

秸秆还田和地膜覆盖对稻区土壤理化性质及水稻产量的影响

党 昆¹, 陈 伟¹, 张洪淇¹, 王祥涵¹, 艾佳鑫¹, 王映凯¹, 郑浣彤¹, 王晓航², 耿艳秋¹, 金 峰¹, 郭丽颖¹, 邵玺文^{1*}

(1. 吉林农业大学农学院, 长春 130118; 2. 吉林农业科技学院中药学院, 吉林 吉林 132101)

摘 要:为了探讨秸秆还田与地膜覆盖对东北稻区土壤改良及水稻增产的效果, 选用吉粳88作为试验材料, 在覆膜移栽(F)和不覆膜(F₀)移栽2种栽培模式下设5组秸秆还田量梯度: 0%、20%、40%、60%、100%(S₀、S₁、S₂、S₃、S₄), 探究秸秆还田和地膜覆盖对稻区土壤理化性质及水稻产量的影响。结果显示: 在相同秸秆还田量下, 覆膜处理土壤容重、pH值均低于不覆膜处理, 覆膜处理土壤全氮、有机质(除S₀处理)、碱解氮、速效磷、速效钾的含量均高于不覆膜处理; 且无论覆膜与否, 随着秸秆还田量的增加, 土壤容重、pH值均呈先降低再增加的趋势, 土壤全氮、有机质(除S₀处理)、碱解氮、速效磷、速效钾的含量均呈先增加再降低的趋势。在相同秸秆还田量处理下, 与不覆膜相比, 地膜覆盖处理提高了籽粒产量; 且随还田量的增加, 籽粒产量呈先增加后降低的趋势。综上, 60%的秸秆还田量与地膜覆盖相结合更能有效地培肥土壤, 提高水稻产量。

关键词:水稻; 秸秆还田; 地膜覆盖; 土壤理化性质; 产量

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)04-0011-06

Soil Research Mechanism of Combining Straw Returning with Plastic Film Mulching to Increase Rice Yield

DANG Kun¹, CHEN Wei¹, ZHANG Hongqi¹, WANG Xianghan¹, AI Jiaxin¹, WANG Yingkai¹, ZHENG Huantong¹, WANG Xiaohang², GENG Yanqiu¹, JIN Feng¹, GUO Liying¹, SHAO Xiwen^{1*}

(1. College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. School of Traditional Chinese Medicine, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin 132101, China)

Abstract: In order to investigate the effect of straw returning and plastic film mulching on soil improvement and rice yield increase in northeast rice area, Jijing 88 was selected as the test material, and two kinds of cultivation were carried out in film transplanting (F) and non-filming (F₀) transplanting. In the model, there are 5 groups of straw returning soil gradients of 0%, 20%, 40%, 60%, 100% (S₀, S₁, S₂, S₃, S₄) to explore the physical and chemical properties of straw returning and plastic film mulching on rice soil and impact of rice yield. The results showed that under the same straw returning amount, the soil bulk density and pH value of F were lower than F₀, and the soil was treated with nitrogen, organic matter (except S₀), alkali nitrogen and quick-acting. The content of phosphorus and available potassium was higher than F₀. Regardless of the film or the amount of straw, the soil bulk density and pH value decreased first and then increased. Soil total nitrogen and organic matter (In addition to S₀), the contents of alkaline nitrogen, available phosphorus and available potassium all increased first and then decreased. Compared with F₀ and F treatments, grain yield was increased under the same amount of straw returning. Above all, 60% of the straw returning amount combined with the mulching film can effectively fertilize the soil and increase rice yield.

Key words: Rice; Straw returning; Plastic film mulching; Physical and chemical properties of soil; Yield

收稿日期: 2019-09-05

基金项目: 吉林省科技发展计划(20180201037NY); 国家重点研发计划项目(2018YFD0300207-3); 吉林省科技发展计划重点研发项目(20200402004NC)

