

麦稻轮作下耕作模式对土壤理化性质和作物产量的影响

武 际^{1,2,3}, 郭熙盛^{1,2}, 张祥明¹, 王允青¹, 许征宇¹, 鲁剑巍³*

(1. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所; 2. 安徽养分循环与资源环境省级实验室, 合肥 230031;
3. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

摘 要: 为了探明不同耕作模式对土壤理化性质和作物产量的影响, 采用田间定位试验方法, 于 2007—2010 连续 4 a 在麦稻轮作制下开展了本试验研究。结果表明, 免耕提高了耕层土壤体积质量, 降低了土壤含水率。但是免耕土壤表层(0~10 cm)的体积质量仍在作物适宜生长的范围内, 并未对作物的生长产生不利影响。免耕促进了土壤有机质和全氮在表层土壤的富集。0~10 cm 土层有机质和全氮含量比翻耕处理显著增加, 而>10~20 cm 土层上述养分含量明显低于翻耕处理。小麦季免耕土壤的碱解氮、速效磷和速效钾含量的变化趋势与有机质和全氮含量相似, 而水稻季免耕处理整个耕层土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均低于翻耕处理。免耕显著的提高了小麦产量, 但降低了水稻产量, 起主要作用的产量构成因素是小麦和水稻的有效穗数。整个轮作周期的作物产量以小麦免耕水稻翻耕模式的产量较高, 比小麦翻耕水稻免耕模式产量增加了 5.70%。

关键词: 土壤, 水分, 土地利用, 麦稻轮作, 免耕, 翻耕, 产量, 土壤理化性质

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.03.016

中图分类号: S143; S511.06

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-03-0087-07

武 际, 郭熙盛, 张祥明, 等. 麦稻轮作下耕作模式对土壤理化性质和作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 87—93.

Wu Ji, Guo Xisheng, Zhang Xiangming, et al. Effects of tillage patterns on crop yields and soil physicochemical properties in wheat-rice rotation system[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 87—93. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

土壤耕作的目的是建立适宜作物生长的土壤环境条件, 蓄水保墒, 促进作物增产^[1]。但是任何耕作措施的应用都会从不同层面对土壤理化性状产生影响, 长期实行单一的土壤耕作措施会产生不利于作物生长的土壤条件^[2]。近年来, 免耕作为一项重要的保护性耕作措施, 在蓄水保墒、培肥土壤、保护环境、节本增效、增加农民收入等方面表现出了其他耕作方式不可替代的作用, 产生了良好的社会、经济和生态效益, 已成为当前研究的热点。但是国内外关于免耕的研究报导多以旱地土壤和作物为研究对象^[3-8], 而以水旱轮作为背景进行的免耕研究较少。同时目前有关免耕对土壤理化性质优劣以及作物产量的影响尚存在争议^[6,9-11]。免耕对小麦显著的增产效果已经被广大农民所接受^[11-12], 但是免耕对水稻产量影响的结论并不完全一致^[13-14]。为此, 本研究选择麦稻轮作区为研究对象, 连续 4 a 开展了不同耕作模式对土壤理化性质和作物产量影响的研究, 以期为该区域建立合理的耕作模式提供一定的依据。

收稿日期: 2011-07-29 修订日期: 2011-12-16

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2007BAD89B10)资助。

作者简介: 武 际(1974—), 男, 安徽舒城人, 副研究员, 博士, 从事植物营养与保护性耕作技术研究。合肥 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 230031。Email: wuji338@163.com

*通信作者: 鲁剑巍(1967—), 男, 湖北省武穴人, 教授, 博士, 主要从事现代施肥技术研究。武汉 华中农业大学资源与环境学院, 430070。

Email: lujianwei@mail.hzau.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 试验地点与材料

试验于 2007—2010 年连续 4 a 在安徽省凤台县进行。供试土壤为砂姜黑土。试验前采集耕层土壤分析其基本农化性质。供试土壤 0~10 cm 和>10~20 cm 土层的基本农化性质见表 1。供试作物为小麦和水稻, 小麦品种为偃展 4 110, 水稻品种为皖稻 68。

表 1 供试土壤的基本农化性质

Table 1 Agrochemical properties of experimental soil

土层/cm	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	pH 值
0~10	21.61	1.11	90.03	27.57	149.16	6.18
>10~20	21.49	0.98	87.67	26.84	125.14	6.23

