

有机肥与化肥对樱桃产量、品质及叶片养分的影响

杜春燕,张 齐,冯 涛,朱志军,同延安

(西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

摘 要:通过对“雷尼”、“勃兰特”樱桃品种连续 4 a(2014—2018)的田间定位试验,比较施用纯化肥(M_0)、有机养分与化肥养分各 50% (M_{50})、纯有机肥(M_{100})处理对樱桃叶片养分含量、产量和品质的影响。结果表明,“雷尼” M_{50} 及 M_{100} 处理土壤有机质较 4 a 前分别提高了 42.50%和 33.00%;“勃兰特” M_{50} 及 M_{100} 处理土壤有机质较 4 a 前分别提高了 55.56%和 45.70%,两个品种有机质的增加幅度均显著高于纯化肥(M_0)处理。“雷尼” M_{50} 樱桃产量逐年稳步上升,“勃兰特” M_{50} 和 M_{100} 处理平均产量与 M_0 相比分别降低了 3.20%和 25.30%。与 M_0 相比,“雷尼”叶片 M_{50} 处理的氮含量和磷含量显著高于 M_0 和 M_{100} ;氮含量 M_{50} 分别高于 M_0 和 M_{100} 10.50%和 18.59%;磷含量 M_{50} 分别高于 M_0 和 M_{100} 22.56%和 40.56%;“雷尼” M_{50} 处理的维生素 C 含量为 46.67 mg·kg⁻¹,显著高于其他处理。“勃兰特” M_{50} 可溶性糖含量较 M_0 高 14.51%,维生素 C 含量和可溶性固形物含量分别显著提高了 7.69%和 9.35%,糖酸比显著提高了 50.63%。综合试验结果,生产上有机肥替代部分化肥配施效果更好。

关键词:樱桃;有机肥;化肥;产量;品质;叶片养分

中图分类号:S662.5; S606⁺.2 **文献标志码:**A

Effects of organic and chemical fertilizers on yield, quality and leaf nutrient of cherry

DU Chunyan, ZHANG Qi, FENG Tao, ZHU Zhijun, TONG Yanan

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To evaluate the effect of organic and chemical fertilizers on the leaf nutrient content, yield, and quality of cherry, a positioning field test of cherry varieties, “Leini” and “Bolante”, was conducted with 3 fertilizer treatments including chemical fertilizer (M_0), 50 : 50 organic : chemical fertilizers (M_{50}), and organic fertilizer (M_{100}) for 4 consecutive years (2014–2018). The results showed that the treatments M_{50} and M_{100} on “Leini” increased soil organic matter by 42.50% and 33.00%, respectively. The M_{50} and M_{100} treatments on “Bolante” increased soil organic matter by 55.56% and 45.70%, respectively. They all were significantly higher than that with M_0 . The yield of “Leini” with M_{50} had steadily increased annually. The average yield of “Bolante” with M_{50} and M_{100} treatments decreased by 3.20% and 25.30%, respectively, over that with M_0 . The nitrogen and phosphorus contents of “Leini” leaf with M_{50} treatment were significantly higher than that of M_0 and M_{100} treatments. The nitrogen content of M_{50} treatment was higher than that of M_0 and M_{100} treatments by 10.50% and 18.59%, respectively. The phosphorus content of M_{50} treatment was higher than that of M_0 and M_{100} treatments by 22.56% and 40.56%, respectively. “Leini” with M_{50} treatment had a vitamin C content of 46.67 mg·kg⁻¹, significantly higher than other treatments. The soluble sugar of “Bolante” with M_{50} treatment was 14.51% higher than that with M_0 treatment. The vitamin C content and soluble solid content of M_{50} treatment significantly increased by 7.69% and 9.35%, respectively. In summary, organic fertilizer replacing part of chemical fertilizers significantly improved the production.

