

# 耕层增减对作物产量、养分吸收和土壤养分状况的影响<sup>①</sup>

韩上<sup>1,2,3</sup>, 武际<sup>1,2\*</sup>, 夏伟光<sup>3</sup>, 陈峰<sup>4</sup>, 雷之萌<sup>3</sup>, 王允青<sup>1,2</sup>, 郭熙盛<sup>1,2</sup>, 李敏<sup>1,2</sup>

(1 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031; 2 安徽养分循环与资源环境省级实验室, 合肥 230031;

3 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 4 濉溪县五铺农场, 安徽淮北 235118)

**摘要:** 试验于 2012—2015 年在淮北平原中部的濉溪县展开, 设原始耕层(TS)、在原始耕层厚度上人工削减 5 cm (TS-5)和在原始耕层厚度上人工增加 5 cm(TS+5) 3 个处理。在玉米和小麦成熟期采样分析和田间测产, 在 3 季小麦收获后分别采集 0~20 cm 土层土样进行分析, 明确耕层厚度变化对玉米-小麦轮作体系作物产量、养分积累的影响和土壤养分含量的变化规律。结果表明, 耕层减少 5 cm 处理明显降低玉米-小麦轮作体系作物产量和 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 积累量, 与原始耕层处理相比, 分别下降了 5.61% 和 8.31%、5.65%、18.38%; 耕层增加 5 cm 后作物产量和各养分积累量均未出现显著变化。第 1 个轮作周期结束时, 耕层减少 5 cm 处理的土壤有机质、全氮和速效钾含量明显低于原始耕层处理; 而经过 3 个轮作周期, 土壤有机质含量仍处于较低水平, 全氮和速效钾含量逐渐回升, 与原始耕层对应指标已无显著差异。耕层增加 5 cm 处理明显提高了土壤有机质和各养分含量, 并在 3 个轮作周期后仍处于较高水平。综上, 耕层厚度减少 5 cm 会降低玉米-小麦轮作体系作物产量、各养分积累量和土壤有机质含量, 并在短期内难以恢复; 增加 5 cm 耕层虽然能改善土壤养分状况, 但对作物产量和养分积累量的提高没有明显效果。

**关键词:** 耕层厚度; 砂姜黑土; 玉米-小麦轮作; 产量; 养分积累; 土壤养分

**中图分类号:** S158.5 **文献标识码:** A

作为中国第二大平原, 华北平原是我国小麦、玉米的集中种植区域, 在我国的粮食生产中具有举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。华北平原当前农业机械化程度较高, 各种大型机械参与田间作业时连年碾压土壤, 但生产上却常年以旋耕为主, 导致了该地区出现土壤耕层变浅、犁底层紧实上移、土壤生产能力下降等一系列问题<sup>[2-5]</sup>。安徽淮北平原位于华北平原南端, 土壤类型以砂姜黑土为主<sup>[6]</sup>, 在当前农业生产中除了存在上述问题, 以砂姜黑土为主的中低产土壤也是该区域作物产量提高的限制因素<sup>[7-8]</sup>。为此, 明确耕层变化对淮北砂姜黑土区作物和土壤的影响, 对保障该区域农业可持续性发展具有重要意义。

针对耕层变浅这一现实问题, 学者进行了调查与研究, 并取得了一定进展<sup>[9-10]</sup>。但当前的研究主要集中在原始耕层条件下不同耕作模式<sup>[11-17]</sup>、秸秆等有机物料还田<sup>[18-22]</sup>以及二者交互作用<sup>[23-27]</sup>对作物生长发育和土壤物理、化学、生物学性质的影响。以耕

层本身厚度变化为对象的研究多在土壤侵蚀领域展开<sup>[28-29]</sup>, 国内相关研究较少且集中在土壤侵蚀严重的区域, 研究也以室内模拟试验为主<sup>[30-31]</sup>, 开展的田间试验的研究年限也较短<sup>[32-33]</sup>。当前, 淮北平原农田面临耕层变浅、犁底层紧实上移等现实问题, 但针对华北平原耕层变化的田间试验研究却鲜见报道<sup>[3]</sup>。本研究以砂姜黑土为研究对象, 在现有耕层厚度的基础上, 模拟耕层减少和增加, 通过田间连续多年试验明确耕层厚度变化对作物产量、养分积累和土壤养分状况的影响, 以期为进一步研究淮北平原砂姜黑土区地力提升和作物高产稳产提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验概况