作者简介: 党 昆(1992-), 男, 在读硕士, 主要研究方向为作物优质高产高效理论与技术。

通讯作者: 邵玺文, 男, 博士, 教授, E-mail: shaoxiwen@126.com

水稻是我国主要的粮食作物之一,随着水稻种植面积增加,秸秆量逐年增多。每年大量焚烧秸秆不仅对环境造成了很大的污染,而且对再生资源也是一种浪费^[1]。因秸秆还田能够提高土壤养分、改善农田生态环境^[2],越来越受人们的重视。然而秸秆还田也存在局限性,秸秆还田量和温度均能够影响秸秆还田的培肥效果。研究表明,C/N过高会导致微生物与作物争氮^[3];除此之外,虽然秸秆有机养分丰富,大量还田会导致较难分解的物质积累如木质素和纤维素,从而导致地块板结,降低水稻产量^[4];另外,对于北方稻作区以及温度较低的山区冷浸田,低温限制了土壤微生物的活性,降低秸秆的腐解效率,同时影响土壤养分的分解与转化,从而导致秸秆还田的培肥效果降低。

地膜覆盖是一种农业栽培技术,它的应用与推广是传统农业转变的重要标志。因其具有保温保水,抑制杂草等作用,利于作物的生长^[5]。对山区冷浸田和受低温限制的北方稻作区水稻,地膜覆盖有着重要的作用^[6]。近年来,随着地膜覆盖技术的推广,我国不同程度地开展了覆盖条件下土壤理化性质的变化以及对产量形成的影响等一系列科研工作,并取得了良好成果^[7]。

秸秆还田与地膜覆盖都对作物的生长环境提供有利的条件。研究发现地膜覆盖与秸秆还田结合应用能够提高稻区土壤温度,促进水稻生长发育,提高水稻产量^[8]。为了进一步探讨秸秆还田和地膜覆盖对稻区土壤理化性质及其水稻产量的影响,本试验以吉粳88作为试验材料,研究地膜覆盖与秸秆还田相结合对稻区土壤容重、pH值、土壤全氮、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量及其产量的影响,以期稻田秸秆还田与地膜覆盖相结合栽培方式的应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

本试验选用吉林省中晚熟粳型常规超级稻品种吉粳88,生育期141~143 d,需 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温2 900~3 100 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。试验采用的秸秆还田量由1:1.1谷草比折算,秸秆还田全量为8 000 kg/hm^2 。

1.2 试验地点

本试验于2017~2018年在吉林农业大学水稻试验田进行,气候条件及土壤环境见表1。

1.3 试验设计

本试验在覆膜(F)和不覆膜(F_0)两种栽培体

表1 试验点气候及土壤条件

无霜期 (d)	年降水量 (mm)	年均温 ($^{\circ}\text{C}$)	全氮 (g/kg)	有机质 (%)	pH
138	600.8	6.8	0.3	3.92	6.73

系下设置5组秸秆还田量梯度:0%(S_0)、20%(S_1)、40%(S_2)、60%(S_3)和100%(S_4)。本试验设3次重复,共计30个小区,小区面积为15 m^2 (长5 m,宽3 m),于4月10日~4月13日播种,选用2 kg吉粳88稻种进行早育苗方式育秧,育秧期间与常规育秧管理方式相同,5月22日~5月24日移栽插秧。人工将秸秆(5~7 cm)均匀施入小区内,将其与耕层土壤混匀,保证秸秆还田深度为0~20 cm。选用黑色降解膜,以做畦开沟的方式覆膜。常规水稻栽培中,移栽至水稻收获(9月28日~9月30日)前2周,田间保持2~3 cm水层。各小区(肥料均一次性施入,不追肥)纯氮素用量为220 kg/hm^2 ,纯磷(P_2O_5)为50 kg/hm^2 ,纯钾(K_2O)为75 kg/hm^2 。

1.4 采样

在水稻成熟期采用五点取样法取每个小区0~20 cm土壤样品,阴凉干燥3个月后,进行手工磨样,分别过20目、100目筛,过筛之后分类编号,待用。

1.5 测定方法

容重测定采用环刀法^[9],pH测定采用电极法^[10],全氮测定采用凯氏定氮法^[11],有机质含量测定采用重铬酸钾氧化法^[12],碱解氮测定采用碱解扩散法^[13],速效磷测定采用钼锑抗比色法^[14],速效钾测定采用火焰光度法^[15]。

