

秸秆还田对东北黑土稻区土壤养分及水稻产量的影响

孟祥宇¹, 冉成¹, 李金平², 刘宝龙¹, 赵哲萱¹, 郑敏慧¹, 徐红杨¹, 余静¹,
刘事成¹, 郭松¹, 耿艳秋^{1*}

(1. 吉林农业大学, 长春 130118; 2. 长春市九台区种子分公司, 长春 130500)

摘要:为探究秸秆还田对东北黑土稻区土壤养分的影响,在吉林省榆树市弓棚镇进行田间试验,本试验以吉粳816和吉粳88为试材,设置秸秆全量还田(S)和秸秆不还田(S₀)两个处理。结果表明:秸秆全量还田(S)处理显著影响土壤容重和孔隙度,并且降低了土壤pH,改善了土壤通气状况;增加了土壤养分含量,土壤全氮含量增加了5.88%~7.92%、全磷含量增加了13.41%~13.75%、全钾含量增加了5.61%~5.79%、碱解氮含量增加了6.05%~8.41%、速效磷含量增加了11.03%~14.00%、速效钾含量增加了24.66%~26.08%、有机质含量增加了3.20%~3.48%;水稻的产量构成因素、生物产量、收获指数均高于秸秆不还田处理,且实测产量达到显著差异水平。

关键词:水稻;秸秆还田;土壤养分;产量

中图分类号:S511

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)02-0064-04

Effects of Straw Returning on Soil Nutrient and Yield in Northeast Black Soil Rice Region in China

MENG Xiangyu¹, RAN Cheng¹, LI Jinping², LIU Baolong¹, ZHAO Zhexuan¹, ZHENG Minhui¹, XYU Hongyang¹,
YU Jing¹, LIU Shicheng¹, GUO Song¹, GENG Yanqiu^{1*}

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Jiutai District Seed Company, Changchun 130500, China)

Abstract: In order to explore the effect of returning straw to the soil on the soil nutrients in the black soil rice area of Northeast China, a field experiment was conducted in Gongpeng Town, Yushu City, Jilin Province. In this experiment, Jijing 816 and Jijing 88 were used as test materials, with two treatments of full straw return (S) and no straw return (S₀) were set up for the study. The results show that: full straw return (S) treatment significantly affects soil bulk density and porosity, lowered soil pH, improved soil aeration, and increased soil nutrient content, soil total nitrogen content by 5.88%~7.92%. The content of total phosphorus was increased by 13.41%~13.75%. The content of total potassium was increased by 5.61%~5.79%, the alkali nitrogen content increased by 6.05%~8.41%, the available phosphorus content increased by 11.03%~14.00%, the available potassium content increased by 24.66%~26.08%, organic matter content increased by 3.20%~3.48%. Rice yield components, biological yield, harvest index were higher than S₀, and the measured yield reached a significantly different level.

Key words: Rice; Straw Returning; Soil Nutrient; Yield

中国是一个农业大国,土地辽阔,作物种类多样,秸秆资源丰富,据相关资料统计,每年我国作

物秸秆量约为10亿吨^[1]。改革开放以来我国作物产量不断提高,同时秸秆量增多,在没有合理的解决办法下,造成了秸秆资源季节性、结构性、区域性过剩。在我国东北因为秸秆综合利用技术相对滞后、相应产业化薄弱、耕作制度及自然环境等限制因素导致秸秆多数应用于燃料和饲料^[2],造成了秸秆资源的极大浪费。

水稻(*Oryza sativa* L.)是人类重要的粮食作物,世界上有50%左右的人口及中国近70%的人口以稻米为主食^[3]。目前我国东北地区水稻种植

收稿日期:2020-05-18

基金项目:吉林省科技厅重点研发计划项目(20200402004NC);
吉林省科技发展计划项目(20180201037NY);吉林省
教育厅“十三五”科学技术研究规划项目(JJKH2019093
3KJ)

作者简介:孟祥宇(1996-),女,硕士,主要从事水稻优质高产高
效理论与技术研究。

通讯作者:耿艳秋,女,博士,教授,E-mail: ccgyq@163.com

面积为 $5.26\times 10^6\text{ hm}^2$ ^[4]。不合理的水稻生产方式导致环境污染日趋严重^[5-6]。作物秸秆中含有多种矿质元素,如氮、磷、钾、硅,是一种廉价有机肥料。秸秆还田能够改善土壤理化性质,增加土壤有机质,降低土壤容重^[7-11];能够增加生物产量和收获指数^[12-13];能够促进作物生长,提高作物产量^[14-16]。目前国内外关于秸秆还田的研究比较多,但在我国东北黑土稻区相关的研究比较少,本文研究秸秆还田对东北黑土稻区土壤养分和水稻产量的影响,为东北黑土稻区秸秆还田的可持续

