

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19325

不同耕作方式下有机肥施用量对华北潮土性质及作物产量的影响

张水清¹, 岳克¹, 杜丽君², 王更新³, 宋晓¹, 郭斗斗¹, 张珂珂¹, 张玉亭¹, 黄绍敏^{1*}

(1. 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2. 河北旅游职业学院, 河北 承德 067000; 3. 西平县农业局, 河南 西平 463900)

摘要: 探讨不同耕作方式下有机肥施用量对华北潮土理化特性和作物产量的影响, 为该区域土壤培肥及作物增产提供科学依据。以华北冬小麦-夏玉米轮作体系为研究对象, 试验采用裂区设计, 以耕作方式为主区, 有机肥施用量为副区。耕作方式设深翻和旋耕 2 个水平 (分别以 DT 和 RT 表示); 有机肥施用量设 0、7.5、15 和 22.5 t/hm² 4 个水平 (分别以 M₀、M_{7.5}、M₁₅、M_{22.5} 表示)。在作物成熟期采集 0~20 cm 土壤样品并进行产量测定, 采用常规方法进行土壤有机质 (SOM)、全氮 (TN)、有效磷 (AP)、速效钾 (AK)、硝态氮 (NO₃⁻-N)、铵态氮 (NH₄⁺-N) 的测定。结果表明, 深翻条件下, 不同施肥量下土壤 SOM、TN、AP、AK 和 NH₄⁺-N 含量均无显著差异; DT-M₁₅ 和 DT-M_{22.5} 处理的土壤 NO₃⁻-N 含量最高, 分别为 125.28 和 137.7 mg/kg, 显著高于 DT-M₀ 处理和 DT-M_{7.5} 处理 ($P<0.05$)。旋耕条件下, 与 RT-M₀ 相比, RT-M_{7.5} 处理下土壤 SOM、AK 和 NH₄⁺-N 含量, 分别显著提高了 15.26%、52.70% 和 119.19%。深翻条件下, DT-M₁₅ 和 DT-M_{22.5} 处理的小麦和玉米产量最高, 分别比 DT-M₀ 的小麦产量显著高 14.1% 和 19.0%, 比 DT-M₀ 的玉米产量显著高 19.9% 和 23.5%。在旋耕条件下, RT-M_{7.5} 处理的小麦产量最高, 分别比 RT-M₀ 处理和 RT-M₁₅ 的小麦产量显著高 22.6% 和 21.4%; 旋耕条件下的玉米产量在不同有机肥施用量之间无显著差异。综上所述, 在华北潮土区, 深翻-中量有机肥 (15 t/hm²) 和旋耕-低量有机肥 (7.5 t/hm²) 是提升土壤肥力、提高小麦玉米产量较为理想的耕作与施肥方式, 但其作用机理及长期效果还需进一步试验研究。

关键词: 有机肥施用量; 耕作方式; 潮土理化性质; 作物产量

有机肥与化学肥料配合施用是提高农田生产力和改善土壤质量的有效措施, 也是农业可持续发展的要求^[1-3]。王伯仁等^[4]利用湖南祁阳红壤长期定位试验研究发现, 在红壤旱地长期坚持有机肥与无机肥配合施用, 不但可提高土壤有机质含量, 同时使作物稳产和高产。邢素丽等^[5]研究表明, 长期有机肥配施化肥可以增加土壤有机质含量和土壤氮素储量, 大幅度增加土壤有效磷含量, 显著增加土壤速效钾含量, 提高小麦增产稳定性, 且效果优于秸秆直接还田。尽管有机肥料在提高土壤肥力、增加作物产量、改善作物品质等方面具有举足轻重的作用, 但施用方法不当同样会引发一系列的问题。研究表明长期施用大量有机肥料, 会造成土壤硝酸盐的富集以及淋溶, 可能造成地下水污染^[6-7]。袁

新民等^[8]通过长期定位试验, 发现土壤中 NO₃⁻-N 的累积量随有机肥施用量的增加而增加, 过量施用有机肥会引起 2 m 以下深层次土壤中 NO₃⁻-N 的大量累积, 当有机肥和无机肥配合施用时土壤中 NO₃⁻-N 的累积量随总施氮量的增加而增加。可见, 有机肥对土壤 NO₃⁻-N 累积的影响和对地下水的潜在威胁不容忽视。黄绍敏等^[9]研究发现在华北潮土上, 长期有机无机肥料配施会造成土壤有效磷含量持续增加, 8 年之后会达到淋溶阈值, 存在环境风险; 并且在西北黄土、东北黑土、南方红壤和西南紫色土上土壤有效磷达到一定阈值后均会存在淋溶风险^[10-12]。

