

不同施肥措施对晋南旱塬麦田土壤碳氮变化的影响

李廷亮^{1,2}, 李 顺¹, 谢英荷^{1,2*}, 高志强³, 王瑞昕¹, 马红梅¹, 栗 丽¹

(1. 山西农业大学 资源与环境学院, 山西 太谷 030801;

2. 山西农业大学 农业资源与环境国家级实验教学示范中心, 山西 太谷 030801;

3. 山西农业大学 农学院, 山西 太谷 030801)

摘 要:【目的】明确不同施肥措施下麦田土壤碳氮库的变化情况,为旱地小麦化肥减量及土壤肥力提升提供依据。【方法】于2012—2017年在晋南黄土旱塬冬小麦种植区,设置农户施肥(FF)、监控施肥(MF)和不施肥(NF)3种施肥处理,研究了连续5 a不同施肥措施对旱地麦田耕层土壤总有机碳氮、有机碳氮组分及0~200 cm土层土壤硝态氮累积量的影响。【结果】晋南黄土旱塬麦田,在秸秆还田基础上,连续5 a不施肥(NF)耕层土壤总有机碳较2012年试验前提高了24.7%,而单施化肥处理(FF、MF)下土壤总有机碳下降了2.4%~8.2%。连续单施化肥较不施肥显著提高了可溶性有机碳、轻组有机碳以及可溶性有机氮质量分数,其中传统农户施肥对土壤可溶性有机碳的贡献率显著高于监控施肥处理的。不同施肥处理土壤轻组有机碳在总有机碳中的分配比例为17.9%~31.3%;不施肥处理较单施化肥处理有利于维持较高的土壤重组有机碳量,利于土壤有机碳的固存。不同施肥处理对轻组有机氮和重组有机氮均没有显著影响。传统农户施肥处理0~200 cm土层硝态氮累积量高达426.0 kg/hm²,且67%集中在100~200 cm土层,具有淋失风险。而监控平衡施肥在累计氮肥投入量减少36.9%基础上,0~200 cm土层硝态氮残留量较农户施肥低51.4%。【结论】黄土旱塬麦区,由于前期农户过量施氮,不施肥种植结合秸秆还田可提高土壤总有机碳量,主要增加了矿物紧密结合态的重组态有机碳量。单施化肥则促进了土壤有机质的矿化分解,提高了土壤中活性有机碳氮量。传统农户施肥模式促使0~200 cm土层产生大量硝态氮残留,具有较高淋失风险。

关 键 词:晋南旱塬;施肥;有机碳;有机氮;硝态氮残留;土壤

中图分类号: S158.5

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180438

李廷亮,李顺,谢英荷,等.不同施肥措施对晋南旱塬麦田土壤碳氮变化的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(11):43-49.

0 引 言

20世纪80年代以来,化肥在我国农业生产中发挥了重要作用,对粮食增产的贡献率在40%以上。2015年我国化肥用量已达到 6.02×10^7 t,为1980年的4.7倍,而同期粮食产量从 3.21×10^8 t增加到 6.21×10^8 t,增加了1.9倍,化肥增幅远高于粮食增幅。化肥不合理投入不仅造成肥料利用率低,增产效应不显著,同时引起土壤板结、肥料养分残留及环境污染等问题^[1-2]。小麦是黄土高原地区主要粮食作物之一,明确长期不同施肥措施下黄土旱塬麦田土壤有机碳库及土壤氮素的累积变化特征,对指导当地旱作小麦减肥增效绿色生产具有重要意义。

对渭北旱塬1261个农户小麦生产调研表明,69%农户施氮过量,91%农户施磷过量^[3]。黄土旱塬麦区长期过量施氮已造成硝态氮在0~100 cm土层的累积,累积量在100 kg/hm²以上,且土壤残留硝态氮有随降水向下淋移的趋势^[4]。夏闲期平均每1 m降水可以引起土壤剖面硝态氮向下淋移1.6~3.6 mm^[5]。同时过量施

收稿日期:2018-08-14

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0200401);国家公益性行业(农业)科研专项(201503124);国家自然科学基金项目(31771727);

山西农业大学博士后专项经费

作者简介:李廷亮(1982-),男,山西天镇人。副教授,博士,主要从事土壤-作物养分循环与调控方面的研究。E-mail: litingliang021@126.com

