

## 不同耕作模式下秸秆还田对潮土肥力特征的影响

黄界颖<sup>1</sup>, 阮仁杰<sup>1</sup>, 王擎运<sup>1</sup>, 郜红建<sup>1</sup>, 周林<sup>2</sup>, 王慧<sup>2</sup>,  
于正国<sup>1</sup>, 李宗壕<sup>1</sup>, 严景<sup>1</sup>, 伍震威<sup>3\*</sup>, 单平<sup>3</sup>

(1. 农田生态保育与污染防治安徽省重点实验室, 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036;

2. 界首市农技推广中心, 界首 230065; 3. 安徽省环境检测中心, 合肥 230071)

**摘要:** 2016—2017年通过田间试验对比研究夏玉米季不同耕作模式下秸秆还田对潮土肥力特征的影响。试验设置: 免耕 (NT)、免耕 (NT) + 秸秆还田 (S)、翻耕 (T) 和翻耕 (T) + 秸秆还田 (S) 4 个处理。结果表明, 免耕、翻耕模式下, 秸秆还田均显著增加了土壤碱解氮 (+6.10 mg·kg<sup>-1</sup>、+10.66 mg·kg<sup>-1</sup>)、有效磷 (+2.76 mg·kg<sup>-1</sup>、+6.53 mg·kg<sup>-1</sup>)、速效钾 (+38.94 mg·kg<sup>-1</sup>、+47.7 mg·kg<sup>-1</sup>)、有机质 (+1.85 g·kg<sup>-1</sup>、+0.80 g·kg<sup>-1</sup>) 含量, 及土壤孔隙度 (+2.81%、+1.77%), 降低了土壤容重 (-5%、-3%), 促进水稳定性大团聚体 (>0.25 mm) 的形成。免耕、翻耕模式下的秸秆还田均有利于土壤肥力的提高, 尤其在免耕模式下土壤容重、孔隙度、团聚体和有机质含量状况得到明显改善。翻耕对大团聚体有破碎作用, 不利于有机质累积。

**关键词:** 免耕; 翻耕; 秸秆还田; 潮土

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)04-0664-06

### Effects of straw residue on the fertilities of fluvo-aquic soil in different farming modes

HUANG Jieying<sup>1</sup>, RUAN Renjie<sup>1</sup>, WANG Qingyun<sup>1</sup>, GAO Hongjian<sup>1</sup>, ZHOU Lin<sup>2</sup>,  
WANG Hui<sup>2</sup>, YU Zhengguo<sup>1</sup>, LI Zonghao<sup>1</sup>, YAN Jing<sup>1</sup>, WU Zhenwei<sup>3</sup>, SHAN Ping<sup>3</sup>

(1. Anhui Province Key Lab of Farmland Ecological Conservation and Pollution Prevention, School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Agricultural Technology Promotion Center of Jieshou, Jieshou 230065; 3. Anhui Environmental Monitoring Centre, Hefei 230071)

**Abstract:** To study the effect of straw returning on soil fertility in summer maize, a field experiment was conducted from 2016 to 2017. Experimental settings: no-tillage (NT), tillage (T), no-tillage (NT) + straw incorporation (S) and tillage (T) + straw returning (S), four treatments in total. The results showed that, under both modes, straw incorporation not only significantly increased the amount of available nitrogen (+6.10 mg·kg<sup>-1</sup>, +10.66 mg·kg<sup>-1</sup>), available phosphorus (+2.76 mg·kg<sup>-1</sup>, +6.53 mg·kg<sup>-1</sup>), available potassium (+38.94 mg·kg<sup>-1</sup>, +47.7 mg·kg<sup>-1</sup>), porosity (+2.81%, +1.77%) and organic matter (+1.85 g·kg<sup>-1</sup>, +0.80 g·kg<sup>-1</sup>) in the soil, but also effectively reduced the soil bulk density (-5%, -3%). Meanwhile, the formation of water-stable aggregates was promoted as well. Straw incorporation enhanced soil fertility under both modes, especially for the mode of no-tillage, soil bulk density, porosity, water-stable aggregates and organic matter contents were obviously improved in this mode, whereas tillage would crush the aggregates, which is unfavorable to the accumulation of organic matters.