耕作是改变土壤理化性质的重要人为因素, 其频率和强度等直接影响土壤养分的周转速率^[13]。吕瑞珍等^[14]研究表明, 与翻耕相比, 深耕与秸秆覆盖等措施显著提高 0~40 cm 土层活性有机碳占总有机碳比率, 有利于土壤质量的改善。李娟等^[15]通过 3 年定位试验发现, 高量有机肥配合深松可以增加旱地土壤贮水量, 增加春玉米产量, 是

收稿日期: 2019-07-18; 录用日期: 2019-09-22

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0301103、2016YFD0300809)。

作者简介: 张水清 (1982-), 男, 河南南阳人, 副研究员, 硕士, 主要从事土壤培肥与植物营养方面研究。E-mail: zsq510@163.com。

通讯作者: 黄绍敏, E-mail: hsm503@126.com。

旱区连作玉米田最优的耕作和施肥处理组合。综上所述,耕作方式和施肥模式的改变均可影响土壤性质的变化及作物产量的提高。华北平原是我国粮食主产区,2017年粮食产量占全国的34.6%^[16];然而,该区域过量施肥现象十分突出,但并未显著增加作物产量^[17-18]。如何通过优化耕作方式及有机肥施用模式,改善土壤质量和提高作物生产力,成为生产上亟待解决的问题。因此,本文开展不同有机肥施用量和不同耕作方式对潮土理化性质及作物产量影响的研究,旨在为华北地区小麦玉米两熟制探明合理有机肥施用量及适宜耕作方式。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2017年10月在河南省新乡市平原新区师寨镇小赵庄村(E113° 46' 27", N 35° 5' 53")进行,该区地处暖温带,年均气温14.4℃,年降水量645 mm,无霜期约225 d,年日照时数2 400 h。主要种植方式为冬小麦/夏玉米轮作。供试冬小麦品种为郑麦7698、玉米品种为先玉335。供试土壤类型为石灰性潮土,砂粒、粉粒和粘粒分别占14.0%、54.3%和31.7%,按照国际制分类标准为粉砂质粘土。整地前采集0~20 cm耕层土壤样品进行基础养分测定,其有机质含量为22.64 g/kg,全N 1.53 g/kg,有效磷和速效钾分别为33.46和235.38 mg/kg, pH值为8.05。试验所用有机肥为商品有机肥,购置于河南某公司,以牛粪为原料,有机质、全氮、全磷和全钾含量分别为28.98%、1.55%、1.06%和1.72%。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,以耕作方式为主区,有机肥施用量为副区。耕作方式(T)设深翻(使用铧式犁翻耕,耕作深度27~30 cm)和旋耕(使用旋耕机,耕作深度15~18 cm)2个水平,分别以DT和RT表示,有机肥在冬小麦播种前一次性撒施后深翻或者旋耕进入土壤,玉米季不再施用;有机肥施用量(M)设0、7.5、15和22.5 t/hm²4个水平,分别以M₀、M_{7.5}、M₁₅、M_{22.5}表示。化肥用量所有处理均一致,小麦季施氮量为210 kg/hm²,其中基肥和拔节期追肥分别占60%和40%;各小区磷、钾肥用量相同,分别为P₂O₅ 120 kg/hm²和K₂O 60 kg/hm²,全部做基肥一次施入。玉米季施氮量为240 kg/hm²,基肥和大喇叭口期追肥分别占70%和

30%;各小区磷、钾肥用量相同,分别为P₂O₅ 75 kg/hm²和K₂O 90 kg/hm²,全部做基肥一次施入。每个处理3次重复,小区面积30 m²(长6 m,宽5 m),小区间隔1 m。供试氮、磷、钾肥分别为尿素(N,46%),过磷酸钙(P₂O₅,12%)和氯化钾(K₂O,60%)。小麦在2017年10月13日播种,次年6月2日收获;玉米在2018年6月10日播种,当年9月30日收获。田间管理同当地高产田一致。