通信作者:谢英荷(1958-),女,山西忻州人。教师,博士,主要从事土壤肥力与环境方面的研究。E-mail: xieyinghe@163.com

氮降低了当季氮肥回收率以及土壤残留氮素再利用率和增产效果^[6-7]。石灰性土壤过量施磷肥,一方面由于磷的钙固定降低磷有效性,另一方面夏季地表径流携带磷会引起水体富营养化。长期施用化肥也会对土壤有机碳库容量产生一定影响,氮肥施用会降低土壤C/N比,促进土壤有机质的矿化,减少土壤有机碳库容量,同时施用化肥会增加地上部干物质积累量,通过秸秆和根茬还田实现土壤有机碳库的积累,因此土壤有机碳库的变化取决于二者之间的动态平衡^[8-9]。但由于土壤环境条件差异,化肥对土壤有机碳影响的研究结果不一。胡诚等^[10]通过25 a的长期定位试验研究表明单施化肥对各土层土壤有机碳量影响较小,其中单施氮肥降低了土壤有机碳储量。而郭胜利等^[11]研究表明,不同施氮水平条件下,土壤有机碳量均随种植年限增加呈缓慢升高趋势。土壤有机碳氮组分的研究是探知土壤有机碳氮库周转特征和动态变化的重要手段,其中活性有机碳氮组分更能反映农田管理措施对土壤有机碳氮库容量的影响。可溶性有机碳(SOC)与土壤CO₂排放量及其他环境问题具有密切的关系^[12],可溶性有机氮(SON)作为土壤氮库最活跃组分之一,可直接或间接为作物吸收利用,可表征土壤有机氮的矿化潜力。而土壤重组有机碳(HFOC)则为受物理保护的有机矿物结合态碳,表征土壤有机碳抵抗微生物降解的稳定性^[13]。Chaudhary等^[14]研究发现,长期单施化肥或配施有机肥均可以提高稻-麦轮作系统土壤活性有机碳量,土壤活性有机碳可作为短期内评价土壤管理措施对土壤有机碳影响的敏感指标。土壤稳定性有机碳量变化与投入土壤有机物料木质素和多元酚量有关。Bharali等^[15]研究表明化肥配施有机肥更有利于土壤稳定性有机碳的积累及土壤碳素固存。

鉴于黄土旱塬麦田土壤肥力及微生态环境的区域差异性,土壤碳氮库变化特征不尽相同,且有关冬小麦多年监控施肥种植及连作不施肥耗竭方面的研究比较少,本试验在晋南黄土旱塬冬麦区,研究连续5 a传统农户施肥、优化监控施肥和连作不施肥条件下,麦田耕层土壤总有机碳氮、有机碳氮组分及0~200 cm土壤硝态氮累积特征,以期为黄土旱塬冬小麦减肥增效生产提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在晋南黄土旱塬冬小麦种植区,位于山西省洪洞县刘家垣镇(36°22' N, 111°35' E, 海拔648 m)。试验区年均气温12.6℃,≥10℃活动积温3 327℃,年均降水量约500 mm,约70%集中在6—9月。土壤类型为石灰性褐土,土壤质地为中壤土,2012年播前耕层土壤pH值为7.9,有机质量为14.6 g/kg,阳离子交换量为27.3 cmol/kg,全氮量为0.87 g/kg,硝态氮量为10.4 mg/kg,速效磷量为10.4 mg/kg,速效钾量为168.2 mg/kg。0~20、20~40、40~60、60~80和80~100 cm土层体积质量分别为1.21、1.35、1.35、1.30和1.36 g/cm³,100 cm以下土层体积质量按1.36 g/cm³计。

1.2 试验设计与管理

试验始于2012年,于2017年结束,设置传统农户施肥处理(FF)、优化监控施肥处理(MF)和连作不施肥处理(NF),其中FF处理施肥量为当地农户习惯施肥,具体为N:150 kg/hm²,P₂O₅:60 kg/hm²;MF处理施肥采用“0~100 cm土壤硝态氮监控施肥,0~40 cm土层磷钾恒量施肥”技术,其中施氮量(以纯N计)=作物目标产量需氮量-播前0~100 cm土壤硝态氮累积量+播前0~100 cm土壤硝态氮安全阈值(110.0 kg/hm²);施磷(钾)量=作物目标产量需磷(钾)量×施磷(钾)系数;施磷(钾)系数依据0~40 cm土层速效磷钾量确定^[16-17]。NF处理不施任何肥料。每个处理重复4次,采用随机区组排列,由于地块大小原因,小区面积为210~520 m²。具体施肥量见表1。