**Key words:** no-tillage; tillage; straw residue on soil; fluvo-aquic soil

秸秆还田可有效提高土壤养分含量, 改善土壤理化性状, 实现农业废弃物的资源化利用<sup>[1]</sup>。相关研

究表明, 在不同耕作模式下, 秸秆还田对农田土壤理化性质有着明显不同的影响<sup>[2]</sup>。翻耕措施有利于还

收稿日期: 2018-01-31

基金项目: 安徽省自然科学基金项目 (1708085MD89), 安徽省省级环保科研项目 (2016-13), 国家级大学生创新创业项目 (201710364082), 安徽农业大学校级大学生创新创业项目 (XJ2016413) 和国家自然科学基金项目 (41701575) 共同资助。

共同第一作者简介: 黄界颖, 博士, 副教授。E-mail: hjy@ahau.edu.cn; 阮仁杰, 本科生。E-mail: ruanrenjwxy@163.com

\*通信作者: 伍震威, 工程师。E-mail: 19629795@qq.com。

田秸秆的矿化, 提高耕层土壤速效养分含量, 但同样有可能造成土壤养分的淋溶, 对当地生态环境产生不利影响<sup>[3-4]</sup>; 与传统翻耕相比, 秸秆覆盖下的免耕处理降低了土壤有机质碳的矿化速率, 在一定程度上延缓秸秆中有效养分的释放, 并通过抑制养分的淋溶等机制提高其在表层土壤中的含量<sup>[5-6]</sup>。

淮河流域水、热生产潜能较大, 土壤类型以潮土为主, 通常采用冬小麦-夏玉米的种植模式, 是我国重要的粮食产区。该区域秸秆还田推广面积较大, 且主要与传统的翻耕处理相结合在一起。当前生产表明, 常规翻耕处理下的秸秆还田有利于土壤理化性质的改善, 可有效提高土壤的中速效养分含量, 实现作物增产, 但由于夏玉米季降雨较为集中, 作物易于发生大面积倒伏<sup>[7-8]</sup>, 在强降雨下同样有可能提高养分在潮土中的迁移能力, 对当地生态环境产生较大影响<sup>[9-10]</sup>。基于上述生产现状, 本研究依托田间试验, 探讨不同耕作模式(翻耕、免耕)下秸秆还田对夏玉米季农田土壤理化性质及肥力特征的

影响, 以期当地合理耕作制度的建立及生态环境变化的评价评估提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

田间试验设置于安徽省界首市国家级农作物品种审定区域试验站(33°0'N, 115°32'E)。该区域属温带半湿润季风气候, 土壤类型为黄泛冲积物发育形成的黄潮土, 地下水埋深 2.5 m。常规耕作以小麦-玉米轮作体系为主。

### 1.2 试验设计

田间试验设 4 个处理(表 2), 试验重复 3 次, 随机分布。单个小区面积 40 m<sup>2</sup>。2016 年 6 月, 小麦收获后秸秆采用全量翻压还田或全量覆盖还田, 供试玉米品种为奥玉 3765。试验前供试土壤总空隙度 48.13%, >0.25 mm 粒径水稳定性团聚体含量 54.28%。试验前土壤经过 2 年匀地整地处理, 基本理化性质如表 1 所示。

表 1 试验前土壤的基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of soil before test

容重/g·cm <sup>-3</sup>	pH	有机质/g·kg <sup>-1</sup>	全氮/g·kg <sup>-1</sup>	碱解氮/mg·kg <sup>-1</sup>	有效磷/mg·kg <sup>-1</sup>	速效钾/mg·kg <sup>-1</sup>
1.39	7.78	15.36	1.04	63.62	16.67	210.73