发展提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

于2016~2018年在吉林省榆树市弓棚镇($126^{\circ}18'23.56''\text{E}$, $44^{\circ}58'59.25''\text{N}$)进行试验。该地区属于温带大陆性季风气候,无霜期为143 d,年均日照约为2 674.5 h,年平均气温 5.3°C ,年平均降雨量536.4 mm。地力中等偏上,土壤类型为黑土。供试土壤基本理化性质如表1所示。

表1 供试土壤基本理化性质

容重(g/cm^3)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)	pH
1.31	0.92	0.77	18.91	166.84	14.20	69.11	25.23	5.47

1.2 试验设计

本试验采用随机区组设计,设置秸秆全量还田(S)和秸秆不还田(S_0)两个处理,秸秆还田量为 $9.0\text{ t}/\text{hm}^2$,秸秆含氮量为0.64%,含磷量为0.17%,含钾量为1.19%。供试水稻品种为吉林省大面积推广晚熟品种吉粳816和吉粳88,设置3次重复。试验小区长8 m,宽5 m,面积为 40 m^2 。纯氮(N 46%)施用量为 $240\text{ kg}/\text{hm}^2$,施用比例为底肥:分蘖肥:穗肥=6:3:1;纯钾(K_2O 60%)施用量为 $90\text{ kg}/\text{hm}^2$,施用比例为底肥:穗肥=6:4;纯磷(P_2O_5 12%)施用量为 $75\text{ kg}/\text{hm}^2$,作为底肥一次性施入。

在2018年4月18日,每盘播种60 g,采用机插软盘早育秧;5月28日移栽,每穴四株,插秧密度为 $30\text{ cm}\times 20\text{ cm}$,浅水移栽。当地两个品种的历年平均产量为 $8.2\text{ t}/\text{hm}^2$,根据谷草比1:1.1进行折算秸秆量;在每年四月中旬将风干秸秆粉碎2~3 cm,春耕整地时秸秆随底肥一起均匀施入田中,使用打浆机混匀。其他田间管理与常规农田管理方法一致。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 土壤养分

在水稻成熟期,采用5点取样法,取0~20 cm耕层土样混匀,将土壤自然风干研磨过筛后根据鲍士旦的《土壤农业化学分析方法》测定各养分指标^[17]。土壤全氮测定采用凯氏定氮消化-蒸馏法;全磷采用酸溶-钼锑抗比色法;全钾采用氢氧化钠熔融-火焰光度计法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷采用钼锑抗比色法;速效钾利用乙酸铵浸提,火焰光度法测定;有机质采用重铬酸钾-外加热容量法测定;土壤容重采用环刀取样法测定^[18],土壤孔隙度参考陈立新等^[19]方法测定。

1.3.2 产量

成熟期,每小区取样 5 m^2 ,重复3次,稻株晾干

后进行称重,计算生物产量;然后再进行脱粒,吹净空瘪粒后称重,并测定其含水量,根据14%含水率换算成相应的产量,并计算收获指数,收获指数=籽粒产量/生物产量 $\times 100\%$ 。每小区取长势均匀的10穴进行考种,测定其穗数、每穗粒数、千粒重。

1.4 统计分析

本试验为推广试验,前两年未进行试验数据的采集,故本文仅2018年数据。以Microsoft Excel 2010和SPSS 22.0软件进行数据统计和分析;采用显著水平设定为 $\alpha=0.05$ 的单因素方差分析(ANOVA),进行不同处理间差异显著性检验分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田对土壤容重、孔隙度、pH的影响

由表2可知,吉粳816和吉粳88在秸秆还田条件下降低了土壤容重和pH,增加了土壤孔隙度,土壤容重分别降低了6.06%、6.01%,pH分别降低了0.74%、0.93%,土壤孔隙度分别显著增加了6.02%、6.06%。由此可见,秸秆还田后可以降低土壤容重,改善土壤通气状况。

