和常规施肥处理氮含量均较高,与纯有机肥处理及CK处理呈显著差异,故施用化肥可显著提高块茎氮含量。有机肥+芭田处理磷钾含量与纯有机肥处理及CK处理无显著差异。常

表4 各处理马铃薯块茎氮磷钾含量

Table 4 Content of N, P and K in tubers of different treatments %

编号 Serial number	处理 Treatment	氮含量 Nitrogen content	磷含量 Phosphorus content	钾含量 Potassium content
①	有机肥1	0.86±0.02 b	0.29±0.04 a	1.53±0.06 a
②	有机肥2	0.89±0.04 b	0.30±0.01 a	1.48±0.05 a
③	有机肥3	0.96±0.05 b	0.28±0.03 a	1.48±0.01 a
④	有机肥+芭田	1.29±0.10 a	0.29±0.02 a	1.52±0.03 a
⑤	常规施肥	1.25±0.11 a	0.17±0.00 b	1.34±0.03 b
⑥	CK	0.91±0.05 b	0.30±0.03 a	1.59±0.04 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicated significant difference between different treatments ( $P<0.05$ )

规施肥处理磷钾含量显著低于其余处理,常规施肥不利于块茎磷钾含量的积累。有机肥 1、有机肥 2 及有机肥 3 处理的氮磷钾含量均无显著差异,故单施有机肥的条件下,有机肥的施用量对块茎氮磷钾含量的影响较小。

**2.3 收获块茎品质指标** 由表 5 可知,有机肥 2 处理干物质含量及淀粉含量最高,其次是有机肥 3 处理,2 个处理间无显著差异,但有机肥 2 处理与其余处理均差异显著。有机肥+芭田处理粗蛋白含量最高,其次是常规施肥处理,2 个处理无显著差异,但有机肥+芭田处理与其余处理差异显著。

表 5 各处理马铃薯品质指标  
Table 5 Quality indexes of each treatment

编号 Serial number	处理 Treatment	干物质含量 Dry matter content//%	淀粉含量(鲜基) Starch content//%	粗蛋白含量(鲜基) Crude protein content//%	V <sub>c</sub> 含量 V <sub>c</sub> content mg/kg
①	有机肥 1	18.94±0.31 b	12.99±0.30 b	1.01±0.03 c	275.48±4.15 cd
②	有机肥 2	20.81±0.38 a	14.84±0.37 a	1.15±0.04 bc	280.88±0.20 bc
③	有机肥 3	19.65±0.66 ab	13.69±0.64 ab	1.18±0.10 bc	282.67±8.25 bc
④	有机肥+芭田	18.65±0.64 b	12.70±0.62 b	1.51±0.15 a	294.00±4.60 ab
⑤	常规施肥	18.68±0.35 b	12.74±0.34 b	1.46±0.14 ab	308.03±3.06 a
⑥	CK	18.76±0.37 b	12.81±0.37 b	1.06±0.04 c	262.08±5.88 d

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicated significant difference between different treatments ( $P<0.05$ )

### 3 讨论

化肥作为一种速效化学肥料,其肥效快,在农业生产中,化肥是提高产量的一种重要手段。但长期大量施用无机化肥,不仅会造成生态环境污染,影响农业可持续发展,而且还会使土壤结构改变,造成土壤板结,影响农作物根系发育,使所需养分的供给失衡,果实品质下降,且施用化肥成本高,易随水流失,从而降低无机化肥的利用率。施用有机肥不仅能为作物提供全面营养,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>[14-15]</sup>。有机肥与化肥配施可显著增加土壤微生物量和土壤养分容量的供应强度<sup>[16]</sup>,有利于培肥土壤和作物增产<sup>[17-18]</sup>。近年来,不同有机肥替代部分化肥在不同作物上施用的研究越来越多,刘尚前等<sup>[19]</sup>研究表明增施生物有机肥能够显著提高马铃薯产量和块茎中淀粉含量。复合肥减量施用和配施不同生物有机肥可提高土壤有益微生物数量、有机质含量、马铃薯产量和品质<sup>[20]</sup>。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<sup>[21]</sup>。不同作物和土壤状况存在最佳的替代比例,因此,该试验拟通过大田试验,探究有机肥在生产中的施用技术,探索适合肇庆地区冬作马铃薯的有机肥替代率,以期养为养管理、化肥减量化及农业可持续发展提供理论基础和技术支持。结果表明,有机肥与芭田复合肥混施处理产量、经济效益最高,块茎氮磷钾含量较高,故推荐肇庆地区冬种马铃薯较适合的肥料种类及用量是有机肥 9 000 kg/hm<sup>2</sup>,芭田肥料 1 500 kg/hm<sup>2</sup>。

