

耕作与施肥措施对江淮地区白土理化性质及水稻产量的影响

吴萍萍¹, 李录久¹, 耿言安², 姚文麒²

(1. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 养分循环与资源环境安徽省重点实验室, 合肥 230031;

2. 长丰县农业技术推广中心, 安徽 长丰 231100)

摘要: 针对连续旋耕白土田耕层浅薄、下层土壤黏重紧实、养分分布不均衡等问题, 探索适合于白土稻田的耕作与施肥措施, 以进一步提高江淮地区白土生产力和水稻产量水平。设置2种耕作方式(旋耕和翻耕)及3种施肥措施(单施化肥、化肥+有机肥、化肥+秸秆还田), 通过大田定位试验研究不同耕作方式与施肥措施对白土稻田土壤理化性质、水稳性团聚体分布以及水稻产量的影响。结果表明, 相较于旋耕, 翻耕降低0—10 cm土层土壤养分含量, 而使10—20 cm土层有机质、全氮、有效磷和速效钾含量分别提高3.2%~8.8%, 4.5%~9.2%, 5.2%~8.2%和8.3%~17.7%。增施有机肥或秸秆还田使土壤有机质和速效钾含量较单施化肥处理分别提高1.3%~8.6%和4.1%~21.1%。翻耕方式下10—20 cm土层土壤容重较旋耕降低14.4%~19.5%, 土壤大团聚体比例在0—10, 10—20 cm土层则较旋耕分别降低3.0%~5.4%和3.5%~9.7%; 在翻耕的基础上增施有机肥或秸秆还田土壤容重较单施化肥降低2.1%~6.6%, 大团聚体比例则提高2.8%~8.4%。翻耕有利于水稻产量的提高, 较旋耕的增产幅度在11.7%~18.0%, 增施有机肥或秸秆还田使水稻产量提高1.7%~7.5%。因此, 江淮地区连续多年旋耕的白土田进行适宜翻耕结合秸秆还田或增施有机肥可改善0—20 cm土层土壤理化性质, 有利于水稻产量的提升。

关键词: 白土; 稻田; 耕作方式; 施肥措施; 理化性状; 产量

中图分类号: S344; S158.3; S511

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)06-0243-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.06.035

Effects of Tillage and Fertilization on Physicochemical Properties of Albic Soil and Rice Yields in Jianghuai Region

WU Pingping¹, LI Lujia¹, GENG Yanan², YAO Wenqi²

(1. Anhui Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources and Environment,

Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031;

2. The Extension Center of Agricultural Technology at Changfeng County, Changfeng, Anhui 231100)

Abstract: Albic soil with continuous rotary tillage has resulted in some problems, including shallow plough layer, sticky and tight subsoil and unbalanced nutrient distribution. In order to explore suitable tillage and fertilization modes in paddy fields to improve albic soil productivity and rice yield in Jianghuai region, a field experiment was carried out to study the effects of different tillage and fertilization practices on physicochemical properties, the distribution of water-stable aggregates and rice yields in albic soil. The treatments consisted of two tillage practices (rotary tillage and conventional tillage) and three fertilization modes (chemical fertilizer, chemical fertilizer + organic manure, chemical fertilizer + straw returning). The results showed that compared to rotary tillage, conventional tillage reduced the soil nutrient contents of 0—10 cm soil layer, but increased the contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus and available potassium in 10—20 cm soil layer by 3.2%~8.8%, 4.5%~9.2%, 5.2%~8.2% and 8.3%~17.7%, respectively. The amendment of organic manure or straw returning increased the contents of soil organic matter and available potassium by 1.3%~8.6% and 4.1%~21.1%, respectively. The bulk density in 10—20 cm soil layer under conventional tillage was 14.4%~19.5% lower than that of rotary tillage, and the percentages of soil macro aggregates under conventional tillage were lower than rotary tillage by 3.0%~5.4% in 0—10 cm soil layer and 3.5%~9.7% in 10—20 cm soil layer, respectively. Under conventional tillage, the amendment of organic manure or straw returning reduced soil bulk density by 2.1%~6.6% and increased the percentage of