1.3 样品采集与测定

在试验第2季夏玉米收获后采集0~20 cm耕层土壤样品,按四分法分取两份,一份取回后风干研磨,分别过0.85和0.15 mm筛测定土壤养分含量;另一份鲜土带回后放入4℃冰箱保存,测定土壤铵态氮和硝态氮含量。分别在小麦、玉米成熟期,每个小区单独收割6 m²分别测定小麦、玉米籽粒产量。

土壤和有机肥的基本理化性质参照《土壤农化分析》常规方法测定^[19]。土壤有机质(SOM)采用K₂Cr₂O₇氧化-外加热法测定;土壤全氮(TN)采用凯氏蒸馏法测定;全磷(TP)采用钼锑抗比色法;全钾(TK)采用氢氟酸消解法测定;有效磷(AP)采用0.5 mol/L NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法测定;土壤速效钾(AK)采用乙酸铵提取-火焰光度法;土壤铵态氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N)采用0.1 mol/L CaCl₂溶液浸提-SEALAA3流动注射分析仪测定。

1.4 数据统计分析

土壤性质及作物产量采用Sigmaplot 12.0软件进行方差分析,多重比较采用LSD最小极差法;相关性分析采用SPSS 18.0软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同处理的土壤性质

由表1可知,耕作方式和有机肥施用量对土壤有机质(SOM)含量均具有显著影响($P<0.05$)。深翻条件下,不同有机肥施用量间的土壤SOM含量无显著差异;而旋耕条件下,RT-M_{7.5}和RT-M_{22.5}处理的土壤SOM含量最高,分别为28.47和28.92 g/kg,分别比不施用有机肥RT-M₀处理的24.70 g/kg高15.3%($P<0.01$)和17.1%($P<0.01$),而施用有机肥处理间无显著差异。有机肥施用量对土壤全氮(TN)含量无显著差异,而旋耕处理的土壤TN含量平均值为1.69 g/kg,显著比深翻处理高11.4%($P<0.05$)。耕作方式和有机肥施用量对土壤有效磷(AP)含量均具有显著影响。与深翻相比,旋

耕显著提高了土壤 AP 含量 ($P<0.05$)。在深翻条件下,不同有机肥施用量间的土壤 AP 含量无显著差异;而旋耕条件下,RT-M_{22.5} 处理的土壤 AP 含量最高,为 47.42 mg/kg,显著高于不施用有机肥处理,而施用有机肥处理间无显著差异。耕作方式对土壤速效钾 (AK) 含量无显著差异,而施用有机肥对土壤 AK 含量有极显著提升 ($P<0.01$)。不管是深翻还是旋耕条件下,不同有机肥施用量处理间的土壤 AK 含量无显著差异,但与不施有机肥处理相比,均显著提高土壤 AK 含量,提高幅度为 50.8% ~ 90.9%。

耕作方式对土壤硝态氮 (NO_3^- -N) 含量无显著差异,而有机肥施用量对土壤 NO_3^- -N 含量有显著影响;耕作方式与有机肥施用量之间存在显著交互作用,有机肥施用量对土壤 NO_3^- -N 含量的效果受到不同耕作方式的影响。在深翻条件下,DT-M₁₅ 和 DT-M_{22.5} 处理的土壤 NO_3^- -N 含量最高,分别为 125.28 和 137.7 mg/kg,显著高于 DT-M₀ 处理和 DT-M_{7.5} 处理 ($P<0.05$)。在旋耕条件下,RT-M_{7.5}、RT-M₁₅ 和 RT-M_{22.5} 处理的土壤 NO_3^- -N 含量最高,三者之间无显著差异,均显著高于 RT-M₀ 处理 ($P<0.05$)。