表1 试验期各处理养分(N-P₂O₅-K₂O)用量

处理	2012—2013年	2013—2014年	2014—2015年	2015—2016年	2016—2017年	合计
NF	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0
FF	150-60-0	150-60-0	150-60-0	150-60-0	150-60-0	750-300-0
MF	125-105-41	95-64-32	105-52-30	90-53-45	58-53-45	473-327-193

所有处理的冬小麦种植方式均为露地条播(播前浅旋耕,深度13 cm,露地不覆膜平作,行距20 cm),全部肥料做基肥在播种前(9月23日—10月1日)一次性均匀撒入相应小区,翻入土壤耕层后耙平。冬小麦品种为“长8744”,播量为150 kg/hm²,冬小麦生育期为10月至次年6月,6—9月为夏休闲期。全生育期除自然降水外不灌溉。冬小麦收获时,采用联合收割机将秸秆直接粉碎覆盖地表,7月中旬进行翻压还田。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 样品采集

于2017年冬小麦播种前采集各处理耕层(0~20 cm)土壤样品,一部分新鲜土样用于测定水分和矿质态氮(NO_3^- -N和 NH_4^+ -N),另一部分风干用于测定有机碳氮组分。

1.3.2 测定项目与方法

土壤有机碳(TOC)和全氮(TN)分别采用重铬酸钾容量法-外加热法和半微量凯氏法测定^[18]。土壤矿质态氮(NO_3^- -N和 NH_4^+ -N)采用0.01 mol/L CaCl_2 溶液浸提,AA3流动分析仪测定^[4]。采用0.5 mol/L K_2SO_4 浸提土壤,0.45 μm 滤膜过滤,用TOC(MultiN/C3100)分析仪测定可溶性有机碳(SOC),可溶性总氮(SON)采用过硫酸钾氧化比色法测定,土壤中SON为可溶性总氮与矿质态氮的差值^[19]。土壤轻组有机碳(LFOC)、重组有机碳(HFOC)、轻组有机氮(LFON)和重组有机氮(HFON)的测定:LFOC、HFOC采用溴化锌密度分组法测定^[20],并用半微量凯氏法测定对应组分的LFON、HFON量。

1.3.3 计算方法和数据处理

土壤硝态氮累积量(kg/hm^2)=土层厚度(cm)×土壤体积质量(g/cm^3)×土壤硝态氮质量分数(mg/kg)/10。

试验数据用Microsoft Excel 2016整理作图,并用SPSS 19.0软件进行统计分析,采用LSD法检验 $P<0.05$ 水平上的差异性。

2 结果与分析

2.1 不同施肥措施对旱地麦田土壤TOC和TN量的影响

经过连续5 a不同施肥后土壤总有机碳、总氮量如表2所示。由表2可知,麦田耕层土壤TOC量表现为NF处理>MF处理>FF处理,差异显著。其中NF处理的TOC量较2012年试验前的TOC量(8.5 g/kg)增加了24.7%,而FF处理TOC量较2012试验期前则降低了8.2%,MF处理降低2.4%。不同施肥处理下TN量差异不显著,均值为1.02 g/kg,但较2012年试验前土壤TN量(0.87 g/kg)均有一定程度增加。

表2 连续5 a不同施肥后旱地麦田土壤总有机碳氮、可溶性有机碳氮量以及轻重组有机碳氮量

处理	TOC/(g·kg ⁻¹)	TN/(g·kg ⁻¹)	SOC/(mg·kg ⁻¹)	SON/(mg·kg ⁻¹)	LFOC/(g·kg ⁻¹)	HFOC/(g·kg ⁻¹)	LFON/(g·kg ⁻¹)	HFON/(g·kg ⁻¹)
NF	10.6±0.3a	1.03±0.04a	59.9±1.6c	10.9±1.9b	1.9±0.6b	8.7±0.4a	0.25±0.04a	0.78±0.02a
FF	7.8±0.2c	0.98±0.07a	87.4±5.3a	16.6±1.3a	2.1±0.2ab	5.7±0.2b	0.18±0.06a	0.80±0.07a
MF	8.3±0.3b	1.04±0.07a	75.7±2.1b	16.6±0.5a	2.6±0.2a	5.7±0.2b	0.21±0.07a	0.82±0.02a

