

## 耕作方式与秸秆还田对潮土养分剖面分布的影响

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

(1. 安徽省环境监测中心站, 安徽合肥 230071; 2. 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, 安徽合肥 230036;

3. 界首市农技推广中心, 安徽界首 230065)

**摘要** 为明确淮北平原潮土区麦玉米轮作制度下机播玉米生产适宜的耕作与秸秆还田方式, 于2016—2017年通过田间试验设置免耕(NT)、免耕秸秆还田(NT+S)、翻耕(T)和翻耕秸秆还田(T+S)4个处理, 研究耕作方式及秸秆还田对土壤养分剖面分布的影响。结果表明: 免耕、翻耕秸秆还田处理均显著降低了表层土壤容重(-6.25%、-3.68%), 提高了表层水稳定性大团聚体 WR0.25 含量(+14.65%、+10.96%), 且免耕秸秆还田处理较翻耕秸秆还田处理更好地提高了表层土壤有机质(+8.98%)、全氮(+4.63%)含量, 翻耕秸秆还田处理更有利于表层土壤碱解氮、土壤有效磷和土壤速效钾的增加; 但在剖面深层, 免耕、翻耕秸秆还田处理效应出现差异: 在20~60 cm 土层, 免耕秸秆还田处理促进 pH 增加, 而翻耕秸秆还田处理降低土壤 pH, 翻耕秸秆还田处理土壤有机质、全氮、全磷含量显著高于免耕秸秆还田处理, 而免耕秸秆还田处理则更有利于速效养分的增加; 免耕和翻耕模式下秸秆还田处理均提高了玉米产量(+15.58%和+2.71%)。可见, 在淮北平原潮土区, 免耕模式下的秸秆还田有利于提高剖面土壤肥力质量和玉米产量。

**关键词** 耕作方式; 秸秆还田; 养分; 剖面分布; 潮土

中图分类号 S158 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)15-0048-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.15.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Tillage System and Straw Returning on Distribution of Nutrient in Fluvo-aquic Soil Profiles

WU Zhen-wei<sup>1</sup>, RUAN Ren-jie<sup>2</sup>, HUANG Jie-ying<sup>2</sup> et al (1. Anhui Environmental Monitoring Centre, Hefei, Anhui 230071; 2. Anhui Province Key Lab of Farmland Ecological Conservation and Pollution Prevention, School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036)

**Abstract** In order to determine the suitable tillage system and straw returning methods for the planting of maize under the wheat-maize rotation system in fluvo-aquic soil of the Huaibei Plain, the experiment set four treatments in 2016 and 2017: no-tillage (NT), no-tillage with straw returning (NT+S), tillage (T), tillage with straw returning (T+S). The results showed that the NT+S and T+S treatments significantly reduced the soil bulk density (-6.25%, -3.68%) and increased the water stability of the large agglomerate WR0.25 content (+14.65%, +10.6%) in 0~20cm depth, treatment NT+S was 8.98% and 4.63% higher than treatment T+S in the surface soil organic matter and total nitrogen content, treatment T+S increased the topsoil Alkaline nitrogen, soil available phosphorus and soil available potassium; however, in 20~60 cm soil layer, treatment NT+S increased soil pH while treatment T+S reduced the soil pH value, the soil organic matter, total nitrogen content and total phosphorus content of treatment T+S were significantly higher than treatment NT+S, while treatment NT+S increased the available nutrients as compared with; the straw returning treatment under no-till and tillage mode increased corn yield (+15.58% and +2.71%). Obviously, in Fluvo-aquic soil of the Huaibei Plain, the straw returning under the NT mode is better than T+S in building up the soil fertility quality and improving maize yield.