收稿日期: 2018-06-07

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503118); 安徽省农科院创新基金项目(17A1023); 安徽省科技重大专项(17030701052); 安徽省学术技术带头人项目

第一作者: 吴萍萍(1982—), 女, 副研究员, 主要从事土壤资源环境研究。E-mail: pingpingwu1982@126.com

通信作者: 李录久(1965—), 男, 研究员, 主要从事土壤改良及培肥研究。E-mail: ljli68@aliyun.com

macro aggregate by 2.8%~8.4%, compared to chemical fertilizer application. The rice yield under conventional tillage was 11.7%~18.0% higher than rotary tillage, and the amendment of organic manure or straw returning enhanced the rice yield by 1.7%~7.5%. Therefore, in albic soil with continuous rotary tillage in Jianghuai region, conventional tillage combined with straw returning or organic manure amendment was beneficial to improve soil physical and chemical properties of the 0—20 cm soil layer and increase rice yield.

Keywords: albic soil; paddy field; tillage system; fertilization mode; physicochemical properties; rice yields

耕作与施肥措施是改善土壤耕层质量和培肥地力的重要途径,对土壤生态系统的可持续发展有极为重要的影响^[1]。深耕结合秸秆还田或有机肥施用能够显著提高土壤的水分利用效率,降低土壤容重与硬度,增加小麦和玉米等旱地作物产量^[2-3];而对于水稻,不同研究者得到的结果不完全一致^[4-10]。有报道^[4]指出,翻耕结合秸秆还田可以降低土壤容重和坚实度,提高总孔隙度和毛管孔隙度,调节土壤中固、液、气的三相比,促进水稻根系生长^[5],为水稻生长提供良好的条件。但也有研究^[6]表明,与常规翻耕相比,秸秆还田条件下旋耕处理土壤养分含量提升幅度较大,水稻茎蘖易早发快发,早稻和晚稻平均产量分别增加 6.1%和 3.1%。柳开楼等^[7]研究发现,浅旋耕和秸秆还田相较于深翻耕能显著提高耕层土壤有机质和速效养分,且水稻产量稳定。而翻耕加速土壤有机质分解,破坏土壤团粒结构,使土壤呈单粒状态^[8-9],不利于土壤有机碳的固定以及水稻产量的提高。还有研究^[10]发现,旋耕与翻耕方式下杂交水稻的生长特性和产量间无显著差异。

白土是我国南方五大中低产水稻土类型之一,也是华中单季稻区主要中低产类型水稻土,主要分布于江苏、安徽和湖北等省的江淮分水岭地区。白土的典型特征是表土黏粒被淋溶、粉砂含量高^[11]、下层黏重紧实及土壤结构性差等。近年来,由于劳动力短缺及轻型旋耕机械的推行,江淮地区水稻种植中农民很少进行传统的翻耕,而是普遍采用旋耕机浅旋的方式,耕作深度一般只有 8~10 cm,造成该地区白土田耕层结构愈加不合理,表现为土壤有效耕层逐年变浅、犁底层加厚、土壤养分库容降低,影响水稻的正常生长发育。因此,明确不同耕作和施肥措施对白土理化性质及水稻产量的影响对于改善白土田不良耕层性能、提高江淮地区水稻产量水平具有非常重要的现实意义。

本研究在江淮水稻种植区选择典型白土田进行定位试验,设置 2 种耕作方式(旋耕和翻耕)及 3 种施肥模式(单施化肥、化肥+有机肥、化肥+秸秆),研究不同耕作方式与施肥措施下耕层土壤养分含量、容重、水稳性大团聚体数量等指标的差异,探讨旋耕/翻耕、增施有机肥/秸秆还田对土壤理化性质和水稻产量的影响,以期提升白土生产力、构建合理耕层提供理论基础与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

定位试验于 2016 年开始在安徽省长丰县(31°55'—32°37'N,116°52'—117°26'E)进行。该地气候类型为亚热带湿润季风气候,年平均气温 15~16℃,土壤类型为白土,发育于下蜀黄土母质,土壤质地为黏壤土。种植制度为稻麦轮作,当地农民多年来一直采用旋耕机浅旋的耕作方式。试验开始前耕层土壤的基本理化性状为:pH 5.89,全氮含量 1.35 g/kg,有机质含量 27.1 g/kg,碱解氮含量 119.2 mg/kg,速效磷含量 13.3 mg/kg,速效钾含量 156.4 mg/kg。