1.6 测产与考种

成熟期于每个小区选取具有代表性的5穴植株(长势均匀)进行考种,收取2 m^2 植株测产。

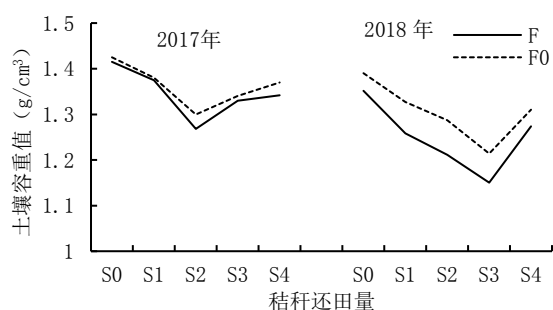
1.7 数据分析

以2017年和2018年两年的数据采用软件Microsoft Office 2019和DPS第四版分析处理。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田与地膜覆盖对土壤容重、pH值的影响

由图1可知,2017和2018年在相同秸秆还田量下,覆膜处理土壤容重均低于不覆膜处理,且随着秸秆还田量的增加,土壤容重呈现先降低再增高的趋势。无论覆膜与否,2017年在 S_2 处理下达到最小值,2018年在 S_3 处理下有最小值。2017年, S_2 处理较其他处理降低了3.0%~10.4%;2018



注: F 为覆膜移栽, F_0 为不覆膜移栽, S_0 为无秸秆还田, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 分别为 20%、40%、60%、100% 秸秆还田, 下同

图 1 秸秆还田与地膜覆盖对土壤容重的影响

年, S_3 处理较其他处理降低了 5.2% ~ 12.7%。

由图 2 可知, 2017 和 2018 年在相同秸秆还田量下, 覆膜处理土壤 pH 值均低于不覆膜处理, 且随着秸秆还田量的增加, 土壤 pH 呈现先降低再增高的趋势。无论覆膜与否, 2017 年在 S_2 处理下达到最小值, 2018 年在 S_3 处理下有最小值。2017 年 S_2 处理 pH 值较其他处理降低了 1.2% ~ 5.3%。

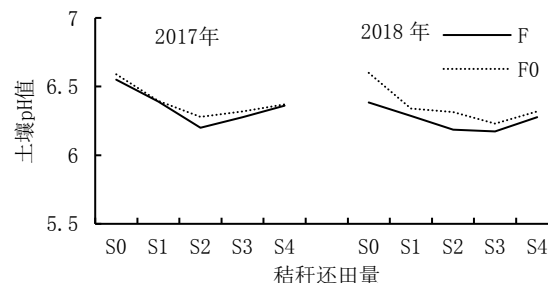


图 2 秸秆还田与地膜覆盖对土壤 pH 值的影响

2018 年 S_3 处理较其他处理降低了 0.2% ~ 5.6%。

2.2 秸秆还田与地膜覆盖对土壤养分含量的影响

由表 2 可知, 地膜覆盖和秸秆还田相结合能够显著地影响土壤碱解氮、速效磷含量。在相同秸秆还田量下, 覆膜处理土壤全氮、有机质(除 S_0 处理)、碱解氮、速效磷、速效钾的含量均高于不覆膜处理, 且无论覆膜与否, 随着秸秆还田量的增加, 均呈现增加再降低的趋势。2017 年和 2018 年分别在 FS_2 和 FS_3 处理下达到最大值。全氮含量结果显示: 2017 年在覆膜情况下, S_2 、 S_3 处理土壤