表 1 不同处理对土壤性质的影响

处理	SOM (g/kg)	TN (g/kg)	AP (mg/kg)	AK (mg/kg)	NO_3^- -N (mg/kg)	NH_4^+ -N (mg/kg)
DT-M ₀	22.5 ± 0.85a	1.46 ± 0.14	20.49 ± 2.65a	172.14 ± 19.88b	65.91 ± 14.09b	3.37 ± 0.41
DT-M _{7.5}	24.38 ± 1.44a	1.57 ± 0.04	30.79 ± 7.41a	300.62 ± 82.10a	89.79 ± 6.17b	3.59 ± 1.44
DT-M ₁₅	24.79 ± 0.80a	1.50 ± 0.26	31.47 ± 6.10a	306.99 ± 34.03a	125.28 ± 1.88a	2.63 ± 0.22
DT-M _{22.5}	24.27 ± 0.55a	1.52 ± 0.04	33.15 ± 15.02a	328.6 ± 11.12a	137.75 ± 26.04a	3.40 ± 0.72
RT-M ₀	24.7 ± 1.07b	1.54 ± 0.15	24.35 ± 5.66b	207.48 ± 43.79b	59.26 ± 6.75b	3.07 ± 0.48
RT-M _{7.5}	28.47 ± 1.08a	1.76 ± 0.26	41.98 ± 9.23ab	316.82 ± 93.51a	130.13 ± 3.94a	4.54 ± 0.56
RT-M ₁₅	26.84 ± 1.52ab	1.71 ± 0.11	33.92 ± 10.93ab	312.8 ± 10.39a	120.61 ± 17.40a	3.72 ± 0.49
RT-M _{22.5}	28.92 ± 1.15a	1.73 ± 0.23	47.42 ± 8.79a	334.49 ± 36.16a	134.66 ± 14.64a	4.01 ± 0.42
T	*	*	*	NS	NS	*
M	**	NS	**	**	**	NS
T × M	NS	NS	NS	NS	*	NS

注: T—耕作方式; M—有机肥施用量; 数字后不同字母表示同一耕作方式下不同有机肥施用量间差异达 5% 显著水平; *, ** 与 NS 分别代表达到 5%、1% 显著水平与不显著。下同。

2.2 不同处理的作物产量

由表 2 可知,有机肥施用量对冬小麦和夏玉米产量具有极显著影响 ($P<0.01$),而耕作方式对作物产量无显著影响;耕作方式与有机肥施用量之间存在显著交互作用,也就是说有机肥施用量对作物产量的影响受到耕作方式的限制。在深翻条件下,DT-M₁₅ 和 DT-M_{22.5} 处理的小麦产量最高,分别比 DT-M₀ 处理的小麦产量显著高 14.1% 和 19.0%,而施用有机肥处理间小麦产量无显著差异;DT-M₁₅ 和 DT-M_{22.5} 处理的玉米产量也最高,分别比 DT-M₀ 处理的玉米产量显著高 19.9% 和 23.5%,比 DT-M_{7.5} 处理的玉米产量显著高 8.4% 和 11.7%。

在旋耕条件下,RT-M_{7.5} 处理的小麦产量最高,分别比 RT-M₀ 和 RT-M₁₅ 处理的小麦产量显著高 22.6% 和 21.4%;RT-M_{7.5} 和 RT-M_{22.5} 处理间小麦产量无显著差异;RT-M_{7.5} 处理的玉米产量也最高,但旋耕条件下不同有机肥施用量处理之间玉米产量无差异。

表 2 不同处理对冬小麦和夏玉米籽粒产量的影响

处理	产量 (t/hm ²)	
	冬小麦	夏玉米
DT-M ₀	6.22 ± 0.34b	8.75 ± 0.50c
DT-M _{7.5}	6.77 ± 0.22ab	9.68 ± 0.22b
DT-M ₁₅	7.10 ± 0.14a	10.49 ± 0.38a
DT-M _{22.5}	7.40 ± 0.22a	10.81 ± 0.12a
RT-M ₀	6.28 ± 0.59b	9.53 ± 0.34a
RT-M _{7.5}	7.77 ± 0.31a	10.13 ± 0.14a
RT-M ₁₅	6.40 ± 0.22b	9.33 ± 0.50a
RT-M _{22.5}	6.84 ± 0.48ab	9.82 ± 0.26a
T	NS	NS
M	**	**
T × M	*	**

2.3 土壤性质相关性分析

通过 Pearson 双侧检验对冬小麦和夏玉米产量及土壤肥力构成因素进行相关性分析 (表 3), 冬小麦产量与 NO_3^- -N、AP、AK 含量呈极显著的正相

关关系 ($P < 0.01$); 夏玉米产量与 NO_3^- -N、AK 含量呈显著的正相关关系 ($P < 0.05$)。SOM 和 TN 含量与其他土壤性质指标之间均具有显著或极显著的正相关性 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。

表 3 作物产量与土壤性质相关性分析

项目	小麦产量	玉米产量	SOM	TN	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	AP	AK
小麦产量	1							
玉米产量	0.399 [*]	1						
SOM	0.382	0.101	1					
TN	0.343	0.02	0.842 ^{**}	1				
NH_4^+ -N	0.13	0.002	0.509 ^{**}	0.395 [*]	1			
NO_3^- -N	0.654 ^{**}	0.398 [*]	0.550 ^{**}	0.441 [*]	0.222	1		
AP	0.543 ^{**}	0.323	0.861 ^{**}	0.714 ^{**}	0.390 [*]	0.659 ^{**}	1	
AK	0.639 ^{**}	0.438 [*]	0.620 ^{**}	0.508 ^{**}	0.33	0.697 ^{**}	0.787 ^{**}	1