表2 秸秆还田对土壤容重、孔隙度、pH的影响

品种	处理	容重(g/cm^3)	孔隙度(%)	pH
吉粳816	S	$1.24\pm 0.02\text{b}$	$53.21\pm 0.03\text{a}$	$5.37\pm 0.05\text{a}$
	S_0	$1.32\pm 0.03\text{a}$	$50.19\pm 0.03\text{b}$	$5.41\pm 0.06\text{a}$
吉粳88	S	$1.25\pm 0.05\text{b}$	$52.83\pm 0.05\text{a}$	$5.34\pm 0.03\text{a}$
	S_0	$1.33\pm 0.09\text{a}$	$49.81\pm 0.02\text{b}$	$5.39\pm 0.02\text{a}$

注:同列数据后不同小写字母表示差异达到5%的显著水平,S表示秸秆全量还田, S_0 表示秸秆不还田,下同

2.2 秸秆还田对土壤N、P、K和有机质的影响

由表3可知,秸秆还田处理下,土壤中的全氮、全磷、全钾、有机质含量显著增加。吉粳816

表 3 秸秆还田对土壤中全量养分含量的影响 g/kg

品种	处理	全氮	全磷	全钾	有机质
吉 粳 816	S	1.09±0.02a	0.93±0.05a	19.73±0.46a	27.03±0.37a
	S ₀	1.01±0.01b	0.82±0.03b	18.65±0.21b	26.12±0.21b
吉 粳 88	S	1.08±0.03a	0.91±0.04a	19.76±0.25a	27.11±0.22a
	S ₀	1.02±0.02b	0.80±0.03b	18.71±0.17b	26.27±0.14b

和吉粳 88 土壤中的全氮、全磷、全钾、有机质含量分别增加了 7.92%、5.88%、13.41%、13.75%、5.79%、5.61%、3.48%、3.20%。

2.3 秸秆还田对土壤中速效养分含量的影响

由表 4 可知,秸秆还田处理在不同品种间均显著提高了土壤中速效养分含量。吉粳 816 和吉粳 88 土壤中碱解氮含量分别提高了 8.41%、6.05%,土壤中速效磷含量分别提高了 14.00%、11.03%,速效钾含量分别提高了 26.08%、24.66%。由此可见,秸秆还田处理在正常施肥条件下可以增加 0~20 cm 土层土壤养分,提高土壤肥力。

表 4 秸秆还田对土壤中速效养分含量的影响 mg/kg

品种	处理	碱解氮	速效磷	速效钾
吉 粳 816	S	173.81±1.64a	17.67±0.57a	83.44±1.88a
	S ₀	160.33±0.82b	15.50±0.54b	66.18±1.73b
吉 粳 88	S	171.22±1.43a	17.42±0.42a	84.63±1.80a
	S ₀	161.45±1.45b	15.69±0.24b	67.89±0.56b

2.4 秸秆还田对水稻生物产量及收获指数的影响

由表 5 可知,秸秆还田增加了水稻的生物产量和收获指数。秸秆还田处理下,吉粳 816 和吉

表 5 秸秆还田对水稻生物产量及收获指数的影响

品种	处理	生物产量(t/hm ²)	收获指数(%)
吉 粳 816	S	22.69±0.89a	47.29±1.40a
	S ₀	20.53±0.97a	45.06±0.99a
吉 粳 88	S	21.95±0.73a	47.93±0.96a
	S ₀	18.57±0.81b	46.04±0.79a

粳 88 的生物产量分别增加了 10.52%、18.20%,收获指数分别增加了 4.95%、4.11%。吉粳 816 的生物产量和收获指数虽有增加,但均未达到显著差异水平;吉粳 88 的生物产量达差异显著水平,但收获指数差异不显著。

2.5 秸秆还田对水稻产量及产量构成因素的影响

由表 6 可知,秸秆还田处理提高了吉粳 816 和吉粳 88 的穗数、穗粒数、千粒重以及结实率,虽未达到显著差异水平,但实测产量的增加达到显著差异水平。吉粳 816 和吉粳 88 的穗数、穗粒数、千粒重、结实率和实测产量分别提高了 4.21%、6.92%、3.33%、2.73%、5.00%、2.68%、2.37%、1.52%、16.00%、22.92%。