表 2 试验设置与养分管理

Table 2 Test setup and nutrient management

处理 Treatment	秸秆用量/kg·hm <sup>-2</sup> Dosage of straw	化肥用量/kg·hm <sup>-2</sup> Fertilizer application rate
免耕无秸秆还田 no-tillage, NT	—	300(N)-90 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-90 (K <sub>2</sub> O)
免耕秸秆全量还田 No-tillage and straw incorporation, NT+S	9 000	300 (N)-90 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-90 (K <sub>2</sub> O)
翻耕无秸秆还田 Tillage, T	—	300(N)-90 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-90 (K <sub>2</sub> O)
翻耕秸秆全量还田 Tillage and straw incorporation, T+S	9 000	300 (N)-90 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-90 (K <sub>2</sub> O)

注: NT、T 和 S 分别表示免耕、翻耕、秸秆还田。下同。

Note: NT, T and S denote no-tillage, tillage and straw incorporation, respectively. The same below.

66%的氮肥为基肥, 34%为追肥; 磷肥、钾肥作基肥一次性施用。秸秆机械粉碎还田技术后实施免耕和翻耕处理。土壤翻耕深度为 20 cm。其他田间管理同于当地大田管理。

### 1.3 样品采集与测定

分别于玉米播种期(6月15日)、灌浆期(8月18日)和收获期(10月6日)分层(0~20、20~40和40~60 cm)采集土壤样品。样品带回实验室常温风干, 按照常规方法测定土壤物理(容重、总孔隙度、毛管孔隙度、含水量、团聚体)和化学(pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾)性质<sup>[11]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 进行统计分析,

Duncan's 新复极差法进行多重比较, Pearson 法进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作模式下的秸秆还田对土壤速效养分的影响

如表 3 所示, 各处理耕层土壤的碱解氮、有效磷、速效钾含量范围分别为: 75.42~95.17 mg·kg<sup>-1</sup>、11.80~20.37 mg·kg<sup>-1</sup> 和 255.15~318.34 mg·kg<sup>-1</sup>, 较本底值略有增加。

各生育期不同耕作模式下, 秸秆还田显著增加土壤速效养分含量。免耕模式下, 灌浆期增量达碱解氮 6.10 mg·kg<sup>-1</sup>、有效磷 2.76 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 38.94

mg·kg<sup>-1</sup>；收获期碱解氮和有效磷增量有所下降，分别为3.69和1.72 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾增加39.26 mg·kg<sup>-1</sup>。翻耕模式下，灌浆期增量为碱解氮10.66 mg·kg<sup>-1</sup>、有效磷6.53 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾47.7 mg·kg<sup>-1</sup>，收获期增加量与灌浆期相似，为碱解氮10.99 mg·kg<sup>-1</sup>、有效磷5.31 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾49.82 mg·kg<sup>-1</sup>。上述结果说明翻耕模式下秸秆还田对土壤速效养分的增加明显高于免耕模式。

## 2.2 不同耕作模式下的秸秆还田对土壤容重和孔隙度的影响

土壤容重变化范围为1.29~1.44 g·cm<sup>-3</sup> (表4)。秸秆还田显著降低了土壤容重，尤其在免耕模式下

效果更为明显。免耕模式下，不同生育期土壤容重分别降低了0.08 g·cm<sup>-3</sup> (灌浆期)、0.06 g·cm<sup>-3</sup> (收获期)，降幅达5%以上。

不同耕作模式下的秸秆还田增加了土壤孔隙度 (表4)。各生育期土壤孔隙度状况基本一致，免耕模式下的秸秆还田更有利于提高土壤总孔隙度和毛管孔隙度。在收获期，不同耕作模式下，秸秆还田使毛管孔隙度增加了2.00% (NT)、0.08% (T)；通气孔隙度增加了0.01% (NT)、1.15% (T)；总孔隙度增加了2.02% (NT)、1.23% (T)。上述结果表明在免耕模式下，秸秆还田降低土壤容重、提高土壤孔隙度的效果明显。