试验于 2012 年 6 月至 2015 年 6 月在安徽省淮北市濉溪县进行。试验区位于淮北平原中部, 属于暖温带半湿润气候, 年平均气温 14.5 °C, 降雨量 852.4 mm,

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0300901), 安徽省农业科学院院长青年创新基金项目(16B1019), 公益性行业科研专项(201503122)和安徽省重点研究与开发计划项目(1704e1002237)资助。

\* 通讯作者(wuji338@163.com)

作者简介: 韩上(1989—), 男, 河南信阳人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物营养与作物施肥技术研究。E-mail: hs0059@126.com

日照充足,四季分明。试验采用当地典型的夏玉米-冬小麦轮作制度,在本试验开始前该田块已经种植玉米-小麦 6 a 以上,试验地基本条件一致。

供试玉米品种为浚单 20,小麦品种为济麦 22。玉米采用点播,行距 70 cm,株距 24 cm,分别于 2012 年 6 月 27 日、2013 年 6 月 22 日和 2014 年 6 月 18 日播种,2012 年 10 月 13 日、2013 年 10 月 28 日和 2014 年 10 月 15 日收获。小麦采用条播,行距 25 cm,分别于 2012 年 11 月 2 日、2013 年 10 月 24 日和 2014 年 10 月 31 日播种,2013 年 6 月 6 日、2014 年 6 月 6 日和 2015 年 6 月 8 日收获。供试土壤为砂姜黑土,试验开始前测定耕作层厚度为 15 cm,容重为 1.47 g/cm<sup>3</sup>,0~20 cm 土层土壤养分含量为有机质 15.73 g/kg,全氮 0.97 g/kg,碱解氮 65.50 mg/kg,有效磷 7.59 mg/kg,速效钾 163.88 mg/kg,缓效钾 884.24 mg/kg pH 为 8.15。

## 1.2 试验设计

试验设 3 种不同耕层厚度处理,分别为原始耕层(TS)、在原始耕层厚度上人工削减 5 cm(TS-5)和在原始耕层厚度上人工增加 5 cm(TS+5)。具体操作为:在 2012 年冬小麦收获后,先将试验区按试验要求划分试验小区,以小区为单位进行操作。耕层减少 5 cm 处理操作时先将小区划分为 14 个 2 m<sup>2</sup> 小块,以小块为单位人工起 5 cm 表层土壤,并将该土壤运至耕层增加处理小区的对应位置摊平。每处理 3 次重复,小区面积 4 m × 7 m。每季作物收获后将地上部秸秆全部移出小区,留茬高度小于 10 cm;以小区为单位撒施基肥,人工翻耕 5 cm 后整细耙平。玉米季氮肥(N)用量 240 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)90 kg/hm<sup>2</sup>,钾肥(K<sub>2</sub>O)120 kg/hm<sup>2</sup>。60% 的氮肥和全部磷钾肥基施,40% 氮肥拔节期追施。小麦季氮肥(N)用量 225 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)为 90 kg/hm<sup>2</sup>,钾肥(K<sub>2</sub>O)105 kg/hm<sup>2</sup>。60% 的氮肥和全部磷钾肥基施,40% 氮肥拔节期追施。供试肥料分别为尿素(含 N 46%),过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%),氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)。在玉米-小麦整个轮作周期内,其他管理措施完全相同。

## 1.3 测定项目及方法

在 2012 年 6 月小麦收获后,采集 0~20 cm 土层

土样,采用常规方法测定基本理化性质<sup>[34]</sup>。

在玉米和小麦成熟期,按小区全部收获,人工脱粒、称重、测定含水率并计算各小区产量。各小区随机选取 6 株玉米或 3 个 1 m<sup>2</sup> 样方小麦的地上部,风干后按籽粒和秸秆分别计重。样品烘干、磨碎后,经 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化,半微量开氏法测定全氮含量,钼锑抗比色法测定全磷含量,火焰光度计法测定全钾含量<sup>[34]</sup>。

在 2013 年 6 月、2014 年 6 月和 2015 年 6 月小麦收获后,每小区按 5 点法取 0~20 cm 土层土壤,风干过筛后,采用常规方法测定土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾和 pH。