1.2 试验设计

试验在水稻生长季进行,采用裂区设计,主区为 2 种耕作方式,包括农民习惯的旋耕和以增厚耕作层为目的的翻耕,副区为 3 种施肥模式,包括单施化肥、化肥+小麦秸秆还田和化肥+有机肥,共组成 6 个处理:(1)旋耕+化肥(RT);(2)旋耕+化肥+商品有机肥(RT+M);(3)旋耕+化肥+秸秆还田(RT+S);(4)翻耕+化肥(CT);(5)翻耕+化肥+商品有机肥(CT+M);(6)翻耕+化肥+秸秆还田(CT+S)。各处理氮、磷、钾化肥施用量相同,分别为 N 180、P₂O₅ 90 和 K₂O 90 kg/hm²,所用肥料为复合肥(N:P₂O₅:K₂O 为 15:15:15)和尿素,其中 65%的氮肥和全部的磷、钾肥作为基肥在播种前施入,20%和 15%的氮肥分别于分蘖期和孕穗期追施。有机肥和秸秆的用量分别为 1 500,4 000 kg/hm²。

旋耕采用旋耕机进行作业,深度为 8~10 cm,翻耕使用带深翻犁的拖拉机,作业深度为 18~20 cm。小区面积为 100 m²,3 次重复。还田的小麦秸秆 N、P₂O₅ 和 K₂O 含量分别为 5.4,2.3,13.6 g/kg(2 年平均值),商品有机肥购自市场,有机质含量为 45%,N、P₂O₅ 和 K₂O 养分总含量为 5%。水稻品种为当地主栽品种,4 月下旬育秧,6 月上旬移栽,10 月初收获,栽培密度 25.5 万穴/hm²。小麦生长季各处理只施化肥,施肥量均为 N 200、P₂O₅ 90、K₂O 90 kg/hm²。小麦收获后将各小区麦秸统一收集,全部切碎成 5 cm 左右的小段,撒于秸秆还田处理的小区,在水稻移栽前旋耕或翻耕入土。有机肥在水稻施用基肥时一并撒施。其他田间管理措施与当地农民习惯一致。

1.3 样品采集与测定

大田试验进行 2 年后于 2017 年 10 月水稻收获进行计产,同时采集各小区 0—10,10—20 cm 土层土壤,按照“S”形选 5 个点组成混合土样用于理化性状的分析。另外,每小区各土层采用环刀多点取原状土,用硬质塑料盒装好,保证不受挤压。带回实验室后室内自然风干,剔除其中的植物残体和石块等,当土壤含水量达塑限时,用手将大土块沿自然断裂面轻轻掰成小块,使其过 10 mm 筛后继续风干,用于团聚体分布测定。

土壤理化性质根据《土壤农化分析》^[12] 进行,其中 pH 采用水浸提—电极法测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法(外加热法)测定;全氮含量采用开氏半微量定氮法测定;碱解氮含量采用扩散法测定;有效磷含量采用 NaHCO₃ 浸提—钼蓝比色法测定;速效钾含量采用乙酸铵浸提—火焰光度计法测定;土壤容重采用环刀法测定;水稳性团聚体组成参照 Elliott^[13] 的方法:称取 50 g 风干土,蒸馏水浸泡 10 min,然后从上而下置于 2,0.25,0.053 mm 的土筛上,在团粒分析仪中运行 10 min,收集各级筛子上的团聚体并分别转移至烧杯中,于 60 ℃ 下烘干。不同粒径的团聚体经烘干称重,计算各级团聚体的质量百分比,<0.053 mm 组分通过差减法计算。其中>0.25 mm 级别的团聚体为大团聚体,0.053~0.25 mm 级别为微团聚体,<0.053 mm 组分为黏砂粒。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel、SPSS 等软件进行统计分析。各处理间比较采用 One-way ANOVA 分析,差异显著性分析用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 耕作与施肥措施对白土养分含量的影响