1.2 试验设计

试验采用田间定位试验的方法。设 2 个处理(表 2)。小麦季肥料用量为纯 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 60 kg/hm²、K₂O 75 kg/hm²; 水稻季肥料用量为纯 N 280 kg/hm²、P₂O₅ 60 kg/hm²、K₂O 75 kg/hm²。小麦季氮肥分别做基肥、返青肥和拔节肥 3 次施用, 施用比例为 5:3:2; 水稻季氮肥分别做基肥、分蘖肥和穗肥 3 次施用, 施用比例为 4:3:3。全部磷钾肥作基肥施用。肥料种类: 尿素, 过磷酸钙, 氯化钾。小区面积 30 m², 重复 4 次, 随机区组排列。其他栽培管理措施同常规。每年 10 月下旬种植小麦, 5 月下旬收获; 6 月上旬种植水稻, 10 月上旬收获。在每季作物成熟时实收每小区产量, 同时取样进行常规室内考种。

表2 试验处理设计
Table 2 Design of experimental treatment

处理	耕作措施
麦免稻翻	在麦稻轮作周期中, 水稻季收获后留茬高度 10~15 cm, 其余秸秆全部收获, 小麦播种时不进行翻耕, 硬茬播种。小麦收获后留茬 10~15 cm, 其余秸秆全部收获, 水稻插秧前将土壤用旋耕机耕翻一遍, 耕深约 15 cm, 翻耕后灌水插秧。
麦翻稻免	在麦稻轮作周期中, 水稻季收获后留茬高度 10~15 cm, 其余秸秆全部收获, 小麦播种前将土壤用旋耕机耕翻一遍, 耕深约 15 cm, 然后播种。小麦收获后留茬 5 cm 左右, 其余秸秆全部收获, 水稻插秧前不进行翻耕, 灌水泡田 1~2 d 后直接抛秧。

1.3 采样方法与测定项目

每季小麦、水稻收获后按 5 点法, 用土钻分 0~10 cm 和 >10~20 cm 两土层采集土壤样品, 用环刀法测土壤体积质量和土壤含水率, 重铬酸钾-外加加热法测有机质含量, 半微量凯氏法测全氮含量, 碱解扩散法测碱解氮含量, 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色测速效磷含量, 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法测速效钾含量^[15]。

1.4 数据分析方法

本文数据均采用 SAS9.0 软件和 Excel2010 软件进行统计分析。采用 LSD 法对试验数据进行方差分析和显著性测验。

2 结果与分析

2.1 耕作模式对土壤物理性质的影响

2.1.1 耕作模式对土壤体积质量的影响

4 年 8 季研究结果均显示免耕增加了 0~20 cm 土层的土壤体积质量(表 3)。与翻耕相比, 免耕使小麦季 0~10 cm 土层土壤体积质量增加了 1.15%~3.88%, >10~20 cm 土层土壤体积质量增加了 1.93%~3.08%; 水稻季土壤体积质量的变化趋势与小麦季相同, 免耕使 0~10 cm 土层土壤体积质量增加了 3.17%~6.25%, >10~20 cm 土层土壤体积质量增加了 3.06%~6.18%。说明翻耕处理前期由于土壤受到耕翻作用, 土壤较松, 土壤体积质量较低, 而免耕土壤不进行耕作处理, 土壤比较紧实, 土壤体积质量偏大, 易导致土壤板结。

表3 耕作模式对土壤体积质量的影响

Table 3 Effect of tillage patterns on soil bulk density

处理	土层/ cm	小麦				水稻			
		2007年	2008年	2009年	2010年	2007年	2008年	2009年	2010年
免耕	0~10	1.34ab	1.37ab	1.36ab	1.36a	1.36a	1.38ab	1.27ab	1.30ab
	>10~20	1.38a	1.41a	1.42a	1.40a	1.39a	1.42a	1.31a	1.34a
翻耕	0~10	1.29b	1.33b	1.33b	1.34a	1.28b	1.30c	1.20c	1.26b
	>10~20	1.33ab	1.37ab	1.37ab	1.37a	1.32ab	1.34bc	1.24bc	1.30ab

注: 不同的小写字母代表 LSD ($P < 0.05$) 水平差异显著性。下同。

土壤层次对土壤体积质量也有明显影响。耕层下层(>10~20 cm)比表层(0~10 cm)土壤体积质量增加了 2.21%~4.41%。免耕和翻耕趋势相同。4 季免耕小麦地 0~10 cm 土层体积质量为 1.34~1.37 g/cm³, 平均值 1.36 g/cm³; 4 季翻耕小麦地 0~10 cm 土层体积质量为 1.29~1.34 g/cm³, 平均值 1.32 g/cm³; 4 季免耕水稻地 0~10 cm 土层体积质量为 1.27~1.38 g/cm³, 平均值 1.33 g/cm³; 4

季翻耕水稻地 0~10 cm 土层体积质量为 1.20~1.30 g/cm³, 平均值 1.26 g/cm³。均处在适宜的体积质量范围(1.35 g/cm³)^[13]。>10~20 cm 土层, 4 季免耕小麦地、翻耕小麦地、免耕水稻地和翻耕水稻地土壤体积质量的平均值分别为 1.40、1.36、1.37 和 1.30 g/cm³。除了翻耕水稻地外, 其余处理的土壤体积质量均高于 1.35 g/cm³。

