

秸秆还田方式对关中盆地土壤微生物量碳氮和冬小麦产量的影响

李秀¹, 韩佳乐¹, 吴文雪¹, 张建国¹, 赵英¹, 冯浩²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了探究秸秆还田方式对土壤碳氮过程、水热过程和作物产量的影响, 对比分析了关中平原无秸秆还田(T0)、秸秆覆盖还田(T1)、秸秆翻压还田(T2)和氮化秸秆翻压还田(T3)4种还田方式对冬小麦生育期土壤微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)、有机碳(SOC)、全氮(TN)、温度、水分利用效率(WUE)和产量的影响。结果表明: MBC和MBN在整个生育期大致呈现先增加再降低的趋势, 在拔节期达到最大值, 不同秸秆还田处理在生育期均能有效增加土壤MBC和MBN含量; 不同秸秆还田方式均能增加耕作层SOC和TN含量, 且对表层(0—10 cm)的影响最为明显, 大于下表层(10—20 cm); T1、T2和T3在前期可提升土壤温度, T2日均温最大, 越冬期后降低日平均地温; T3、T1和T2分别增加地上部生物量19.41%、5.63%和11.19%, 增加籽粒产量23.48%、20.17%和13.17%, 其中T3增产效果达到显著水平, 明显优于其他秸秆还田方式; 同对照相比, T3、T2和T1可显著提高WUE28.73%、15.36%和18.83%。T3提高冬小麦籽粒产量和地上部生物量的效果优于其他秸秆还田方式, 建议氮化秸秆翻压还田最为优化, 对于关中地区旱作农业秸秆还田技术的完善和实践具有一定的指导作用。

关键词: 秸秆还田; 土壤微生物量碳氮; 温度; 水分利用效率; 冬小麦产量

中图分类号: S141; S512.1⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2018)04-0170-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.04.027

Effects of Different Straw Returning Methods on Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Winter Wheat Yield in Guanzhong Plain

LI Xiu¹, HAN Jiale¹, WU Wenxue¹, ZHANG Jianguo¹, ZHAO Ying¹, FENG Hao²

(1. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In order to explore the effects of different straw returning methods on soil carbon and nitrogen cycle, soil hydrothermal processes and winter wheat yield, field experiments were conducted to study the effects of different treatments including no straw returning (T0), straw mulching (T1), straw plowed into the soil (T2), and ammoniated straw plowed into the soil (T3), on soil microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), soil temperature, water use efficiency (WUE) and wheat yield in Guanzhong Plain. The results showed that straw returning increased MBC and MBN in the early growth stage and reached the highest levels at jointing stage. Straw returning greatly increased SOC and TN in 0—10 cm soil layer as compared to 10—20 cm depth. Compared to control, T1, T2 and T3 treatments increased the average soil temperature in the early growth stages with the highest value in T2, while slightly decreased after overwintering stages. T3, T1 and T2 increased the grain yield by 23.48%, 20.17% and 13.17%, respectively, while the aboveground biomass increased by 19.41%, 5.63% and 11.19%, respectively. WUE of T3, T2 and T1 increased by 28.73%, 15.36% and 18.83% compared with that of T0. Among them, T3 showed better performances on crop grain yield and aboveground biomass than other straw returning methods. Our findings suggest that T3 is more suitable for dry land agriculture farming, in terms of improving the soil quality and crop yield in this region.

Keywords: straw returning; soil microbial biomass carbon and nitrogen; temperature; water use efficiency; winter wheat yield

收稿日期: 2018-02-02

资助项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目(2014KJXX-44)

第一作者: 李秀(1994—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事土壤物理研究。E-mail: 1136566221@qq.com