注 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同施肥措施对旱地麦田土壤SOC和SON量的影响

不同施肥措施下麦田土壤可溶性有机碳、可溶性氮量见表2。由表2可以看出,各处理耕层土壤SOC为59.9~87.4 mg/kg,占土壤TOC的0.6%~1.1%。各施肥处理SOC量表现为FF处理>MF处理>NF处理,且处理间差异显著。土壤SON为10.9~16.6 mg/kg,占土壤TN的1.1%~1.7%,其中以NF处理SON量最低,较FF处理和MF处理低34.3%($P<0.05$),FF和MF处理间差异不显著。表明连续多年不施肥种植条件下,有可能因为植物根系吸收或微生物的代谢活动加剧了土壤中活性有机碳、氮部分的消耗。

2.3 不同施肥措施对旱地麦田土壤轻重组有机碳(LFOC)和轻重组氮量(HFON)的影响

由表2可知,各施肥处理下麦田土壤LFOC量为1.9~2.6 g/kg,表现为MF处理>FF处理>NF处理,其中MF处理LFOC量较NF处理高36.8%($P<0.05$)。LFOC的分配比例(LFOC/TOC)为17.9%~31.3%,以MF处理最高。不同处理间HFOC量为5.7~8.7 g/kg,其中NF处理HFOC量显著高于MF和FF处理。HFOC的分配比例(HFOC/TOC)为68.7%~82.1%,以NF处理最高。不同施肥处理下麦田土壤的LFON和HFON量均差异不显著,分别为0.18~0.25 g/kg和

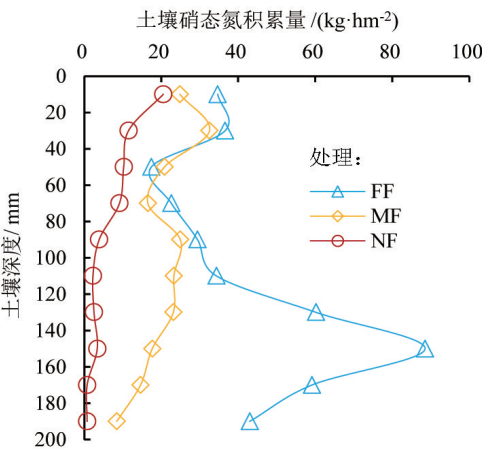


图1 不同施肥处理0~200 cm土层硝态氮

0.78~0.82 g/kg, 对应应在 TOC 中的分配比例为 18.4%~24.3% 和 75.7%~81.6%。

2.4 不同施肥措施对旱地麦田土壤硝态氮残留的影响

旱地土壤矿质态氮主要以硝态氮形式存在, 图 1 是连续 5 a 不同施肥后晋南旱塬麦田 0~200 cm 土层硝态氮累积量。由图 1 可知, NF 处理 0~200 cm 土层硝态氮累积量总体偏低, 尤其在 100 cm 土层以下硝态氮累积量急剧下降, 均在 3.5 kg/hm² 以下。0~20 cm 土层则由于有机氮的矿化, NF 处理硝态氮累积量接近于 MF 处理的。传统农户高氮施肥的 FF 处理有明显的硝态氮残留现象, 0~200 cm 土层硝态氮总累积量高达 426.0 kg/hm², 较 NF 处理高 5.6 倍, 其中 67% 集中在 100~200 cm 土层。而监控平衡施肥的 MF 处理在累计氮肥投入量减少 36.9% 基础上, 0~200 cm 硝态氮残留量为 207.0 kg/hm², 较 FF 处理低 51.4%, 较 NF 处理高 2.2 倍, 且随土层深度的增加逐渐减低。

3 讨论

TOC 是土壤肥力的基础, 其质量分数取决有机碳输入和矿化分解之间的动态平衡^[21], 施肥是影响土壤 TOC 动态平衡的重要因素。本研究中, 连续 5 a 不施肥种植条件下, 旱地麦田土壤 TOC 量提高了 24.7%, 显著高于单施化肥处理。王朔林等^[22]在山西栗褐土区 25 a 的定位试验发现, 长期不施肥条件下仅根茬还田则不能维持土壤 TOC 的矿化损失, 土壤 TOC 量有明显下降趋势。表明秸秆还田对提高土壤碳汇能力具有积极作用。潘剑玲等^[23]研究也表明加强秸秆还田有助于改变我国耕地有机质下降的趋势。但也有研究表明, 长期不施肥种植情况下, 仅靠根茬还田土壤 TOC 基本处于周转平衡状态^[11]。这具体与土壤生产力及微生态环境有关。而在自然成土过程中, 土壤有机质本身就是一个逐渐积累的过程。许多研究也表明不施肥的撂荒地土壤总有机碳随年限进程呈增加趋势^[24-26], 说明在一定土壤环境条件下, 不施肥种植结合秸秆根茬还田可以实现土壤有机质的提升。本研究中, 还田秸秆和根茬在小麦一个生育期内可全部腐解, 试验前期农户施肥模式下土壤残留氮素是秸秆根茬分解转化累积的驱动力。