2.1.2 耕作模式对土壤含水率的影响

表 4 的结果显示, 土壤含水率与土壤体积质量变化规律相反, 翻耕处理 0~10 和 >10~20 cm 2 个土层的含水率均明显高于免耕处理。小麦季, 0~10 cm 土层翻耕处理比免耕处理土壤含水率提高了 7.19%~11.94%, >10~20 cm 土层土壤含水率提高了 6.97%~14.19%。水稻季土壤含水率的变化与小麦季相同, 0~10 cm 土层翻耕处理比免耕处理土壤含水率提高了 3.43%~18.41%, >10~20 cm 土层土壤含水率提高了 3.64%~18.35%。这主要是由于耕作措施降低了翻耕处理耕层的土壤体积质量, 增加了土壤孔隙度, 进而提高了耕层土壤储水潜力。2 个土层之间土壤含水率也有差异, 随着土层深度的增加, 土壤含水率降低。免耕措施下, >10~20 cm 土层比表层土壤含水率降低了 5.04%~8.30%, 翻耕措施下, >10~20 cm 土层比表层土壤含水率降低了 0.50%~8.11%。

表4 耕作模式对土壤含水率的影响

Table 4 Effect of tillage patterns on soil water content

处理	土层/ cm	小麦				水稻			
		2007年	2008年	2009年	2010年	2007年	2008年	2009年	2010年
免耕	0~10	143.20ab	147.40b	146.20b	154.80bc	160.20c	156.70c	181.40b	221.10ab
	>10~20	136.30b	140.10bc	138.90bc	147.20c	152.20cd	148.90cd	167.50c	210.00b
翻耕	0~10	143.20ab	165.00a	159.40a	168.70a	189.70a	179.90a	212.30a	228.70a
	>10~20	145.80a	156.70a	158.60a	160.30ab	177.40b	166.40b	198.20b	217.70ab

2.2 耕作模式对土壤化学性质的影响

2.2.1 耕作模式对土壤有机质和全氮含量的影响

4 年 8 季作物的试验结果表明(表 5), 免耕与翻耕 2 种耕作方式对土壤有机质在不同土壤层次上的分布有显著影响。免耕明显提高了表层 0~10 cm 土壤有机质质量分数。小麦季 0~10 cm 土层比 >10~20 cm 土层有机质质量分数增加了 14.66%~26.12%, 水稻季有机质质量分数增加了 10.73%~25.32%。小麦季、水稻季翻耕处理两土层间土壤有机质质量分数差异不明显。免耕土壤表层有机质质量分数显著高于下层, 其原因可能是免耕避免了人为对土壤的翻动, 面施的肥料及植物残体进入下层土壤的数量少, 而年年耕翻则使土肥相融, 随耕作进入下层的有机物料相对较多。由于免耕使大量的有机质聚集在土壤表层, 因此同一土层 2 种耕作措施间有机质质量分数差异也很明显。小麦季免耕与翻耕处理相比, 0~10 cm 土层有机质质量分数增加了 5.84%~7.85%; 水稻季免耕处理与翻耕处理相比, 0~10 cm 土层有机质质量分数增加了 6.21%~8.27%。而 >10~20 cm 土层与 0~10 cm 则相反, 翻耕处理有机质质量分数较免耕处理略

高, 但差异不明显。说明免耕处理土壤有机质有富集于表层的趋势, 而翻耕处理两土层间土壤有机质分布较免耕处理均匀。

表 5 耕作模式对土壤有机质含量的影响

Table 5 Effect of tillage patterns on soil organic matter content

处理	土层/ cm	小麦				水稻				g·kg ⁻¹
		2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	
免耕	0~10	29.27a	26.94a	28.22a	28.47a	24.62a	23.81a	25.15a	26.01a	
	>10~20	23.35d	21.36d	23.22d	24.83c	19.80d	19.00d	20.70c	23.49c	
翻耕	0~10	27.14b	25.22ab	26.46b	26.90b	23.18b	22.38b	23.23b	24.35bc	
	>10~20	25.44c	23.00c	25.36bc	25.72bc	21.56c	20.97c	21.10c	23.89	

不同土壤耕作措施对土壤全氮含量影响的规律与有机质含量相似(表 6)。免耕促进了全氮在土壤表层的聚集。免耕处理小麦季 0~10 cm 土层全氮含量比>10~20 cm 土层增加了 19.99%~31.28%, 水稻季增加了 14.32%~22.96%。翻耕处理两土层间土壤全氮的分布较免耕处理均匀。同一土层两种耕作措施间相比较, 0~10 cm 土层小麦季和水稻季免耕处理全氮含量均显著高于翻耕处理。而>10~20 cm 土层与 0~10 cm 相反, 翻耕处理全氮含量较免耕处理高, 但差异未达到显著水平。