注: *、** 表示相关性达到显著水平 ($P < 0.05$) 和极显著水平 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 耕作方式和有机肥施用量对土壤性质的影响

土壤 SOM 作为衡量土壤肥力水平的重要指标之一, 被认为是土壤质量和功能的核心^[20-21]。本研究发现, 同一耕作方式下, 施用有机肥可显著提高土壤 SOM 含量, 然而 SOM 含量并不是随着有机肥施用量的增加而显著增加的。王建红等^[22]在浙江油菜-水稻轮作体系上设置 5 个有机肥施用量 (15、30、45、60、75 t/hm²), 结果发现一年后较低量有机肥处理 (30 t/hm²) 与高量有机肥处理土壤有机质无显著差异, 本试验与之结果一致。主要原因是不同条件下有机物料转化为土壤有机质的效率不一样^[23-24], 如湖南祁阳的有机碳转化效率为 10.6%^[25], 而江西旱地红壤上仅为 8.6%^[26]。本研究结果表明, 深翻方式下的中量有机肥处理 (M₁₅) 和旋耕条件下低量有机肥处理 (M_{7.5}) 均与施用高量有机肥处理 (M_{22.5}) 土壤速效养分无显著差异, 这与柳玲玲等^[27]在辣椒上的结果一致, 可能与有机肥自身的速效养分释放过程缓慢有关。

3.2 耕作方式和有机肥施用量对作物产量的影响

有机肥对作物生长的影响分直接影响与间接影响两部分, 直接影响是有机肥提供作物生长必要的养分等^[28-29]; 而间接影响是有机肥施用改变土壤微环境, 如: 土壤容重、孔隙度、结构、pH 值以及微生物群落等, 进而影响作物生长^[30-32]。本研究表明, 有机肥施用量对冬小麦和夏玉米产量具有

极显著影响 ($P < 0.01$), 并且有机肥施用量对作物产量的影响受到耕作方式的限制; 深翻条件下 DT-M₁₅ 处理, 旋耕条件下 RT-M_{7.5} 处理的小麦、玉米产量最高。张建省等^[33]研究发现, 小麦、玉米轮作体系下, 不同耕作措施与培肥措施存在交互作用, 且交互作用显著影响玉米的千粒重, 小麦、玉米产量也受到交互作用的影响, 与本研究结果一致。

综合土壤理化性质与作物产量, 研究结果表明, 深翻-中量有机肥 (15 t/hm²) 和旋耕-低量有机肥 (7.5 t/hm²) 是较为理想的耕作与施肥方式。首先, 高量有机肥将带入大量有机质, 在作物生长前期碳氮比较大, 容易造成微生物与作物出现争氮现象, 本研究耕作方式对土壤 SOM、TN、AP 和 NH_4^+ -N 含量有显著影响, 旋耕均要显著高于深翻处理。主要原因是深翻处理耕作深度为 27 ~ 30 cm, 而旋耕耕作深度为 15 ~ 18 cm, 施用有机肥后, 深翻将有机肥带入到土壤下层, 而本研究取样深度仅为 0 ~ 20 cm。

4 结论

华北潮土区冬小麦-夏玉米轮作体系, 短期内深翻条件下施用中量有机肥显著提升了土壤 NO_3^- -N 含量; 旋耕条件下施用低量有机肥显著提高了土壤 SOM、AK 和 NH_4^+ -N 含量; 且二者与不施用有机肥相比, 显著提升了小麦、玉米周年产量 17.5% 和 13.2%。由此可见, 深耕条件下施用中量有机肥、旋耕条件下施用低量有机肥对提升土壤肥力和

作物产量的效果最佳, 是华北潮土区较为理想的有机肥施用量与耕作方式。

参考文献:

- [1] Li Z Q, Zhao B Z, Olk D C, et al. Contributions of residue-C and -N to plant growth and soil organic matter pools under planted and unplanted conditions [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 120: 91-104.
- [2] Zhang X B, Xu M G, Sun N, et al. Modelling and predicting crop yield, soil carbon and nitrogen stocks under climate change scenarios with fertilizer management in the North China Plain [J]. *Geoderma*, 2016, 265: 176-186.
- [3] Srinivasarao C, Deshpande A N, Venkateswarlu B, et al. Grain yield and carbon sequestration potential of post monsoon sorghum cultivation in Vertisols in the semi arid tropics of central India [J]. *Geoderma*, 2012, 175-176: 90-97.
- [4] 王伯仁, 徐明岗, 文石林. 长期不同施肥对旱地红壤性质和作物生长的影响 [J]. *水土保持学报*, 2005, (1): 97-100, 144.
- [5] 邢素丽, 韩宝文, 刘孟朝, 等. 有机无机配施对土壤养分环境及小麦增产稳定性的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29 (S1): 135-140.
- [6] 张迪, 牛明芬, 王少军, 等. 不同有机肥处理对设施菜地土壤硝态氮分布影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29 (S1): 156-161.
- [7] 高伟, 李明悦, 高宝岩, 等. 有机无机肥料配合施用对设施黄瓜产量、氮素累积及硝酸盐淋溶的影响 [J]. *华北农学报*, 2015, 30 (4): 188-193.
- [8] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 有机肥对土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积的影响 [J]. *土壤与环境*, 2000, (3): 197-200.
- [9] 黄绍敏, 郭斗斗, 张水清. 长期施用有机肥和过磷酸钙对潮土有效磷积累与淋溶的影响 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22 (1): 93-98.
- [10] Bai Z H, Li H G, Yang X Y, et al. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types [J]. *Plant Soil*, 2013, 372: 27-37. DOI 10. 1007/s11104-013-1696-y.
- [11] 王琼, 展晓莹, 张淑香, 等. 长期有机无机肥配施提高黑土磷含量和活化系数 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24 (6): 1679-1688.
- [12] 樊红柱, 陈庆瑞, 郭松, 等. 长期不同施肥紫色水稻土磷的盈亏及有效性 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24 (1): 154-162.
- [13] Martinez E, Fuentes J P, Pino V, et al. Chemical and biological properties as affected by no-tillage and conventional tillage systems in an irrigated Haploxeroll of Central Chile [J]. *Soil and Tillage Research*, 2013, 126 (1): 238-245.
- [14] 吕瑞珍, 熊瑛, 李友军, 等. 保护性耕作对农田土壤碳库特性的影响 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28 (4): 206-209, 217.
- [15] 李娟, 葛磊, 曹婷婷, 等. 有机肥施用量和耕作方式对旱地土壤水分利用效率及作物生产力的影响 [J]. *水土保持学报*, 2019, 33 (2): 121-127.
- [16] 国家统计局. 国家统计局关于 2017 年粮食产量的公告 [EB/OL]. (2017-12-08). http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201712/t20171208_1561546.html.
- [17] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 2009, 106 (9): 3041-3046.
- [18] 胡春胜, 张玉铭, 秦树平, 等. 华北平原农田生态系统氮素过程及其环境效应研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26 (10): 1501-1514.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] Lal R. Farming carbon [J]. *Soil Tillage Research*, 2007, 96: 1-5.
- [21] Lal R. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems [J]. *Food Policy*, 2011, 36: S33-S39.
- [22] 王建红, 张贤, 李增强, 等. 有机肥在油-稻轮作田块对油菜生长和土壤肥力的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017, (4): 31-36.
- [23] Zhang W J, Wang X J, Xu M G, et al. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilizations in arable land of north China [J]. *Biogeosciences*, 2010, 7: 409-425.
- [24] Zhang S Q, Huang S M, Li J W, et al. Long-term manure amendments and chemical fertilizers enhanced soil organic carbon sequestration in a wheat (*Triticum aestivum* L.)-maize (*Zea mays* L.) rotation system [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97: 2575-2581.
- [25] 蔡岸冬, 张文菊, 申小冉, 等. 长期施肥土壤不同粒径颗粒的固碳效率 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (6): 1431-1438.
- [26] 柳开楼, 叶会财, 李大明, 等. 长期施肥下红壤旱地的固碳效率 [J]. *土壤*, 2017, 49 (6): 1166-1171.
- [27] 柳玲玲, 范成五, 苟久兰, 等. 土壤肥力、辣椒产量及品质对有机肥施用量的响应 [J]. *西南农业学报*, 2015, 28 (5): 2162-2165.
- [28] Fan T L, Stewart B A, Wang Y, et al. Long-term fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dryland of Loess Plateau in China [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 106 (4): 313-329.
- [29] Cai Z C, Qin S W. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China. [J]. *Geoderma*, 2006, 136 (3-4): 708-715.
- [30] Zhao Y C, Wang M Y, Hu S J, et al. Economics- and policy-driven organic carbon input enhancement dominates soil organic carbon accumulation in Chinese croplands [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 2018, 115 (16): 4045-4050.