化肥尤其是氮肥的大量施用促进了土壤有机质的矿化, 本研究中传统农户单施化肥处理土壤 TOC 量较试验前下降了 8.2%, 而监控平衡施肥土壤 TOC 量则略有降低。张淑香等^[27]发现连续 30 a 的单施化肥使东北黑土 TOC 呈下降趋势。但也有研究表明长期单施化肥也可提高土壤 TOC 量^[28]。不同施肥条件下土壤 TOC 量因有机物质的归还量、土壤 C/N 和土壤微生物代谢周年活性强度差异而变化不一。

SOC 是土壤中较为活跃有机碳组分, 是土壤微生物重要的能量来源, 与微生物活性关系密切。本研究中连续 5 a 不施肥种植条件下土壤的 SOC 较传统农户和监控施肥分别低 31.5% 和 20.9%, 说明连续不施肥种植加剧了微生物对这部分活性组分的利用, 而施肥处理则促进了相对稳定性有机碳向 SOC 的转换。这在荣井荣等^[29]的研究中也有类似结果。另外本研究中连续不施肥种植条件下土壤 SON 显著低于施用化肥处理的, SON 降低的原因可能是微生物和植物的吸收利用, 也可能是随降水向深层土壤的淋移^[30-31], 而长期施用化肥则可通过增加植物残体还田量以及提高土壤相关酶活性来提高土壤 SON 量^[32]。

LFOC 和 HFOC 是指通过密度分组法将土壤有机碳分为相对松散和与矿物紧密结合的 2 部分有机碳, 分别表示土壤有机碳的活性部分和稳定性部分。本研究中, 各施肥处理下 LFOC 量为 1.9~2.6 g/kg, 分配比例 (LFOC/TOC) 为 17.9%~31.3%, 表明矿物结合态的 HFOC 是黄土旱塬麦田土壤固存有机碳的主要形式。土壤中 LFOC 量及其分配比例与土壤类型、植被和有机质量等其他土壤环境条件有关^[13, 33]。阎欣等^[34]研究表明, 荒漠草原地区土壤 LFOC 量在 0.65 g/kg 左右, 分配比例高达 85%。而张迪等^[35]在黑土地地区的研究表明, 不同植被覆盖和施肥管理下土壤 LFOC 的分配比例仅为 4.7%~11.9%。本研究中土壤 LFOC 量以连续不施肥种植处理最低, 以监控平衡施肥处理最高。韩晓日等^[36]对棕壤有机碳的研究也表明, 长期单施化肥特别是氮磷钾配施可以提高土壤轻组部分数量和 LFOC 量。而廖敏等^[37]对稻田土壤的研究结果表明, 长期单施化肥更有利于土壤 HFOC 的积累。原因可能与土壤水分条件对有机碳组分转化影响有关。本研究中, 不施肥种植处理的 HFOC 量要显著高于传统农户和监控施肥处理的。一方面原因可能是连续单施化肥形成的较低 C/N 条件加速了土壤稳定性有机碳的矿化, 降低了 HFOC 量; 另一方面, 不施肥种植条件下微生物活动会更多地利用相对易分解的秸秆和根茬碳源, 并进一步形成稳定的 HFOC。王金洲^[38]利用 ¹³C 同位素技术研究表明, 玉米秸秆类有机物料可在相对较短的时间内 (1~3 a) 基本转化为稳定态有机质。另外本研究表明不同施肥处理下土壤的 LFON 和 HFON 均差异不显著, 但也研究发现长期施用化肥可以提高土壤 LFON 等活性