## 1.4 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据分析和图表处理,SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 耕层厚度变化对玉米-小麦轮作体系作物产量的影响

比较 6 季作物产量可知(表 1),与原始耕层处理相比,耕层减少 5 cm 处理的平均产量出现了下降,减产率达 5.61%;而耕层增加 5 cm 处理的作物平均产量与原始耕层处理没有明显差异,增产率只有 0.47%。比较不同耕层厚度对每季作物的产量可以发现,耕层减少 5 cm 后 6 季作物的产量均处于最低水平,原始耕层处理的第 1 季小麦、第 2 季玉米和第 3 季小麦产量较高,耕层增加 5 cm 处理第 1 季玉米、第 2 季小麦和第 3 季玉米产量较高。整体上,原始耕层和耕层增加 5 cm 处理的 6 季作物产量均接近,差异均未达显著水平;耕层减少 5 cm 处理的第 2 季小麦产量显著低于耕层增加 5 cm 处理,第 3 季小麦产量则显著低于其他两个处理。在玉米产量上,3 个耕层厚度处理只在第 2 季表现出了显著差异,并且第 2 季玉米的产量整体低于其他两季,平均产量只有其他两季产量的 53.5% 和 57.7%。这可能与试验区在第 2 季玉米扬花授粉期间出现的持续极端高温干旱天气有关<sup>[35]</sup>。

表 1 不同耕层厚度下玉米-小麦轮作体系作物产量  
Table 1 Crop yields under maize-wheat rotation with different thicknesses of plough layer

处理	每季产量 (kg/hm <sup>2</sup> )						平均产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
	第 1 季玉米	第 1 季小麦	第 2 季玉米	第 2 季小麦	第 3 季玉米	第 3 季小麦	
TS	8 954 a	4 849 a	5 085 a	6 524 ab	8 061 a	6 177 a	6 608 a
TS-5	8 679 a	4 783 a	4 474 b	6 174 b	7 844 a	5 473 b	6 238 a
TS+5	9 135 a	4 809 a	4 754 ab	6 786 a	8 243 a	6 109 a	6 639 a

注:表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到  $P < 0.05$  显著水平,下表同。

对玉米-小麦轮作体系作物产量变化规律进一步分析(表 2), 结果显示, 与原始耕层处理的产量相比, 耕层减少 5 cm 后 3 季小麦产量的平均减产率达到了 6.38%, 高于 3 季玉米的平均减产率 5.00%。如果不考虑第 2 季玉米种植期间极端天气造成的 12.02% 的减产率, 耕层减少 5 cm 对玉米产量的负效应会进一步降低, 只有 3% 左右; 而耕层减少 5 cm 则使小麦第 1~3 季

分别减产 1.36%、5.36% 和 11.39%, 减产率逐渐增大。说明耕层减少 5 cm 会导致玉米和小麦均出现减产, 其中对小麦的减产效果更明显, 且减产效果在连续种植 3 a 时仍然存在。耕层增加 5 cm 后, 与原始耕层处理的产量相比, 玉米产量在第 2 季下降了 6.51%, 而在第 1 和第 3 季有小幅提升, 3 季平均增产 0.10%; 小麦产量整体上增产和减产的变幅较小, 3 季平均增产 0.87%。

表 2 耕层变化后作物产量变化趋势  
Table 2 Annual changes of crop yields with different thicknesses of plough layer

处理	作物	与 TS 相比增产率 (%)			
		第 1 季(周年)	第 2 季(周年)	第 3 季(周年)	3 季(周年)平均
TS-5	玉米	-3.07	-12.02	-2.69	-5.00
	小麦	-1.36	-5.36	-11.39	-6.38
	玉米-小麦	-2.47	-8.28	-6.47	-5.61
TS+5	玉米	2.02	-6.51	2.26	0.10
	小麦	-0.82	4.02	-1.10	0.87
	玉米-小麦	1.01	-0.60	0.79	0.47