**Key words** Tillage system; Straw returning; Nutrient; Profile distribution; Fluvo-aquic soil

优良的耕作方式可改善土壤物理性质, 提高土壤肥力, 改善农田生态环境<sup>[1-2]</sup>。秸秆还田亦可有效提高土壤养分含量, 改善土壤理化性状, 是土壤培肥的重要途径<sup>[3-8]</sup>。但不同耕作模式下, 秸秆还田对农田土壤理化性质有着明显不同的影响<sup>[1]</sup>。翻耕措施有利于还田秸秆的矿化, 提高耕层土壤速效养分含量<sup>[4,7-8]</sup>, 不同翻耕深度秸秆还田对养分含量的影响亦不同<sup>[9]</sup>; 免耕处理降低了土壤有机质碳的矿化速率, 提高了其在表层土壤中的含量<sup>[10-11]</sup>; 旋耕秸秆还田条件下, 双季稻区土壤有机碳、全氮、速效钾和有效磷均呈增加的趋势<sup>[12]</sup>; 秸秆还田结合深松则降低表层碱解氮含量、速效钾含量, 增加土壤容重、表层有机质和速效磷含量<sup>[13]</sup>。

淮河流域水、热生产潜能较大, 土壤类型以潮土为主, 是我国重要的冬小麦-夏玉米产区, 随着农业生产高度集约化发展, 玉米机械直播技术、联合机械收获、秸秆粉碎还田得到

大力推广, 加之近年来劳动力短缺, 该区域农民种植玉米时较少采用传统的翻耕, 免耕和秸秆还田被越来越多地应用。因此, 探究免耕和秸秆还田对玉米产量及土壤理化特征的影响对该区域玉米生产具有重要意义。虽然耕作方式结合秸秆还田对农田土壤和作物产量的研究较多<sup>[3-13]</sup>, 但主要关注耕层土壤性质变化, 而土壤的持续生产性、作物的生长发育与产量不仅与耕层性质有关, 更与土壤心土层、底土层性质相关。

因此, 笔者在淮北平原典型潮土区开展2年定点试验, 研究免耕、翻耕处理秸秆还田与不还田对剖面土壤养分分布及玉米产量的影响, 为选择该地区秸秆还田与耕作方式组合提供科学依据。

### 1 材料与方法

**1.1 试验区概况** 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, 2017年6月21—10月10日玉米生长期积温 2 813.7 °C、日照 658.8 h、降雨 756.8 mm、降雨日 41 d, 均高于往年平均水平。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

**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)。

**作者简介** 伍震威(1980—), 男, 安徽桐城人, 工程师, 硕士, 从事环境监测、环境保护研究。\*通信作者, 教授级高级工程师, 硕士, 从事环境监测、环境保护研究。

**收稿日期** 2019-01-07

作体系为主。

**1.2 试验设计** 田间试验于 2016 年开始,设 4 个处理(表 1),每处理 3 次重复,共 12 个小区,小区面积 32 m<sup>2</sup>。2017 年 6 月,小麦收获后秸秆采用全量翻压还田(土壤翻耕深度为 25 cm)、全量覆盖还田,供试玉米品种为奥玉 3765。试验前土壤经匀地整地处理,供试土壤容重为 1.39 g/cm<sup>3</sup>、土壤 pH 为 7.78,总孔隙度为 48.13%、>0.25 mm 粒径水稳定性团聚体含量为 54.28%、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为 15.36 g/kg、63.62 mg/kg、16.67 mg/kg 和 210.73 mg/kg。施肥时 66% 的氮肥为基肥,34% 为追肥;磷肥、钾肥作基肥一次性施用。其他田间管理与当地大田管理方式相同。

表 1 试验设置与养分管理

Table 1 Test setup and nutrient management

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

注:NT、T、S 分别表示免耕、翻耕、秸秆还田

Note:NT, T and S represent no-tillage, tillage and straw returning to the field

**1.3 样品采集与测定** 分别于玉米灌浆期分层(0~20、20~40 和 40~60 cm)采集土壤样品,全小区收获进行产量测算。

表 2 各处理表层土壤物理性质

Table 2 The physical properties of the surface soil in different treatments

处理 Treatment	容重 Bulk density g/cm <sup>3</sup>	含水量 Water content %	田间持水量 Field capacity %	WR0.25 %
NT	1.44±0.013 a	20.34±0.01 b	31.43±1.180 b	54.82±1.44 c
NT+S	1.35±0.011 b	20.04±0.02 b	30.92±0.745 b	69.47±0.63 a
T	1.36±0.004 b	17.33±0.02 c	34.14±1.215 a	52.69±1.82 c
T+S	1.31±0.006 c	20.70±0.03 a	33.53±0.300 a	63.65±3.41 b