表 6 耕作模式对土壤全氮含量的影响

Table 6 Effect of tillage patterns on soil total N content

处理	土层/ cm	小麦				水稻				g·kg ⁻¹
		2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	
免耕	0~10	1.34a	1.40a	1.32	1.37a	1.25a	1.23a	1.30a	1.31a	
	>10~20	1.05c	1.06c	1.05c	1.14c	1.01c	1.05c	1.14c	1.08c	
翻耕	0~10	1.26b	1.32b	1.25ab	1.28b	1.18b	1.16b	1.21b	1.24b	
	>10~20	1.09c	1.10c	1.10c	1.19c	1.07c	1.09c	1.16bc	1.14c	

表 7 耕作模式对小麦季土壤速效养分含量的影响

Table 7 Effect of tillage patterns on soil available nutrient content of wheat

处理	土层/cm	2007 年			2008 年			2009 年			2010 年			mg·kg ⁻¹
		碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾	
免耕	0~10	98.05a	37.83a	172.00a	101.93a	36.47a	177.44a	97.10a	34.91a	155.13a	105.20a	37.44a	163.65a	
	>10~20	80.44c	29.05c	138.06c	85.09c	28.24d	130.06d	78.43cd	26.30c	123.30c	90.81b	27.57c	127.46c	
翻耕	0~10	88.80b	34.02b	152.07b	92.78b	32.96b	156.07b	89.56b	29.42b	139.58b	94.53b	32.00b	150.65b	
	>10~20	82.36c	31.81bc	145.33bc	88.06bc	30.16c	142.33c	83.57c	27.72bc	127.00c	92.93b	29.30c	132.83c	

表 8 耕作模式对水稻季土壤速效养分含量的影响

Table 8 Effect of tillage patterns on soil available nutrient content of rice

处理	土层/cm	2007 年			2008 年			2009 年			2010 年			mg·kg ⁻¹
		碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾	
翻耕	0~10	94.78a	36.94a	170.95a	100.65a	32.02a	168.92a	95.52a	36.52a	162.61a	103.55a	36.18a	176.52a	
	>10~20	85.51c	32.86bc	155.69bc	94.67bc	29.05b	149.92bc	89.13b	34.28ab	137.50c	95.13bc	32.75bc	151.13c	
免耕	0~10	92.64ab	34.30b	161.26b	96.50ab	28.90b	156.80b	91.35ab	32.99b	153.61ab	96.52b	33.37b	163.55b	
	>10~20	79.42d	29.82c	150.04c	90.44c	26.56c	136.94d	83.56c	29.81c	129.12d	86.62c	28.90d	145.62c	

2.2.2 耕作模式对土壤速效养分含量的影响

4 季小麦的试验结果表明(表 7), 免耕有利于碱解氮、速效磷和速效钾富集于土壤表层。免耕使小麦季 0~10 cm 土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量较>10~20 cm 土层分别增加了 15.86%~23.82%、29.15%~35.80%和 24.58%~36.42%。而翻耕处理耕层土壤速效养分分布较免耕均匀, 两土层间碱解氮、速效磷和速效钾含量差异分别为 1.71%~7.82%、6.13%~9.29%和 4.63%~13.41%。>10~20 cm 土层与 0~10 cm 相反, 翻耕处理碱解氮、速效磷和速效钾含量均高于免耕处理。相同土层两种耕作措施间比较, 0~10 cm 土层碱解氮、速效磷和速效钾含量免耕处理比翻耕分别增加了 8.42%~11.30%、10.63%~18.65%和 8.63%~13.69%; >10~20 cm 土层 3 种养分含量翻耕处理比免耕分别增加了 2.34%~6.56%、5.41%~9.50%和 3.00%~9.43%。

水稻季耕层速效养分的变化规律与小麦季有所不同(表 8)。0~10 cm 与>10~20 cm 土层之间碱解氮、速效磷和速效钾含量仍有显著差异。0~10 cm 土层碱解氮、速效磷和速效钾含量比>10~20 cm 土层分别增加了 6.70%~16.65%、8.80%~15.48%和 7.48%~18.97%; 翻耕处理 2 土层间养分含量差异分别为 6.31%~10.84%、6.54%~12.43%和 9.80%~18.26%。但是水稻季 2 种耕作措施相比, 翻耕处理整个耕层碱解氮、速效磷和速效钾含量均高于免耕处理。0~10 cm 土层 3 种速效养分含量, 翻耕比免耕处理分别提高了 2.31%~7.28%、7.70%~10.81%和 5.86%~7.94%, >10~20 cm 土层增幅分别为 4.68%~9.82%、9.37%~14.98%和 3.76%~9.48%。这可能是由于免耕没有进行耕作, 肥料施在土壤表层, 土肥不易相融, 导致免耕稻田表层水溶液中肥料的含量较高, 促进了肥料随水流失或挥发损失。

