

秸秆配施化肥对设施内土壤磷素组分和番茄产量的影响

刘 慧, 王业迪, 袁博文, 张学士, 赵智慧, 杨丽娟*

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866)

摘 要:以日光温室番茄种植土壤为试材,采用大棚微区试验,设置5种施肥处理,分别为:不施肥(CK)、100%化肥(100CF)、100%秸秆(100S)、25%秸秆配施化肥(75CF+25S)和50%秸秆配施化肥(50CF+50S),采用修正Hedley磷分级方法对土壤磷进行分组,探讨秸秆配施化肥对设施内土壤磷素组分和番茄产量的影响。结果表明:相比CK,100CF和75CF+25S处理,土壤总磷显著增加,分别增加36.6%和15.2%;50CF+50S和100S处理,土壤总磷分别减少2.5%和6.0%。各施肥处理中,无机磷含量由高到低的顺序均为:HCl-Pi>NaOH-Pi>NaHCO₃-Pi>Resin-Pi;Resin-Pi和HCl-Pi百分含量在75CF+25S处理土壤中最,NaHCO₃-Pi和NaOH-Pi百分含量在50CF+50S处理土壤中最;相比CK,100CF处理有机磷百分含量显著增高,增高29.5%,残渣磷百分含量显著下降,下降24.7%;秸秆配施化肥各处理,有机磷百分含量随秸秆添加量的增加逐渐下降,残渣磷百分含量随秸秆添加量增加逐渐上升;不施肥土壤(CK)中高稳性有机磷百分含量显著高于高活性有机磷,所有施肥处理高活性有机磷百分含量显著高于高稳性有机磷,并随秸秆施用量增加,高活性有机磷百分含量也增高;75CF+25S处理,番茄产量与100CF没有显著差异,50CF+50S和100S处理,番茄产量相对于100CF处理显著下降,仍显著高于CK。综上,利用25%秸秆和化肥配施是较优施肥组合,该研究为设施内土壤磷素高效利用提供参考依据。

关键词:秸秆;化肥;设施土壤;磷素组分

中图分类号:S147.35;S641.2 文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)06-0065-05

Effect of Straw Combined with Fertilizer on Soil Phosphorus Component and Tomato Yield in the Facility

LIU Hui, WANG Yedi, YUAN Bowen, ZHANG Xueshi, ZHAO Zhihui, YANG Lijuan*

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Using tomato growing soil in solar greenhouse as test material, five kinds of fertilization treatments were set up by micro-area test, which were: no fertilizer(CK), 100% chemical fertilizer (100CF), 100% straw (100S), 25% straw substituted fertilizer (75CF+25S) and 50% straw substituted fertilizer (50CF+50S). The results showed that the total phosphorus of soil increased significantly when the chemical fertilizer was applied by 100CF and 75CF+25S, increased 36.6% and 15.2% compared with CK, respectively. When the straws of 50CF+50S and 100S were applied, the total phosphorus of the soil was decreased by 2.5% and 6.0%, respectively. In each fertilization treatment, the order of inorganic phosphorus content from high to low was: HCl-Pi > NaOH-Pi > NaHCO₃-Pi > Resin-Pi. The percentage content of Resin-Pi and HCl-Pi was the highest in 75CF+25S treated soil, while NaHCO₃-Pi and NaOH-Pi were the highest in 50CF+50S treated soil. When only chemical fertilizer (100CF) was applied, the soil organic phosphorus percentage increased significantly, by 29.5%, while the Residual-P percentage decreased significantly, by 24.7%. When straw was used instead of chemical fertilizer, the content of organic phosphorus percentage decreased gradually with the increase of straw addition, while the content of Residual-P percentage increased gradually with the increase of straw addition. The content of high stable organic phosphorus percentage in unfertilized soil (CK) was significantly higher than that of high active organic phosphorus. The content of high active organophosphate in all fertilization treatments was significantly higher than that of high stable organophosphate. When using straw instead

收稿日期:2020-02-24

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0201004);沈阳农业大学大学生创新训练项目(2019-45、2019-42)

作者简介:刘 慧(1973-),女,实验师,从事土壤肥力实验教学和科研工作。

通讯作者:杨丽娟,女,博士,教授,E-mail: syau-ylj@163.com

of chemical fertilizer, the more straw application, the higher the content of high active organophosphate. tomato yield of 75CF+25S treatment was not significantly different from that of 100CF, 50CF+50S and 100S treatment. Tomato yield decreased significantly relative to 100CF treatment, but still significantly higher than that of CK. To sum up, this study shows that 75CF+25S treatment is a better combination of fertilization, which provides a reference for the efficient utilization of soil phosphorus in the facility.

