

长期棉花秸秆配施有机肥对土壤理化性质及棉花产量的影响

席凯鹏¹, 杨苏龙¹, 席吉龙¹, 李永山¹, 张建诚^{1*}, 武雪萍^{2*}

(1. 山西农业大学棉花研究所, 山西 运城 044000;

2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 研究长期棉花秸秆还田与施有机肥对土壤特性和棉花产量的影响, 为黄河流域棉区增强土壤肥力、提高产量提供依据。以 12 年定位试验为平台, 研究棉花秸秆还田配施发酵鸡粪对土壤结构、肥力和产量的影响。试验设 4 个处理: 氮磷化肥 + 棉花秸秆清茬 (NP) 为对照、氮磷化肥 + 棉花秸秆还田 (NPS)、氮磷化肥 + 棉花秸秆清茬 + 有机肥 (NPM)、氮磷化肥 + 棉花秸秆还田 + 有机肥 (NPSM)。结果表明: NPS、NPM、NPSM 比 NP 显著降低了 0 ~ 30 cm 土层土壤容重; 显著降低了 0 ~ 10 cm 土层 <0.25 mm 的土壤微团聚体含量, 而显著增加了 0.5 ~ 1 mm 较大团聚体含量; 显著提高了 0 ~ 40 cm 土层土壤有机质、碱解氮含量, 其中 0 ~ 20 cm 土层土壤有机质分别提高 14.2%、20.2%、42.5%, 碱解氮分别显著提高 30.1%、57.4%、207.9%; NPSM、NPM 0 ~ 20 cm 土层有效磷和速效钾含量分别显著提高 357.8%、181.4% 和 91.5%、34.0%; NPSM 土壤 pH 与 NP 处理相比显著降低。NPS、NPM、NPSM 皮棉产量分别显著提高 11.1%、13.3% 和 24.9%。NPSM 处理籽棉产量与 0 ~ 20 cm 土层土壤容重呈极显著负相关, 与土壤团聚体、土壤有机质含量呈显著正相关, 与 pH 呈显著负相关。在施化肥基础上, 长期棉花秸秆配施有机肥能降低耕层土壤容重, 改善浅层土壤团粒结构, 增强土壤碱解氮、有效磷和速效钾的供应能力, 提高有机质含量和棉花产量。长期棉花秸秆配施有机肥改土增产效应强于棉花秸秆还田或增施有机肥, 加强棉花秸秆配施有机肥在耕地培肥中的合理应用, 并采取化肥减量和丰产栽培措施, 提高土壤质量和生产效益。

关键词: 棉花; 棉花秸秆还田; 有机肥; 土壤理化性质; 产量

培肥地力是提升耕地质量和促进现代农业可持续发展的的重要途径之一, 畜禽粪便和作物秸秆是培肥地力的主要资源。尽管棉花是重要的经济与纤维作物, 但近年来棉花生产投工多、机械化程度低, 且相比其它经济作物效益差, 黄河流域棉花种植逐渐向中低产田和河滩盐碱地等贫瘠耕地转移。棉田面积的缩减加之棉田耕地提升措施的缺乏^[1-2], 严重阻碍了棉花产业的发展。

保护和提升棉田耕地质量是保证棉花可持续生产的关键。作物秸秆中不仅含有丰富的氮、磷、钾和中微量营养元素, 同时含有木质素、纤维素、半纤维素、蛋白质和糖类等养分^[3]。秸秆还田能够改

善土壤物理性状, 改变土壤团聚体组成及稳定性, 增加土壤有机质和养分含量, 促进作物产量的提高^[4]。畜禽粪便类有机肥在农业生产上应用广泛^[5], 它可以增加土壤有效养分, 提升土壤肥力^[6], 降低土壤容重, 增加土壤团聚体数量, 改善土壤团聚体结构^[7], 优化土壤微生物群落的结构组成, 缓解土壤酸化^[8], 提高养分吸收效率, 促进作物生长发育和产量提高。有机无机配施及秸秆还田等措施已被证实在提高农作物产量、增强土壤肥力、降低氮素淋失风险等方面具有良好的应用效果^[9]。明确长期增施有机肥、秸秆还田等措施对棉田耕地土壤结构特性、肥力、产量的影响, 对合理制定减氮节肥措施、实现棉田耕地质量和产量提升均具有重要应用价值。

国内外学者研究表明, 施用有机肥及秸秆还田可提高作物增产效应^[10-11], 增加土壤养分^[12-13], 降低土壤含盐量^[14]和 pH 值^[15], 维持土壤团聚体稳定性^[16-17]。前人对小麦^[18-19]、玉米^[20-21]、水稻^[22-23]等作物秸秆还田进行了大量研究, 但对棉花秸秆还田的研究较少, 且研究内容集中在棉花产量^[14]、土壤养分^[24]、土壤微生物量^[25]、土壤酶活性^[26]

收稿日期: 2021-04-11; 录用日期: 2021-06-05

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2015BAD22B03); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-15-31); 山西省重点研发计划项目 (201903D221062)。