- [31] Hai L, Li X G, Li F M, et al. Long-term fertilization and manuring effects on physically-separated soil organic matter pools under a wheat-wheat-maize cropping system in an arid region of China [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42 (2): 253-259.
- [32] Ai C, Zhang S Q, Zhang X, et al. Distinct responses of soil bacterial and fungal communities to changes in fertilization regime and crop rotation [J]. *Geoderma*, 2018, 319: 156-166.
- [33] 张建省, 隋鹏, 陈源泉, 等. 不同耕法和培肥措施组合对作物产量的影响 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32 (10): 2721-2727.

Effect of organic fertilizer application dosages on the properties of fluvo-aquic soil and crop yield under different tillage modes in North China

ZHANG Shui-qing¹, YUE Ke¹, DU Li-jun², WANG Geng-xin³, SONG Xiao¹, GUO Dou-dou¹, ZHANG Ke-ke¹, ZHANG Yu-ting¹, HUANG Shao-min^{1*} (1. Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou Henan 450002; 2. Hebei Tourism Vocational College, Chengde Hebei 067000; 3. Xiping County Bureau of Agriculture, Xiping Henan 463900)

Abstract: To investigate the effects of different application levels of organic fertilizer on the physical and chemical properties of fluvo-aquic soil and crop yield in agricultural areas of North China, we conducted this experiment aiming to provide a scientific basis for soil fertility and crop yield improvement in this region. This study focused on the winter wheat-summer maize rotation area in North China, to figure out the effects of different combinations of organic fertilizers and tillage modes on soil nutrient contents and crop yield. A split-plot design was used in the experiment, where tillage mode was taken as the main plot, and the dosages of organic fertilizer was taken as the split-plot. The tillage mode was set up at two levels—deep tillage (DT) and rotary tillage (RT); the dosages of organic fertilizer were set up at four levels—0, 7.5, 15 and 22.5 t/hm² (represented by M₀, M_{7.5}, M₁₅ and M_{22.5}). Soil samples (0 ~ 20 cm) were collected during the crop maturity period and the yields were determined. Soil organic matter (SOM), total nitrogen (TN), available phosphorus (AP), available potassium (AK), nitrate nitrogen (NO₃⁻-N) and ammonium nitrogen (NH₄⁺-N) were measured by conventional methods. Results showed that, under deep tillage condition, there were no significant differences of SOM, TN, AP, AK and NH₄⁺-N contents in soil among different organic fertilizer application rates; DT-M₁₅ and DT-M_{22.5} treatments had the highest soil NO₃⁻-N content (125.28 and 137.7 mg/kg, respectively), which was significantly higher than no organic fertilizer treatment and DT-M_{7.5} treatment ($P < 0.05$). Under the condition of rotary tillage, compared with the treatment RT-M₀, the soil SOM, AK and NH₄⁺-N contents of RT-M_{7.5} treatment significantly increased by 15.26%, 52.70% and 119.19%, respectively. Under deep tillage condition, the yields of wheat and corn of DT-M₁₅ and DT-M_{22.5} were the highest, which were 14.1% (DT-M₁₅) and 19.0% (DT-M_{22.5}) higher for wheat, and 19.9% (DT-M₁₅) and 23.5% (DT-M_{22.5}) higher for corn, compared with that of DT-M₀ treatment. Under rotary tillage conditions, RT-M_{7.5} treated wheat had the highest yield, which was 22.6% and 21.4% higher than RT-M₀ treatment and RT-M₁₅ treatment, respectively. There was no difference in maize yield among different organic fertilizer application rates under rotary tillage conditions. In the fluvo-aquic soil area of North China, DT-M₁₅ treatment and RT-M_{7.5} treatment are ideal fertilization and tillage combination for improving soil fertility and the yield of wheat and maize. However, the mechanism and long-term effects require further studies.

Key words: the dosages of organic fertilizer; tillage modes; the properties of fluvo-aquic soil; crop yield