Key words:Straw; Fertilizer; Facility soil; Phosphorus component

磷是植物生长的必需元素之一,植物对磷的吸收和利用主要决定于土壤磷素总量及其存在形态^[1]。利用各种化学试剂提取并测定各种形态的磷素,对土壤磷素进行分级,从而研究磷的有效性。土壤磷素主要分为无机磷和有机磷,Chang和Jackson提出无机磷分级方法,Bowman和Cole提出有机磷分级方法。Tiessen等提出修正Hedley磷分组方法,是目前应用最广泛,可同时有机磷和无机磷进行分级的方法^[2]。

近年来,随着设施栽培技术的快速发展,我国设施蔬菜栽培面积显著增加。2017年我国设施蔬菜栽培面积已达370万公顷,产业产值超过9800亿元^[3]。同时,化肥过量施入产生氮、磷、钾、硫等元素在土壤中过量累积问题也日渐突出。对山东寿光9年以上设施蔬菜土壤磷素研究结果表明:0~20 cm土层土壤全磷为6.1 g/kg,高出粮田土壤全磷(1.2 g/kg)408.3%^[4]。对北京近郊设施蔬菜土壤磷素研究发现,蔬菜保护地土壤有效磷的平均含量超出一般大田土壤有效磷含量(37.4 mg/kg)的2.7~14倍^[5]。磷的大量累积不仅造成磷矿资源极大浪费,且多余磷随灌排措施淋失到水中,会引起周边地区水体富营养化^[6]。

秸秆是一种可再生资源,不仅数量庞大且含有氮、磷、钾及中微量元素^[7]。秸秆还田在改良土壤、培肥地力、提高作物产量和品质上已取得很好进展^[8],在磷养分上也有报道。玉米秸秆配施化肥比无秸秆(单施化肥)处理可以明显提高土壤中总磷含量^[9];秸秆与化肥减量50%同6000 kg/hm²猪粪有机肥配施显著增加土壤速效磷和总磷含量^[10]。但秸秆与化肥配施对土壤磷组分研究较少,秸秆还田与化肥合理配施,可将缓效态无机磷转化为Ca₂-P和Fe-P等高活性无机磷提高土壤供磷能力^[11]。在前人研究成果基础上,设计秸秆配施化肥试验方案,采用修正后Hedley磷素分级方法对土壤磷进行分组,探究土壤各形态磷含量的变化规律和对番茄产量的影响。以期筛选最佳秸秆配施化肥施肥方式,为设施番茄栽培中磷肥使用和管理提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验于2016年8月15日~2017年2月18日在沈阳农业大学科研基地日光温室进行,供试土壤为棕壤,基本理化性质见表1。

表1 供试土壤基本理化性质

pH	EC (μs/cm)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	有机质 (g/kg)
6.96	211.89	39.12	121.50	147.48	0.54	1.43	25.85	15.47

1.2 供试肥料

供试化肥为尿素[CO(NH₂)₂,含N 46%]过磷酸钙[Ca(H₂PO₄)·H₂O,含P₂O₅ 14%],硫酸钾(K₂SO₄,含K₂O 50%),均为市售。秸秆为玉米秸秆,烘干后粉碎成2~5 cm长的小段,肥料养分含量见表2。

1.3 试验设计

试验共设5个施肥处理,分别为100%化肥(100CF)、75%化肥+25%玉米秸秆(75CF+25S)、50%化肥+50%玉米秸秆(50CF+50S)、100%玉米秸秆(100S)、不施肥处理(CK)。其中,秸秆配施化肥处理中,氮、磷、钾总量均与100%化肥处理

表2 供试化肥、玉米秸秆养分含量 g/kg

	全氮	全磷(P ₂ O ₅)	全钾(K ₂ O)	有机碳
玉米秸秆	7.2	6.0	7.5	620
尿素	460	-	-	-
过磷酸钙	-	140	-	-
硫酸钾	-	-	500	-