表 2 土壤养分含量的变化

年份	处理	全氮(g/kg)	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	
2017	F ₀	S ₀	0.40±0.07c	3.87±0.01b	24.04±0.56d	58.06±1.36d	148.06±9.52d
		S ₁	0.40± 0.01b	3.87±0.02b	25.42±0.03bc	71.83±4.06c	173.05±6.92bc
		S ₂	0.47±0.06b	3.94±0.11b	26.84±0.18a	82.54±6.92b	195.83±18.27ab
		S ₃	0.47± 0.06b	3.96±0.09b	25.24±1.03bc	81.38±1.11b	192.52±6.49ab
		S ₄	0.45±0.01b	4.03±0.02b	25.95±0.04b	74.36±1.75c	181.04±14.88ab
	F	S ₀	0.41±0.10c	3.86±0.08b	24.18±0.02d	53.55±3.20d	153.88±17.51cd
		S ₁	0.47±0.01b	4.38±0.06a	24.91±0.17c	75.43±3.48c	182.97±20.27ab
		S ₂	0.64±0.09a	4.53±0.25a	26.88±0.32a	93.12±4.34a	201.01±6.40a
		S ₃	0.58±0.21a	4.49±0.28a	25.00±0.25c	89.05±3.28a	185.59±10.03ab
		S ₄	0.48±0.03b	4.42±0.12a	24.03±0.47d	89.41±3.71a	176.56±21.00ab
2018	F ₀	S ₀	0.37±0.03e	3.88±0.01e	23.57±0.93d	53.44±1.91e	148.06±8.43b
		S ₁	0.39±0.03e	4.29±0.01d	24.69±0.03cd	72.53±7.65cd	169.06±6.69ab
		S ₂	0.51±0.05d	4.46±0.15c	25.33±0.02bc	82.15±6.93bc	171.21±25.79ab
		S ₃	0.73±0.02b	4.63±0.05b	26.36±1.01bc	86.37±1.24ab	181.07±13.93ab
		S ₄	0.56±0.01d	4.43±0.17c	24.51±0.40cd	67.09±3.60d	180.05±7.69ab
	F	S ₀	0.38±0.01e	3.86±0.01e	24.10±0.01d	62.25±7.96de	156.19±21.19b
		S ₁	0.43±0.01e	4.42±0.01c	28.42±1.01a	82.39±13.38bc	169.5±13.33ab
		S ₂	0.67±0.08c	4.61±0.03b	28.96±0.90a	86.07±0.19ab	182.62±24.09ab
		S ₃	0.88±0.02a	4.76±0.01a	29.22±1.13a	95.38±2.77a	195.9±40.24a
		S ₄	0.75±0.01b	4.54±0.12bc	25.98±0.05b	89.41±9.22ab	175.47±23.24ab
方差分析							
F	*	*	ns	ns	ns		
S	ns	ns	*	*	*		
F×S	ns	ns	*	*	ns		

注: 表中数据为平均值±标准差, n=3; 同列数据后的小写字母表示处理间差异水平($P<0.05$), *表示 5% 水平差异显著, ns 表示差异不显著, 下同

全氮均显著高于 S_0 、 S_1 、 S_4 处理, S_2 高于 S_3 ,但无显著差异。2018年无论覆膜与否, S_3 均显著高于其他处理。有机质含量结果显示:2017年在覆膜情况下, S_0 处理有机质显著低于其他处理, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 处理间均无显著性差异。2018年无论覆膜与否, S_3 处理有机质均显著高于 S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_4 处理。碱解氮含量结果显示:2017年 S_2 处理和2018年 S_3 处理显著高于其他还田量处理0.5%~11.6%和4.0%~21.2%。2017年 FS_2 高于 F_0S_2 ,但差异不显著;2018年 FS_3 显著高于 F_0S_3 。速效磷含量结果显示:无论覆膜与否,2017年 S_2 处理和2018年 S_3 处理显著高于其他还田量处理13.77~39.57 mg/kg和13.65~33.13 mg/kg。2017年 FS_2 显著高于 F_0S_2 ;2018年 FS_3 高于 F_0S_3 ,但差异不显著。速效钾含量结果显示:覆膜条件下,2017年不同还田量表现为: $S_2>S_3>S_1>S_4>S_0$, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 间无显著性差异,但均显著高于 S_0 ;2018年不同还田量表现为: $S_3>S_2>S_4>S_1>S_0$, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 间无显著性差异。

2.3 秸秆还田与地膜覆盖对水稻产量及产量构成因素的影响

由表3可知,地膜覆盖和秸秆还田显著影响产量。在相同秸秆还田量处理下,覆膜处理籽粒产量高于不覆膜处理;随着秸秆还田量的增加,产量呈先增加后减少的趋势。在覆膜条件下,2017和2018年分别在 S_2 、 S_3 处理有最高值11.93 t/hm²和12.9 t/hm²。不同处理产量构成因素则表现为:秸秆还田处理显著地影响着有效穗数、穗粒数、结实率和千粒重。地膜覆盖处理对穗粒数、结实率和千粒重的影响不显著,而显著提高有效穗数。无论是否覆膜,有效穗数和穗粒数均随秸秆量的增加呈先增加后降低趋势。在2017年,无论覆膜与否,有效穗数 S_2 处理均达到最高,显著高于 S_0 ;穗粒数 S_3 处理均显著高于其他处理;结实率均在 S_1 处理下有最高值,且显著高于其他处理;千粒重在 S_4 有最大值,显著高于 S_0 。在2018年,无论覆膜与否,水稻穗粒数、有效穗数、结实率均在 S_3 处