有机氮库各组分量^[39],具体原因有待进一步研究。

本研究中,传统农户施肥种植下麦田0~200 cm土层土壤硝态氮残留量高达426.0 kg/hm²,其中67%集中在100~200 cm土层。表明传统农户高氮施肥已经远远超过作物的吸收量,且存在大量的硝态氮残留。戴健等^[40]在渭北旱塬麦区的研究表明,当施氮量超过160 kg/hm²时,来源于当季施用氮肥的残留可占到64%~90%。另外,章孜亮等^[16]提出黄土高原地区为避免土壤硝态氮淋失,冬小麦播前0~100 cm土体硝态氮累积量安全阈值为110 kg/hm²,因此,晋南旱塬传统农户施肥条件下麦田土壤硝态氮有较高的随降水淋失风险。梁浩等^[41]利用土壤-作物系统碳氮水循环过程模型WHCNS在年降水量为530 mm左右的旱作区研究表明,外源氮肥的主要去向是硝态氮淋洗和作物吸收,单施化肥条件下氮素的淋失率可达33.6%。关于旱塬冬小麦种植的合适施氮量,因具体土壤肥力与作物产量而异,因此,基于“以水定产”和“以产定肥”的监控平衡施肥更具科学性和推广性。本研究中监控平衡施肥连续5 a氮肥投入量较农户模式减少36.9%,对应0~200 cm土层硝态氮残留量较农户模式低51.4%,大大降低了氮素淋失风险。

4 结 论

1)晋南黄土旱塬麦田,连续不施肥处理加大了对耕层土壤中可溶性有机碳、轻组有机碳及可溶性有机氮活性组分的消耗,但相对单施化肥处理提高了耐微生物分解的重组有机碳量,进而提高了土壤总有机碳量,增幅达24.7%。

2)重组有机碳在总有机碳中的分配比例为68.7%~82.1%,是麦田土壤固存有机碳的主要形式。单施化肥促进了重组有机碳向活性有机碳的转化,提高了可溶性有机碳和轻组有机碳量,且总有机碳降低了2.4%~8.2%。

3)传统农户的高氮施肥增加了土壤硝态氮残留,0~200 cm土层累积量高达426.0 kg/hm²,且67%集中在100~200 cm土层,具有较高淋失风险。

参考文献:

- [1] 郭宇,李仙岳,丁宗江,等.不同施氮方式对向日葵氮肥利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(7):20-27.
- [2] 陆梅,孙梅,高志强,等.不同施磷水平对旱地小麦产量及其构成要素的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(7):13-19.
- [3] 曹寒冰,王朝辉,赵护兵,等.基于产量的渭北旱地小麦施肥评及减肥潜力分析[J].中国农业科学,2017,50(14):2758-2768.
- [4] 李廷亮,谢英荷,高志强,等.黄土高原旱地小麦覆膜增产与氮肥增效分析[J].中国农业科学,2018,51(14):2735-2746.
- [5] DAI J, WANG Z H, LI M H, et al. Winter wheat grain yield and summer nitrate leaching: Long-term effects of nitrogen and phosphorus rates on the Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2016, 196: 180-190.
- [6] 石德杨,张海艳,董树亭.土壤高残留氮条件下施氮对夏玉米氮素平衡、利用及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(1):37-44.
- [7] 王西娜,王朝辉,李华,等.旱地土壤中残留肥料氮的动向及作物有效性[J].土壤学报,2016,53(5):202-212.
- [8] 高会议.黄土旱塬长期施肥条件下土壤有机碳平衡研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [9] AYE N S, BUTTERLY C R, SALE PWG, et al. Interactive effects of initial pH and nitrogen status on soil organic carbon priming by glucose and lignocellulose [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2018, 123: 33-44.
- [10] 胡诚,乔艳,李双来,等.长期不同施肥方式下土壤有机碳的垂直分布及碳储量[J].中国生态农业学报,2010,18(4):689-692.
- [11] 郭胜利,高会议,党廷辉.施氮水平对黄土旱塬区小麦产量和土壤有机碳、氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(4):808-814.
- [12] LI S Q, ZHENG X H, LIU C Y, et al. Influences of observation method, season, soil depth, land use and management practice on soil dissolvable organic carbon concentrations: A meta-analysis[J]. Science of the Total Environment, 2018, 631-632: 105-114.
- [13] 马昕昕,许明祥,张金,等.黄土丘陵区不同土地利用类型下深层土壤轻组有机碳剖面分布特征[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):366-375.
- [14] CHAUDHARY S, DHERI G S, BRAR B S. Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system[J]. Soil & Tillage Research, 2017,166:59-66.
- [15] BHARALI A, BARUAH K K, BHATTACHARYYA P, et al. Integrated nutrient management in wheat grown in a northeast India soil: Impacts on soil organic carbon fractions in relation to grain yield[J]. Soil & Tillage Research, 2017,168:81-91.
- [16] 章孜亮,刘金山,王朝辉,等.基于土壤氮素平衡的旱地冬小麦监控施氮[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):387-396.
- [17] 曹寒冰,王朝辉,师渊超,等.渭北旱地冬小麦监控施氮技术的优化[J].中国农业科学,2014,47(19):3826-3838.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2000:30-34,44-49.
- [19] 梁斌,周建斌,杨学云,等.栽培和施肥模式对黄土区旱地土壤微生物量及可溶性有机碳、氮的影响[J].水土保持学报,2009,23(2):132-137,142.
- [20] 高继伟,谢英荷,李廷亮,等.不同培肥措施对矿区复垦土壤活性有机碳的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(5):6-12.
- [21] 米迎宾,杨劲松,姚荣江,等.农田管理措施对滨海盐渍化土壤碳平衡的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(3):85-88.