表 6 秸秆还田对水稻产量构成因素的影响

品种	处理	穗数(×10 ⁴ 穗/hm ²)	穗粒数	千粒重(g)	结实率(%)	实测产量(t/hm ²)
吉 粳 816	S	340.57±30.21a	143.92±6.78a	26.91±0.32a	89.99±2.00a	10.73±0.40a
	S ₀	326.78±26.33a	139.28±5.37a	25.61±0.15a	87.91±1.51a	9.25±0.48b
吉 粳 88	S	363.88±41.62a	135.09±14.10a	24.18±0.60a	90.38±3.19a	10.51±0.22a
	S ₀	340.33±30.21a	131.50±5.22a	23.55±0.70a	89.03±1.71a	8.55±0.65b

3 讨 论

3.1 秸秆还田对土壤容重、孔隙度和 pH 的影响

土壤容重和孔隙度是衡量土壤结构好坏的两个指标,并影响土壤水分的渗透性^[20]。研究表明,秸秆还田可以改善土壤理化性质,降低土壤容重和 pH,增大土壤孔隙度,有利于土壤中气体交换^[21~23]。本研究结果表明,秸秆还田可以降低土壤容重和 pH,增加土壤孔隙度,这与温美娟等^[24]研究结果一致。原因可能是秸秆还田能促进土壤团聚体的形成,使孔隙度增大,容重降低,促进土

壤疏松^[25~26]。秸秆还田后土壤中的有机质增加,而有机质在分解过程中会产生中间产物单宁、有机酸,且潮湿的环境能够增加 H⁺ 数量,致使土壤 pH 降低^[27]。

3.2 秸秆还田对土壤有机质和养分状况的影响

土壤肥力是衡量土壤质量的有效手段,主要体现在土壤有机质、氮、磷、钾等指标,土壤养分是由土壤提供的植物生长所必需的营养元素,对于作物生产具有重要意义^[28~29]。秸秆还田能够增加土壤中有机质含量,提高土壤养分库容,进而提高产量^[30~31]。本研究中与秸秆未还田相比,秸

秆还田后显著增加了0~20 cm土壤中全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾和有机质的含量。这与高日平等^[12, 32]的研究结果一致。在相同施肥水平下,秸秆还田显著影响氮含量,当可利用性碳源相对充足时,氮固定潜能较高,进而全氮含量增加^[33-35],土壤中秸秆快速腐解,在秸秆腐解后期会释放大量的养分,进而提升土壤中全磷、全钾含量。秸秆还田后施入氮肥可降低土壤中速效养分淋溶^[36],因此可以提升土壤中速效养分含量,进而达到培肥地力的效果。

3.3 秸秆还田对水稻产量的影响

水稻产量构成因素包括单位面积上的穗数、穗粒数、结实率和粒重。秸秆还田能够有效地协调土温的变化幅度,高温时段降温,低温时段保温,且稻田秸秆还田,在保持水层时可以加快秸秆的腐解速率,促进秸秆中养分的释放^[37-38]。研究表明秸秆还田可以构建良好的产量构成因素,促进养分吸收和利用,增加生物产量和收获指数,提高产量^[39-40]。本试验表明秸秆还田后提高了水稻的产量构成因素、生物产量和收获指数,即提高了水稻产量,达到显著差异水平,这与成臣等^[41]研究结果一致。在秸秆还田后,秸秆腐熟释放的养分以及无机氮肥的适量补充,延缓了水稻生育后期根系及叶片的衰老,增强了根系对养分的吸收,提高了作物氮素利用率,有利于水稻穗部的发育和籽粒灌浆结实,进而提高作物产量^[42-43]。秸秆还田后改善了土壤理化性质,提高了土壤肥力,进而提高了水稻产量。

4 结 论

本试验研究了秸秆还田对东北黑土稻区土壤养分和水稻产量的影响,结果表明,与秸秆不还田相比较,秸秆还田降低了土壤容重、pH,增加了土壤孔隙度,增加了土壤中全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量,增加了水稻生物产量及收获指数,增加了水稻的穗数、穗粒数、千粒重、结实率,进而提高了水稻产量。

参考文献:

- [1] Li H, Dai M W, Dai S L, et al. Current status and environment impact of direct straw return in China's cropland—A review[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 159: 293-300.
- [2] 王金武,唐 汉,王金峰.东北地区作物秸秆资源综合利用现状与发展分析[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(5): 1-21.
- [3] 花 劲,周年兵,张 军,等.双季晚稻甬优系列籼粳杂交稻超高产结构与群体形成特征[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(5): 1023-1034.
- [4] 李保国,刘 忠,黄 峰,等.巩固黑土地粮仓 保障国家粮食安全[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(10): 1184-1193.
- [5] Shan J, Yan X. Effects of crop residue returning on nitrous oxide emissions in agricultural soils[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 71(Complete): 170-175.
- [6] 沈 娟,高 强.吉林省水稻施肥现状的调查分析[J]. *吉林农业科学*, 2011, 36(2): 40-43.
- [7] 张国娟,濮晓珍,张鹏鹏,等.干旱区棉花秸秆还田和施肥对土壤氮素有效性及根系生物量的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(13): 2624-2634.
- [8] 王保君,程旺大,陈 贵,等.秸秆还田配合氮肥减量对稻田土壤养分、碳库及水稻产量的影响[J]. *浙江农业学报*, 2019, 31(4): 624-630.
- [9] 吴涌泉,屈 明,孙 芬,等.秸秆覆盖对土壤理化性状、微生物及生态环境的影响[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(14): 263-268.
- [10] 高 明,魏朝富,陈世正.稻草还田对土壤性状及水稻产量的影响[J]. *西南农业大学学报*, 1995(5): 436-439.
- [11] 马永良,师宏奎,张书奎,等.玉米秸秆整株全量还田土壤理化性状的变化及其对后茬小麦生长的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2003(S1): 42-46.
- [12] 高日平,赵思华,高 宇,等.内蒙古黄土高原秸秆还田对土壤养分特性及玉米产量的影响[J]. *北方农业学报*, 2019, 47(4): 52-56.
- [13] 白 伟,安景文,张立祯,等.秸秆还田配施氮肥改善土壤理化性状提高春玉米产量[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(15): 168-176.
- [14] 陈新红,叶玉秀,许仁良,等.小麦秸秆还田量对水稻产量和品质的影响[J]. *作物杂志*, 2009(1): 54-57.
- [15] 常 勇,黄忠勤,周兴根,等.不同麦秸还田量对水稻生长发育、产量及品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(20): 47-51.
- [16] 隋阳辉,高继平,刘彩虹,等.东北冷凉地区秸秆还田方式对水稻光合、干物质积累及氮素吸收的影响[J]. *作物杂志*, 2018(5): 137-143.
- [17] 鲍士旦.土壤农业化学分析方法(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000: 33-79.
- [18] 刘公崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996: 31-37.
- [19] 陈立新.土壤实验实习教程[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2005: 17-50.
- [20] 马祥华,焦菊英,温仲明,等.黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中土壤物理特性变化研究[J]. *水土保持研究*, 2005(1): 17-21.
- [21] 董桂军,陈兴良,于洪娇,等.寒区长期秸秆全量还田对水稻土壤理化特性的影响[J]. *土壤与作物*, 2019, 8(3): 251-257.
- [22] 刘武仁,郑金玉,罗 洋,等.秸秆循环还田土壤环境效应变化研究[J]. *吉林农业科学*, 2015, 40(1): 32-36.
- [23] 赵继浩,李 颖,钱必长,等.秸秆还田与耕作方式对麦后复种花生田土壤性质和产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(5): 272-280, 287.

(下转第89页)

到的防治效果说明南方锈病防治同样也适用。另外,品种对南方锈病抗性水平是有差异的,因此利用品种抗性水平,结合正确的选药和掌握最佳的施药时期是控制南方锈病的关键。

参考文献:

- [1] 陈文娟,李万昌,杨知还,等.玉米抗南方锈病种质资源初步鉴定及遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2018,19(2):43-49,60.
- [2] 袁虹霞,邢小萍,李朝海,等.不同玉米品种对南方锈病的抗性比较[J].玉米科学,2010,18(2):107-109.
- [3] 李石初,唐照磊,杜青,等.玉米杂交种对广西玉米主要病害抗性鉴定[J].东北农业科学,2016,41(2):62-66.
- [4] 刘杰,姜玉英,曾娟,等.2015年我国玉米南方锈病重发特点和原因分析[J].中国植保导刊,2016,36(5):45-47.
- [5] 杨雪,丁小兰,何增磊,等.玉米南方锈病发生温度范围测定[J].植物保护,2015,41(5):145-147.
- [6] 刘立峰,徐法三,黄应辉.不同药剂防治玉米南方锈病效果研究[J].现代农业科技,2013(7):134-135.
- [7] 王晓鸣,王振营.中国玉米病虫害草图鉴[M].北京:中国农业出版社,2019:31-32.
- [8] 周小辉,刘文国,董亚琳.玉米南繁育种技术及锈病防治技术措施[J].中国农业信息,2013(23):113-114.
- [9] 李祖莅,陈川峰,袁伟方,等.玉米锈病在三亚南繁育种基地的发生现状及原因分析[J].南方农业,2017,11(27):13-14.
- [10] 胡跃,祝学刚,王建海.玉米南繁育种中台风暴雨的应对及灾后管理探讨[J].河南农业,2015(5):52-53.
- [11] 孙晓.三种不同结构的芸苔素内酯对4种作物的应用效果评价[D].泰安:山东农业大学,2019.
- [12] 国淑梅,牛贞福,张凯,等.45%烯丙·苯醚·噻虫嗪悬浮种衣剂对冬小麦主要病虫害田间防效研究[J].东北农业科学,2016,41(6):82-85.
- [13] 苏前富,高月波,张庆贺.春玉米全生育期植保技术应用手册[M].北京:中国农业出版社,2019:9-10.
- (责任编辑:王昱)
- (上接第67页)
- [24] 温美娟,王成宝,霍琳,等.深松和秸秆还田对甘肃引黄灌区土壤物理性状和玉米生产的影响[J].应用生态学报,2019,30(1):224-232.
- [25] 徐国鑫,王子芳,高明,等.秸秆与生物炭还田对土壤团聚体及固碳特征的影响[J].环境科学,2018,39(1):355-362.
- [26] 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进展[J].东北农业科学,2016,41(2):44-49.
- [27] 吕世丽,李新平,李文斌,等.牛背梁自然保护区不同海拔高度森林土壤养分特征分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(4):161-168,177.
- [28] 翟朝阳,邱娟,司洪章,等.微地形对大西沟新疆野杏萌发层土壤因子的影响[J].生态学报,2019,39(6):2168-2179.
- [29] Bai L Y, Cheng Z Q, Chen Z B. Soil fertility self-development under ecological restoration in the zhuxi watershed in the red soil hilly region of china[J]. Journal of Mountain Science, 2014, 11(5): 1231-1241.
- [30] 梁金凤,齐庆振,贾小红,等.不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J].生态环境学报,2010,19(4):945-950.
- [31] 吴立鹏,张士荣,娄金华,等.秸秆还田与优化施氮对稻田土壤碳氮含量及产量的影响[J].华北农学报,2019,34(4):158-166.
- [32] Ren W J, Liu D Y, Wu J X, et al. Effects of returning straw to soil and different tillage methods on paddy field soil fertility and microbial population[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(4): 817-822.
- [33] 杨钊,尚建明,陈玉梁.长期秸秆还田对土壤理化特性及微生物数量的影响[J].甘肃农业科技,2019(1):13-20.
- [34] 高洋,王根绪,高永恒.长江源区高寒草地土壤有机质和氮磷含量的分布特征[J].草业科学,2015,32(10):1548-1554.
- [35] 董亮,田慎重,王学君,等.秸秆还田量对小麦-玉米轮作中土壤理化性质及作物产量的影响[J].安徽农业科学,2016,44(29):107-109.
- [36] Hu H X, Wang Y F, Chen Z, et al. Effects of straw return with chemical fertilizer on nitrogen and phosphorus leaching from yellow cinnamon soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(5): 101-105.
- [37] 殷文,陈桂平,柴强,等.前茬小麦秸秆处理方式对河西走廊地膜覆盖玉米农田土壤水热特性的影响[J].中国农业科学,2016,49(15):2898-2908.
- [38] 陈尚洪,朱钟麟,吴婕,等.紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2006(6):141-144.
- [39] 袁嫚嫚,邬刚,胡润,等.稻油轮作下秸秆还田配施化肥对作物产量及肥料利用率的影响[J].生态学杂志,2018,37(12):3597-3604.
- [40] 刘秋霞,任涛,张萌,等.秸秆还田与氮磷钾化肥配施对直播冬油菜产量及其构成因子的影响[J].中国土壤与肥料,2016(6):68-73.
- [41] 成臣,汪建军,程慧煌,等.秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响[J].土壤学报,2018,55(1):247-257.
- [42] 苏卫,冯跃华,许桂玲,等.秸秆还田与施氮量对杂交籼稻氮素利用效率及产量的影响[J].中国稻米,2019,25(3):60-64.
- [43] 郑金玉,刘武仁,罗洋,等.秸秆还田对玉米生长发育及产量的影响[J].吉林农业科学,2014,39(2):42-46.
- (责任编辑:刘洪霞)