Keywords: cherry; organic fertilizer; chemical fertilizer; yield; quality; leaf nutrient

樱桃果实色泽美观、味道鲜美、营养价值高,深受消费者喜爱。樱桃具有独特的生物学特性及营养特性,而在生产上大多数果农喜爱套用其他果树养分管理技术,造成果园管理水平低下、施肥不合理,限制了樱桃产量的提高和品质的改善。

增施有机肥是保持土壤生产力和减少化肥施用的一种传统而有效的方法,可以达到节约成本和增加养分有效性的双重作用^[1-4]。国内外大量的长期定位试验结果表明,化肥配施有机肥可显著提高作物产量和改善土壤养分状况^[5-15]。Seufert 等^[16]报道有机肥替代 50% 无机肥后小麦和玉米产量明显提高。Yang 等^[17]通过 33 a 的小麦-玉米轮作试验结果表明,试验初期有机无机肥配施对产量没有显著影响,而随着时间的延长其增产效益显著。邢鹏飞等^[18]在华北平原通过连续 4 a 的研究表明,有机肥替代 30% 无机肥能够保证粮食产量,有机肥替代 50% 无机肥能提高土壤肥力。罗华等^[19]研究不同有机肥对桃品质的影响,表明施用有机肥能显著提高果实可溶性固形物、固酸比和维生素 C 含量。单独施用有机肥,由于其速效养分供应能力差,很难实现高产、稳产,并且大大增加了人力成本;而单施化肥,虽然能保证产量,但土壤培肥能力差,不利于土壤可持续利用^[20]。由此可知,有机肥替代化肥能够提高作物产量及品质,改善土壤养分状况。樱桃长期施用有机肥对土壤肥力、产量及环境的影响鲜见报道,本研究以樱桃为研究对象,在陕西富平现代农业综合试验站观测了施用纯化肥(M_0)、有机肥、化肥各 50% (M_{50}) 及纯有机肥 (M_{100}) 处理对樱桃产量、品质及叶片营养状况的影响,以期对樱桃栽培中科学施用有机肥提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014—2018 年在陕西省富平县淡村镇西北农林科技大学现代农业综合试验站 (108°57'E, 34°42'N) 进行。果园地处富平县西南边陲、关中平原和陕北高原的过渡地带,属暖温带半干旱型气候,四季干湿冷暖分明,年平均气温在 11.4~15.2℃ 之间,年降水量在 460~685 mm 之间,且主要集中在夏季。供试品种分别为“雷尼”、“勃兰特”,采用 v 字型栽培模式,果树行间种植多年生三叶草。试验地耕层含有机质 12.62 g · kg⁻¹,硝态氮 21.15 mg · kg⁻¹,铵态氮 0.52 mg · kg⁻¹,速效磷 72.56 mg · kg⁻¹,速效钾 140.97 mg · kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验于 2014 年开始,选树势基本一致、无病虫害的 3 株树为 1 个处理小区,重复 3 次,株行距为 2 m × 4 m,小区面积 24 m²。共设 3 个处理:单施化肥 (M_0),有机肥、化肥各 50% (M_{50}),纯有机肥 (M_{100})。

本试验连续 4 a 的施肥量均为:纯 N 250 kg · hm⁻², P₂O₅ 125 kg · hm⁻², K₂O 250 kg · hm⁻²,施肥比例为 N : P : K = 2 : 1 : 2。试验用氮肥为尿素(含 N 46%)、磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 14%)、钾肥为硫酸钾(含 K₂O 50%)、有机肥为羊粪。根据《中国有机肥料养分志》,羊粪的平均养分含量为有机质 35.02 g · kg⁻¹、全氮 5.33 g · kg⁻¹、速效磷(P₂O₅) 39 mg · kg⁻¹、速效钾(K₂O) 41 mg · kg⁻¹。羊粪不足的磷、钾用过磷酸钙和硫酸钾补充,使各处理的氮、磷、钾总量保持一致。有机肥和磷肥作为基肥于秋季一次性施入,氮、钾肥 50% 作为基肥施入,50% 在春季作为追肥施入。有机肥为条状沟施,化肥利用水肥一体化系统进行滴灌施肥,其他管理措施同当地果园一致。

1.3 测定项目与方法

樱桃果实的采收在成熟期分 2 次进行,称重、计产并换算为单位面积产量。果实采后带回实验室,用游标卡尺测定果实纵横径,纵径与横径的比值即果形指数;用分析天平测量单果重及可食用部分,可食用部分与单果重之比即可食用率。可溶性固形物用手持糖度计直接测定;维生素 C 用 2,6-二氯靛酚蓝比色法;蒽酮比色法测定可溶性糖;NaOH 滴定法测定可滴定酸。于果实成熟期采集叶片,每个小区从东、南、西、北方向以植株上、中、下部位采集 100 片以上新梢枝条叶片,进行叶片营养元素的测定:先用自来水冲洗后再用蒸馏水进行清洗,之后在 105℃ 条件下杀酶 15~20 min,然后在 70~80℃ 下烘干,磨碎过筛后加浓硫酸和双氧水消化。全氮和全磷含量采用 AA3 型连续流动分析仪测定;火焰光度计法测定全钾含量;中微量元素的测定用原子吸收分光光度法;土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法^[21]测定。