注:不同小写字母表示不同处理之间差异达到 0.05 显著水平

Note:Different alphabet refer to the different significance at 0.05, respectively

**2.2 不同耕作方式与秸秆还田处理下 pH、有机质、全氮与全磷的剖面分布**

**2.2.1 各处理土壤 pH 的剖面分布。**各处理 pH 在 0~60 cm 的剖面分布均随土壤深度增加先降低后升高(图 1),其中 NT 与 T 处理在各层次内 pH 值相差无几,而 NT+S 和 T+S 处理在各层次内 pH 差异显著,尤其以 20~40 cm、40~60 cm 层次表现明显。不同耕作模式下秸秆还田处理与不还田处理相比 pH 变化趋势不一致,NT+S 处理 pH 高于 NT 处理(0~20 cm 层次+0.09、20~40 cm 层次+0.10、40~60 cm 层次+0.15),而 T+S 处理 pH 低于 T 处理(0~20 cm 层次-0.03、20~40 cm 层次-0.11、40~60 cm 层次-0.01),这表明潮土 0~20 cm 土层的 pH 要高于 20~60 cm 土层,且秸秆还田处理显著影响了 pH 的剖面分布,免耕时秸秆还田引起 pH 增加、

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、田间持水量、含水量、团聚体)和化学(pH、有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾、硝态氮)性质<sup>[14]</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。

## 2 结果与分析

**2.1 不同耕作方式与秸秆还田处理下的表层土壤物理性质** 如表 2 所示,耕作方式与秸秆还田对潮土表层土壤容重、含水量、田间持水量、团聚体产生了不同影响,各处理下,表层土壤容重为 1.31~1.44 g/cm<sup>3</sup>、含水量为 17.33%~20.70%、田间持水量为 30.92%~34.14%、>0.25mm 粒径水稳定性团聚体(WR0.25)含量为 52.69%~69.47%。

翻耕和秸秆还田有利于表层土壤容重的降低,在无秸秆还田条件下 T 处理容重低于 NT 处理(-0.08 g/cm<sup>3</sup>),可见翻耕能显著降低表层土壤容重;而秸秆还田时,免耕模式对土壤容重的改善效果更加明显(T+S 处理较 T 处理-0.05 g/cm<sup>3</sup>、NT+S 处理较 NT 处理-0.09 g/cm<sup>3</sup>,差异显著 P<0.05)。各处理表层土壤含水量差异不大,但土壤田间持水量,T 处理显著高出了 NT 处理 2.71%、T+S 处理显著高出了 NT+S 处理 2.61%,相同耕作方式下,秸秆还田降低了田间持水量,但未达到显著水平。T 处理较 NT 处理降低了表层土壤 WR0.25 含量 3.89%,秸秆还田处理则提高了 WR0.25 含量(T+S 处理较 T 处理+10.96%、NT+S 处理较 NT 处理+14.65%)。这表明对于表层土壤物理性质,T+S 处理有利于疏松土壤、增加含水量,而 NT+S 处理促进土壤大粒径团聚体的形成,改土效应更佳。

翻耕时秸秆还田则导致 pH 降低,而单一的耕作方式处理对 pH 的剖面分布影响不大。

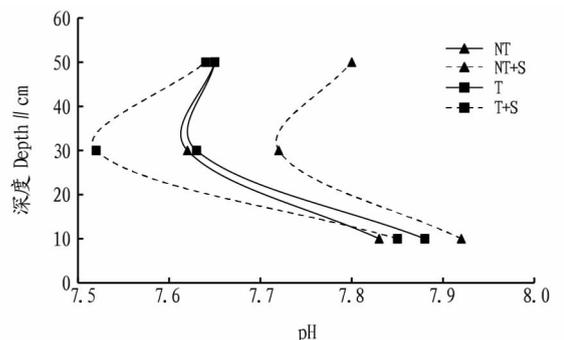


图 1 各处理土壤 pH 的剖面分布

Fig. 1 pH of different treatments in different soil depths

**2.2.2 各处理土壤有机质、全氮和全磷的剖面分布。**耕作方式与秸秆还田对剖面土壤有机质和全氮、全磷含量的影响如表3所示,有机质和全氮、全磷含量均随土层深度的增加而降低,在0~60 cm土层深度内,有机质含量为8.55~18.09 g/kg,全氮含量为0.58~1.13 g/kg,全磷含量为0.53~1.03 g/kg。