表3 各生育期不同处理耕层0~20 cm土壤速效养分含量

Table 3 The available nutrient content in 0-20 cm soil in different growth periods

时期 Period	处理 Treatment	碱解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K
灌浆期 Filling stage	NT	75.42±0.40 <sup>c</sup>	12.30±0.71 <sup>c</sup>	267.46±2.00 <sup>c</sup>
	NT+S	81.52±1.80 <sup>b</sup>	15.06±1.07 <sup>b</sup>	306.40±3.26 <sup>b</sup>
	T	80.69±3.71 <sup>b</sup>	13.84±0.82 <sup>bc</sup>	270.60±1.26 <sup>c</sup>
	T+S	91.35±1.40 <sup>a</sup>	20.37±1.41 <sup>a</sup>	318.34±3.51 <sup>a</sup>
收获期 Harvest time	NT	83.76±0.22 <sup>c</sup>	11.80±0.59 <sup>b</sup>	255.15±3.00 <sup>d</sup>
	NT+S	87.45±1.75 <sup>b</sup>	13.52±0.91 <sup>b</sup>	294.41±2.00 <sup>b</sup>
	T	84.18±2.71 <sup>bc</sup>	12.31±1.36 <sup>b</sup>	266.83±0.50 <sup>c</sup>
	T+S	95.17±0.27 <sup>a</sup>	17.62±1.94 <sup>a</sup>	316.65±0.50 <sup>a</sup>

注：不同小写字母表示同一季别不同处理之间差异达到5%显著水平。下同。

Note: different alphabet refer to the different significance at 0.05, respectively. The same below.

表4 各生育期不同处理对0~20 cm土壤容重和孔隙度的影响

Table 4 The effects of different treatments on soil bulk density and porosity in 0-20 cm soil in different growth periods

时期 Period	处理 Treatment	容重/g·cm <sup>-3</sup> Bulk density	毛管孔隙度/% Capillary porosity	通气孔隙度/% Aeration porosity	总孔隙度/% Total porosity
灌浆期 Filling stage	NT	1.44±0.013 <sup>a</sup>	41.50±1.28 <sup>c</sup>	5.72±0.60 <sup>b</sup>	47.23±0.39 <sup>c</sup>
	NT+S	1.36±0.004 <sup>b</sup>	43.56±0.55 <sup>b</sup>	6.50±0.41 <sup>a</sup>	50.60±0.67 <sup>b</sup>
	T	1.35±0.011 <sup>b</sup>	44.09±0.92 <sup>b</sup>	6.14±0.42 <sup>ab</sup>	50.24±0.59 <sup>b</sup>
	T+S	1.29±0.006 <sup>c</sup>	46.14±0.12 <sup>a</sup>	6.40±0.62 <sup>a</sup>	52.55±0.50 <sup>a</sup>
收获期 Harvest time	NT	1.44±0.012 <sup>a</sup>	41.59±1.17 <sup>c</sup>	5.63±0.25 <sup>c</sup>	47.22±0.50 <sup>d</sup>
	NT+S	1.38±0.007 <sup>b</sup>	43.59±1.34 <sup>b</sup>	5.64±0.67 <sup>bc</sup>	49.24±0.68 <sup>c</sup>
	T	1.33±0.010 <sup>c</sup>	45.23±1.09 <sup>a</sup>	5.80±0.58 <sup>b</sup>	51.03±0.44 <sup>b</sup>
	T+S	1.30±0.007 <sup>d</sup>	45.31±0.88 <sup>a</sup>	6.95±0.59 <sup>a</sup>	52.26±0.36 <sup>a</sup>