运用 SPSS 17.0 统计软件进行统计分析,运用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理的土壤有机质含量

“雷尼”和“勃兰特”两个樱桃园土壤有机质含量见图 1。两个品种各施肥处理在 4 a 后土壤有机质含量均得到一定程度的提高,“雷尼”和“勃兰特”

纯化肥(M₀)处理土壤有机质含量较 4 a 前分别提高了 21.11%和 14.29%,可能是由于果园生草翻压以及果实采收后落叶腐烂导致。“雷尼”M₅₀及 M₁₀₀土壤有机质较 4 a 前分别提高了 42.50%和 33%;“勃兰特”M₅₀及 M₁₀₀土壤有机质较 4 a 前分别提高了 55.56%和 45.70%,两个品种的增加幅度均显著高于 M₀处理。因此,施用有机肥料及有机无机肥料配施有利于土壤有机质含量的提高,能够培肥地力。

2.2 不同处理的樱桃产量

不同年份不同处理樱桃年均产量见表 1,“雷尼”M₅₀樱桃产量逐年稳步上升,3 a 平均产量最高,达 7 284.7 kg · hm⁻²,并且与 M₀相比,3 a 来产量水平趋于一致,保持在一个相对稳定的水平,处理间没有显著性差异;M₁₀₀产量最低,为 5 333.4 kg · hm⁻²。而“勃兰特”M₅₀和 M₁₀₀处理平均产量与 M₀相比分别降低了 3.20%和 25.30%,可能与气温及品种的抗寒性有关。

2.3 不同处理的樱桃品质

2.3.1 果实大小及单果质量 试验结果(表 2)显示,与 M₀相比,“雷尼”M₅₀、M₁₀₀单果重显著提高 6.90%、6.77%,各处理果型指数和可食用率之间无显著性差异;“勃兰特”M₅₀单果重与 M₀相比无显著性差异,M₁₀₀单果重显著减少 8.58%,各处理果型指

数和可食用率之间无显著性差异。

2.3.2 果实内在品质 表 3 结果显示,“雷尼”M₅₀可溶性糖与 M₀无显著性差异,M₁₀₀显著减少了 14.86%;M₅₀、M₁₀₀可滴定酸及可溶性固形物与 M₀相比无显著性差异;M₅₀维生素 C 含量为 46.67 mg · kg⁻¹,糖酸比为 23.09,均显著高于其他处理。“勃兰特”M₅₀可溶性糖较 M₀高 14.51%,M₁₀₀可溶性糖较 M₀低 15.83%;与 M₀相比,M₅₀、M₁₀₀处理的可滴定酸含量分别提高 45.61%、31.58%;M₅₀维生素含量和可溶性固形物含量分别显著提高 7.69%、9.35%;M₅₀处理的糖酸比显著提高 50.63%,而 M₁₀₀处理的糖酸比显著减少 22.00%。

2.4 不同处理的叶片营养状况

成熟期不同施肥处理的樱桃叶片营养状况见表 4。不同品种不同施肥处理樱桃叶片矿质含量不同。“雷尼”叶片 M₅₀氮含量和磷含量显著高于 M₀和 M₁₀₀,氮含量较 M₀和 M₁₀₀分别提高 10.50%和 18.59%;磷含量较 M₀和 M₁₀₀分别提高 22.56%和 40.56%。钾、钙和镁含量各处理之间差异均不显著。M₅₀和 M₁₀₀铜含量显著高于 M₀,分别提高 11.59%和 32.35%。M₅₀锌含量和铁含量与 M₀处理之间无显著性差异,M₁₀₀处理的锌含量和铁含量分别较 M₀显著提高 23.95%和 56.13%。