由表 1 可知,相同施肥措施下,旋耕处理 0—10

cm 土层的土壤 pH 较翻耕处理下降 0.04~0.14 个单位,土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量则分别提高 3.5%~5.1%,1.6%~5.5%,1.1%~9.0%,3.9%~5.7%和 1.4%~6.4%,其中有机质和速效钾含量在 2 种耕作方式间表现出显著差异($P<0.05$)。相同耕作方式下,增施有机肥或秸秆还田显著提高 0—10 cm 土层土壤有机质和速效钾含量,相较于单施化肥处理分别增加 3.6%~8.4%和 5.2%~21.1%。施肥措施对土壤全氮、碱解氮和有效磷含量的促进效应不明显。

与 0—10 cm 土层的变化规律不同,10—20 cm 土层旋耕处理的土壤 pH 较翻耕处理显著提高 0.17~0.20 个单位,有机质、全氮、有效磷和速效钾含量则分别降低 3.2%~8.8%,4.5%~9.2%,5.2%~8.2%和 8.3%~17.7%。增施有机肥或秸秆还田使 10—20 cm 土层土壤有机质和速效钾含量较单施化肥处理分别提高 1.3%~8.6%和 4.1%~17.9%,且在翻耕方式下差异较明显。

从表 1 还可看出,无论何种耕作方式或施肥措施,0—10 cm 土层土壤养分含量均高于 10—20 cm 土层,其中旋耕方式下上下土层间有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量的差幅分别为 15.0%~19.2%,12.4%~17.6%,14.5%~22.5%,26.9%~32.0%和 36.6%~43.1%,翻耕方式下分别为 7.5%~9.2%,4.7%~8.4%,1.2%~15.3%,17.7%~24.1%和 26.4%~28.5%。土壤 pH 则表现出随土层加深而增加的趋势,上下土层 pH 在旋耕和翻耕方式下分别相差 0.28~0.48 和 0.00~0.17 个单位。表明供试白土田养分含量呈现明显的层次分化,表层土壤酸化现象较明显。相较于旋耕,翻耕有利于提高 10—20 cm 土层土壤养分含量,缩小上下土层肥力水平之间的差异。

表 1 耕作与施肥措施对白土养分含量的影响

土层 深度/cm	处理	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0—10	RT	5.83ab	27.8c	1.37a	130.1ab	13.5ab	162.2de
	RT+M	5.91ab	28.9b	1.45a	131.6ab	14.2a	196.3a
	RT+S	5.68b	30.1a	1.48a	140.4a	14.4a	170.5c
	CT	5.96a	26.8d	1.35a	118.3b	13.0b	155.4e
	CT+M	5.96a	27.8c	1.39a	130.1ab	13.4ab	183.7b
	CT+S	5.81ab	28.6b	1.40a	133.9ab	13.7ab	168.2cd
10—20	RT	6.16a	23.6d	1.20a	107.3a	9.9a	102.8c
	RT+M	6.19a	23.9cd	1.22a	112.5a	9.6a	111.6bc
	RT+S	6.16a	24.3cd	1.22a	118.3a	10.2a	107.0c
	CT	5.96b	24.4c	1.25a	116.9a	10.7a	114.6bc
	CT+M	6.02b	25.2b	1.28a	110.3a	10.1a	131.4a
	CT+S	5.98b	26.5a	1.33a	117.6a	10.9a	123.8ab