考虑到在相同施肥条件下, 如果当季作物产量较高、生物量较大则会带走较多养分而使下季作物能够利用的养分相对减少, 出现产量可能较低的问题, 本研究进一步以玉米-小麦轮作体系为对象, 分析每个轮作周期(周年)作物产量的变化规律。结果表明, 与原始耕层处理相比, 耕层减少 5 cm 后, 玉米-小麦体系的 3 个周年分别减产 341、961 和 921 kg/hm<sup>2</sup>, 减产率为 2.47%、8.28% 和 6.47%。耕层增加 5 cm 后, 玉米-小麦体系在第 1 和第 3 个周年的分别增产 141 kg/hm<sup>2</sup> 和 114 kg/hm<sup>2</sup>, 增产率为 1.01% 和 0.79%; 在第 2 个周年减产了 0.60%。综上所述, 耕层减少 5 cm 后, 玉米-小麦轮作体系的作物产量在 3 个周年均出现一定程度下降; 而耕层增加 5 cm 没有明显变化。

## 2.2 耕层厚度变化对玉米-小麦轮作体系作物养分吸收的影响

不同耕层厚度处理下作物对 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的积

累存在差异(表 3)。与原始耕层处理地上部各养分积累量相比, 耕层减少 5 cm 使玉米的 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 积累量分别下降了 6.06%、2.71% 和 15.77%, 小麦分别下降了 10.90%、8.88% 和 21.24%, 小麦各养分积累量的下降幅度均大于玉米。对不同养分来说, 按下降幅度的大小依次排序为: K > N > P。分不同部位比较, 玉米的 N 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的积累量在籽粒中下降幅度更大, 均达到了显著水平; K<sub>2</sub>O 积累量在秸秆中降低了 25.40 kg/hm<sup>2</sup>, 降幅为 17.58%; 小麦中各养分积累量均以秸秆中下降幅度最大。耕层增加 5 cm 时, 玉米的地上部 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 积累量分别增加了 3.32%、0.20% 和 5.96%, 各养分积累量均有一定程度的增加, 表现为 K > N > P, 但均未达到显著水平; 小麦的各养分积累量和原始耕层处理对应指标均接近, 差异在 1% 以内。

表 3 不同耕层厚度下玉米-小麦轮作体系作物养分积累量(kg/hm<sup>2</sup>)  
Table 3 Nutrient accumulation under maize-wheat rotation with different thicknesses of plough layer

养分	处理	玉米(3 季平均)			小麦(3 季平均)			玉米-小麦系统(3 周年平均)		
		籽粒	秸秆	地上部	籽粒	秸秆	地上部	籽粒	秸秆	地上部
N	TS	98.57 a	61.82 b	160.39 a	107.81 a	31.80 a	139.61 a	103.19 a	46.81 a	150.00 a
	TS-5	89.95 b	60.71 b	150.67 b	98.12 b	26.26 b	124.38 b	94.04 b	43.49 b	137.53 b
	TS+5	99.16 a	66.55 a	165.71 a	109.23 a	29.97 a	139.19 a	104.19 a	48.26 a	152.45 a
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TS	31.39 a	13.66 a	45.05 a	35.41 a	5.62 a	41.02 a	33.40 a	9.64 a	43.04 a
	TS-5	29.38 b	14.45 a	43.83 a	32.88 b	4.51 c	37.38 b	31.13 b	9.48 a	40.60 a
	TS+5	30.70 ab	14.44 a	45.14 a	35.99 a	5.23 b	41.22 a	33.34 a	9.83 a	43.18 a
K <sub>2</sub> O	TS	30.66 a	144.52 b	175.18 a	30.94 a	129.19 a	160.13 a	30.80 a	136.86 a	167.66 a
	TS-5	28.43 b	119.12 c	147.55 b	28.69 b	97.43 b	126.13 b	28.56 b	108.28 b	136.84 b
	TS+5	30.04 ab	155.58 a	185.62 a	31.01 a	127.64 a	158.66 a	30.53 a	141.61 a	172.14 a