作者简介: 席凯鹏 (1989-), 助理研究员, 硕士, 主要从事作物生理及土壤养分研究。E-mail: xikaipeng@126.com。

通讯作者: 张建诚, E-mail: zhangjc@126.com; 武雪萍, E-mail: wuxueping@caas.cn。

等方面,而棉花长期秸秆还田配施有机肥对土壤改良作用的研究罕见报道。为明确棉花长期秸秆配施有机肥对中低产田的改土培肥效应,本研究以连续12年棉花秸秆还田和增施有机肥长期定位试验为平台,探讨长期秸秆还田和增施有机肥对棉田土壤理化性质和棉花产量的影响,为持续提升中低产连作棉田的生产力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2007年4月至2018年10月在山西农业大学棉花研究所夏县试验农场进行。试验基地位于山西省运城市夏县,35°11'N、111°05'E,年平均温度13.2℃,年日照时数2293.4 h,无霜期212 d,年降水量530 mm,夏秋季降水占到75%,灾害性天气主要是干旱和春季倒春寒。长期秸秆配施有机肥定位试验土壤质地为黄壤土,试验初始0~20 cm土层土壤理化性质为:有机质10.6 g/kg,全氮0.89 g/kg,全磷1.08 g/kg,全钾22.08 g/kg,水解氮56.9 mg/kg,有效磷13.1 mg/kg,速效钾159.6 mg/kg,土壤pH 8.4。

1.2 试验设计与方法

试验设有4个处理:氮磷化肥+棉花秸秆清茬(NP)为对照、氮磷化肥+棉花秸秆还田(NPS)、氮磷化肥+棉花秸秆清茬+有机肥(NPM)、氮磷化肥+棉花秸秆还田+有机肥(NPSM)。每处理为360 m²的大条区,从中选取棉花长势均匀一致的区域15 m²(2.5 m×7 m)作为试验小区,3次重复共12个小区。处理中N、P分别代表每季棉花施纯N 172.5 kg/hm², P₂O₅ 138 kg/hm²,且棉花秸秆全部清除;S为全量棉花秸秆,年施入量5212 kg/hm²,秸秆以干质量计含N为1.69%;M为发酵鸡粪肥,施入量22.5 m³/hm²,鸡粪中含碱解氮1.86%、P₂O₅ 3.67%、K₂O 1.74%, pH值8.4。播前旋耕底施氮肥60%,花铃期追施氮肥40%,磷肥和发酵鸡粪播种前一次性施入。每年棉花收获结束后,秸秆还田处理采用机械粉碎全量还田,秸秆清除处理将棉花秸秆全部清移,于11月上旬对各处理将进行25 cm深翻,次年3月下旬旋耕整地,4月中旬地膜覆盖播种,宽窄行种植,密度6.75万株/hm²左右,种植品种为转基因抗虫棉科能0518,各处理以大田常规丰产技术要求进行相同田间管理。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 样品采集

在棉花吐絮后期(2018年10月2日)按照

“S”形采样方法于棉花窄行中间选择3个样点挖剖面,剖面深度60 cm,每10 cm用环刀分层挖取原状土样,测定土壤容重。同时采集0~20、20~40和40~60 cm土层土样,每个处理3次重复,分层混匀取1 kg土样放入塑料袋内,带回实验室自然风干。用于测定土壤干筛团聚体、pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量。

1.3.2 测定方法

土壤容重用环刀法测定,土壤团聚体用干筛法测定,pH值用pH计测定,碱解氮用碱解扩散法测定,有效磷用碳酸氢钠-钼锑抗比色法测定,速效钾用乙酸铵浸提-火焰光度法测定,有机质用重铬酸钾容量法测定^[27]。产量构成每小区调查群体密度,选取20个代表株,统计单株棉铃数,并计算棉铃总数。棉铃风干后测定平均单铃重和衣分,按小区分别收获籽棉,把小区产量折算为公顷产量,并依据衣分计算皮棉产量。

1.4 数据分析

以Excel 2016处理数据和作图,DPS v7.05进行方差分析和相关性分析,用新复极差法比较处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 长期棉花秸秆配施有机肥对土壤结构的影响

2.1.1 土壤容重

由表1表明,与单纯使用化肥NP相比,棉花秸秆还田NPS、施有机肥NPM和秸秆还田配施有机肥NPSM显著降低了0~30 cm土层的土壤容重。其中,0~10 cm土层土壤容重分别比NP显著降低7.53%、8.24%和11.77%,10~20 cm土层的土

表1 棉花秸秆还田配施有机肥
对各土层土壤容重的影响 (g/cm³)

土层 (cm)	处理			
	NP (CK)	NPS	NPM	NPSM
0 ~ 10	1.42 ± 0.01a	1.31 ± 0.03b	1.30 ± 0.04b	1.25 ± 0.02c
10 ~ 20	1.49 ± 0.01a	1.41 ± 0.01b	1.39 ± 0.01c	1.33 ± 0.03d
20 ~ 30	1.49 ± 0.01a	1.44 ± 0.01b	1.41 ± 0.01c	1.40 ± 0.02c
30 ~ 40	1.42 ± 0.01a	1.46 ± 0.01a	1.42 ± 0.08a	1.40 ± 0.02a
40 ~ 50	1.38 ± 0.03a	1.35 ± 0.02a	1.35 ± 0.05a	1.35 ± 0.03a
50 ~ 60	1.45 ± 0.01a	1.45 ± 0.01a	1.43 ± 0.03a	1.41 ± 0.01a

注:表格中数值为平均值±标准差;同一行不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

壤容重分别比 NP 降低 5.36%、7.14% 和 10.94%，差异达到显著水平；20 ~ 30 cm 土层的土壤容重分别比 NP 显著降低 3.35%、5.36% 和 6.47%；对 30 ~ 60 cm 土层的土壤容重无显著影响。以上说明，NPS、NPM、NPSM 改善了 0 ~ 30 cm 耕层土壤的结构。