注:同一土层同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

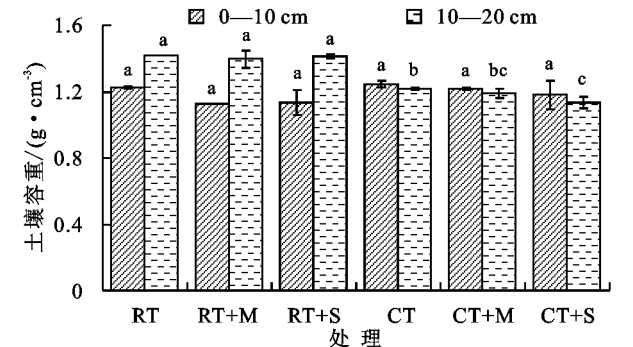
2.2 耕作与施肥措施对白土容重的影响

土壤容重是反映土壤肥力、松紧程度和孔隙状况的重要指标^[14]。旋耕方式下不同土层土壤容重间差异较大(图 1),10—20 cm 土层土壤容重为 1.40~1.42 g/cm³,较 0—10 cm 土层提高了 15.9%~24.2%。相较于旋耕,翻耕处理 0—10 cm 土层土壤容重未表现出明显差异,而 10—20 cm 土层显著降低 14.4%~19.5%。增施有机肥或秸秆还田能够一定程度上降低 0—10 cm 土层土壤容重,较单施化肥处理的减幅为 2.4%~7.8%,差异未达显著水平($P>0.05$);10—20 cm 土层土壤容重在旋耕方式下受有机肥或秸秆还田的影响较小,而在翻耕方式下则降低 2.1%~6.6%,其中秸秆还田处理与单施化肥处理间差异显著($P<0.05$)。可见,翻耕能够显著降低 10—20 cm 土层土壤容重,在翻耕的基础上秸秆还田有利于下层土壤容重的进一步降低。

2.3 耕作与施肥措施对白土团聚体分布的影响

土壤大团聚体具有保证和协调土壤中的水肥气热、维持和稳定土壤疏松熟化层等作用^[15]。翻耕对大团聚体的破坏作用强于旋耕,且同时减少表层和下层大团聚体所占比例(表 2),翻耕处理 0—10,10—20 cm 土层土壤大团聚体比例较旋耕处理分别降低 3.0%~5.4%

和 3.5%~9.7%,2 种耕作方式间差异达显著水平($P<0.05$)。不同施肥措施显著影响土壤团聚体分布。旋耕和翻耕方式下增施有机肥或秸秆还田使土壤 $R_{0.25}$ 值较单施化肥处理分别提高 1.8%~2.3%和 2.8%~8.4%,其中翻耕方式下秸秆还田处理与对照间差异达显著水平($P<0.05$)。进一步分析发现,单施化肥情况下,翻耕较旋耕大团聚体比例减少 5.4%~9.7%,而在翻耕的基础上增施有机肥或秸秆还田大团聚体比例降低幅度分别为 4.9%~7.3%和 3.0%~3.5%。可见,相较于单施化肥,增施有机肥或秸秆还田能够提高大团聚体数量,一定程度上缓解由翻耕导致的大团聚体破碎。



注:图中不同字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

图 1 耕作与施肥措施对白土容重的影响

表 2 耕作与施肥措施对白土团聚体比例的影响

土层 深度/cm	处理	各级水稳性团聚体百分含量/%				$R_{0.25}$
		$>2\text{ mm}$	$0.25\sim2\text{ mm}$	$0.053\sim0.25\text{ mm}$	$<0.053\text{ mm}$	
0—10	RT	35.67ab	36.93ab	15.77a	11.63a	72.60ab
	RT+M	35.60ab	39.33a	14.00a	11.07a	74.93a
	RT+S	39.87a	35.03b	13.83a	11.27a	74.90a
	CT	27.73d	39.50a	18.20a	14.57a	67.23d
	CT+M	31.13cd	38.87a	16.23a	13.77a	70.00c
	CT+S	33.63bc	38.23ab	14.73a	13.41a	71.86bc
10—20	RT	45.83a	30.40c	14.80ab	8.97b	76.23ab
	RT+M	48.30a	29.70c	12.13b	9.87ab	78.00a
	RT+S	45.93a	32.47bc	10.43b	11.17ab	78.40a
	CT	31.57b	34.97abc	19.50a	13.96a	66.54c
	CT+M	33.70b	37.03ab	18.94a	10.33ab	70.73bc
	CT+S	35.40b	39.53a	12.57b	12.50ab	74.93ab