进一步分析了玉米、小麦的各养分收获指数, 耕层厚度变化对玉米和小麦的氮收获指数和磷收获指数均没有明显影响; 耕层减少 5 cm 显著提高了玉米和小麦的钾收获指数, 而耕层增加 5 cm 显著降低了玉米的钾收获指数, 对小麦的钾收获指数没有影响。说明在耕层减少 5 cm 导致作物地上部  $K_2O$  积累量整体降低的条件下, 钾素优先转运至玉米和小麦的籽粒; 而在地上部  $K_2O$  积累量提高时, 增加的钾素更多地储存在了玉米秸秆中。对玉米-小麦轮作体系来说, 耕层减少 5 cm 显著降低了 N 和  $K_2O$  的积累量, 降幅分别为 8.31% 和 18.38%, 对  $P_2O_5$  的积累也有一定程度的降低, 但未达显著水平, 各养分降幅依次为  $K > N > P$ ; 耕层增加 5 cm 对各养分积累量无明显影响, 与原始耕层相比, 增幅分别为 1.64%、0.33% 和 2.67%。综上所述, 耕层减少 5 cm 使作物对 N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  的积累量出

现不同程度的降低, 而耕层增加 5 cm 后作物对各养分的积累量没有明显增加。

### 2.3 耕层厚度变化对土壤养分状况的影响

**2.3.1 耕层厚度变化对土壤有机质和全氮含量的影响** 在小麦季取土进行养分分析, 不同处理对土壤有机质和全氮含量的影响见表 4。与原始耕层处理相比, 耕层减少 5 cm 处理明显降低了土壤有机质含量, 在 2013—2015 年测定时有机质含量分别降低了 0.78、0.23 和 0.84 g/kg; 而耕层增加 5 cm 处理则明显提高了土壤有机质的含量, 在 2013 年测定时提高了 0.98 g/kg, 2014 年和 2015 年时分别提高了 1.71 g/kg 和 1.11 g/kg, 达到了显著水平。比较同一处理不同年份间的变化, 各处理土壤有机质含量的变化并未出现明显趋势, 原始耕层处理含量在 15.24~15.74 g/kg, 耕层减少 5 cm 处理在 14.70~15.01 g/kg, 耕层增加 5 cm 处理在 16.65~16.95 g/kg。

表 4 2013—2015 年不同耕层厚度下土壤有机质和全氮含量变化

Table 4 Annual changes in contents of SOM and total nitrogen with different thicknesses of plough layer in 2013—2015

处理	有机质 (g/kg)			全氮 (g/kg)		
	2013 年	2014 年	2015 年	2013 年	2014 年	2015 年
TS	15.74 ab	15.24 b	15.54 b	0.95 b	0.97 b	0.95 b
TS-5	14.96 b	15.01 b	14.70 b	0.91 b	0.92 b	0.95 b
TS+5	16.72 a	16.95 a	16.65 a	1.06 a	1.06 a	1.05 a

不同处理间土壤全氮含量的变化趋势在 2013 年和 2014 年表现为耕层减少 5 cm 土壤全氮含量分别降低了 3.94% 和 4.83%, 耕层增加 5 cm 土壤全氮含量分别提高了 11.55% 和 9.38%。经过 3 个轮作周期, 在 2015 年测定时耕层减少 5 cm 处理的土壤全氮含量与原始耕层处理一致, 而耕层增加 5 cm 处理仍处于较高水平, 显著高于其他两个处理。比较同一处理不同年份间的变化, 原始耕层和耕层增加 5 cm 处理的土壤全氮含量没有明显的变化, 而耕层减少 5 cm 处理随着时间的推移有逐渐升高的趋势。

**2.3.2 耕层厚度变化对土壤有效磷和速效钾含量的影响** 由表 5 可知, 耕层增加 5 cm 处理提高了土

壤有效磷含量, 在各年份均显著高于原始耕层和耕层减少 5 cm 处理; 原始耕层和耕层减少 5 cm 处理间无显著差异, 二者土壤有效磷含量在 6.22~7.03 mg/kg 之间。同一处理的土壤有效磷含量并未随着试验年限的增加发生明显变化。耕层减少 5 cm 处理在 2013 年和 2014 年土壤速效钾含量分别降低了 15.41% 和 8.13%, 达显著水平; 而在 2015 年降低了 5.40%, 未达显著水平。耕层增加 5 cm 处理则显著提高了速效钾含量, 2013—2015 年比原始耕层处理分别提高了 33.92%、55.76% 和 51.74%。2013—2015 年, 原始耕层处理的土壤速效钾含量无明显变化, 而耕层减少 5 cm 处理有升高趋势。

表 5 2013—2015 年不同耕层厚度下土壤有效磷和速效钾含量变化

Table 5 Annual changes in contents of soil available phosphorus and potassium with different thicknesses of plough layer in 2013—2015