2.1.2 土壤团聚体

图 1、图 2、图 3 显示，0 ~ 10 cm 土层各处理土壤团聚体组成以 >10 mm 的大团聚体含量所占比例最少，2 mm 的大团聚体最多，其次是 0.5

mm 团聚体，处理 NPS、NPM、NPSM 比对照显著降低了 <0.25 mm 的土壤微团聚体含量，分别降低 41.00%、32.60%、45.04%，而显著增加了 0 ~ 10 cm 土层 0.5 ~ 1 mm 较大团聚体含量。各处理对 10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层的土壤团聚体无显著影响。以上说明，12 年的连续棉花秸秆还田、增施有机肥和秸秆配施有机肥，仅改善了浅层土壤团聚体结构，对较深层土壤团聚体结构的改善无显著影响。

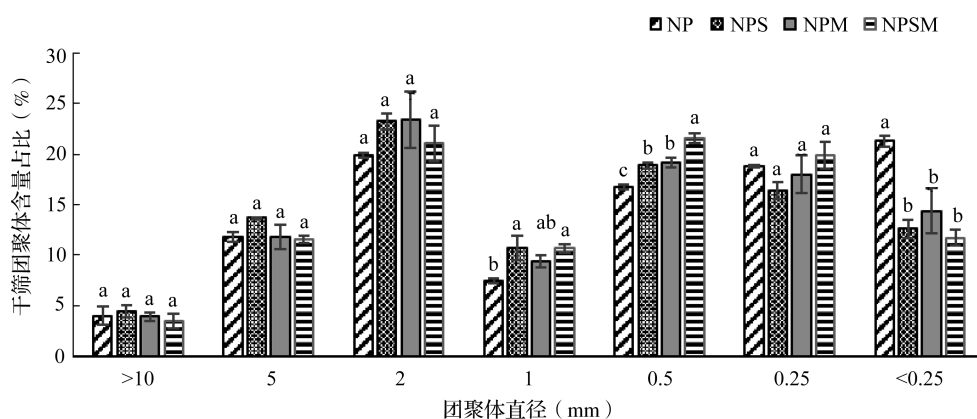


图 1 不同处理 0 ~ 10 cm 土层干筛团聚体组成

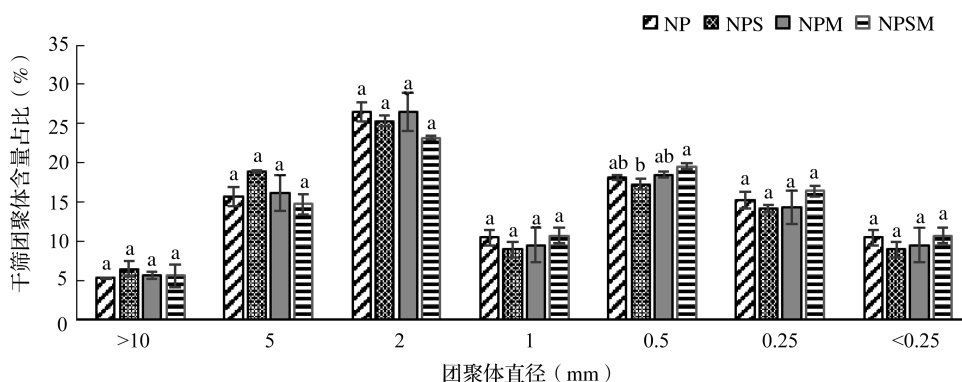


图 2 不同处理 10 ~ 20 cm 土层干筛团聚体组成

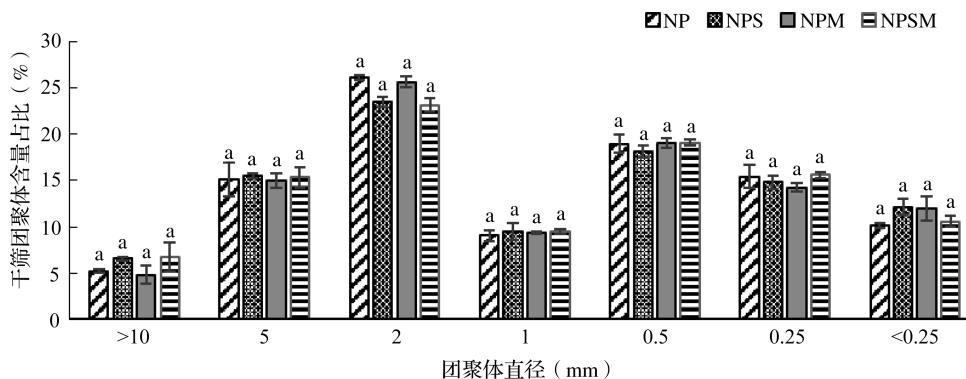


图 3 不同处理 20 ~ 30 cm 土层干筛团聚体组成

2.2 棉花秸秆配施有机肥对土壤化学性质的影响

2.2.1 土壤有机质

由图4可以看出,NPS、NPM、NPSM处理比NP均显著提高了0~20和20~40 cm土层的土壤有机质含量,分别比NP提高14.16%、20.18%、

42.47%和37.14%、67.03%、85.68%;对40~60 cm土层的土壤有机质含量无显著影响。以上说明,长时间连续棉花秸秆还田和配施有机肥显著改善了耕层土壤有机质含量,对40 cm以下土层土壤有机质含量无显著影响。