相同(除秸秆带入,不足部分分别由过磷酸钙和硫酸钾补充),试验处理与施肥量见表3。玉米秸秆、1/3氮肥,全部磷钾肥均作为基肥于2016年8月20日一次施入,深度约25 cm;剩余氮肥作追

表3 不同处理的施肥量 kg/hm^2

处理	化肥用量			玉米秸秆
	N	P_2O_5	K_2O	
100CF	450.0	225.0	525.0	0
75CF	337.5	168.8	393.8	0
75CF+25S	337.5+112.5	131.3+93.8	407.9+117.5	15 625.1
50CF+50S	225.0+225.0	37.5+187.5	290.7+234.3	31 250.1
100S	0+450.0	0+375.0	56.4+468.6	62 500.2
CK	0	0	0	0

注:“+”后面的数字为秸秆提供的N、 P_2O_5 、 K_2O 量

肥,分别于2016年11月5日和2017年1月3日追施。试验采用随机区组设计,3次重复,每个小区面积 2.4 m^2 ,定植10株番茄。

1.4 土壤样品采集与测定

番茄收获后以“S”形取样方法采集耕层0~20 cm土壤,每个重复取5个点,“四分法”混合后为一个样品。取样时注意避开施肥点,除去植物残体、根系及石头等杂物,放置室内通风阴凉处风干。研磨土样,过20目和100目筛,用于土壤基本理化性质和磷分组测定。土壤基本理化性质测定均采用常规方法^[12],土壤磷分级采用修正后Hedley磷分级方法。分级后各形态磷采用钼锑抗显色,分光光度计比色测定磷含量。

1.5 数据处理

采用Microsoft Excel 2010,SPSS 19.0软件进行数据分析处理。

表4 不同施肥处理土壤无机磷组分含量

	Resin-Pi	$\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$	NaOH-Pi	HCl-Pi
CK	77.228 4±0.935 25d	182.990 0±0.966 34d	209.903 2±0.519 27e	562.368 5±2.792 15d
100CF	105.267 2±0.977 05b	271.286 4±1.018 65a	326.496 3±0.911 76a	729.132 4±2.346 65a
75CF+25S	146.013 8±0.413 16a	182.496 7±1.669 22d	217.145 9±0.758 41d	663.060 5±1.707 63b
50CF+50S	89.807 3±0.803 82c	242.591 5±2.077 05b	277.810 2±1.649 91b	394.508 5±1.987 46e
100S	92.333 6±0.550 04c	200.667 7±1.718 33c	224.041 8±1.722 99c	462.313 7±2.421 02e

注:不同小写字母表示同一列数据在0.05水平上差异显著,下同

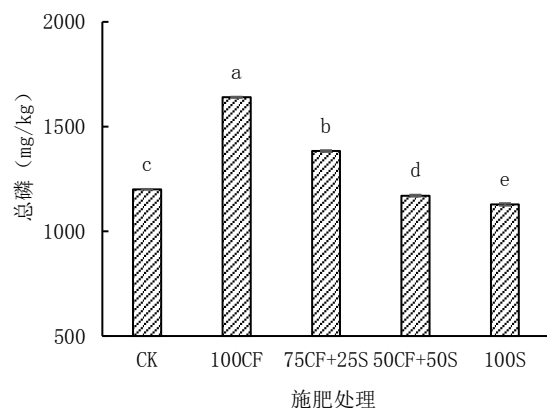
100CF处理38.7%; $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ 含量,100CF处理的土壤含量最高,其次为50CF+50S处理,高于不施肥(CK)32.6%; NaOH-Pi 含量,100CF处理的土壤含量最高,其次为50CF+50S处理,高于不施肥(CK)32.4%; HCl-Pi 含量,100CF处理的土壤含量最高,其次为75CF+25S处理,高于不施肥(CK)17.9%。

每一类无机磷在无机磷总量中的百分含量如图2所示。在全部4类无机磷中,百分含量由高到低的顺序为: $\text{HCl-Pi}>\text{NaOH-Pi}>\text{NaHCO}_3\text{-Pi}>\text{Resin-Pi}$ 。