表3 不同处理的产量及产量构成因素的变化

年份	处理	籽粒产量(t/hm ²)	穗粒数(粒)	有效穗数(穗/m ²)	结实率(%)	千粒重(g)	
2017	F ₀	S ₀	9.8±0.4c	134.3±9.07c	427.2±36.51e	80.1±0.17cd	21.5±0.79c
		S ₁	10.1±0.18c	138.4±17.01c	368.0±49.51c	94.5±1.18a	23.3±0.39ab
		S ₂	10.6±0.17bc	149.4±6.28b	388.7±20.50bc	90.9±0.98b	22.2±0.42bc
		S ₃	10.1±0.53bc	171.2±1.19a	380.9±4.73bc	85.5±1.17c	22.3±0.36bc
		S ₄	7.4±0.29d	137.1±3.95c	300.5±10.02d	86.2±1.59c	24.3±0.2a
	F	S ₀	9.9±0.31c	133.4±2.21cd	432.4±9.61e	77.1±0.87e	22.3±0.2bc
		S ₁	10.7±0.24bc	134.2±5.64cd	380.4±11.07bc	96.1±1.15a	22.3±0.7bc
		S ₂	11.9±0.04a	160.1±2.31b	420.3±27.51a	91.6±0.06b	21.3±0.5c
		S ₃	11.1±0.16b	167.5±9.2a	405.7±25.50a	85.3±4.18c	22.5±0.57bc
		S ₄	7.5±0.19d	139.7±11.6cd	318.3±9.07d	85.5±1.05c	23.5±0.73ab
2018	F ₀	S ₀	9.9±0.03e	127.6±1.71c	446.3±9.61e	80.2±0.87e	22.5±0.2a
		S ₁	11.9±0.05b	131.2±5.17c	507.6±11.07bc	81.8±1.15de	22.9±0.7a
		S ₂	12.1±0.14b	146.3±3.14b	496.0±27.51cd	81.3±0.06de	22.5±0.5a
		S ₃	12.3±0.06b	148.3±12.02b	537.00±25.50ab	91.8±4.18b	22.6±0.57a
		S ₄	11.8±0.62b	140.0±18.15bc	517.3±9.07bc	81.0±1.05de	22.4±0.73a
	F	S ₀	10.5±0.30d	146.4±2.67b	457.2±36.51de	80.8±0.17e	22.6±0.79a
		S ₁	11.1±0.20c	165.6±4.04a	513.0±49.51bc	82.7±1.18cd	22.6±0.39a
		S ₂	12.2±0.46b	172.0±3.90a	524.3±20.50bc	83.7±0.98c	22.2±0.42a
		S ₃	12.9±0.26a	178.0±2.12a	578.3±4.73a	94.8±1.17a	22.5±0.36a
		S ₄	11.9±0.31b	148.5±5.69b	548.6±10.02ab	83.6±1.59c	22.4±0.29a
方差分析							
F		*	ns	*	ns	ns	
S		*	*	*	*	*	
F×S		ns	ns	ns	ns	ns	

理下有最大值,均显著高于 S_0 ;千粒重各处理间无显著差异。

3 讨 论

3.1 秸秆还田与地膜覆盖对土壤容重、pH值的影响

土壤容重的高低能够显示出土壤结构的好坏以及矿物质含量的多少,农业土壤 $1.2 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ 表示土壤结构好而矿物质多^[16]。研究表明,秸秆还田能够改善土壤团粒结构,增加土壤孔隙度,使得土壤疏松,提高土壤透气性并益于好氧型微生物的活动和繁殖,从而降低土壤容重^[17]。本研究表明,秸秆还田与地膜覆盖相结合能够降低土壤容重。无论覆膜与否,随着秸秆还田量的增加,土壤容重表现出先降低后增加的趋势,但仍然低于无秸秆还田处理,其中 FS_3 (覆膜-60%的还田量)下更能有效降低土壤容重。分析其可能原因是地膜覆盖与秸秆还田相结合,提高了土壤温度,活跃了土壤微生物,促进了秸秆的腐解,从而降低了土壤容重^[18]。但秸秆还田量过大导致部分秸秆不能完全腐解,影响土壤容重的降低^[19]。