## 2.3 不同耕作模式下的秸秆还田对土壤团聚体组成的影响

土壤团聚体是土壤的基本结构单位，通常将粒径>0.25 mm的结构单位称为大团聚体，其对土壤养分含量有直接影响<sup>[12]</sup>。水稳定性团聚体，由湿筛法测定，>0.25 mm粒径水稳定性团聚体 (WR0.25) 对保持土壤结构稳定性有重要作用<sup>[13-14]</sup>。如图1所示，收获期各处理>0.25 mm水稳定性团聚体含量为52.69%~69.47%。<0.25 mm的水稳定性团聚

体含量最高，>5.00 mm和0.25~1.00 mm粒径团聚体含量次之，1.00~2.00 mm和2.00~5.00 mm粒径团聚体含量相对较少。

不同耕作与秸秆还田模式下，秸秆还田增加了>5.00 mm、2.00~5.00 mm、1.00~2.00 mm和0.25~1.00 mm粒径团聚体含量。免耕模式下各粒径分别增加6.49%、6.63%、0.10%和1.69%；翻耕模式下分别增加3.90%、3.56%、1.13%和2.38%。秸秆还田同时降低了<0.25 mm小粒径团聚体含量，免耕和

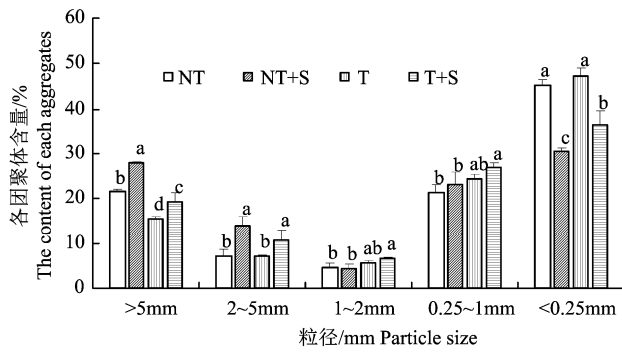


图 1 收获期不同处理土壤水稳定团聚体组成

Figure 1 The different composition of soil water stabilization aggregate in different growth periods

翻耕模式下分别降低了 14.65%和 10.96%。表明秸秆还田通过降低<0.25 mm 小粒径团聚体含量, 促进土壤大粒径团聚体的形成。免耕模式下更利于这

一过程发生, 尤其有利于>5.00 mm、2.00~5.00 mm 粒径团聚体的形成, 而 1.00~2.00 mm、0.25~1.00 mm 粒径团聚体的形成则是翻耕模式下的秸秆还田占优势。

## 2.4 不同耕作模式下的秸秆还田对土壤有机质及全氮含量的影响

不同耕作模式下的秸秆还田对土壤有机质及全氮含量产生显著影响(表 5)。0~20 cm 土壤有机质含量, 秸秆还田显著高出无秸秆还田。免耕模式下高出了 1.85 g·kg<sup>-1</sup>(灌浆期)、1.55 g·kg<sup>-1</sup>(收获期); 翻耕模式下高出了 0.80 g·kg<sup>-1</sup>(灌浆期)、0.77 g·kg<sup>-1</sup>(收获期)。免耕模式下增量更大。因此, 免耕模式下的秸秆还田更有利于有机质在耕层(0~20 cm)土壤中的累积。

表 5 各生育期不同处理及层次土壤有机质和全氮含量

Table 5 The soil organic matter and total nitrogen contents in different growth periods and soil depths