2.2.3 耕作模式对作物产量及其构成因子的影响

4年8季作物的产量结果显示(图1),免耕小麦产量在4999.50~7218.80 kg/hm²之间,变异系数为1.29%;翻耕小麦产量在5416.00~7469.33 kg/hm²之间,变异系数为1.31%。免耕水稻产量在7737.10~8900.00 kg/hm²之间,变异系数为1.44%;翻耕水稻产量在8332.50~9450.00 kg/hm²之间,变异系数为1.54%。耕作措施对小麦和水稻产量有着不同的效应。免耕可以提高小麦产量,小麦免耕后4季的增产幅度为3.47%~8.33%,平均增产幅度达到了5.69%,其中2009年、2010年免耕和翻耕小麦产量差异达到了显著水平。水稻的产量结果则相反,免耕降低了水稻产量。与翻耕相比,免耕水稻产量的降低幅度为4.11%~7.70%,平均降幅为5.93%,其中除2008年外,其余3年免耕和翻耕水稻产量差异均达到了显著性水平。从整个轮作周期的作物产量来看,小麦免耕水稻翻耕4个轮作周期平均产量为15462.01 kg/hm²,比小麦翻耕水稻免耕轮作周期平均产量(14628.85 kg/hm²)增加了833.15 kg/hm²,增幅为5.70%,产量差异达到了显著性水平。说明在麦稻轮作制下,采用小麦免耕水稻翻耕的耕作模式有利于作物产量的提高。

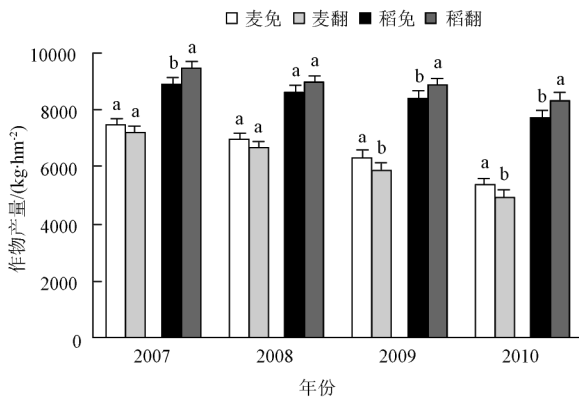


图1 耕作模式对小麦、水稻产量的影响

Fig.1 Effect of tillage patterns on wheat and rice yield

小麦产量构成因子分析结果表明(表9),免耕提高了小麦有效穗数,增加幅度为3.30%~8.33%,其中在2009、2010年度免耕、翻耕小麦有效穗数差异显著。2种耕作措施间小麦的穗粒数和千粒质量差异不明显。对于水稻来说,免耕较翻耕显著降低了水稻有效穗数,降

表9 耕作模式对小麦、水稻产量构成因子的影响

Table 9 Effect of tillage patterns on wheat and rice harvest indicators

年度	耕作措施	小麦			水稻			结实率/%
		有效穗数/(万·hm ⁻²)	穗粒数/个	千粒质量/g	有效穗数/(万·hm ⁻²)	穗粒数/个	千粒质量/g	
2007	翻耕	688.51a	27.00a	46.02a	402.53a	123.01a	23.05a	88.14a
	免耕	711.25a	27.22a	45.52a	377.60b	116.60b	23.90a	89.60a
2008	翻耕	641.62a	26.30a	44.80a	381.99a	109.75a	23.76a	92.92a
	免耕	664.79a	27.06a	45.12a	351.10b	104.30b	24.30a	96.20a
2009	翻耕	565.13b	32.43a	33.53a	362.95a	104.65a	25.05a	91.79a
	免耕	603.31a	33.01a	34.77a	339.50b	101.10a	25.40a	94.80a
2010	翻耕	465.81b	30.61b	40.01a	335.83a	100.82a	25.38a	94.48a
	免耕	504.61a	32.15a	41.33a	315.55b	99.02a	25.29a	93.68a

低幅度达到了6.43%~8.79%;对穗粒数也有一定的正效应,增加幅度为1.82%~5.48%,其中2007、2008年免耕、翻耕间穗粒数的差异显著。免耕对水稻千粒质量和结实率表现出一定的负效应。进一步分析麦稻产量构成因素与产量之间的相关分析表明,小麦3个产量构成因子中,有效穗数与小麦产量呈极显著正相关($r=0.999^{**}$, $r_{0.01}=0.834$);水稻4个产量构成因子中,有效穗数、穗粒数与水稻产量均呈极显著正相关($r=0.972^{**}$ 、 0.848^{**})。