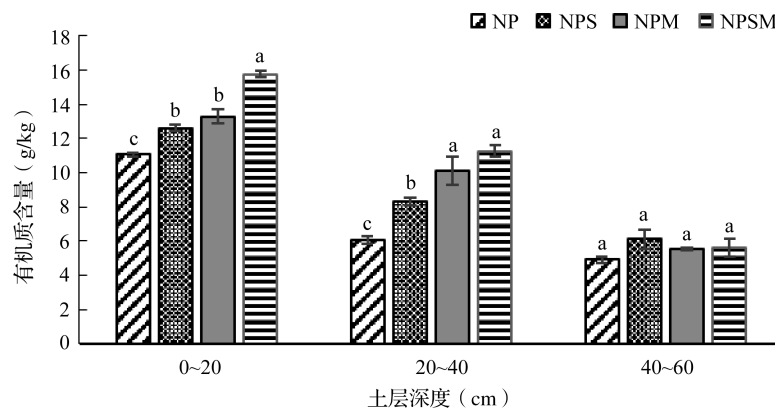


图4 不同处理土壤剖面有机质含量变化

2.2.2 碱解氮含量

由图5显示,各处理碱解氮含量随着土层深度的增加呈逐渐降低的趋势。0~20 cm土层土壤各处理碱解氮含量顺序表现为:NPSM>NPM>NPS>NP,分别比NP显著提高207.90%、57.36%、30.07%,且各处理间差异均达显著水平。20~40 cm土层土壤各

处理碱解氮含量顺序与0~20 cm土层一致,分别比NP显著提高99.47%、93.87%、39.68%。40~60 cm土层土壤碱解氮含量处理间差异变化不显著。以上说明,长时间连续棉花秸秆还田和配施有机肥显著提高了0~40 cm土层土壤碱解氮的含量,对40 cm以下土层土壤碱解氮含量无显著影响。

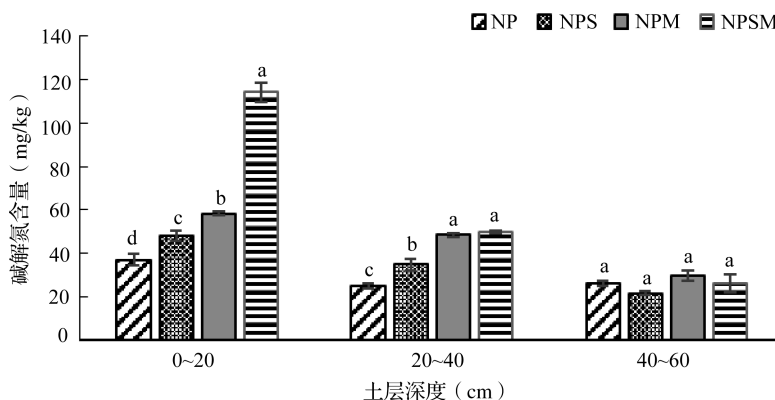


图5 不同处理土壤剖面碱解氮含量变化

2.2.3 有效磷含量

根据图6可知,不同处理土壤有效磷含量随着土层深度的增加呈降低趋势。0~20和20~40 cm土层土壤各处理有效磷含量顺序表现为:NPSM>NPM>NPS>NP,其中NPSM、NPM有效磷含量分别比NP显著提高357.82%、181.43%和212.37%、156.70%,NPS虽提高了0~20、20~40 cm土层

有效磷含量,但差异不显著。40~60 cm土层土壤有效磷含量仅NPSM处理与NP差异显著。以上说明,长时间棉花配施有机肥(NPSM、NPM)显著提高了0~40 cm土层土壤有效磷的含量,连续棉花秸秆还田(NPS)对0~40 cm土壤有效磷虽有提高但差异不显著,仅棉花秸秆配施有机肥处理对40~60 cm土层土壤有效磷含量有显著影响。

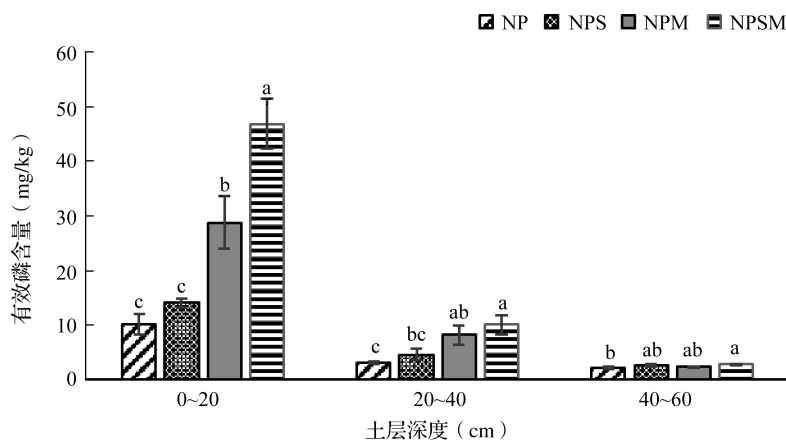


图6 不同处理土壤剖面有效磷含量变化

2.2.4 速效钾含量

由图7显示,不同处理土壤速效钾含量随着土层深度的增加呈降低趋势。0~20和20~40 cm土层土壤各处理速效钾含量顺序表现为:NPSM>NPM>NPS>NP,其中NPSM、NPM速效钾含量分别比NP显著提高91.46%、33.99%和62.61%、19.04%。40~

60 cm土层NPSM、NPS土壤速效钾含量比NP提高不显著。以上说明,长时间棉田配施有机肥(NPSM、NPM)显著提高了0~40 cm土层土壤速效钾的含量,连续棉花秸秆还田(NPS)对0~40 cm土壤速效钾虽有提高但差异不显著。