### 4 结论

该试验中,施用有机肥均可提高块茎产量、块茎干物质含量、淀粉含量、粗蛋白含量及 V<sub>c</sub> 含量,随着有机肥用量提

从 CK、有机肥 1、有机肥 2 及有机肥 3 处理可知,增施有机肥可提高马铃薯块茎干物质及淀粉含量,随着有机肥用量的增加,块茎干物质及淀粉含量先增加后降低;增施有机肥可提高粗蛋白含量,随着有机肥用量的增加,粗蛋白含量呈上升趋势。

施用有机肥或化肥可提高块茎 V<sub>c</sub> 含量。常规施肥处理 V<sub>c</sub> 含量最高,达 308.03 mg/kg,与 CK 和单施有机肥处理差异显著,与有机肥+芭田处理无显著差异。在单施有机肥的条件下,随着有机肥施用量的增加,块茎 V<sub>c</sub> 含量呈上升趋势。

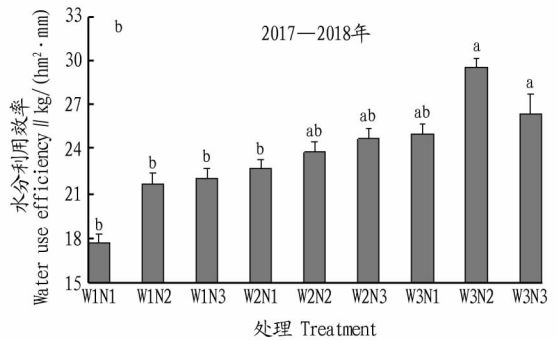
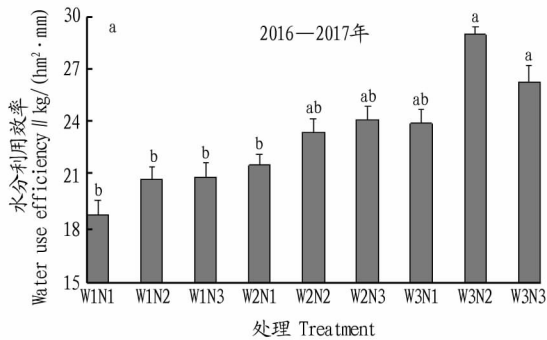
高,块茎产量、块茎干物质含量及淀粉含量先增后降;粗蛋白含量及 V<sub>c</sub> 含量随着有机肥用量增加而提高。吴美玲等<sup>[22]</sup>研究表明,随着有机肥的增加,块茎产量及淀粉含量先增加后降低。在施用有机肥 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上增施 1 500 kg/hm<sup>2</sup> 的芭田复合肥,可显著提高块茎 V<sub>c</sub> 含量和粗蛋白含量,但干物质含量和淀粉含量显著降低。在仅施用有机肥的条件下,有机肥施用量对块茎氮磷钾含量影响不显著。在施用有机肥 9 000 kg/hm<sup>2</sup> 的基础上增施 1 500 kg/hm<sup>2</sup> 的芭田复合肥,可显著提高块茎氮含量。常规施肥块茎磷钾含量显著低于有机肥+芭田肥料处理。

### 参考文献

- [1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [2] 王贺东,吕泽先,刘成,等. 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.
- [3] 刘秀梅,罗奇祥,冯兆滨,等. 我国商品有机肥的现状与发展趋势调研报告[J]. 江西农业学报,2007,19(4):49-52.
- [4] 徐明岗,李冬初,李菊梅,等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学,2008,41(10):3133-3139.
- [5] ZHANG H M, XU M G, ZHANG F. Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China [J]. Journal of agricultural science, 2009, 147(1):31-42.
- [6] VEGA F A, COVELO E F, ANDRADE M L. Competitive sorption and desorption of heavy metals in mine soils: Influence of mine soil characteristics [J]. Journal of colloid and interface science, 2006, 298(2):582-592.
- [7] 王沛裴,郑顺林,万年鑫,等. 有机肥对 Pb、Cd 污染下马铃薯生长及土壤酶活性的影响[J]. 生态与农村环境学报,2016,32(4):659-663.
- [8] 官利李,李水源,谭卫娜,等. 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.
- [9] 傅松,傅树斌,王丁祥,等. 商品有机肥替代部分化肥对土壤养分和马铃薯产量的影响[J]. 福建农业科技,2019(12):60-64.
- [10] 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):54-60,68.