3 讨论

土壤体积质量是土壤松紧状况的度量,在一定程度上反映出土壤水分多少和土壤结构的稳定状态,进而影响到土壤水、肥、气、热条件和作物根系在土壤中的穿插^[16]。由于土壤体积质量的大小受土壤质地、结构、有机质含量以及各种自然因素和田间管理措施的影响,目前关于免耕对土壤体积质量影响的研究结果并不完全一致。Mahboubi、刘世平、周兴祥等的相关研究^[17,10-11]认为,免耕条件下土壤体积质量较翻耕有所增加。也有研究认为传统翻耕田间作业频繁,各种大、重型农机具的使用对土壤的压实也有可能导致土壤体积质量增加。雷金银等^[7]研究指出,与传统翻耕相比,免耕表层0~20 cm土壤体积质量降低了1.65%。王昌全等^[18]研究也认为免耕处理的土壤体积质量均小于传统翻耕。本研究结果表明,免耕比翻耕提高了耕层(0~20 cm)土壤的体积质量,麦季和稻季免耕土壤季体积质量的增幅分别为1.15%~3.88%和3.06%~6.25%,说明免耕措施对耕层土壤体积质量还是有一定的负效应。同时免耕土壤体积质量增大也导致了耕层土壤含水率的降低,这些都可能对作物生长产生不利影响。但是免耕的土壤耕层表层(0~10 cm)的体积质量皆小于1.35 g/cm³,仍在作物适宜生长的范围内^[16]。因此,应进一步研究麦稻轮作制下免耕土壤体积质量的变化规律,以决定是否需要进行翻耕作业,以及翻耕作业的周期等问题。

国内外众多研究表明^[14,19-23],免耕可以使土壤养分在土壤表层发生富集,本研究也证实了这一点。免耕使土壤有机质主要集中在0~10 cm土层,究其原因除了面施的肥料及植物残体因免耕积聚表层,进入下层土壤的数量少这个原因外,免耕减少了对土壤的扰动次数,降低了土壤有机碳的矿化速率^[24-25],也是可能的因素之一。而翻耕将表层富集有机质土壤和作物残茬翻到下层土壤,使肥土相融,从而降低表层土壤有机质含量,增加下层土壤有机质含量,使得耕层(0~20 cm)有机质呈均匀分布的趋势。由于土壤有机氮与腐殖质的消长常常是一致的^[21],所以在本研究中,免耕对土壤全氮含量的影响与对有机质的影响基本类似。即在免耕条件下,全氮主要集中在土壤表层,而翻耕处理土壤全氮在耕作层均匀分布。对于土壤速效养分来说,免耕土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量,在麦季的变化规律与有机质、全氮一致,而稻季免耕土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量的变化趋势与前人研究有所不同^[14],0~20 cm整个耕层

翻耕处理土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均高于免耕处理。可能是因为免耕稻田没有经过人为的干扰松动, 施用肥料大都施在土壤表层, 难于下渗到亚表层和底土层, 导致施肥后稻田水层养分含量显著高于翻耕处理^[9]。而传统水稻栽培一般在水稻插秧约 30 d 后经常采取排水晒田的措施来保持农田土壤的通透性。这样免耕稻田田间水溶液中大量的 N、P、K 养分就会随着水流进入环境而大量流失。另外, 有研究认为免耕土壤中脲酶的活性较高, 加快了尿素的分解, 因而稻田表层水中铵态氮的含量显著高于翻耕处理, 促进了氮肥的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的挥发^[23], 这也可能是免耕稻田土壤碱解氮含量低于翻耕处理的原因之一。

多数研究表明免耕可以提高小麦产量^[16,18], 而对水稻产量影响的研究结果不尽一致, 有增产的^[14,18], 也有减产的^[9,16,26], 且水稻减产的原因也说法不一。庄恒扬认为 7~14 cm 土层体积质量过大可能是导致水稻早衰减产的主要原因^[16]。梁淑敏研究表明水稻减产的原因可能是免耕土壤渗透性增强, 造成土壤渗水漏肥速率加快, 使水稻分蘖力降低及群体不足等所致^[26]。在本研究中, 免耕明显提高了小麦产量, 增产幅度达到了 5.69%; 而对水稻产量却表现出负效应, 使水稻减产 5.93%。整个麦稻轮作周期的作物产量以小麦免耕水稻翻耕模式的产量较高, 比小麦翻耕水稻免耕模式产量增加了 833.15 kg/hm², 增幅达到了 5.70%。结合前面土壤养分含量变化的分析结果可知, 由于免耕稻田没有进行耕作, 土肥难于相融, 水稻生育前期稻田表层土壤养分大量随水流失或挥发散失, 造成了成熟期稻田土壤速效养分含量显著低于翻耕, 导致水稻生长中后期供肥不足, 水稻有效穗数明显低于翻耕处理, 这可能是免耕水稻早衰减产的主要原因之一。因此, 在麦稻轮作区, 建议小麦季实行免耕, 水稻季实行翻耕, 这样既高产又省工。小麦免耕水稻翻耕相结合所形成的高产又高效的耕作栽培模式, 值得在麦稻轮作区作进一步深入研究和推广。