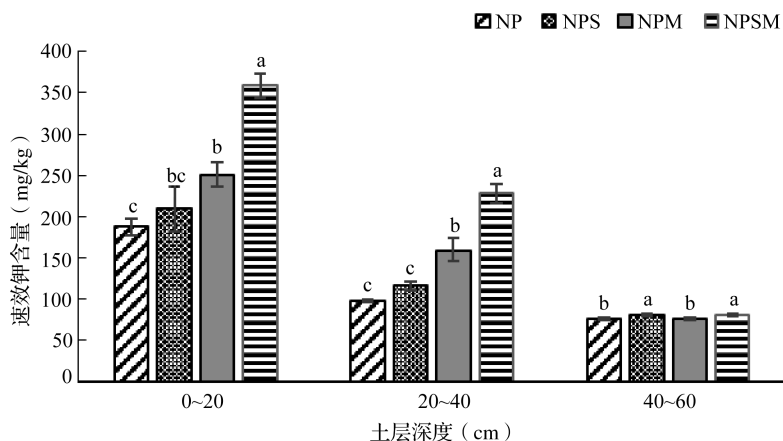


图7 不同处理土壤剖面速效钾含量变化

2.2.5 土壤 pH

由图8显示,0~20 cm土层土壤各处理pH为8.38~8.72,顺序表现为:NPSM<NPM<NPS<NP,其中秸秆还田配施有机肥处理NPSM的pH比NP显著降低,NPM有降低土壤pH的趋势,但差异未达到显著水平;20~60 cm土层土壤pH处理间差异变化不显著。以上说明,长期秸秆还田配施有机肥对降低浅层土壤pH效果显著,对20 cm以下土层土壤pH无显著影响。

2.3 长期棉花秸秆配施有机肥对棉花产量的影响

表2是本长期定位试验2018年棉花产量及其

构成,由表2可以看出,不同处理对产量构成和产量有明显影响。处理NPS、NPM、NPSM棉花单株成铃与总铃数分别比NP显著提高了7.22%、7.23%、9.64%,铃重分别比NP提高了3.91%、5.48%、13.31%。不同处理对棉花衣分没有显著影响。籽棉产量和皮棉产量大小依次为NPSM>NPM>NPS>NP。NPS、NPM、NPSM籽棉产量分别比NP提高11.13%、13.27%、24.87%,其棉花产量提高的原因是显著提高了单株成铃数和铃重。以上说明,棉花秸秆还田和施有机肥能够提高棉花铃数和铃重,从而提高棉花产量。

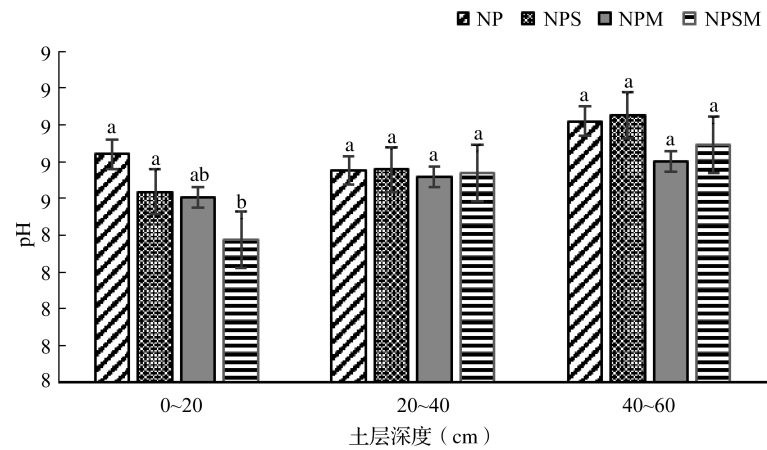


图 8 不同处理土壤剖面 pH

表 2 棉花秸秆施配有机肥对棉花产量及其构成因素的影响

处理	单株成铃	总铃数 (× 10 ⁴ hm ²)	铃重 (g)	衣分 (%)	籽棉产量 (kg/hm ²)	皮棉产量 (kg/hm ²)	皮棉增产率 (%)
NP	8.30 ± 0.06c	56.10 ± 0.38c	5.11±0.06c	38.37 ± 0.15a	2867.60 ± 48.34c	1100.20 ± 22.81c	—
NPS	8.90 ± 0.03b	60.00 ± 0.22b	5.31±0.42b	38.37 ± 0.25a	3186.80 ± 22.72b	1222.70 ± 16.54b	11.13
NPM	8.90 ± 0.03b	60.10 ± 0.22b	5.39±0.07b	38.40 ± 0.20a	3245.00 ± 53.90b	1246.20 ± 25.32b	13.27
NPSM	9.10 ± 0.02a	61.50 ± 0.12a	5.79±0.02a	38.57 ± 0.15a	3562.30 ± 18.10a	1373.80 ± 11.30a	24.87

注：表格中数值为平均值 ± 标准差；同列数字后小写字母不同表示处理间在 0.05 水平差异显著。

2.4 土壤理化性质与棉花产量的相关性

对 0 ~ 20 cm 土层土壤理化性质与产量的相关分析（表 3）表明，棉花产量与土壤容重、呈极显著负相关（ $P<0.01$ ），与土壤团聚体、有机质含量呈显著正相关（ $P<0.05$ ），同时土壤有机质含量与土壤容重呈显著负相关（ $P<0.05$ ），这表明增加土壤有机质含量，能改善土壤团聚体结构，显著降低土壤容重，在持续提