2 结果与分析

2.1 秸秆配施化肥对土壤总磷的影响

由图1可见,在日光温室栽培番茄,100CF和75CF+25S处理,番茄收获后土壤中剩余总磷显著增加,相比于对照(CK),分别增加36.6%和15.2%。50CF+50S和100S处理土壤中剩余总磷略有减少,分别减少2.5%和6.0%。因此,秸秆配施化肥可降低番茄收获后设施土壤中剩余总磷含量,有利于保持土壤磷素的平衡和利用。



注:不同小写字母表示不同处理在0.05水平上差异显著,下同

图1 秸秆配施化肥对土壤总磷含量的影响

2.2 秸秆配施化肥对土壤无机磷组分的影响

采用Hedley磷分级的改进方法,对设施番茄栽培后的土壤进行无机磷分级。由表4可知,Resin-Pi含量,75CF+25S处理的土壤中最高,高于

秸秆配施化肥,显著增加Resin-Pi在无机磷中的百分含量,其中以75CF+25S处理最高。50CF+50S以及100S处理,使 HCl-Pi 百分含量显著下降,同时,显著提高 $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ 和 NaOH-Pi 的百分含量,其中以50CF+50S处理两者百分含量最高。

2.3 秸秆配施化肥对有机磷及残渣磷的影响

有机磷和残渣磷占总磷的百分含量如图3所示。不施肥土壤(CK)有机磷百分含量较低,约为4.4%。相比于CK,100CF处理土壤有机磷百分含量显著增高,增高29.5%,残渣磷百分含量显著下

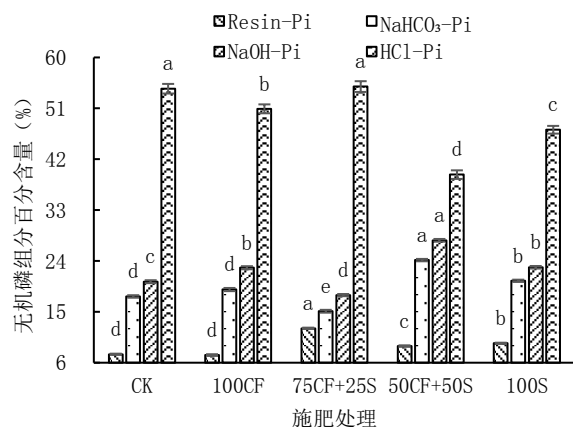


图2 秸秆配施化肥对无机磷组分含量的影响

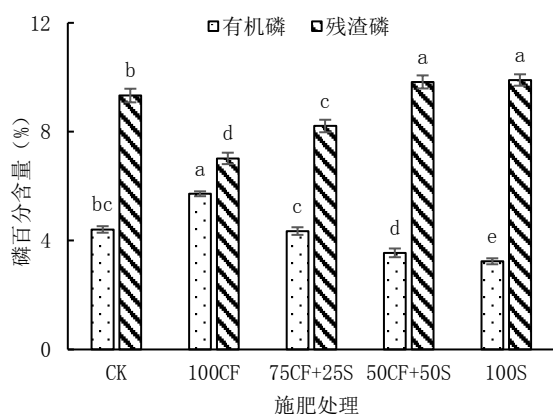


图3 秸秆配施化肥对土壤有机磷和残渣磷百分含量的影响

降,下降24.7%。秸秆配施化肥时,有机磷百分含量随秸秆添加量增加逐渐下降,残渣磷百分含量随秸秆添加量增加逐渐上升。残渣磷(Residual-P)是分别提取测定无机磷和有机磷之后,剩余残渣中含有的磷,难以被植物直接利用,作为土壤磷库的组成部分,可转化为其他形态的磷,从而保持土壤磷素的动态平衡。秸秆施用越多,含有的残渣磷越多,说明秸秆需较长时间降解转化之后,它含有的多数磷才能被植物利用。

每种有机磷在全部有机磷中的百分含量如图4所示。不施肥土壤(CK)中高稳性有机磷百分含量显著高于高活性有机磷。除对照(CK)外,所有施肥处理高活性有机磷($\text{NaHCO}_3\text{-Po}$)百分含量显著高于高稳性有机磷(NaOH-Po)。秸秆配施化肥各处理,秸秆施用量为50%时,高活性有机磷百分含量最高。说明秸秆可改善土壤有机磷形态,促进有机磷的吸收和利用。