2.4 耕作与施肥措施对水稻产量的影响

由图 2 可知,翻耕有利于水稻产量的提高。同一施肥措施下,翻耕相较于旋耕水稻增产幅度为 11.7%~18.0%。施肥措施对水稻产量的影响相对较小,旋耕方式下增施有机肥或秸秆还田水稻分别增产 7.5%和 7.1%,而翻耕方式下的增产幅度分别为 1.7%和 4.6%。方差分析发现,耕作方式对水稻产量的影响达极显著水平($P<0.01$),而施肥措施及两者交互作用的影响不明显。这表明耕作方式是影响白土田水稻生长的主要因素,在翻耕的基础上进行秸秆还田或增施有机肥有利于水稻产量的进一步提高。

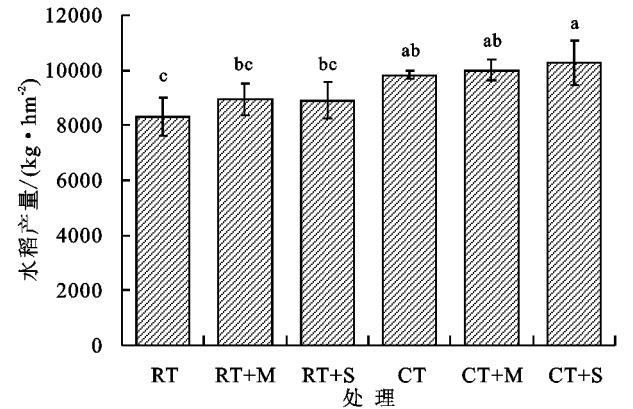


图 2 耕作与施肥措施对水稻产量的影响

3 讨论

3.1 耕作与施肥措施对白土田耕层土壤肥力的影响

本研究中,白土田土壤养分分布呈明显的层次性,表现出富集于表层的趋势。翻耕2年后0—10 cm 土层有机质、全氮、碱解氮、有效磷及速效钾含量较旋耕处理有不同程度的降低,而10—20 cm 土层养分含量则大幅度增加。这是因为浅旋耕作业深度在8—10 cm,所施的化肥、有机肥及根茬残留物仅在这一土层混合;而翻耕扰动整个0—20 cm 土层,将下层肥力水平较低的土壤翻到表层,也将施于表层的化肥、有机肥或秸秆混合到下层,因而表层土壤养分含量较旋耕低,而下层肥力水平提高。

无论翻耕还是旋耕,增施有机肥或秸秆还田均较单施化肥显著提高土壤有机质和速效钾含量,而对全氮、碱解氮和速效磷含量影响较小,这可能与有机肥和秸秆中碳、氮、磷存在形态和含量有关。所用小麦秸秆钾素丰富且主要以离子态存在,易被溶解出来,从而增加土壤中速效钾各组分(水溶性钾、交换性钾)的含量;同时秸秆在腐解过程中还会释放有机酸、阴离子和碱性金属等,进一步促进矿物钾的释放和转化^[16]。磷在秸秆中60%以上以离子态存在,释放较快,但秸秆中磷含量较低,因此对土壤有效磷含量影响较小^[17]。秸秆中C、N主要以有机态存在,在物理作用下不易分解,释放速率较慢。但是秸秆含碳量较高,释放量较大,因此释放出的物质对土壤有机质组成影响较大^[18],而氮素含量较少,矿化缓慢,不利于转化为土壤全氮或碱解氮。供试商品有机肥主要由发酵的畜禽粪便等制成,速效性养分多,钾、有机质等含量丰富,但其施用量不到秸秆还田量的1/2,且有机肥中纤维素较少,分解速度快^[19],因此对土壤有机质的积累效果不如小麦秸秆。

3.2 耕作与施肥措施对白土田耕层土壤物理性质的影响

一般农业土壤耕作层容重为1.1~1.3 g/cm³,耕作层土壤容重达到1.3 g/cm³以上会影响作物生长^[20]。本研究中,白土田经过连续多年旋耕后,0—10,10—20 cm 土层土壤容重分别为1.23,1.42 g/cm³,处于“上松下紧”的状态,下层黏重紧实,影响根系的生长发育及养分下移。翻耕使10—20 cm 土层土壤容重降低14.4%~19.5%,秸秆还田的情况下容重降低效果更明显。张大伟等^[21]和殷志遥等^[22]研究也显示,翻耕和秸秆还田能够降低土壤容重,增加土壤总孔隙度和毛管孔隙度,对土壤的物理性质起到一定的改良效果。