处理	有效磷(mg/kg)			速效钾 (mg/kg)		
	2013 年	2014 年	2015 年	2013 年	2014 年	2015 年
TS	6.93 b	6.78 b	6.22 b	168.56 b	168.71 b	163.31 b
TS-5	7.03 b	6.50 b	6.66 b	142.58 c	154.99 c	154.49 b
TS+5	8.41 a	11.55 a	8.54 a	225.73 a	262.79 a	247.81 a

### 3 讨论

土壤是作物赖以生存的基础,作物生长发育所需要的大部分养分和水分都来自于土壤耕作层<sup>[36]</sup>。耕层厚度的减少会导致土壤的理化性质变劣,进而降低作物产量<sup>[28,37]</sup>。成婧等<sup>[33]</sup>以渭北旱塬土壤为研究对象,得出剥离表层土壤会使土壤理化性质恶化,人为增加耕层厚度能很好地改善土壤结构和提高土壤有机质及其他养分含量。本研究发现在削减 5 cm 耕层后,第 1 个轮作周期结束时 0~20 cm 土层土壤有机质、全氮、速效钾含量均出现明显下降;经过 3 个轮作周期,土壤全氮和速效钾含量逐渐回升,但有机质含量仍处于较低水平。而耕层增加 5 cm 对土壤有机质和各养分含量均有明显的提升作用,与原始耕层相比,在第 3 个轮作周期结束时土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量仍分别提高了 1.11 g/kg、0.10 g/kg、2.32 mg/kg 和 84.50 mg/kg,差异均达显著水平。本研究的结果也证实了耕层厚度的减少或增加会迅速降低或提升土壤有机质和各养分含量,其中耕层减少导致的土壤全氮和速效钾含量的降低能在传统耕作模式下逐渐回升,而有机质含量下降后在短期内不能得到恢复。

有研究发现,在常规施肥条件下,耕层变浅会使玉米产量降低,剥离 10 cm 表土后,玉米产量下降了 13.9%;而覆盖 10 cm 表土后玉米产量上升了 12.0%<sup>[38]</sup>。本研究在耕层减少 5 cm 时作物产量也出现下降,玉米和小麦 3 季平均下降了 5.00% 和 6.38%,降幅小于上述研究结果。这可能与本研究剥离的土层厚度只有 5 cm 有关,也可能与两个试验区土壤肥力水平有关。张兴义等<sup>[32]</sup>对土壤肥力水平较高的黑土区的研究就发现,耕层减少 5 cm 和 10 cm 时,作物只减产了 3.1% 和 3.2%。同时,耕层减少 5 cm 后作物对各养分的吸收量出现不同程度的降低,其中氮和钾积累量的降幅分别为 8.31% 和 18.38%,大于产量的降幅 5.61%,这也从养分吸收的角度解释了作物减产的原因。本研究结果显示耕层增加 5 cm 后玉米和小麦的产量没有明显提升,平均增产率只有 0.10% 和 0.87%,与上述研究<sup>[38]</sup>得出的作物明显增产的结论并不一致,这可能与砂姜黑土既不耐旱也不耐涝,耕性和通透性均较差的特性有关<sup>[7]</sup>。增加 5 cm 耕层虽然明显改善了土壤的养分状况,但可能仍受限于砂姜黑土不良的物理性状而未能使作物获得增产,并在 3 个轮作周期结束时仍无增产效果。上述讨论也提示我们在生产中一定要重视保护农田耕作层,耕层

结构一旦被破坏则很难恢复如初,而耕层土壤地力提升也绝非朝夕之事。

另外,本研究仅通过 3 a 的定位试验对淮北平原砂姜黑土区不同耕层厚度变化下作物产量、养分吸收和土壤养分状况的变化进行了比较,关于耕层变化对土壤物理性状、作物根系分布等方面的影响以及针对耕层变浅后不同恢复措施的效果还有待进一步研究。

### 4 结论

1) 在耕层厚度为 15 cm 的淮北平原砂姜黑土区,减少 5 cm 耕层会降低玉米-小麦轮作体系作物产量和 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 积累量,降幅依次为 5.61% 和 8.31%、5.65%、18.38%;而耕层增加 5 cm 并未显著增加作物产量和各养分积累量。