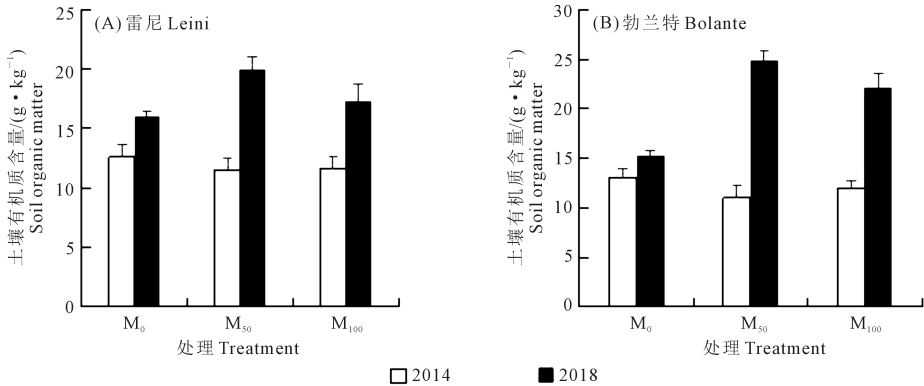


图 1 不同处理 4 a 前后的土壤有机质含量变化
Fig.1 Soil organic matter content of different treatments in 2014 and 2018

表 1 不同施肥处理对樱桃产量的影响/(kg · hm ⁻²)						
Table 1 Effects of different fertilization on cherry fruit yield						
年份	雷尼 Leini			勃兰特 Bolante		
Year	M ₀	M ₅₀	M ₁₀₀	M ₀	M ₅₀	M ₁₀₀
2016	6541.7a	6500.0a	5541.7a	6316.7a	6441.7a	5666.7a
2017	7375.0a	7520.8a	5291.7b	7687.5a	7500.0a	5416.7b
2018	7250.0b	7833.3a	5166.7b	7750.0a	7125.0a	5166.7b
平均产量						
Average yield	7055.6a	7284.7a	5333.4b	7251.4a	7022.2a	5416.7b

注:同一品种相同年份的不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下同。
Note: Different lowercase letters of the same variety in the same year mean significant difference among treatments (P<0.05). The same below.

表 2 不同施肥处理对樱桃果实大小的影响(2018 年)				
Table 2 Effects of different fertilization on cherry fruit grading in 2018				
品种	处理	单果重/g	果型指数	可食用率
variety	Treatment	Single-fruit wieght	Fruit index	Edible rate
雷尼 Leini	M ₀	7.68b	0.91a	0.93a
	M ₅₀	8.21a	0.89a	0.94a
	M ₁₀₀	8.20a	0.89a	0.94a
勃兰特 Bolante	M ₀	7.23a	0.94a	0.92a
	M ₅₀	7.22a	0.95a	0.90a
	M ₁₀₀	6.61b	0.94a	0.91a

表 3 不同施肥处理对樱桃品质的影响(2016—2018 年均值)

品种 Variety	处理 Treatment	可溶性糖/% Soluble sugar	可滴定酸/% Titratable acids	维生素 C/(mg·kg ⁻¹) Vitamin C	可溶性固形物/% Soluble solid	糖酸比 Sugar-acid ratio
雷尼 Leini	M ₀	17.00a	0.90a	43.33b	15.53ab	18.89b
	M ₅₀	18.47a	0.80a	46.67a	16.33a	23.09a
	M ₁₀₀	14.80b	0.83a	41.00b	14.58b	17.83b
勃兰特 Bolante	M ₀	15.37b	0.57ab	39.00b	12.83b	20.50b
	M ₅₀	17.60a	0.83a	42.00a	14.03a	30.88a
	M ₁₀₀	13.27c	0.75b	37.67ab	12.50b	15.99c

表 4 不同施肥处理的樱桃叶片营养状况

Table 4 Nutrition status of cherry leaves treated with different fertilization									
处理 Treatment	氮 N /(g·kg ⁻¹)	磷 P /(g·kg ⁻¹)	钾 K /(g·kg ⁻¹)	钙 Ca /(g·kg ⁻¹)	镁 Mg /(g·kg ⁻¹)	铜 Cu /(mg·kg ⁻¹)	锌 Zn /(mg·kg ⁻¹)	铁 Fe /(mg·kg ⁻¹)	锰 Mn /(mg·kg ⁻¹)
雷尼 Leini	M ₀	26.55±2.2b	1.64±0.31b	8.99±1.35a	26.30±2.39a	0.39±0.09a	17.34±2.35c	15.87±3.54b	247.51±20.36a
	M ₅₀	29.34±2.16a	2.01±0.23a	9.02±1.42a	24.62±3.18a	0.57±0.16a	19.35±3.57b	14.92±1.87b	204.84±54.61ab
	M ₁₀₀	24.74±1.31b	1.43±0.17b	8.60±2.23a	26.92±3.22a	0.43±0.13a	22.95±6.34a	19.67±5.35a	386.46±66.39b
勃兰特 Bolante	M ₀	23.67±3.23b	0.98±0.22c	7.14±2.67b	21.66±3.07b	0.32±0.06a	20.02±3.88a	23.69±4.32a	278.24±62.34a
	M ₅₀	27.48±2.12a	1.58±0.35b	7.49±1.01b	29.59±2.20a	0.44±0.05a	19.35±4.95a	23.81±2.30a	326.11±39.36a
	M ₁₀₀	26.95±3.17a	1.99±0.21a	10.12±2.52a	26.57±3.75ab	0.41±0.10a	19.49±3.63a	21.26±4.31a	294.16±58.36a
适量范围 Moderate range		22~34	1.6~4.0	10~30	7~30	4~9	—	15~70	25~250