耕作对土壤团聚体组成及土壤结构的稳定性有显著影响^[23]。与旋耕相比,翻耕时0—10,10—20 cm 土层>0.25 mm 大团聚体数量均有不同程度的下

降。翻耕对土壤的扰动程度较大,较多的大团聚体遭到破坏,土粒间的黏合力下降,不利于团粒结构的形成^[24]。本研究中,在翻耕方式下增施有机肥或秸秆还田均能较单施化肥降低大团聚体破碎程度,减少大团聚体向微团聚体的转化。这与有机肥或秸秆既能直接向土壤提供有机胶结物质^[25],也能通过提高水稻地上和地下部生物量,增加根系分泌物,增强土壤微生物活性有关^[26-27]。秸秆还田还能增加耕作对土壤过度干扰的阻力,减少对团聚体的破坏作用^[28]。因此,白土田进行翻耕降低下层土壤容重的同时,有必要配合秸秆还田或增施有机肥等措施以减缓对大团聚体的破坏作用,保证土壤结构的稳定性。

3.3 耕作与施肥措施对白土水稻产量的影响

本研究中,尽管翻耕使得0—10 cm 土层土壤整体肥力水平下降,大团聚体数量减少,但相较于旋耕仍然表现出明显的增产效应,在翻耕的基础上增施有机肥或秸秆还田能进一步提高水稻产量。这可能是因为:一方面,供试白土田经过连续多年旋耕,耕作层仅在10 cm 左右,而水稻根系的90%集中分布在20 cm 以内的耕层,10—20 cm 是水稻根系的伸长延伸区,下层土壤过于紧实根系难以下扎,水稻生长易早衰^[29]。相较于旋耕,翻耕降低10—20 cm 土层土壤容重,促进土壤孔隙的形成,能够提高土壤通气透水性,扩大根系生活领域,有利于根系向土壤深处发展和生长^[30];同时,翻耕增加下层土壤有机质和有效态磷、钾含量,使得下扎的根系能够吸收较多的土壤养分,从而提高水稻养分累积量和产量^[5, 31-32];另一方面,经过2年的耕作施肥试验,翻耕方式下表层土壤养分含量各项指标尽管低于旋耕,但按照第2次全国土壤普查养分分级标准划分仍然处于中等到丰富水平,因此没有成为水稻产量提升的主要限制因子。综合而言,对于江淮地区连续多年浅旋耕的白土田建议适宜翻耕结合秸秆还田或增施有机肥,以达到改善耕层土壤结构,均衡0—20 cm 土层土壤养分分布,促进水稻生长的目的。

4 结论

(1)相较于旋耕,翻耕降低白土田0—10 cm 土层土壤养分含量,而提高10—20 cm 土层有机质、全氮、有效磷和速效钾含量,缩小上下土层肥力水平之间的差异。增施有机肥或秸秆还田显著提高土壤有机质和速效钾含量。

(2)翻耕能够显著降低10—20 cm 土层土壤容重,在翻耕的基础上增施有机肥或秸秆还田土壤容重进一步降低,改善白土下层土壤紧实的状态。与旋耕相比,翻耕减少0—10,10—20 cm 土层土壤大团聚体数量,翻耕方式下增施有机肥或秸秆还田有利于缓解

由翻耕导致的大团聚体破碎。

(3)耕作方式是影响白土田水稻产量的主要因素,翻耕有利于水稻产量的提高,相较于旋耕的增产幅度为 11.7%~18.0%。增施有机肥或秸秆还田也能一定程度上提高水稻产量。因此,对于江淮地区连续多年浅旋耕的白土田建议根据实际情况适宜翻耕,并结合秸秆还田或增施有机肥等措施。

参考文献:

- [1] 李玉洁,王慧,赵建宁,等.耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J].应用生态学报,2015,26(3):939-948.
- [2] 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等.耕作方式与秸秆还田对冬小麦—夏玉米轮作系统中干物质生产和水分利用效率的影响[J].作物学报,2014,40(10):1797-1807.
- [3] 战秀梅,彭靖,李秀龙,等.耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J].华北农学报,2014,29(3):204-209.
- [4] 李凤博,牛永志,高文玲,等.耕作方式和秸秆还田对直播稻田土壤理化性质及其产量的影响[J].土壤通报,2008,39(3):549-552.
- [5] 王秋菊,高中超,张劲松,等.黑土稻田连续深耕改善土壤理化性质提高水稻产量大田试验[J].农业工程学报,2017,33(9):126-132.
- [6] 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.
- [7] 柳开楼,李亚贞,秦江涛,等.中亚热带稻田不同耕作栽培和施肥模式对土壤肥力的影响[J].土壤,2015,47(2):310-317.
- [8] 吴建富,潘晓华,石庆华,等.不同耕作方式对水稻产量和土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(3):496-502.
- [9] 马二登,纪洋,马静,等.耕种方式对稻田甲烷排放的影响[J].生态与农村环境学报,2010,26(6):513-518.
- [10] 黄佑岗,冯跃华,许桂玲,等.不同耕作方式对杂交籼稻生长特性和产量形成的影响[J].中国稻米,2017,23(4):139-143.
- [11] 夏立忠,傅桦,丁瑞兴.江淮流域白浆化土壤的矿物组成与化学特性的研究[J].土壤学报,2001,38(3):229-238.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [13] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Science Society of America Journal,1986,50(3):627-633.
- [14] Xu L, He N P, Yu G R. Methods of evaluating soil bulk density: Impact on estimating large scale soil organic carbon storage[J]. Catena,2016,144:94-101.
- [15] 田慎重,王瑜,李娜,等.耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J].生态学报,2013,33(22):7116-7124.
- [16] Zhang H M, Xu M G, Shi X J, et al. Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems,2010,88(3):341-349.
- [17] 戴志刚,鲁剑巍,李小坤,等.不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J].农业工程学报,2010,26(6):272-276.
- [18] 杨志臣,吕盼忠,张凤荣,等.秸秆还田和腐熟有机肥对水稻土培肥效果对比分析[J].农业工程学报,2008,24(3):214-218.
- [19] 梁尧,韩晓增,宋春,等.不同有机物料还田对东北黑土活性有机碳的影响[J].中国农业科学,2011,44(17):3565-3574.
- [20] 依艳丽.土壤物理研究法[M].北京:北京大学出版社,2009.
- [21] 张大伟,刘建,王波,等.连续两年秸秆还田与不同耕作方式对直播稻田土壤理化性质的影响[J].江西农业学报,2009,21(8):53-56.
- [22] 殷志遥,黄丽,薛斌,等.稻—油轮作下保护性耕作对土壤肥力的影响及评价[J].中国生态农业学报,2017,25(11):1604-1614.
- [23] Huang X X, Gao M, Wei C F, et al. Tillage effect on organic carbon in a purple paddy soil[J]. Pedosphere,2006,16(5):660-667.
- [24] 谢先举.我国旱地免耕研究[J].耕作与栽培,1995(1):16-20,27.
- [25] 王勇,姬强,刘帅,等.耕作措施对土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1365-1373.
- [26] 周萍,潘根兴.长期不同施肥对黄泥土水稳性团聚体颗粒态有机碳的影响[J].土壤通报,2007,38(2):256-261.
- [27] 杨敏芳,朱利群,韩新忠,等.耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤养分、微生物生物量及酶活性的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):272-275,281.
- [28] Barreto R C, Madari B E, Maddock J E L, et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2009,132(3):243-251.
- [29] 柯建国,陆建飞.深耕改良白浆土的效应研究[J].扬州大学学报(自然科学版),1998,1(3):47-49.
- [30] 张玉屏,朱德峰,林贤青,等.田间条件下水稻根系分布及其与土壤容重的关系[J].中国水稻科学,2003,17(2):141-144.
- [31] 徐国伟,王贺正,翟志华,等.不同水氮耦合对水稻根系形态生理、产量与氮素利用的影响[J].农业工程学报,2015,31(10):132-141.
- [32] Baker J M, Ochsner T E, Venterea R T, et al. Tillage and soil carbon sequestration: What do we really know? [J]. Agriculture Ecosystems and Environment,2007,118(1/4):1-5.