时期 Period	处理 Treatment	有机质 Organic			全氮 Total nitrogen		
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
灌浆期 Filling stage	NT	16.24±0.67 <sup>b</sup>	9.93±1.46 <sup>bc</sup>	9.20±1.36 <sup>a</sup>	1.07±0.01 <sup>b</sup>	0.66±0.01 <sup>ab</sup>	0.61±0.01 <sup>a</sup>
	NT+S	18.09±0.51 <sup>a</sup>	9.40±0.46 <sup>c</sup>	8.55±0.22 <sup>a</sup>	1.13±0.01 <sup>a</sup>	0.60±0.01 <sup>b</sup>	0.58±0.03 <sup>a</sup>
	T	15.80±0.61 <sup>c</sup>	10.34±0.65 <sup>a</sup>	9.46±0.52 <sup>a</sup>	1.02±0.01 <sup>c</sup>	0.67±0.01 <sup>ab</sup>	0.64±0.01 <sup>a</sup>
	T+S	16.60±0.49 <sup>b</sup>	10.67±0.30 <sup>a</sup>	9.60±0.59 <sup>a</sup>	1.08±0.01 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>a</sup>	0.64±0.01 <sup>a</sup>
收获期 Harvest time	NT	16.89±0.78 <sup>b</sup>	8.25±0.09 <sup>b</sup>	8.46±1.47 <sup>a</sup>	1.08±0.01 <sup>b</sup>	0.63±0.01 <sup>bc</sup>	0.64±0.02 <sup>a</sup>
	NT+S	18.44±0.43 <sup>a</sup>	8.53±0.39 <sup>b</sup>	8.09±0.45 <sup>a</sup>	1.11±0.02 <sup>a</sup>	0.62±0.02 <sup>c</sup>	0.58±0.01 <sup>a</sup>
	T	15.46±0.30 <sup>c</sup>	8.78±0.44 <sup>b</sup>	8.71±0.85 <sup>a</sup>	1.04±0.01 <sup>c</sup>	0.64±0.01 <sup>bc</sup>	0.61±0.02 <sup>a</sup>
	T+S	16.23±0.33 <sup>b</sup>	10.40±0.84 <sup>a</sup>	8.96±0.68 <sup>a</sup>	1.09±0.01 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>a</sup>	0.59±0.01 <sup>a</sup>

表 6 土壤物理性质与土壤养分含量的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of soil physical properties and soil nutrient content

指标 Index	容重 Bulk density	毛管孔隙度 Capillary porosity	WR0.25	有机质 Organic	全氮 Total N	碱解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K
容重 Bulk density	1							
毛管孔隙度 Capillary porosity	-0.91 <sup>**</sup>	1						
WR0.25	-0.17	0.53	1					
有机质 Organic	0.19	0.10	0.71 <sup>*</sup>	1				
全氮 Total N	0.19	0.12	0.52	0.88 <sup>**</sup>	1			
碱解氮 Available N	-0.65 <sup>**</sup>	0.75 <sup>**</sup>	0.31	0.01	0.23	1		
有效磷 Available P	-0.70 <sup>**</sup>	0.70 <sup>**</sup>	0.49	0.08	0.04	0.53 <sup>*</sup>	1	
速效钾 Available K	-0.66 <sup>**</sup>	0.84 <sup>**</sup>	0.68	0.35	0.41	0.78 <sup>**</sup>	0.73 <sup>**</sup>	1

注: “\*\*”, “\*”分别表示极显著相关和显著相关。

Note: “\*\*” and “\*” refer to the different significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

不同生育时期各处理土壤有机质含量都表现为随着土层深度的增加而递减的规律。0~20 cm 土壤有机质含量高于 20~40 cm 土壤, 在灌浆期高出了

6.31 g·kg<sup>-1</sup>(NT)、8.69 g·kg<sup>-1</sup>(NT+S)、5.46 g·kg<sup>-1</sup>(T)、5.93 g·kg<sup>-1</sup>(T+S), 收获期分别高出 8.64、9.91、6.68 和 5.83 g·kg<sup>-1</sup>。其中, 随着深度的增加,

免耕模式下的秸秆还田有机质含量降低幅度高于翻耕模式下的秸秆还田。这表明免耕模式下的秸秆还田有利于有机质在 0~20 cm 层土壤中累积。

### 3 讨论与结论

从以上分析可以看出, 秸秆还田改善了土壤理化性状, 提高了土壤肥力, 这与前人研究结果相同<sup>[9]</sup>。进一步分析可发现不同耕作模式下秸秆还田对土壤肥力产生不同影响。