4 结 论

1) 耕作模式对土壤物理性质有显著影响。免耕提高了耕层 (0~20 cm) 土壤的体积质量, 麦季和稻季免耕土壤季体积质量的增幅分别为 1.15%~3.88%和 3.06%~6.25%。同时免耕降低了耕层土壤的土壤含水率。但是免耕土壤耕层表层 (0~10 cm) 的体积质量皆小于 1.35 g/cm³, 仍在作物适宜生长的范围内。

2) 免耕促进了土壤有机质和全氮在表层土壤富集。0~10 cm 土层小麦季和稻季土壤有机质和全氮含量比翻耕处理均显著增加, 而 >10~20 cm 土层上述养分含量均明显低于翻耕处理。小麦季免耕土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量的变化趋势与有机质、全氮含量相似, 而水稻季免耕处理整个耕层土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量均低于翻耕处理。

3) 麦稻轮作制下, 免耕显著提高了小麦产量, 增产幅度达到了 5.69%, 但使水稻减产 5.93%。起主要作用的产量构成因素是小麦和水稻的有效穗数。整个麦稻轮作

周期的作物产量以小麦免耕水稻翻耕模式的产量较高, 比小麦翻耕水稻免耕模式产量增加了 5.70%。在麦稻轮作区, 建议小麦季实行免耕, 水稻季实行翻耕。

[参 考 文 献]

- [1] 高焕文, 李问盈, 李洪文. 中国特色保护性耕作技术[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 1-4.
Gao Huanwen, Li Wenying, Li Hongwen. Conservation tillage technology with Chinese characteristics [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3): 1-4. (in Chinese with English abstract)
- [2] 孔凡磊, 陈阜, 张海林, 等. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 150-155.
Kong Fanlei, Chen Fu, Zhang Hailin, et al. Effects of rotational tillage on soil physical properties and winter wheat yield[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 150-155. (in Chinese with English abstract)
- [3] Upendra M. Sainju, Bharat P. Singh, Wayne F. Whitehead, et al. Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(3): 682-691.
- [4] Ruijun Qin, Peter Stamp, Walter Richner. Impact of tillage on root systems of winter wheat[J]. Agronomy Journal, 2004, 96(6): 1523-1530.
- [5] Guzha A C. Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 76(2): 105-114.
- [6] Garcia J P, Wortmann C S, Mamo M, et al. One-time tillage of no-till: effects on nutrients, mycorrhizae, and phosphorus uptake[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(4): 1093-1103.
- [7] 雷金银, 吴发启, 王健, 等. 保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 40-45.
Lei Jinyin, Wu Faqi, Wang Jian, et al. Effects of conservation tillage on soil physical properties and corn yield[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 40-45. (in Chinese with English abstract)
- [8] 韩宾, 李增嘉, 王芸, 等. 土壤耕作及秸秆还田对冬小麦生长状况及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 48-53.
Han Bin, Li Zengjia, Wang Yun, et al. Effects of soil tillage and returning straw to soil on wheat growth status and yield[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2): 48-53. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李华兴, 卢维盛, 刘远金, 等. 不同耕作方法对水稻生长和土壤生态的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 553-556.
Li Huaxing, Lu Weisheng, Liu Yuanjin, et al. Effect of different tillage methods on rice growth and soil ecology[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(4): 553-556. (in Chinese with English abstract)