- [22] 王朔林,王改兰,赵旭,等. 长期施肥对栗褐土有机碳含量及其组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(1):104-111.
- [23] 潘剑玲,代万安,尚占环,等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报,2013,21(5):526-535.
- [24] 佟小刚. 长期施肥下我国典型农田土壤有机碳库变化特征[D]. 北京:中国农业科学院研究生院,2008.
- [25] 李鉴霖,江长胜,郝庆菊. 缙云山不同土地利用方式土壤有机碳组分特征[J]. 生态学报,2015,35(11):3 733-3 742.
- [26] GABARRON-GALEOTE M A, TRIGALET S, WESEMAEL B V. Soil organic carbon evolution after land abandonment along a precipitation gradient in southern Spain[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2015,199:114-123.
- [27] 张淑香,张文菊,沈任芳,等. 我国典型农田长期施肥土壤肥力变化与研究展望[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1 389-1 393.
- [28] 何翠翠,王立刚,王迎春,等. 长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究[J]. 土壤学报,2015,52(1):194-202.
- [29] 荣井荣,钟文昭,刘艳,等. 干旱区长期施肥对土壤活性碳组分及团聚体的影响[J]. 生态学杂志,2013,32(10): 2 559-2 566.
- [30] 杨静,聂三安,杨文浩,等. 不同施肥水稻土可溶性有机氮组分差异及影响因素[J]. 土壤学报,2018,55(4):968-979.
- [31] 卢红玲,李世清,金发会,等. 可溶性有机氮在评价土壤供氮能力中的作用与效果[J]. 中国农业科学,2008,41 (4): 1 073-1 082.
- [32] 梁斌,李俊良,杨学云,等. 施肥对麦田土壤可溶性有机氮的影响[J]. 生态学报,2016,36 (14): 4 430-4 437.
- [33] 杨满元,杨宁. 紫色土丘陵坡地不同植被类型土壤活性有机碳组分的比较[J]. 草地学报,2018,26 (2): 380-385.
- [34] 阎欣,安慧. 土壤非保护性有机碳对荒漠草原沙漠化的响应[J]. 生态学报,2018,38 (8): 2 846-2 854.
- [35] 张迪,韩晓增. 长期不同植被覆盖和施肥管理对黑土活性有机碳的影响[J]. 中国农业科学,2010,43 (13): 2 715-2 723.
- [36] 韩晓日,苏俊峰,谢芳,等. 长期施肥对棕壤有机碳及各组分的影响[J]. 土壤通报,2008,39 (4): 730-733.
- [37] 廖敏,彭英,陈义,等. 长期不同施肥管理对稻田土壤有机碳库特征的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(6): 129-133,138.
- [38] 王金洲. 秸秆还田的土壤有机碳周转特征 [D]. 北京:中国农业科学院研究生院,2015.
- [39] 宋震震,李絮花,陈义,等. 有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(3): 525-533.
- [40] 戴健,王朝辉,李强. 氮肥用量对旱地冬小麦产量及夏闲期土壤硝态氮变化的影响[J]. 土壤学报,2013,50(5): 956-965.
- [41] 梁浩,胡克林,李保国. 有不同施肥管理模式农田氮素淋失及水氮利用效率模拟分析[J]. 农业环境科学学报,2015,34(7): 1 317-1 325.

Effect of Different Fertilizations Patterns on Soil Carbon and Nitrogen Changes of Dryland Wheat Field in Southern Shanxi of China

LI Tingliang^{1,2}, LI Shun¹, XIE Yinghe^{1,2*}, GAO Zhiqiang³, WANG Ruixin¹, MA Hongmei¹, LI Li¹

(1.College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. National Demonstration Center for Agricultural Resources and Environment Experimental Teaching,

Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 3.Collage of Agriculture, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China)