翻耕翻动土壤, 秸秆相应被翻入土壤, 导致土壤容重显著降低、孔隙度增大及大粒级团聚体向小粒级团聚体转化, 土壤水、气条件相应改变。免耕则不扰动土壤, 秸秆直接覆盖土表, 使土壤容重、孔隙度和团聚体组成维持播种前的状况, 土壤水、气条件也与播种前类似。充足的水、气条件有利于秸秆的腐解, 也加快了有机质的矿化损失速率<sup>[10]</sup>, 不利于有机质的表层积累。免耕模式下的秸秆还田, 覆盖在土表的秸秆腐解产生的有机物质缓慢地进入土壤, 由于不扰动土壤, 有机质矿化损失速率没有明显加快<sup>[2]</sup>。故免耕模式下的秸秆还田土壤有机质的累积状况好于翻耕模式下的秸秆还田。

有机质对土壤团聚体有胶结作用<sup>[15]</sup>, 使土壤小粒径团聚体结合在一起, 促进大粒径团聚体的含量增加。WR0.25 团聚体含量与土壤有机质含量呈正显著相关关系(表 6)。免耕模式下的秸秆还田, WR0.25 尤其是 >5.00 mm、2.00~5.00 mm 粒径团聚体的增量高于翻耕模式下的秸秆还田, 这可能与免耕模式下秸秆还田的有机质含量较高有关。随着有机质在耕层土壤中的累积, 免耕模式下的秸秆还田更有利于大粒径团聚体的形成, 进而更有利于增加土壤孔隙度、降低土壤容重, 改善了土壤物理特征。免耕模式下的秸秆还田土壤容重的降幅和土壤孔隙度的增幅高于翻耕。本研究同样发现, 土壤碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量与容重以及毛管孔隙度呈极显著相关性(表 6), 变化规律基本一致。因此, 土壤速效养分的变化与土壤性质的转变密切相关。在翻耕模式下, 还田秸秆矿化速率较快, 加速了无机养分的释放, 是土壤养分含量高于其余处理的主要原因。此外, 翻耕与免耕相比, 生成较多的微团聚体, 通过吸附作用, 亦促进了秸秆矿化养分在耕层土壤中的累积<sup>[16]</sup>。

综上所述, 不同耕作模式下秸秆还田对土壤肥力产生明显影响的原因主要有如下两点。(1) 秸秆的分布位置不同。不同耕作模式决定了秸秆在土壤中的位置: 免耕模式直接覆盖土表的秸秆分解形成

的有机物质缓慢进入土壤且不易随水淋失; 翻耕模式翻入土壤的秸秆快速腐解, 形成的有机物质易随水淋失<sup>[17]</sup>。(2) 秸秆的腐解条件不同。不同耕作模式下土壤容重、孔隙度及团聚体组成状况不同, 土壤水、气条件不同, 影响秸秆在土壤中的腐解转化速率及土壤保水保肥能力。

皖北潮土地区, 土壤质地多为砂壤土, 夏玉米季降雨集中, 土壤养分淋失已经成为该地区土壤肥力下降的主要原因。本研究表明翻耕模式下的秸秆还田, 表层土壤碱解氮含量较高而全氮含量较低。长期坚持翻耕下的秸秆还田虽然有利于作物对氮的提取, 但同样有可能加速氮的淋溶<sup>[18]</sup>, 对区域环境质量产生不利影响。鉴于该区域以夏玉米的种植为主, 在强降雨的情况下易于发生倒伏现象, 而这一实际生产问题, 在翻耕模式下有明显加重的趋势<sup>[3]</sup>。此外, 土壤有机质库又称为土壤碳库, 约占全球碳库的四分之一。翻耕模式下的秸秆还田有机质的矿化分解较快, 加速了碳排放, 对全球气候变暖有潜在性影响<sup>[19]</sup>。因此, 免耕模式下的秸秆还田符合生产实际, 有利于土壤肥力的提高, 且利于环境的保护。