- [10] 刘世平, 陈后庆, 聂新涛, 等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 51—56.
Liu Shiping, Chen Houqin, Nie Xintao, et al. Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on soil fertility in a wheat: rice double cropping system[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 51—56. (in Chinese with English abstract)
- [11] 周兴祥, 高焕文, 刘晓峰. 华北平原一年两熟保护性耕作体系实验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 81—84.
Zhou Xingxiang, Gao Huanwen, Liu Xiaofeng. Experimental study on conservation tillage system in areas of two crops a year in North China Plain[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(6): 81—84. (in Chinese with English abstract)
- [12] Ghuman B S, Sur H S. Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate[J]. Soil and Tillage Research, 2001, 58(1): 1—10.
- [13] 卢维盛, 李华兴, 刘远金, 等. 不同耕作方法对抛秧水稻生长和氮素利用的影响[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 8—10, 42.
Lu Weisheng, Li Huaxing, Liu Yuanjin, et al. Effect of glucosinolates of host vegetables on preference of stripped flea beetle[J]. Journal of South China Agricultural University, 2001, 22(4): 8—10, 42. (in Chinese with English abstract)
- [14] 冯跃华, 邹应斌, Roland J Buresh, 等. 免耕直播对一季晚稻田土壤特性和杂交水稻生长及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1728—1736.
Feng Yuehua, Zou Yingbin, Roland J Buresh, et al. Effects of no-tillage and direct broadcasting on soil physical and chemical properties and growth and yield formation in hybrid rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(11): 1728—1736. (in Chinese with English abstract)
- [15] 中国科学院土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [16] 庄恒扬, 刘世平, 沈新平, 等. 长期少免耕对稻麦产量及土壤有机质与体积质量的影响[J]. 中国农业科学, 1999, 32(4): 39—44.
Zhuang Hengyang, Liu Shiping, Shen Xinping, et al. Effect of long: termminimal and zero tillages on rice and wheat yields, soil organic matter and bulk density[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(4): 39—44. (in Chinese with English abstract)
- [17] Mahboubi A A, Lal R, Faussey N R. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(2): 506—512.
- [18] 王昌全, 魏成明, 李廷强, 等. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 152—155.
Wang Changquan, Wei Chengming, Li Tingqiang, et al. Effect of different zero tillage on the crop yield and soil property[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2001, 19(2): 152—155. (in Chinese with English abstract)
- [19] Hernanza J L, López R, Navarrete L, et al. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain[J]. Soil and Tillage Research, 2002, 66(2): 129—141.
- [20] Blevins R L, Thomas G W, Smith M S, et al. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn[J]. Soil and Tillage Research, 1983, 3(2): 135—146.
- [21] 高亚军, 朱培立, 黄东迈, 等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对有机质和全氮的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 27—30.
Gao Yajun, Zhu Peili, Huang Dongmai, et al. Long-term impact of different soil management on organic matter and total nitrogen in rice-based cropping system[J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 27—30. (in Chinese with English abstract)
- [22] 徐阳春, 沈其荣, 储国良, 等. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549—552.
Xu Yangchun, Shen Qirong, Chu Guoliang, et al. Effect of long-term no-tillage and application of organic manure on some properties of soil fertility in rice/wheat rotation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(4): 549—552. (in Chinese with English abstract)
- [23] 吴建富, 潘晓华, 石庆华. 免耕抛栽对水稻产量及其源库特性的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 162—172.
Wu Jianfu, Pan Xiaohua, Shi Qinghua. Effects of no-tillage cast transplanting on rice yield and its source-sink characteristics[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(1): 162—172. (in Chinese with English abstract)
- [24] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science, 2004, 304(11): 1623—1627.
- [25] Balesdent J, Mariotti A, Boisgontier D. Effects of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields[J]. Journal of Soil Science, 1990, 41(4): 587—596.
- [26] 梁淑敏, 谢瑞芝, 汤永禄, 等. 成都平原不同耕作模式的农田效应研究 I. 对土壤性状及作物产量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3988—3996.
Liang Shumin, Xie Ruizhi, Tang Yonglu, et al. Effects of tillage systems on fields in chengdu plain I. the effects of tillage systems on soil properties and crop yields[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(19): 3988—3996. (in Chinese with English abstract)

Effects of tillage patterns on crop yields and soil physicochemical properties in wheat-rice rotation system

Wu Ji^{1,2,3}, Guo Xisheng^{1,2}, Zhang Xiangming¹, Wang Yunqing¹, Xu Zhengyu¹, Lu Jianwei^{3*}

(1. Soil and Fertilizer Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences;

2. Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources and Environment, Hefei 230031, China;

3. College of Resources and Environmental Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to study effects of tillage systems on crop yields and soil physical and chemical properties in wheat-rice rotation system, a long term (2007–2010) experiment was conducted. The results showed that compared with conventional tillage, the soil bulk density increased and soil water content decreased with no-tillage. But even without tillage, bulk density of the 0-10 cm soil layer was still suitable for the growth of crops. No-tillage enriched soil organic matter and total nitrogen in the surface soil layer. Both the soil organic matter and total N content of no-tillage were significantly higher in 0-10 cm layer and lower in 10-20 cm layer than that of conventional tillage. During the wheat season, the soil alkali N, available P and available K contents had the same trends with those of organic matter and total N. Whereas during the rice season, with no-tillage, the soil alkali N, available P and available K contents in 0-20 cm layer were lower than those of conventional tillage. The results also indicated that the treatment of no-tillage increased wheat yield, but significantly reduced rice production, and the key component of the yield was the effective panicle amount of wheat or rice. During the whole wheat-rice rotation system, the yields of wheat treated with no-tillage and the yield of rice treated with conventional tillage were 5.7% higher than wheat with conventional tillage and rice with no-tillage.

Key words: soils, moisture, land use, wheat-rice rotation system, no-tillage, conventional tillage, yield, soil physical and chemical properties