2.4 秸秆配施化肥对番茄产量的影响

由图5可知,在日光温室栽培番茄,相对于不施肥(CK),各施肥处理均显著增加番茄产量。其

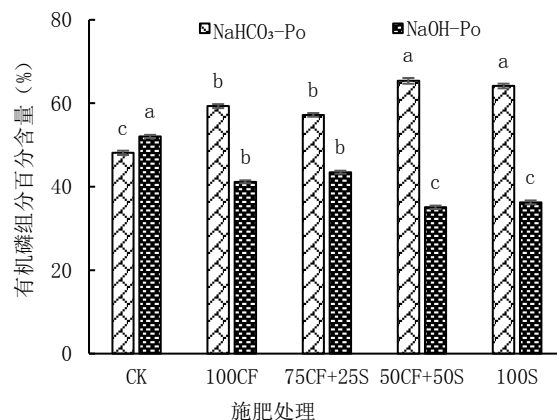


图4 秸秆配施化肥对有机磷含量的影响

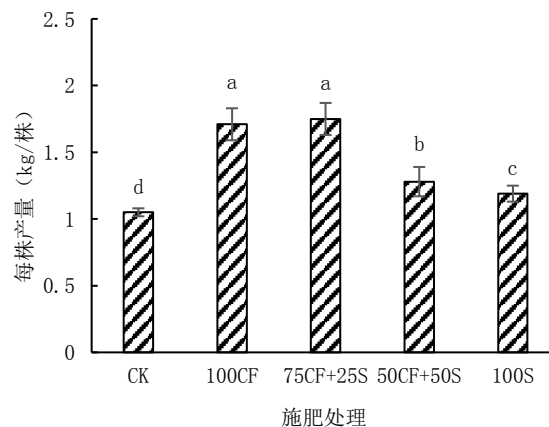


图5 秸秆配施化肥对番茄产量的影响

中,75CF+25S处理与100CF处理番茄产量相当,50CF+50S和100S处理番茄产量显著低于100CF处理,仍显著高于CK处理。说明日光温室番茄生产中,可利用适当比例的秸秆配施化肥,在保证番茄产量的情况下,适当改善土壤磷素形态。

3 讨论与结论

在设施蔬菜栽培中,大量使用磷肥会造成设施土壤中总磷含量大量增加,土壤理化性质改变,不仅危害下茬蔬菜生产,还会污染环境^[13]。本研究中,采用秸秆配施化肥,可减少土壤中总磷的含量,并部分恢复土壤残渣磷百分含量,从而有利于恢复土壤理化性质^[14],促进设施蔬菜生产,保护环境。

土壤无机磷组分中Resin-Pi是与土壤溶液平衡的固相磷,可以迅速补充土壤溶液磷的消耗,是可以被植物直接吸收利用的磷,NaHCO₃-Pi是活性无机磷,NaOH-Pi是潜在活性无机磷,HCl-Pi是与钙结合的中稳性无机磷,这些无机磷的分解和转化对植物的生长起关键作用。单施化肥,土壤无机磷百分含量最高,当化肥配施秸秆时,土

壤无机磷总量下降^[15],这和本试验结论一致。对稻麦轮作土壤进行磷分级,化肥配施秸秆,同样降低无机磷总量^[16]。同时,不同无机磷组分含量高低顺序与本研究相同,均为 $\text{HCl-Pi} > \text{NaOH-Pi} > \text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ 。秸秆还田方式、秸秆添加量不同,对土壤无机磷组分的影响不同。秸秆覆盖还田,可提高 $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ 和 NaOH-Pi ^[17] 含量。本研究中,75CF+25S 处理对提高土壤 Resin-Pi 和 HCl-Pi 百分含量效果最好,50CF+50S 处理在增加 $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ 和 NaOH-Pi 百分含量上表现突出。总体来看,秸秆配施化肥可降低土壤无机磷总量,同时调节不同无机磷组分比例,提高了磷素有效性。

土壤有机磷组分中 $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ 是高活性有机磷, NaOH-Po 是高稳态有机磷,这两种磷组分通过矿化作用,进一步转化为植物可以吸收利用的磷组分。小麦秸秆可提高土壤有机磷总量,降低活性有机磷,提高稳态有机磷^[18]。在化肥等量情况下,随玉米秸秆添加量增加,活性有机磷含量减少,稳态有机磷含量增加^[19]。本研究表明,随着秸秆添加量增加,活性有机磷含量和稳态有机磷含量均减少,但 Residual-P 含量显著增加。由此可见,秸秆添加虽然降低土壤活性有机磷,但提高土壤稳态有机磷,并提高有机磷在总磷中的百分含量,从而调节土壤磷库的贮存与供应。