2) 耕层减少 5 cm 后土壤有机质、全氮和速效钾的含量在第 1 个轮作周期结束时明显低于原始耕层土壤,经过 3 个轮作周期,土壤全氮和速效钾含量逐渐回升,有机质含量仍处于较低水平。耕层增加 5 cm 明显提高了土壤有机质和各养分含量,并在 3 个轮作周期后仍处于较高水平。

#### 参考文献:

- [1] 全国农业技术推广服务中心. 华北小麦玉米轮作区耕地地力[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015
- [2] 杨雪, 逢焕成, 李轶冰, 等. 深旋松耕作法对华北缺水土壤质黏潮土物理性状及作物生长的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(16): 3401-3412
- [3] 石彦琴, 高旺盛, 陈源泉, 等. 耕层厚度对华北高产灌溉农田土壤有机碳储量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 85-90
- [4] Nakatsu S, Higashida S, Sawazaki A. Easy estimation method for plow pan and effect of improved pan-breaking[J]. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2004, 75(2): 265-268
- [5] Zhang X Y, Shao L W, Sun H Y, et al. Incorporation of soil bulk density in simulating root distribution of winter wheat and maize in two contrasting soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76: 638-647
- [6] 潘强. 安徽省淮北地区水土流失规律及防治措施研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007
- [7] 王道中, 花可可, 郭志彬. 长期施肥对砂姜黑土作物产量及土壤物理性质的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(23): 4781-4789
- [8] 陈欢, 曹承富, 孔令聪, 等. 长期施肥下淮北砂姜黑土区小麦产量稳定性研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(13): 2580-2590
- [9] 翟振, 李玉义, 逢焕成, 等. 黄淮海北部农田犁底层现状及其特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2322-2332

- [10] 白伟, 孙占祥, 郑家明, 等. 辽西地区土壤耕层及养分状况调查分析[J]. 土壤, 2011, 43(5): 714-719
- [11] 聂良鹏, 郭利伟, 牛海燕, 等. 轮耕对小麦-玉米两熟农田耕层构造及作物产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(3): 468-478
- [12] 孙波, 陆雅海, 张旭东, 等. 耕地地力对化肥养分利用的影响机制及其调控研究进展[J]. 土壤, 2017, 49(2): 209-216
- [13] Hu H, Ning T, Li Z, et al. Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen-water use and yield of different varieties of maize in Northern China[J]. Field Crops Res., 2013, 142: 85-94
- [14] 李轶冰, 逢焕成, 李华, 等. 粉垄耕作对黄淮海北部春玉米籽粒灌浆及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(14): 3055-3064
- [15] Magomedov N R, Teimurov S A, Teimurov A A, et al. Corn productivity on irrigated meadow-chestnut soils depending on tillage method and fertilizer dose[J]. Russian Agricultural Sciences, 2010, 36(4): 233-235
- [16] 蔡丽君, 边大红, 田晓东, 等. 耕作方式对土壤理化性状及夏玉米生长发育和产量的影响[J]. 华北农学报, 2014(5): 232-238
- [17] 姬强, 孙汉印, Taraqqi A K, 等. 不同耕作措施对冬小麦-夏玉米复种连作系统土壤有机碳和水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1029-1035
- [18] 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
- [19] 万运帆, 李玉娥, 高清竹, 等. 田间管理对华北平原冬小麦产量土壤碳及温室气体排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2495-2500
- [20] 邵云, 赵院利, 冯荣成, 等. 耕层调控和有机物料还田对小麦产量及氮磷钾分配利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(1): 117-122
- [21] 侯晓娜, 李慧, 朱刘兵, 等. 生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J]. 中国农业科学, 2015(4): 705-712
- [22] 张久明, 迟凤琴, 宿庆瑞, 等. 不同有机物料还田对土壤结构与玉米光合速率的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2014(1): 56-61
- [23] 孟庆阳, 王永华, 靳海洋, 等. 耕作方式与秸秆还田对砂姜黑土土壤酶活性及冬小麦产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(3): 341-346
- [24] 战秀梅, 李秀龙, 韩晓日, 等. 深耕及秸秆还田对春玉米产量、花后碳氮积累及根系特征的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 461-466
- [25] Jin K, Cornelis W M, Schiettecatte W, et al. Effects of different management practices on the soil-water balance and crop yield for improved dryland farming in the Chinese Loess Plateau[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 96(1): 131-144
- [26] 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(17): 3359-3371
- [27] 韩晓增, 邹文秀, 王凤仙, 等. 黑土肥沃耕层构建效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 2996-3002
- [28] 王志强, 刘宝元, 王旭艳, 等. 东北黑土区土壤侵蚀对土地生产力影响试验研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(10): 1397-1412
- [29] Bakker M M, Govers G, Rounsevell M D A. The crop productivity-erosion relationship: An analysis based on experimental work[J]. Catena, 2004, 57(1): 55-76
- [30] 刘慧, 魏永霞. 黑土区土壤侵蚀厚度对土地生产力的影响及其评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 288-296
- [31] 裴会敏, 许明祥, 脱登峰. 黄土丘陵区坡地侵蚀对土壤呼吸的影响[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 1-4
- [32] 张兴义, 刘晓冰, 隋跃宇, 等. 人为剥离黑土层对大豆干物质积累及产量的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(2): 123-126
- [33] 成婧, 吴光艳, 云峰, 等. 渭北旱塬侵蚀退化土壤生产力的恢复与评价[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(3): 6-11
- [34] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [35] 张爱华. 浅析濉溪县 2013 年夏玉米严重减产的原因及对策[J]. 安徽农学通报, 2013(19): 47
- [36] 王玉玲, 李军. 黄土旱塬区平衡施肥下不同土壤耕作模式的蓄水纳墒及作物增产增收效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 151-163
- [37] Rhoton F E, Lindbo D L. A soil depth approach to soil quality assessment[J]. J. Soil Water Conserv., 1997, 52(1): 66-72
- [38] 成婧, 吴发启, 王健, 等. 渭北旱塬不同程度土壤侵蚀及生产力恢复试验[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(2): 19-24