“勃兰特”叶片各处理的镁、铜、锌、铁、锰含量无显著性差异;与 M₀相比,M₁₀₀处理和 M₅₀处理的氮含量分别显著提高了 13.86%和 16.10%,磷含量分别显著提高了103.60%和 61.22%;M₅₀处理的钾含量与 M₀相比无显著性差异。

3 讨论与结论

化肥具有肥效快、易被作物吸收等特点,而有机肥肥效缓慢,不能及时满足作物关键生育时期对养分的需求^[22]。采取有机、无机肥配合施用,可满足作物生长需求并能获得高产^[23]。通过不同的施肥处理在两个品种樱桃果园连续 4 a 的田间试验,得出“雷尼”年平均产量顺序为 M₅₀>M₀> M₁₀₀，“勃兰特”年平均产量顺序为 M₀>M₅₀> M₁₀₀。“雷尼”M₅₀与 M₀相比,产量增加了 3.14%,说明有机与无机养分能协调平衡供应,满足作物对养分的需求,使作物保持稳产及高产,同时可以减少化肥用量,研究结果与 Yu 等^[24]、Liu 等^[25]、Manna 等^[26]一致。也有研究报道,有机、无机肥配施是维持系统可持续性的最优施肥模式,原因是有机肥腐解产生的有机酸促进了难溶性养分的释放,使得土壤中有效及全效养分得到增加,从而有利于植物摄入更多的矿质养分^[27],进而提高了樱桃产量。邢鹏飞等^[18]通过连续 4 a 的研究表明,有机肥替代 50% 无机肥能够在保证粮食产量的同时提高土壤肥力,与本试验

的研究结果一致。长期施肥结果显示,无论施化肥还是有机肥对土壤养分都有提升作用^[28-29],本研究 M₀、M₅₀、M₁₀₀处理有机质含量均得到提高。其中,M₅₀、M₁₀₀土层有机质含量提高幅度最大,“雷尼”果园分别提高了 42.50%和 33.00%，“勃兰特”果园分别提高了55.56%和 45.70%。单施化肥 4 a 后有机质含量虽有提高但变化不大,长此以往,还有可能出现其他中、微量元素的缺乏。

果树成熟叶中的养分含量可以准确反映植株的长期营养状况^[30],叶片是果实矿质营养的重要供给源之一^[31]。许小伟等^[32]、谢军等^[33]研究发现,相等氮、磷、钾条件下有机肥替代化肥≤50%的比例有利于作物养分吸收与转运,有利于提高氮肥利用率及作物产量,获得较高经济和环境效益,与本研究结果一致,即综合“雷尼”“勃兰特”两个品种叶片氮、磷、钾养分性状特征,M₅₀处理叶片氮含量最高,而 M₁₀₀处理叶片氮含量较低,即有机肥比例过高不利于叶片氮吸收,可见叶片氮含量增加更依赖于无机化肥施用量^[34]。关于樱桃叶片钙镁及微量营养元素的相关研究相对较少,戴文圣等^[35]分析了“岗山早生”和“玉露桃”展叶到果熟期叶片矿质营养成分变化,叶片表现出铁元素含量最高,这与本研究结果一致。叶片微量元素的含量与采样时间、土壤元素含量等有关,对不同时间的叶片营养诊断结果不同,所以本试验还需要进一步对樱桃不同时