高棉花生产能力方面发挥重要作用。土壤有机质含量与团聚体极显著正相关（ $P<0.01$ ），与碱解氮、有效磷、速效钾呈显著正相关（ $P<0.05$ ），本研究区域土壤有机质提高主要源于秸秆还田和有机肥，在提高土壤有机质的同时，也显著增加了碱解氮、有效磷、速效钾含量。棉花产量与 pH 呈显著负相关（ $P<0.05$ ），表明土壤碱性化是限制棉花高效生产的主要因素。

表 3 土壤理化性质与棉花产量的相关性

指标	产量	容重	团聚体	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	pH
产量	1							
容重	-0.996**	1						
团聚体	0.959*	-0.988*	1					
有机质	0.989*	-0.976*	0.992**	1				
碱解氮	0.925	-0.890	0.940	0.968*	1			
有效磷	0.926	-0.912	0.927	0.965*	0.962*	1		
速效钾	0.934	-0.908	0.944	0.976*	0.993**	0.987*	1	
pH	-0.976*	0.965*	-0.977*	-0.995**	-0.967*	-0.986*	-0.984*	1

注：* 表示差异达显著水平（ $P<0.05$ ），** 表示差异达极显著水平（ $P<0.01$ ）。

3 讨论

3.1 棉花秸秆配有机肥对土壤结构的影响

土壤结构是土壤固相颗粒(包括团聚体)的大小、数量、比例、排列与组合形式,它关系到植物生长发育需要的水肥气热状况,影响着植株根系的延展、土壤养分吸收和根系的呼吸状态。土壤容重和团聚体是反映土壤固体颗粒和孔隙状况最基本的参数。秦都林等^[14]研究表明,棉花连续3年秸秆还田能显著降低耕层的土壤容重,显著降低了表层<0.25 mm 土壤微团聚体含量,显著提高了表层>5 mm 土壤大团聚体含量;施用有机肥有利于改善土壤团聚体结构及其稳定性^[28-29];本研究与上述研究结果一致,连续12年秸秆还田、施有机肥、秸秆还田配施有机肥均比单施化肥显著降低了0~30 cm 土层土壤容重,显著降低了0~10 cm 土层<0.25 mm 土壤微团聚体含量,而显著增加了较大团聚体含量,尤以秸秆配施有机肥对土壤容重和土壤微团聚体的处理效果最好。分析其原因可能是棉花秸秆还田配施有机肥主要通过增加土壤中有机质含量及其组成,改善土壤的无机胶结物质,进而增加土壤稳定性团聚体的数量,提高土壤团聚体稳定性,降低土壤容重,增加土壤孔隙度,从而改善土壤结构^[30]。

3.2 棉花秸秆配施有机肥对土壤化学性质的影响

保护和提高土壤肥力是现代农业的重要研究内容。秸秆和畜禽粪便发酵有机肥是保护和提高土壤肥力的主要资源。本试验12年棉花秸秆还田、有机肥、秸秆配施有机肥相比单施化肥显著增加了耕层土壤有机质含量,这与秦都林等^[14]、常汉达等^[31]的研究结果一致。秸秆还田、施有机肥、秸秆配施有机肥显著提高了耕层土壤碱解氮含量,增强了土壤的供氮能力,这与张国娟等^[32]的研究结果一致。土壤C/N可以反映土壤氮素矿化的能力,它影响秸秆的分解速率和养分释放^[33-34],大多作物秸秆本身C/N为(50~80):1,而秸秆C/N为25:1时便于土壤微生物分解和养分释放,棉花秸秆的C/N为27.8:1,比较接近土壤微生物分解秸秆所需的C/N^[35]。本试验中底施纯氮103.5 kg/hm²,花铃期追施纯氮69 kg/hm²,满足了秸秆腐解时所需要的氮,促进了秸秆利用和棉花产量的提高。施有机肥显著增加了棉田土壤有效磷含量^[6];连续3年棉花秸秆还田显著增加了速效钾含量,降低了土壤有

效磷含量^[14];本研究12年棉花秸秆配施有机肥0~20 cm 土层有效磷和速效钾含量分别比对照显著提高357.82%和91.46%。对比全国第二次土壤普查土壤肥力分级指标值(6级)^[36],NPS、NPM、NPSM处理速效钾含量均达到土壤肥力1级指标值(>200 mg/kg),NPSM处理有效磷含量超土壤肥力1级指标值(>40 mg/kg),说明长期棉秆还田配施有机肥导致表层磷、钾富裕,应采取减施磷、钾无机肥的措施。秸秆还田是调节土壤pH和改良次生盐渍化的有效措施^[14-15],长期施用有机肥能够稳定土壤pH,有效防治土壤酸化^[37],本研究也表明长期秸秆还田、施有机肥有降低浅层土壤pH的趋势,秸秆还田配施有机肥对降低浅层土壤pH效果显著。冯国艺等^[38]研究表明棉花秸秆还田可显著降低耕层土壤含盐量,与本研究结果一致。