免耕、翻耕模式下的秸秆还田均有利于土壤肥力的提高, 尤其在免耕模式下土壤容重、孔隙度、团聚体和有机质含量状况得到明显改善。翻耕对大团聚体有破碎作用, 不利于有机质累积。

免耕秸秆还田在提高土壤肥力的同时, 降低了其在环境中的迁移能力, 是实现尽可能大的经济效益与生态效应的秸秆还田方式。

### 参考文献:

- [1] LI Y Y, YANG R, GAO R, et al. Effects of long-term phosphorus fertilization and straw incorporation on phosphorus fractions in subtropical paddy soil[J]. *J Integr Agr*, 2015, 14(2): 365-373.
- [2] WRIGHT A L, DOU F G, HONS F M. Soil organic C and N distribution for wheat cropping systems after 20 years of conservation tillage in central Texas[J]. *Agr, Ecosys Environ*, 2007, 121(4): 376-382.
- [3] 邓智慧. 秸秆还田与耕作方式对土壤性状及玉米产量的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [4] ZHAO X M, HE L, ZHANG Z D, et al. Simulation of accumulation and mineralization (CO<sub>2</sub> release) of organic carbon in chernozem under different straw return ways after corn harvesting[J]. *Soil Till Res*, 2016, 156: 148-154.
- [5] LÓPEZ-GARRIDO R, MADEJÓN E, MURILLO J M, et al. Short and long - term distribution with depth of soil organic carbon and nutrients under traditional and conservation tillage in a Mediterranean environment (south-

- west Spain)[J]. *Soil Use Manage*, 2011, 27(2): 177-185.
- [6] ZHANG P, CHEN X L, WEI T, et al. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China[J]. *Soil Till Res*, 2016, 160: 65-72.
- [7] 陈文超, 徐生, 朱安宁, 等. 保护性耕作对潮土碳、氮含量的影响[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(9): 224-230.
- [8] YU C R, WANG X J, HU B, et al. Effects of wheat straw incorporation in cotton-wheat double cropping system on nutrient status and growth in cotton[J]. *Field Crop Res*, 2016, 197: 39-51.
- [9] 王晓波, 车威, 纪荣婷, 等. 秸秆还田和保护性耕作对砂姜黑土有机质和氮素养分的影响[J]. *土壤*, 2015, 47(3): 483-489.
- [10] SHU R, DANG F, ZHONG H. Effects of incorporating differently-treated rice straw on phytoavailability of methylmercury in soil[J]. *Chemosphere*, 2016, 145: 457-463.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010, 12: 15-113.
- [12] SU Z Y, ZHANG J S, WU W L, et al. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China[J]. *Agr Water Manage*, 2007, 87(3): 307-314.
- [13] 周虎, 吕贻忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [14] 黄界颖, 何方, 胡宏祥, 等. 皖南山区生态型沟渠对土壤理化性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(3): 156-159.
- [15] 陈方鑫, 卢少勇, 冯传平. 农业秸秆复合 PAM 对湖滨带土壤改良效果的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(4): 711-718.
- [16] 张耀方, 赵世伟, 王子龙, 等. 黄土高原土壤团聚体胶结物质的分布及作用综述[J]. *中国水土保持科学*, 2015, 13(5): 145-150.
- [17] 张先凤, 朱安宁, 张佳宝, 等. 耕作管理对潮土团聚体形成及有机碳累积的长期效应[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(23): 4639-4648.
- [18] 李树山, 杨俊诚, 姜慧敏, 等. 有机无机肥氮素对冬小麦季潮土氮库的影响及残留形态分布[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(6): 1185-1193.
- [19] 王苑, 宋新山, 王君, 等. 干湿交替对土壤碳库和有机碳矿化的影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(2): 342-350.