作物的产量是评价农业是否可持续发展的重要指标,秸秆配施化肥既可提高经济效益,又可保护环境。秸秆全量覆盖和化肥减量 20%~30% 配合施用,能增加水稻的产量^[20]。水稻秸秆和化肥 15% 减量配施可使小麦增产 3.0%^[21]。本研究发现,75CF+25S 处理与 100CF 处理产量相当,比 CK 增产 66.67%。50CF+50S、100S 处理虽然比 100CF 减产,但比 CK 增产 21.9% 和 13.33%。

综上,利用 25% 秸秆和化肥配施,可降低设施土壤总磷含量,提高有机磷百分含量,调整无机磷和有机磷组分比例,改善土壤理化性质,提高磷的有效性和磷肥的利用率,促进番茄产量的提高。试验结果为秸秆的资源化利用和建立农业有机肥替代化肥的可持续发展提供理论和试验依据。

参考文献:

- [1] 余定坤. 基于 Hedley 分级技术的毛竹林磷素利用特征研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013.
- [2] 张林, 吴宁, 吴彦, 等. 土壤磷素形态及其分级方法研究进展[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1775-1782.
- [3] 孙锦高, 洪波, 田婧, 等. 我国设施园艺发展现状与趋势[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(4): 594-604.
- [4] 张经纬, 曹文超, 严正娟, 等. 种植年限对设施菜田土壤剖面磷素累积特征的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 977-983.
- [5] 刘建玲, 廖文花, 张风华, 等. 菜田土各形态磷库的变化及空间分布[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(6): 6-11.
- [6] 黄敏, 尹维文, 余婉霞, 等. 两种外源有机物料对设施土壤磷变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(3): 501-508.
- [7] 张国显, 范永淮, 赵凤艳, 等. 化肥减量配施有机物料对设施番茄生长、光合特性、产量及品质的影响[J]. 中国科技论文, 2018, 13(6): 698-703.
- [8] 梁卫, 袁静超, 张洪喜, 等. 东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究[J]. 东北农业科学, 2016, 41(2): 44-49.
- [9] 关连珠, 禅忠祥, 张金海, 等. 炭化玉米秸秆对棕壤磷素组分及有效性影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(10): 2050-2057.
- [10] 刘盼盼, 周毅, 付光玺, 等. 基于秸秆还田的小麦-玉米轮作体系施肥效应及其对土壤磷素有效性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(5): 27-33.
- [11] 赵庆雷, 信彩云, 王瑜, 等. 稻麦轮作区连续秸秆还田和施肥条件下砂姜黑土无机磷分布特征[J]. 草业学报, 2018, 27(12): 61-71.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 70-98.
- [13] 颜芳, 王胜涛, 刘彬, 等. 设施菜田土壤磷素累积特征与风险调控方法[J]. 中国农学通报, 2019, 35(33): 111-115.
- [14] 李敏. 秸秆与化肥配施对菜园地土壤理化性状的影响[J]. 吉林农业科学, 2013, 38(4): 28-32.
- [15] 谢林花, 吕家珑, 张一平, 等. 长期施肥对石灰性土壤磷素肥力的影响 II. 无机磷和有机磷[J]. 应用生态学报, 2004(5): 790-794.
- [16] 毛霞丽. 长期施肥下稻麦轮作土壤有机碳稳定性及磷形态的变化特征研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [17] 杜艳玲, 周怀平, 杨振兴, 等. 长期不同秸秆还田方式对褐土磷素组分的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(11): 1947-1954, 1959.
- [18] 王旭东, 李祖荫, 张一平. 不同有机物料施入土壤后的磷素转化及其供磷能力的差异[J]. 土壤通报, 1998(3): 18-20.
- [19] 赵小军, 李志洪, 刘龙, 等. 种还分离模式下玉米秸秆还田对土壤磷有效性及其有机磷形态的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(1): 243-247.
- [20] 黄容, 高明, 万毅林, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(11): 4446-4453.
- [21] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻茬麦土壤养分、酶活性及产量影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(5): 998-1005.

(责任编辑: 王 昱)