3.3 棉花秸秆配施有机肥对棉花产量及其构成因素的影响

前人研究表明合理施用棉花秸秆、增施有机肥可以提高作物产量^[6, 14, 39]。本研究表明,12年连续棉花秸秆还田(NPS)、施有机肥(NPM)、秸秆还田与有机肥配施(NPSM)皮棉产量分别比NP提高11.13%、13.27%、24.87%,均对棉花衣分无显著影响。本研究对0~20 cm 土壤理化性质与产量的相关分析表明,棉花产量与土壤容重呈极显著负相关,与土壤团聚体、有机质含量呈显著正相关,与pH呈显著负相关。分析棉花增产的原因,主要是棉花秸秆还田、施有机肥、秸秆还田与有机肥配施能够改善土壤团聚体结构,提高土壤有机质含量,增加土壤肥力,促进棉花植株养分的吸收和利用,提高棉花单株成铃数、总铃数和铃重,而限制棉花丰产的主要因素是土壤碱生化。

4 结论

连续12年棉花秸秆全量还田、增施有机肥、长期全量秸秆配施有机肥能降低棉田土壤容重,改善浅层土壤团聚体含量,提高土壤有机质,增强土壤的供氮能力,提高棉花产量;增施有机肥和长期全量秸秆配施有机肥还能显著提高土壤有效磷和速效钾含量;棉花长期秸秆配施有机肥改土增产效应强于单独的秸秆还田或增施有机肥,棉花产量与土壤容重呈极显著负相关,与土壤团聚体、有机质含量呈显著正相关。土壤pH是棉花增产的主要限制因子。加强秸秆配施有机肥在耕地培肥中的合理利

用,并采取有机无机相结合的化肥减量和丰产栽培措施,保障土壤养分供需平衡,持续提升耕地质量和生产效益。

参考文献:

- [1] 玛衣拉·吐尔逊,甫祺娜依·尤力瓦斯,阿斯亚·托乎提.农户过量施用化肥行为的影响因素分析——以新疆棉花种植户为例[J].棉花学报,2016,28(6):619-627.
- [2] 秦宇坤,李鹏程,郑苍松,等.氮肥施用量对棉花产量及土壤脲酶活性的影响[J].新疆农业大学学报,2018,41(2):86-92.
- [3] 宋大利,侯胜鹏,王秀斌,等.中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J].植物营养与肥料学报,2018,24(1):1-21.
- [4] Abiven S, Menasseri S, Chenu C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability: a literature analysis[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 41(1): 1-12.
- [5] Dinesh R, Srinivasan V, Hamza S, et al. Short-term incorporation of organic manures and biofertilizer influences biochemical and microbial characteristics of soils under an annual crop [Turmeric (*Curcuma longa* L.)][J]. Bioresource Technology, 2010, 101(12): 4697-4702.
- [6] 汪苏洁,贵会平,董强,等.有机肥替代对棉花养分积累、产量及土壤肥力的影响[J].棉花学报,2021,33(1):54-65.
- [7] 赵红,袁培民,吕怡忠,等.施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J].土壤,2011,43(2):306-311.
- [8] 宁川川,王建武,蔡昆争.有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J].生态环境学报,2016,25(1):175-181.
- [9] 盖霞普,刘宏斌,翟丽梅,等.长期增施有机肥/秸秆还田对土壤氮素淋失风险的影响[J].中国农业科学,2018,51(12):2336-2347.
- [10] 刘禹池,曾祥忠,冯文强,等.稻-油轮作下长期秸秆还田与施肥对作物产量和土壤理化性状的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1450-1459.
- [11] 房静静,丁维婷,武雪萍,等.长期秸秆配施化肥对土壤养分及小麦产量、品质的影响[J].中国土壤与肥料,2020(5):141-146.
- [12] 马芳霞,王忆芸,燕鹏,等.秸秆还田对长期连作棉田土壤有机氮组分的影响[J].生态环境学报,2018,27(8):1459-1465.
- [13] 李婕,黎青慧,李平儒,等.长期有机肥施用、秸秆还田对垆土团聚体及其有机碳含量的影响[J].土壤通报,2012,43(6):1456-1460.
- [14] 秦都林,王双磊,刘艳慧,等.滨海盐碱地棉花秸秆还田对土壤理化性质及棉花产量的影响[J].作物学报,2017,43(7):1030-1042.
- [15] 徐国伟,段骅,王志琴,等.麦秸还田对土壤理化性质及酶活性的影响[J].中国农业科学,2009,42(3):934-942.
- [16] 石岩松,曹晶晶,李琳琳,等.长期连作棉田土壤团聚体有机碳及氮磷钾含量的变化[J].江苏农业科学,2019,47(19):270-275.
- [17] 吴宪,张婷,王蕊,等.化肥减量配施有机肥和秸秆对华北潮土团聚体分布及稳定性的影响[J].生态环境,2020,29(5):933-941.
- [18] 谢文军,张衍鹏,张森,等.滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系[J].土壤学报,2015,52(2):461-466.
- [19] 张彭良,李静,王丹丹.生物有机肥对春小麦生理特性及土壤养分和微生物的影响[J].江苏农业科学,2018,46(9):66-72.
- [20] 李磊,王晶,朱志明,等.氮肥减施与有机肥/秸秆配施对盐碱地土壤肥力指标及玉米产量的影响[J].土壤通报,2020,51(4):928-935.
- [21] 徐军,虞德兵,冯彬彬,等.不同来源鸡粪有机肥对西瓜-青贮玉米产量、品质的影响及效益分析[J].中国农业大学学报,2020,25(10):89-97.
- [22] 郑继成,张刚,王德建,等.稻麦轮作下秸秆还田对稻麦产量和稻田可溶性有机碳含量的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(3):431-440.
- [23] 张娟琴,郑宪清,张翰林,等.长期秸秆还田与氮肥调控对稻田土壤质量及产量的影响[J].华北农学报,2019,34(1):181-187.
- [24] 刘艳慧,王双磊,李金埔,等.棉花秸秆还田对土壤速效养分及微生物特性的影响[J].作物学报,2016,42(7):1037-1046.
- [25] 王晶,马丽娟,龙泽华,等.秸秆炭化还田对滴灌棉田土壤微生物代谢功能及细菌群落组成的影响[J].环境科学,2020,41(1):420-429.
- [26] 徐双,柳新伟,崔德杰,等.不同施肥处理对滨海盐碱地棉花生长和土壤微生物及酶活性的影响[J].水土保持学报,2015,29(6):316-320.
- [27] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [28] 姜灿烂,何园球,刘晓利,等.长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J].土壤学报,2010,47(4):715-722.
- [29] 李锐,陶瑞,王丹,等.减氮配施有机肥对滴灌棉田土壤生物学性状与团聚体特性的影响[J].应用生态学报,2017,28(10):3297-3304.
- [30] 刘艳丽,李成亮,高明秀,等.不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响[J].生态学报,2015,35(15):5183-5190.
- [31] 常汉达,王晶,张风华.棉花长期连作结合秸秆还田对土壤颗粒有机碳及红外光谱特征的影响[J].应用生态学报,2019,30(4):1218-1226.
- [32] 张国娟,濮晓珍,张鹏鹏,等.干旱区棉花秸秆还田和施肥对土壤氮素有效性及根系生物量的影响[J].中国农业科学,2017,50(13):2624-2634.