效率增加 11.70%。从经济效益和生态效益的角度考虑,推荐小麦生长期施纯氮 240 kg/hm<sup>2</sup>,底施 60%纯氮、拔节期追施 25%纯氮和灌浆期追施 15%纯氮,同时小麦拔节期、开花

期和灌浆期各进行 1 次灌水的滴灌水肥一体化处理是小麦高产又节水的最佳模式,能够使小麦获得高产的同时,兼顾水分的高效利用。



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments ( $P < 0.05$ )

图 1 滴灌水肥一体化对小麦水分利用效率的影响

Fig. 1 Effects of drip fertigation on water use efficiency of wheat

## 参考文献

- 王在柱,李鹏,郭玲玲. 浅析我国水资源利用现状及农业节水灌溉对策[J]. 内蒙古科技与经济,2013(4):42-43.
- 刘恩英,代世伟,范永贵,等. 我国灌区农业水资源可持续利用问题探讨[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(6):157-162.
- 李幸珍. 农业水资源的合理利用分析[J]. 黑龙江水利科技,2015,43(1):191-193.
- GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968):1008-1010.
- TANASKOVIK V, CUKALIEV O, ROMIĆ D, et al. The influence of drip fertigation on water use efficiency in tomato crop production[J]. Agriculturae conspectus scientificus, 2011, 76(1):57-63.
- AGOSTINI F, TEI F, SILGRAM M, et al. Decreasing nitrate leaching in vegetable crops with better N management[M]//LICHTFOUSE E. Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming. Dordrecht: Springer Press, 2010:147-200.
- JHA S K, GAO Y, LIU H, et al. Root development and water uptake in winter wheat under different irrigation methods and scheduling for North China[J]. Agricultural water management, 2017, 182:139-150.
- ZHANG F C, KANG S Z, ZHANG J H, et al. Nitrogen fertilization on uptake of soil inorganic phosphorus fractions in the wheat root zone[J]. Soil science society of America journal, 2004, 68(6):1890-1895.
- SINGANDHUPE R B, RAO G G S N, PATIL N G, et al. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.)[J]. European journal of agronomy, 2003, 19(2):327-340.
- ZHANG M M, DONG B D, QIAO Y Z, et al. Yield and water use responses of winter wheat to irrigation and nitrogen application in the North China Plain[J]. Journal of integrative agriculture, 2018, 17(5):1194-1206.
- 武继承,杨永辉,潘晓莹,等. 小麦-玉米滴灌水肥一体化的节水增产效应[J]. 河南农业科学, 2017, 46(2):16-21.
- ZHANG Y Q, WANG J D, GONG S H, et al. Nitrogen fertigation effect on photosynthesis, grain yield and water use efficiency of winter wheat[J]. Agricultural water management, 2017, 179:277-287.
- HARTMANN T E, YUE S C, SCHULZ R, et al. Yield and N use efficiency of a maize-wheat cropping system as affected by different fertilizer management strategies in a farmer's field of the North China Plain[J]. Field crops research, 2015, 174:30-39.
- 尹飞虎,曾胜和,刘瑜,等. 滴灌春麦水肥一体化肥效试验研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(12):2299-2303.
- 陈静,王迎春,李虎,等. 滴灌施肥对免耕冬小麦水分利用及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(10):1966-1975.
- 陈慧,黄振江,王冀川,等. 水氮耦合对滴灌冬小麦氮素吸收、转运及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(1):44-56.
- 李武超,李磊,王炜,等. 小麦水氮耦合效应与化肥高效利用研究[J]. 华北农学报, 2018, 33(5):232-238.
- 栗丽,洪坚平,王宏庭,等. 水氮处理对冬小麦生长、产量和水氮利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5):1367-1373.
- 张晶,党建友,裴雪霞,等. 微喷灌水肥一体化下磷钾肥减量分期施用对小麦产量和养分利用的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(3):629-634.
- ZHANG Y Q, WANG J D, GONG S H, et al. Nitrogen fertigation effect on photosynthesis, grain yield and water use efficiency of winter wheat[J]. Agricultural water management, 2017, 179:277-287.
- 王晓英,贺明荣,刘永环,等. 水氮耦合对冬小麦氮肥吸收及土壤硝态氮残留淋溶的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2):685-694.
- ROSEGRANT M W, KOO J, CENACCHI N, et al. Food security in a world of natural resource scarcity: The role of agricultural technologies[M]. Washington, DC: IFPRI, 2014.
- DEMELASH N, BAYU W, TESFAYE S, et al. Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties[J]. Nutrient cycling in agroecosystems, 2014, 100(3):357-367.
- 刘尚前,王晓春,牛斌,等. 生物有机肥在马铃薯上的施用效应[J]. 河南农业科学, 2007, 36(4):99-100, 116.
- 王耀. 复合肥配施不同生物有机肥对土壤肥力及马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国马铃薯, 2018, 32(2):96-100.
- 官利兰,李水源,谭卫娜,等. 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.
- 吴美玲,田晋文,张绍荣,等. 有机肥控施对马铃薯新品种毕引2号农艺性状及产量的影响[J]. 湖南农业科学, 2016(12):38-39, 42.

(上接第 161 页)