0~20 cm层土壤有机质含量为15.80~18.09 g/kg,其中,NT+S处理下有机质含量最高,NT+S处理比T+S处理有机质含量高8.98% ( $P<0.05$ );20~40 cm层土壤有机质含量为9.40~10.67 g/kg,其中,T+S处理有机质含量显著高于其他处理;40~60 cm土层有机质含量为8.55~9.60 g/kg,同样是T+S处理含量最高,但处理之间差异未达显著水平。全氮

在土壤剖面的空间分布趋势与有机质相似,全氮含量与有机质含量显著相关,在0~20 cm土层中,NT+S处理土壤全氮含量最高,达1.13 g/kg,较NT、T和T+S处理分别高5.61%、10.78%和4.63%;而在20~40 cm、40~60 cm土层中,T+S处理含量最高;40~60 cm土层中各处理全氮含量差异不显著。0~20 cm土壤全磷含量为0.85~1.03 g/kg,其中,NT处理下全磷含量最高;在20~40 cm土层中,翻耕模式下土壤全磷含量高于免耕模式,40~60 cm土层中,T+S处理全磷含量最高。

数据表明,有机质和全量态氮、磷养分的剖面分布随土壤深度的增加而降低,其中NT+S处理有利于全量态养分的表层(0~20 cm)积累,而T+S处理有利于全量态养分的底层(20~60 cm)积累。

表3 各处理不同深度土壤有机质和全氮、全磷含量

Table 3 The soil organic matter and total nitrogen and total phosphorus content of soil in different soil depths

g/kg

处理 Treatment	有机质 Soil organic matter			全氮 Total N			全磷 Total P		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
NT	16.24±0.67 b	9.93±1.46 bc	9.20±1.36 a	1.07±0.01 b	0.66±0.01ab	0.61±0.01 a	1.03±0.01 a	0.63±0.01ab	0.60±0.01 a
NT+S	18.09±0.51 a	9.40±0.46 c	8.55±0.22 a	1.13±0.01 a	0.60±0.01 a	0.58±0.01 a	0.85±0.03 a	0.58±0.01 b	0.54±0.03 b
T	15.80±0.61 c	10.34±0.65 a	9.46±0.52 a	1.02±0.01 c	0.67±0.01ab	0.64±0.01 a	0.86±0.01 b	0.67±0.01 a	0.53±0.01 b
T+S	16.60±0.49 b	10.67±0.30 a	9.60±0.59 a	1.08±0.01 b	0.70±0.01 a	0.64±0.01 a	0.86±0.01 b	0.61±0.01 ab	0.60±0.01 a

注:不同小写字母表示不同处理之间差异达到0.05显著水平

Note: Different alphabet refer to the different significance at 0.05, respectively

### 2.3 不同耕作方式与秸秆还田处理下速效态养分的剖面分布

**2.3.1 各处理土壤碱解氮的剖面分布。**耕作方式与秸秆还田处理对土壤碱解氮剖面分布的影响如图2所示,在0~60 cm土层内翻耕处理的碱解氮含量随着土壤深度增加先减少后增加,而免耕处理的碱解氮含量随着土壤深度增加先减少后在20~60 cm土层内趋于稳定。在0~20 cm土层中,翻耕处理的碱解氮含量显著高于免耕处理,秸秆还田处理碱解氮含量高于无秸秆还田处理,其中,T+S处理碱解氮含量最高达86.16 mg/kg;在20~40 cm土层中,免耕和秸秆还田更有利于该层土壤碱解氮含量的增加,其中,T处理碱解氮含量最低为34.70 mg/kg,而NT处理则为44.04 mg/kg,相比无秸秆还田处理,T+S和NT+S处理碱解氮含量分别增加了22.94%和4.00%;在40~60 cm土层,各处理碱解氮含量无显著差异。