- [33] 李涛, 何春娥, 葛晓颖, 等. 秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2016, 24 (12): 1633-1642.
- [34] Gunther S, Holger K. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35: 629-632.
- [35] 王双磊, 李金埔, 赵洪亮, 等. 棉花秸秆利用现状与还田潜力分析研究 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2014, 45 (2): 310-315.
- [36] 周伟, 王文杰, 张波, 等. 长春城市森林绿地土壤肥力评价 [J]. 生态学报, 2017, 37 (4): 1211-1220.
- [37] 虞轶俊, 马军伟, 陆若辉, 等. 有机肥对土壤特性及农产品产量和品质影响研究进展 [J]. 中国农学通报, 2020, 36 (35): 64-71.
- [38] 冯国艺, 张谦, 王树林, 等. 秸秆还田对滨海盐碱地棉苗光合特性及生长的影响 [J]. 棉花学报, 2015, 27 (3): 248-253.
- [39] 朱倩倩, 武雪萍, 张淑香, 等. 化肥减量有机替代对新疆滴灌棉花产量及土壤养分的影响 [J]. 新疆农业科学, 2020, 58 (11): 2135-2143.

Effects of long-term cotton straw incorporation and manure application on soil characters and cotton yield

XI Kai-peng¹, YANG Su-long¹, XI Ji-long¹, LI Yong-shan¹, ZHANG Jian-cheng^{1*}, WU Xue-ping^{2*} (1. Cotton Research Institute, Shanxi Agricultural University, Yuncheng Shanxi 044000; 2. Institute of Agricultural Resources and Agricultural Planning, China Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: The experiment was conducted to study the effects of long-term straw returning and organic fertilizer application on soil properties and cotton yield to provide basis for enhancing soil fertility and increasing cotton yield in the Yellow River Basin. A 12-year locational trial was conducted to study the effects of straw return with fermented chicken manure on soil structure, fertility and yield. Four treatments were set up in the experiment, including only chemical fertilizer N and P (NP, used as control), N and P + straw returning (NPS), N and P + organic fertilizer (NPM), N and P + cotton straw returning + organic fertilizer (NPSM). The results showed that NPS, NPM and NPSM significantly reduced the soil bulk density of 0 ~ 30 cm soil layer compared with the control; significantly reduced the content of soil microagglomerates of <0.25 mm in 0 ~ 10 cm soil layer, and significantly increased the content of larger agglomerates of 0.5 ~ 1 mm; significantly increased the content of soil organic matter and alkaline nitrogen in 0 ~ 40 cm soil, among which the soil organic matter of 0 ~ 20 cm was increased by 14.2%, 20.2% and 42.5% and the alkaline nitrogen of 0 ~ 20 cm soil layer was increased by 30.1%, 57.4% and 207.9%, respectively; the available phosphorus and available potassium content of 0 ~ 20 cm soil layer of NPSM and NPM were significantly increased by 357.8% and 181.4%, 91.5% and 34.0%, respectively; the soil pH of NPSM was significantly lower compared with that of NP treatment. NPS, NPM and NPSM lint yields were significantly increased by 11.1%, 13.3% and 24.9%, respectively. The seed cotton yield of NPSM was highly significantly negatively correlated with 0 ~ 20 cm soil layer soil bulk density, but significantly positively correlated with soil aggregates and soil organic matter content, and significantly negatively correlated with pH. Based on the application of chemical fertilizers, long-term cotton straw returning with organic fertilizer application can reduce soil bulk density, improve the soil aggregate structure, enhance the supply of soil alkaline nitrogen, available phosphorus and available potassium, and increase the organic matter content and cotton yield. The effects of long-term cotton straw returning combined with organic fertilizer application on soil improvement and yield increase were better than cotton straw returning or organic fertilizer application alone, the reasonable application of seraw combined with organic manurer in cultivated land fertilization should be strengthened, and chemical fertilizer reduction and high-yield cultivation measures should be taken to improve soil quality and production efficiency.

Key words: cotton; straw incorporation; organic fertilizer; soil characters; yield