## Effects of Topsoil Thickness on Crop Yields and Nutrient Uptake as well as Soil Nutrients

HAN Shang<sup>1,2,3</sup>, WU Ji<sup>1,2\*</sup>, XIA Weiguang<sup>3</sup>, CHEN Feng<sup>4</sup>, LEI Zhimeng<sup>3</sup>,  
WANG Yunqing<sup>1,2</sup>, GUO Xisheng<sup>1,2</sup>, LI Min<sup>1,2</sup>

(1 *Soil and Fertilizer Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China*; 2 *Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources & Environment, Hefei 230031, China*; 3 *College of Resource and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China*; 4 *Wupu Farm of Suixi County, Huaibei, Anhui 235118, China*)

**Abstract:** A field experiment was conducted in Suixi County in the middle of Huaibei Plain from 2012 to 2015, three treatments of topsoil thickness were designed: original topsoil (TS), 5 cm topsoil removed artificially (TS-5) and 5 cm topsoil increased artificially (TS+5), plant samples of maize and wheat were collected at the mature stages and soils in 0–20 cm depths were sampled after quarterly wheat harvest. Crop yields of maize-wheat rotation and nutrient accumulation were analyzed, and the variation of soil nutrient contents were discussed. The results showed that compared with TS treatment, TS-5 treatment significantly reduced crop yields and N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O accumulation in maize-wheat rotation, decreased by 5.61% and 8.31%, 5.65%, 18.38%, respectively, while crop yields and nutrient accumulation of TS+5 treatment showed no significant change. At the end of the first rotation, the contents of SOM, total nitrogen and available potassium of TS-5 treatment were obviously lower than TS treatment. After the third rotation, the contents of total nitrogen and available potassium increased gradually and had no significant difference with those of TS treatment, while the content of SOM was still at a low level. TS+5 treatment significantly increased SOM and nutrient contents, they were maintained at high levels after the third rotation. In summary, TS-5 treatment can reduce crop yields and nutrient accumulation of maize-wheat rotation and the contents of SOM and nutrients are difficult to recover in the short term. Although TS+5 treatment can improve soil nutrient status, but such improvement has no significant effect in increasing crop yields and nutrient accumulation.

**Key words:** Topsoil thickness; Lime concretion black soil; Maize-wheat rotation; Yield; Nutrient accumulation; Soil nutrients