**2.3.2 各处理土壤硝态氮的剖面分布。**硝态氮作为土壤中较易随水迁移的速效养分之一,其剖面分布也显著受不同耕作方式下秸秆还田处理的影响(图3)。如图3所示,土壤硝态氮的剖面分布特征为0~20 cm土层含量较低,20~60 cm土层含量较高。在各采样层次中,秸秆还田处理均比对照组硝态氮含量低,其中,NT+S处理硝态氮含量最低。无秸秆还田处理中,硝态氮含量随剖面深度加深均表现为先增加后减少趋势,且NT处理硝态氮含量高于T处理,秸秆还田处理中,硝态氮含量则表现为随剖面层次加深逐渐增加,但含量显著低于无秸秆还田处理。

**2.3.3 各处理土壤有效磷的剖面分布。**如图4所示,土壤有效磷含量剖面分布随着土壤深度的增加而减少,土壤有效

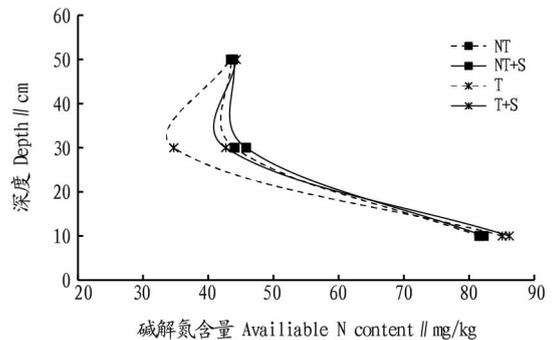


图2 各处理土壤碱解氮的剖面分布

Fig. 2 Available N content of different treatments in different soil depths

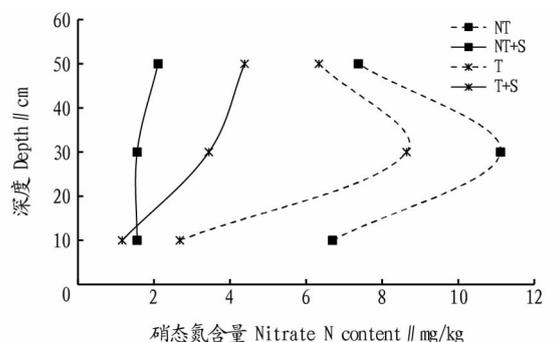


图3 各处理土壤硝态氮的剖面分布

Fig. 3 Nitrate N content of different treatments in different soil depths

磷含量为3.25~9.04 mg/kg。在0~20 cm土层,NT处理显著低于其他处理;在20~40 cm土层,免耕处理的土壤有效磷含量高于翻耕处理,与土壤碱解氮分布趋势相同;40~60 cm土

层中,同样是免耕处理的土壤有效磷含量较高。在剖面 0~20 cm 层和 20~40 cm 层,NT+S 处理土壤有效磷含量显著高于 NT 处理,而 T+S 处理土壤有效磷含量仅在 20~40 cm 层高于 T 处理。

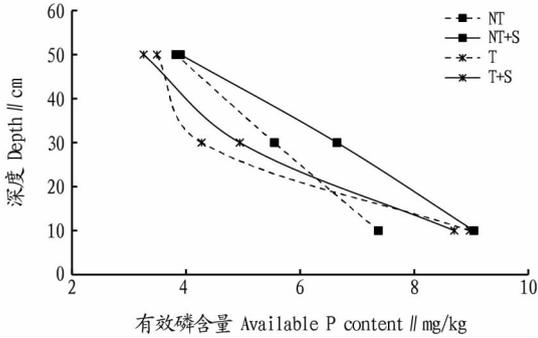


图 4 各处理土壤有效磷的剖面分布

Fig. 4 Available P content of different treatments in different soil depths

**2.3.4 各处理土壤速效钾的剖面分布。**不同耕作方式和秸秆还田处理下土壤速效钾的剖面分布见图 5,土壤速效钾含量为 160.00~237.00 mg/kg,表现为随土壤深度增加逐渐降低。在 0~20 cm 土层中,翻耕处理速效钾含量高于免耕处理,秸秆还田增加了土壤速效钾含量,其中 T+S 处理土壤速效钾含量最高达 237.00 mg/kg;20~40 cm 土层中,T+S、T、NT+S 处理土壤速效钾含量显著高于 NT 处理;40~60 cm 土层中,T 处理土壤速效钾含量最高。