期叶片营养状况进行深入研究。

果实的内在和外在品质都会直接影响人们的消费取向。本试验结果表明,有机肥替代化肥 50% (M_{50}) 的处理提高了樱桃维生素 C 含量、可溶性固形物和可溶性糖含量,这与肖时运^[36]施用有机肥提高了樱桃维生素 C 含量、可溶性固形物和可溶性糖含量的结果一致,可能是因为有机肥提高了土壤活性有机碳含量。有机肥配施不仅减少了化肥氮含量,而且提高了土壤微生物数量和活性,固定了一部分无机氮。张福锁等^[37]报道化肥有机肥配施处理糖酸比、可溶性固形物、维生素 C 含量均为最高。原因是有机肥的合理施入增加了土壤有机质和多种生物活性物质的含量,提高了土壤肥力,并且其肥效稳定,养分持续释放,可以和作物营养需求同步。但本研究纯有机肥处理并没有显著提高果实的产量和品质,其产量为 3 个处理中的最低水平,可溶性固形物和糖酸比分别较纯化肥处理降低了 15.83%、22.00%,原因可能是有机养分释放缓慢,不能及时满足作物的需求。由此可见,盲目追捧有机肥并不科学,有机无机养分合理的比例配施,才能使养分利用率达到最大化。

有机肥为有机农业创造了很高的社会声誉,但有机农业提供的产品质量并不一定是最好的。合理施用化肥,特别是化肥和有机肥配合施用,在当前有机无机养分各 50% 处理,既可体现化肥速效增产的作用,又可发挥有机肥提质增效、培肥土壤的功能。本试验结果表明,通过有机无机配施可以提高樱桃产量,同时可以减少化肥用量,有利于提高叶片氮、磷、铜、锰元素含量,促进植物矿质元素的吸收和转运;显著提高了果实单果重、维生素 C 含量、糖酸比、可溶性糖含量,为有机肥替代化肥实践提供了参考。

参 考 文 献:

- [1] Fan M S, Shen J B, Yuan L X, et al. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China[J]. Journal of experimental botany, 2012, 63 (1): 13-24.
- [2] Misselbrook T H, Menzi H, Cordovil C. Preface-recycling of organic residues to agriculture: agronomic and environmental impacts[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 160:1-2.
- [3] 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 D C: International Food Policy Research Institute, 2014:25-32.
- [4] Ai C, Liang G Q, Sun J W, et al. Responses of extracellular enzyme activities and microbial community in both the rhizosphere and bulk soil to long-term fertilization practices in a fluvo-aquic soil[J]. Geoderma, 2012, 173:330-338.
- [5] Maillard É. Animal manure application and soil organic carbon stocks;

- a meta-analysis[J]. Global change Biology, 2014, 20 (2):666-679.
- [6] Fei L U, Wang X, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland[J]. Global Change Biology, 2009, 15(2):281-305.
- [7] Rasool R, Kukal S S, Hira G S. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system[J]. Soil & Tillage Research, 2008, 101 (1):31-36.
- [8] 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, 100:357-367.
- [9] Yang Z C, Zhao N, Huang F, et al. Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 146:47-52.
- [10] Krschens M, Albert E, Armbruster M, et al. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2013, 59 (8):1017-1040.
- [11] Subehia S K, Sepelhy S, Rana S S, et al. Long-term effect of organic and inorganic fertilizers on rice (*Oryza sativa* L.) yield, and chemical properties of an acidic soil in the western Himalayas [J]. Experimental Agriculture, 2013, 49(3):382-394.
- [12] 王飞. 长期不同施肥方式对南方黄泥田水稻产量及基础地力贡献率的影响[J]. 福建农业学报, 2010, 25(5):631-635.
- [13] 张云贵, 刘宏斌, 李志宏, 等. 长期施肥条件下华北平原农田硝态氮淋失风险的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (6):711-716, 736.
- [14] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (4):459-465.
- [15] Yang X Y, Sun B H, Zhang S L. Trends of Yield and Soil Fertility in a Long-Term Wheat-Maize System[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(2):402-414.
- [16] Seufert V, Ramankutty N, Foley J A. Comparing the yields of organic and conventional agriculture[J]. Nature, 2012, 485(7397):229-232.
- [17] Yang J, Gao W, Ren S R. Long-term effects of combined application of chemical nitrogen with organic materials on crop yields, soil organic carbon and total nitrogen in fluvo-aquic soil[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 151:67-74.
- [18] 邢鹏飞, 高圣超, 马鸣超, 等. 有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性、酶活性及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016 (3):98-104.
- [19] 罗华, 李敏, 胡大刚, 等. 不同有机肥对肥城桃果实产量及品质的影响. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4):955-964.
- [20] Wei W L, Yan Y, Cao J, et al. Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: an integrated analysis of long-term experiments[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2016, 225:86-92.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000:103-196.