Abstract:【Objective】The objective of the study is to determine the changes of soil carbon and nitrogen under different fertilizations, and to provide the theoretical support for reducing chemical fertilizer application rate and improving soil fertility in the rainfed winter wheat system.【Method】The study was carried out with three fertilization treatments, including the farmer fertilization (FF), the monitoring fertilization (MF) and no fertilization (NF), during 2012—2017 in the winter wheat cropping region of dry highland in Southern Shanxi. The changes of soil total organic carbon (TOC) and nitrogen (TON), organic carbon and nitrogen fractions, and soil nitrate-N residue in the 0~200 cm soil profile were assessed.【Result】Soil TOC concentration under NF treatment in 2017 increased by 24.7% compared to that in 2012, which under FF and MF treatments decreased by 2.4%~8.2%. Continuous chemical fertilizer application was more beneficial to the increase of soluble organic carbon (SOC), soluble organic nitrogen (SON), and light fraction organic carbon (LFOC) compared to NF treatment, in addition, the effect of MF treatment on the increase of SOC was larger than that of FF treatment. The proportion of LFOC in the TOC under different treatments ranged from 17.9% to 31.3%, therefore, heavy fraction organic carbon (HFOC) was considered to be the main form of soil organic carbon sequestration in the wheat field. Compared to the FF and MF treatments, the NF treatment significantly increased the HFOC concentration, which was favorable for soil organic carbon sequestration. However, no significant difference in both light fraction organic nitrogen (LFON) and heavy fraction organic nitrogen (HFON) were observed among different fertilization treatments. The accumulation amounts of nitrate nitrogen in 0~200 cm soil layer under the FF treatment had been up to 426.0 kg/hm², 67% of nitrate nitrogen concentrated on the 100~200 cm soil profile with a strong leaching risk. In contrast, soil nitrate-N residue in 0~200 cm soil profile under the MF treatment reduced by 51.4% compared to that under the FF treatment, meanwhile, the rate of nitrogen application under the of FF treatment also decreased by

36.9%. **【Conclusion】** Based on excessive nitrogen application before the experiment began, no fertilization along with straw returning increased the HFOC concentration in rainfed winter wheat cropping region on the Loess Plateau. Single chemical fertilizer applications could facilitate the decomposition of soil organic matter, resulting in an increasing of labile organic carbon and nitrogen fractions. A large amount of nitrate-N residue was observed in the 0~200 cm soil profile under traditional farmer fertilization with a potential leaching risk.

Key words: dry highlands in Southern Shanxi; fertilizations patterns; organic carbon; organic nitrogen; nitrate-N residue; soil

责任编辑:陆红飞

(上接第42页)

Nitrogen Use Efficiency and Ammonia Oxidation of Corn Field with Drip Irrigation in Hetao Irrigation District

LI Zhe¹, QU Zhongyi^{1*}, REN Zhongsheng¹, YANG Shaodong¹, XU Zhe¹, HA Sigerile¹, LI Mao²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Emancipation and irrigation Administration Bureau of Hetao Irrigation Area, Inner Mongolia, Hangjinhouqi 015400, China)

Abstract: 【Objective】 Reducing nitrogen loss via leaching and emission is critical to developing sustainable agriculture and the purpose of this paper is to experimentally study the nitrogen use efficiency and ammonia oxidation of a corn field in Hetao Irrigation District. **【Method】** The experiment was conducted in a field in which and we considered five fertilizations with the N:P₂O₅:K₂O ratio at 0:0:0, 62:72.9:40.5, 216:97.2:54, 270:121.5:67.5, and 324:145.8:81 kg/hm² respectively. In each treatment, ammonia volatilization was measured using the Aeration method. In the meantime, we also analyzed the accumulation of ammonia volatilization, its net loss rate, corn yield and nitrogen utilization efficiency. **【Result】** The ammonia volatilization rate increased after drip irrigation and fertilization, peaking second day after the irrigation. When the applied nitrogen was more than 216 kg/hm², the amount of ammonia volatilization increased significantly with the applied nitrogen. The accumulation of ammonia volatilization at different fertilizations over the whole growth period was 6.14~17.56 kg/hm² and the net loss rate was 1.93%~3.52%. Soil ammonia volatilization rate was significantly correlated with soil temperature ($P<0.05$) and soil moisture ($P<0.01$). The yield of maize peaked when the N:P₂O₅:K₂O ratio was 250:112.5:62.5 kg/hm², with the ammonia volatilization substantially reduced. **【Conclusion】** An appropriate N:P₂O₅:K₂O ratio with drip irrigation can effectively improve crop yield and nutrient utilization efficiency, thereby reducing nitrogen losses.

Key words: fertigation; ammonia volatilization; maize; nitrogen use efficiency

责任编辑:陆红飞