由此可知,土壤速效养分的剖面分布除碱解氮含量呈现

随剖面深度增加先减少后增加或先减少后稳定趋势外,有效磷和速效钾含量均表现为随土壤深度增加而逐渐减少,其中,T+S 处理有利于 0~20 cm 层土壤速效养分的增加,而 NT+S 处理则更有利于 20~60 cm 土层速效养分的增加。

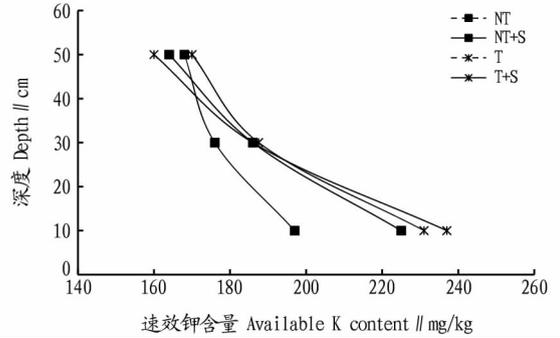


图 5 各处理土壤速效钾的剖面分布

Fig. 5 Available K content of different treatments in different soil depths

**2.4 不同耕作方式与秸秆还田处理下的作物产量** 不同耕作方式与秸秆还田处理对玉米穗长、秃尖长、穗粗、穗粒数、百粒重和产量的影响如表 5 所示,秸秆还田对玉米穗长、秃尖长、穗粗、穗粒数、百粒重和产量的影响达显著水平 ( $P < 0.05$ )。其中,T+S 处理与 T 处理相比,穗长增加了 0.4 cm,穗粗增加了 1.4 mm,穗粒数增加 8.61%、百粒重增加 3.42%、产量增加 2.71%,且显著高于其他处理,T 处理和 NT+S 处理下穗粒数、百粒重及产量无显著差异,而 NT 处理下则相对较低,这表明 T+S 处理有利于当季作物产量的增加。

表 5 各处理对玉米产量构成的影响

Table 5 Effects of different treatments on maize yield

处理 Treatment	穗长 Ear length cm	秃尖长 Barren tip length/cm	穗粗 Ear diameter mm	穗粒数 Grains per ear	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>
NT	18.9 c	0.4 a	47.9 bc	140 c	37.5 c	5 282 b
NT+S	19.3 b	0.3 ab	49.3 b	152 b	38.9 b	6 105 a
T	19.4 b	0.1 c	49.8 b	151 b	40.2 b	6 271 a
T+S	19.8 a	0.2 b	51.2 a	164 a	41.6 a	6 441 a

注:不同小写字母表示不同处理之间差异达到 0.05 显著水平

Note: Different alphabet refer to the different significance at 0.05, respectively

### 3 讨论

研究表明,不同耕作方式与秸秆还田影响了土壤养分的剖面分布,并最终影响了作物产量。剖面中,表层土壤是受耕作方式和秸秆还田直接影响的区域。在对表层土壤物理性质研究中发现,翻耕降低了 WR0.25 含量,秸秆还田处理则提高了 WR0.25 含量,翻耕秸秆还田时,秸秆随着耕作处理与土壤充分混合,改善土壤容重,增加土壤孔隙度,其土壤含水量和田间持水量相应提高,秸秆的分解及翻耕对原有团粒结构的重组在一定程度上增加了大团聚体的含量<sup>[15]</sup>。相较而言,免耕秸秆覆盖还田处理的改土效应更佳,由于秸秆的覆盖,减少了雨滴、灌溉水的撞击,保护了土壤结构,并减少细小颗粒对孔隙的充填,减少了土壤板结,使土壤容重相应下降,兼之覆盖秸秆后微生物活动及作物根系生长,表层土壤大团聚体含量显著增加<sup>[16-17]</sup>。