土壤pH值是影响土壤肥力的重要因素之一,不但影响作物根系及微生物的活性,而且影响土壤养分的有效性^[20]。研究表明,覆膜处理可以加快土壤中有机质的分解,使土壤中的 CO_2 浓度增加,降低氧气浓度,氧化还原电位下降^[3],除此之外,地膜覆盖可以升高水温,使根系分泌大量的有机酸,从而引起土壤pH值降低^[21]。本试验结果显示在相同秸秆还田量下,覆膜处理土壤pH值均低于不覆膜处理。但在不同还田量之间土壤pH值的变化不同,可能是由于秸秆在腐解过程中,增加了土壤有机质的含量,从而增加 CO_2 释放量;秸秆全量还田可能限制了土壤微生物的活性,导致秸秆的分解减缓,减缓了有机酸的生成,从而影响了土壤pH值的降低程度。

3.2 秸秆还田与地膜覆盖对土壤养分含量的影响

有机质和全氮是土壤的重要组分,是植物的养分来源和土壤微生物生命活动的能量来源^[22]。本试验结果显示,无秸秆还田情况下,覆膜处理土壤有机质、全氮含量低于不覆膜处理,但秸秆还田与地膜覆盖相结合能够提高土壤有机质、全氮含量。研究表明,覆膜的保温保水作用改善了土壤结构,增加了微生物活性,促进了土壤养分的分解^[23],加大了有机物矿化速率,从而降低了土壤有机质和全氮的含量^[24];但由于有机质具有稳

定性,所以这种降低是缓慢的。秸秆还田向土壤中输送新鲜丰富的矿质营养和有机物质,从而增加土壤有机质、全氮的含量^[25]。秸秆还田和地膜覆盖相结合促进了秸秆的腐解,弥补单一的地膜覆盖造成的土壤肥力降低,达到了有效的培肥效果^[26]。

水稻秸秆中含有十分丰富的氮、磷、钾等多种营养元素,秸秆的分解使土壤碱解氮、速效磷以及速效钾的含量增加^[27],研究表明,经过5年在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 的耕作层内进行稻草还田研究,速效氮、速效磷、速效钾都有很大程度的提高^[28]。本试验研究表明,秸秆还田与地膜覆盖能够提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量,原因可能是地膜覆盖和秸秆还田相结合,促进了秸秆的腐解,从而提高了土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量^[29]。但是秸秆全量还田也会降低秸秆还田培肥效果,原因可能为秸秆腐解所释放的养分不足以弥补自身腐解所消耗的养分^[8]。另外,2017年研究结果显示,在40%的还田量下,秸秆还田与地膜覆盖对土壤有机质和全氮的提高表现最优,2018年则是60%的还田量与地膜覆盖相结合,更能有效地提高土壤碱解氮、速效磷以及速效钾的含量。这表明,随着秸秆还田年限的增加,稻区土壤的有机质、全氮等养分积累,微生物活性增强,增强了腐解秸秆的能力,从而使秸秆还田量有效增加^[30]。

3.3 秸秆还田与地膜覆盖对水稻产量及其产量构成因素的影响

土壤养分含量对作物产量具有显著影响^[31]。研究表明,秸秆还田与地膜覆盖相结合能够改善土壤环境,协调土壤水肥供需关系,优化作物产量构成因子^[32]。本试验研究发现,地膜覆盖与适量的秸秆还田量相结合有利于水稻产量的增加。一方面可能由于地膜覆盖与适量的秸秆还田相结合能够降低土壤容重以及pH值,提高土壤养分含量,有利于根系生长和养分吸收,有利于源的储存,从而提高水稻的产量^[33];另一方面地膜覆盖与适量秸秆还田相结合能够增加土壤温度,增加干物质积累,从而有利于水稻产量的提高^[34]。

4 结 论

60%的秸秆还田量和地膜覆盖相结合应用能够更有效地降低稻区土壤容重、pH值,增加土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾等养分含量,提高水稻的产量。

参考文献:

- [1] 李蕊,陈磊,闫志海.扬州市生物质秸秆综合利用现状与对策分析[J].科技创新与应用,2014(23):285-286.
- [2] 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.
- [3] 孔雪静.地膜覆盖和秸秆还田对玉米地与土壤氮素转化相关的土壤酶活性影响研究[D].兰州:兰州大学,2016.
- [4] 卢松.微生物处理玉米秸秆的腐解特征研究[D].重庆:西南大学,2010.
- [5] Liu M, Liang W L, Qu H, et al. Ground cover rice production systems are more adaptable in cold regions with high content of soil organic matter[J]. Field Crops Research, 2014,164: 74-81.
- [6] 鲁桂霞,张云霞,胡喜云,等.北方水稻低温冷害的防御技术[J].北方水稻,2014(1):50-51.
- [7] 王永鹏.秸秆还田与地膜覆盖耦合对玉米产量及土壤有机质平衡的影响[D].兰州:兰州大学,2014.
- [8] 王晓航,耿艳秋,金峰,等.秸秆还田和地膜覆盖对土壤环境和水稻生长的影响[J].华南农业大学学报,2018,39(5):1-7.
- [9] 袁久坤,周英.利用取土钻改进环刀法准确测定土壤容重和孔隙度[J].中国园艺文摘,2014,30(3):25-26.
- [10] 杨燎原,袁健,杨慎文,等.用玻璃电极法准确测定溶液中pH值的分析路径[J].环境科学导刊,2010,29(S1):94-95.
- [11] 黎冬容,张世庆,甘世端,等.全自动凯氏定氮仪测定土壤全氮含量[J].南方国土资源,2015(8):38-39.
- [12] 杨树筠.用重铬酸钾氧化法简便快速测定土壤有机质含量[J].现代农业,1997(4):23.
- [13] 李金彦.土壤水解性氮的测定(碱解扩散法)[J].农业科技与信息,2010(10):15.
- [14] 马鄂超.第三讲 土壤养分测定(二)[J].新疆农垦科技,2006(1):59-60.
- [15] 孙兰香.乙酸铵浸提-火焰光度计法测定土壤速效钾[J].现代农业科技,2008(17):199.
- [16] 沈新平,陈后庆,刘世平,等.水稻对土壤容重的生态性适应[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),1996,17(2):13-16.
- [17] 王麒.不同玉米栽培模式对土壤物理性状及产量影响的研究[J].黑龙江农业科学,2012(8):25-28.
- [18] 胡宏祥,马中文,邵致远.还田秸秆腐解特征研究[J].湖南农业科学,2012(5):44-46.
- [19] 刘宇娟,谢迎新,董成,等.秸秆生物炭对潮土区小麦产量及土壤理化性质的影响[J].华北农学报,2018,33(3):232-238.
- [20] 赵静.土壤酸化对土壤有效养分、酶活性及黄金梨品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2011.
- [21] 邓春晖,李艳君.玉米秸秆还田对土壤有机化进程的影响[J].中国园艺文摘,2013,29(3):24-25.
- [22] 张宇浩,方莉,程芳琴.日光节能温室土壤有机碳及组分变化对栽培年限的响应[J].山西农业科学,2013,41(11):1202-1204.
- [23] Li F, Wang J, Xu J, et al. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid loess plateau of china[J]. Soil&Tillage research, 2004, 78(1): 9-20.
- [24] 吴婕,朱钟麟,郑家国,等.秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J].西南农业学报,2006(2):192-195.
- [25] 张雅洁,陈晨,陈曦,等.小麦-水稻秸秆还田对土壤有机质组成及不同形态氮含量的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(11):2155-2161.
- [26] 吕洁婷.秸秆还田与地膜覆盖对土壤理化性状影响[D].兰州:兰州大学,2017.
- [27] 闫超.水稻秸秆还田腐解规律及土壤养分特性的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [28] 周江明,徐大连,薛才余.稻草还田综合效益研究[J].中国农学通报,2002,18(4):7-10.
- [29] Huang S, Zeng Y, Wu J, et al. Effect of crop residue retention on rice yield in china: a meta-analysis[J]. Field Crops Research, 2013, 154:188-194.
- [30] 徐蒋来,尹思慧,胡乃娟,等.周年秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分、微生物活性及产量的影响[J].应用与环境生物学报,2015,21(6):1100-1105.
- [31] 李孝勇,武际,朱宏斌,等.秸秆还田对作物产量及土壤养分的影响[J].安徽农业科学,2003,31(5):870-871.
- [32] 单提波,魏宏国,王安东,等.稻草还田配施化学氮肥对水稻生长发育、产量和品质的影响[J].江西农业大学学报,2010,32(2):265-270.
- [33] 马巍,侯立刚,齐春艳,等.吉林省盐碱稻区不同栽培模式对土壤性质及水稻生长的影响[J].吉林农业科学,2014,39(4):17-21.
- [34] Zhang D, Chi B, Huang X F, et al. Analysis of adverse effects on maize yield decrease resulted from plastic film mulching in dry land[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(4): 99-102.

(责任编辑:刘洪霞)