不同土壤物理性质及不同秸秆养分输入差异影响了土壤 pH 和全量态养分的剖面分布<sup>[18]</sup>。各剖面层次,尤其在 20~40 cm 土层免耕秸秆还田 pH 增加、翻耕秸秆还田 pH 降低,可能是 2 种不同耕作模式下秸秆的腐解状况不同导致,翻耕促进秸秆分解,而秸秆分解过程会积累一定的酸性分解产物,导致翻耕秸秆还田处理 pH 降低<sup>[19]</sup>。土壤有机质及全氮含量的剖面分布随深度的增加而降低,与该研究结果类似,多数研究表明,免耕较翻耕能够提高表层土壤有机质、全氮含量<sup>[10-12]</sup>。这主要是由于免耕秸秆还田秸秆主要覆盖于地表,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,有机质难以进入土壤深层,更有利于 0~20 cm 层土壤有机质、全氮积累;翻耕模式下的秸秆还田由于将秸秆翻压至 25 cm 深度,导致土壤容重降低、孔隙度增加,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>[20]</sup>,不利于有机质的表层积累,而翻耕疏松的土壤利于作物根系下扎,有更多的作物根系分布到较深土层中,更多的有机物质投入是翻耕在较深土层(20~40 cm)中全氮含量更高的主要原因,与田慎重等<sup>[19]</sup>研究结果一致。秸秆还田显著提高了土壤全量态养分含量,免耕覆盖还田时全量态养分表层积累,翻耕秸秆还田时全量态养分积累深度相对较深,但积累量较少<sup>[21]</sup>。

不同土壤物理性质及pH条件亦影响土壤全量态养分向速效养分的转化,导致土壤速效养分的剖面分布差异<sup>[22]</sup>。各处理土壤碱解氮、土壤有效磷和土壤速效钾含量随土壤深度增加逐渐减少,翻耕秸秆还田更有利于表层土壤碱解氮、土壤有效磷和土壤速效钾的增加,这可能与秸秆中养分的释放率有关(钾>磷>碳>氮)<sup>[4]</sup>。各处理土壤硝态氮的剖面分布明显不同,免耕土壤中存有大量大孔隙,而且延伸较深,利于雨水下渗<sup>[23]</sup>,研究区夏季多雨的特征,导致土壤中硝态氮向下淋失,因此0~20 cm土层硝态氮含量较低,而20~60 cm土层硝态氮含量较高,而秸秆还田处理的硝态氮含量明显低于无秸秆还田处理,可能与秸秆还田时微生物的大量繁殖消耗了土壤中的氮,且秸秆还田提高了作物对硝态氮的吸收利用率<sup>[24]</sup>,而秸秆中氮释放缓慢不能补足有效氮损失有关。

对不同耕作方式和秸秆还田处理影响下的作物产量分析表明,免耕、翻耕秸秆还田均有利于作物增产,其中翻耕秸秆还田模式下作物产量达到最高,这与研究中发现的翻耕秸秆还田模式下0~20 cm速效养分含量最高具有显著相关关系。

#### 4 结论

在淮北潮土麦玉轮作区,秸秆还田能提高玉米产量和土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾等含量,连续2年定位试验后显著改善了土壤肥力水平,但不同耕作方式下秸秆还田对玉米产量和土壤剖面养分分布的影响存在差异。与免耕、翻耕秸秆不还田处理相比免耕、翻耕秸秆还田处理玉米产量分别增加15.58%和2.71%;免耕秸秆还田处理较翻耕秸秆还田处理更好地提高了表层土壤有机质、全氮含量,增加了剖面20~60 cm土层速效养分的含量;而翻耕秸秆还田处理更有利于表层土壤碱解氮、土壤有效磷和土壤速效钾等速效态养分的增加,以及剖面20~60 cm土层土壤有机质、全量态养分的积累。综合以上指标以及淮北潮土区的降雨特征,虽然翻耕模式下秸秆还田处理作物产量效应最好,但是并不利于土壤养分的积累,不利于土壤可持续生产力;免耕秸秆还田在提高剖面土壤肥力的同时,减少了养分在土体中的淋失,并保证了稳定的作物产量,可获得更好的经济与环境效应。

(上接第47页)

- [10] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. *Analytical biochemistry*, 1976, 72: 248-254.
- [11] 王三根. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [12] 李德生, 何安, 彭玲, 等. 重金属对日本櫟木内渗透调节物质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(1): 101-104.
- [13] 徐超. 脯氨酸与重金属耐性和富集的研究进展[J]. *中国资源综合利用*, 2018, 36(2): 80-83.

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] REICOSKY D C, SAUER T J, HATFIELD J L. Challenging balance between productivity and environmental quality: Tillage impacts[M]//HATFIELD J L, SAUER T J. *Soil management: Building a stable base for agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, 2011: 13-73.
- [3] 胡宏祥, 程燕, 马友华, 等. 油菜秸秆还田腐解变化特征及其培肥土壤的作用[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(3): 297-302.
- [4] 田平, 姜英, 孙悦, 等. 不同还田方式对玉米秸秆腐解及土壤养分含量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2019, 27(1): 100-108.
- [5] 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.
- [6] 朱敏, 石云翔, 孙志友, 等. 秸秆还田与旋耕对川中土壤物理性状及玉米机播质量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(7): 1025-1033.
- [7] 黄界颖, 阮仁杰, 王擎运, 等. 不同耕作模式下秸秆还田对潮土肥力特征的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2018, 45(4): 664-669.
- [8] 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.
- [9] 李玉梅, 王根林, 孟祥海, 等. 不同耕作方式对土壤水分和养分变化的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2018, 49(9): 54-60.
- [10] SOANE B D, BALL B C, ARVIDSSON J, et al. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment[J]. *Soil Tillage Res*, 2012, 118: 66-87.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 闫洪奎, 王欣然. 长期定位试验下秸秆还田配套深松对土壤性状及玉米产量的影响[J]. *华北农学报*, 2017, 32(S1): 250-255.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 15-113.
- [15] BOTTINELLI N, ANGERS D A, HALLAIRE V. Tillage and fertilization practices affect soil aggregate stability in a Humic Cambisol of Northwest France[J]. *Soil Tillage Res*, 2017, 170: 14-17.
- [16] MARTÍNEZ I, CHERVET A, WEISSKOPF P, et al. Two decades of no-till in the Oberacker long-term field experiment; Part II. Soil porosity and gas transport parameters[J]. *Soil Tillage Res*, 2016, 163: 130-140.
- [17] 刘义国, 刘永红, 刘洪军, 等. 秸秆还田量对土壤理化性状及小麦产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(3): 131-135.
- [18] 卢佳, 邹洪涛, 刘峰, 等. 土层置换对土壤物理性质及养分有效性的影响[J]. *土壤通报*, 2015, 46(5): 1216-1220.
- [19] 田慎重, 宁堂原, 王瑜, 等. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 373-378.
- [20] 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.
- [21] 朱利群, 张大伟, 卞新民. 连续秸秆还田与耕作方式轮换对稻麦轮作田土壤理化性状变化及水稻产量构成的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(1): 81-85.
- [22] TONG X G, XU M G, WANG X J, et al. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China[J]. *Catena*, 2014, 113: 251-259.
- [23] 李新举, 张志国, 赵美兰, 等. 免耕对土壤养分的影响[J]. *土壤通报*, 2000, 31(6): 267-269.
- [24] 赵鹏, 陈卓. 豫北秸秆还田配施氮肥对冬小麦氮利用及土壤硝态氮的短期效应[J]. *中国农业大学学报*, 2008, 13(4): 19-23.

- [14] 鱼小军, 张健文, 潘涛涛, 等. 铜、镉、铅对7种豆科牧草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *草地学报*, 2015, 23(4): 793-803.
- [15] 顾晓军, 田素芬. 毒物兴奋效应概念及其生物学意义[J]. *毒理学杂志*, 2007, 21(5): 425-428.
- [16] 梁芳, 郭晋平. 植物重金属毒害作用机理研究进展[J]. *山西农业科学*, 2007, 35(11): 59-61.
- [17] 王娟, 李德全. 逆境条件下植物体内渗透调节物质的积累与活性氧代谢[J]. *植物学通报*, 2001, 18(4): 459-465.