通信作者: 赵英(1979—), 男, 博士生导师, 主要从事土壤与生态水文过程研究。E-mail: yzhaosoils@gmail.com

我国是农业大国, 农作物秸秆资源丰富, 据估算我国每年可收集秸秆量高达 9 亿 t^[1]。目前秸秆还田一般为秸秆直接还田, 即秸秆直接翻压或覆盖还田。作物秸秆含有丰富的氮磷钾等营养元素, 秸秆还田具有提升土壤肥力、增强土壤保水能力、改善土壤物理性质和提高产量等作用^[2-3]。秸秆还田不仅改变了土壤的养分含量和水气热分布, 而且显著影响土壤微生物数量和活性, 从而影响作物产量^[3-4]。秸秆还田方式对于微生物量碳氮影响的研究主要集中在不同还田量^[5]、不同秸秆预处理^[6]和不同耕作方式或还田深度^[7]对土壤微生物量碳氮的影响上。不同秸秆还田方式均能提高土壤微生物量碳以及其他活性炭组分含量, 且主要在 0—10 cm 土层起作用, 秸秆经过一定预处理后还田比直接还田更有助于有机质及其活性组分的增加, 且秸秆直接还田经常导致出苗困难, 诱发病虫害和与作物争氮等问题^[8]。因此, 探索合理高效的秸秆还田方式和措施在农业生产上具有重要的实践价值。

氨化秸秆是用尿素对秸秆进行预处理的一种方式。已有研究^[9]表明, 氨化秸秆还田具有降低 C/N 比, 改良土壤结构, 增加作物产量的作用, 氨化秸秆还田还可以增加土壤有机碳含量, 促进土壤孔隙结构发育, 增加结构孔隙度和总孔隙度^[10]。对秸秆进行氨化还会加快秸秆分解, 促进作物生长, 提升水分利用效率^[11]。但是氨化秸秆还田对于冬小麦生育期土壤微生物量碳氮动态缺少研究, 土壤微生物量碳氮是土壤有机质中较为活跃的部分, 在一定范围内可以反映土壤养分状况和微生物数量, 耕作措施一般对其有影响^[12], 对环境因素的变化较为敏感, 因此常用于评价土壤的生物学性状。鉴于此, 本文通过田间试验对比研究氨化秸秆翻压还田、普通秸秆翻压、覆盖还田与无秸秆还田对冬小麦生育期土壤微生物量碳氮、有机

碳、总氮、土壤温度、水分利用效率和产量的影响, 以期确定合理高效的秸秆还田方式, 为关中地区旱作农业秸秆还田技术的完善和生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验始于 2011 年, 在西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室灌溉试验站(34°20'N, 108°24'E)进行。海拔 521 m, 地处暖温带季风半湿润气候区, 多年平均降水量约 630 mm, 主要集中于 7—9 月, 年均气温 12.9 °C (试验期间平均气温和降水量见图 1)。土壤为粉砂质黏壤土, 耕层土壤容重 1.44 g/cm³, 田间持水量 33%~36%。有机质、全氮含量分别为 11.17, 0.95 g/kg; 速效磷、速效钾含量分别为 13.67, 183.20 mg/kg。地下水埋深 5 m 以下, 其向上补给量可忽略不计。

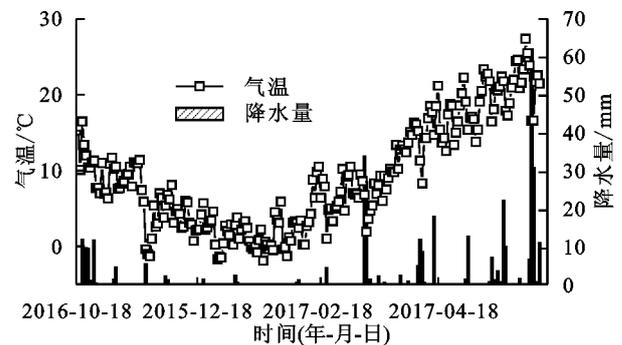


图 1 试验期间冬小麦生育期气温和降水分布

1.2 试验材料与设计

本试验选取上季玉米秸秆为试验用秸秆, 研究不同秸秆还田方式对土壤特性和作物产量的影响。具体秸秆还田方式见表 1。试验共设 4 个处理, 每个处理设 3 个重复, 共 12 个小区, 随机区组排列。各小区均为南北走向, 面积为 20 m² (4 m×5 m), 小区周围设置 3 m 宽的作物保护带。

表 1 田间试验处理设置

处理	说明	备注
T0	秸秆不还田对照	无
T1	秸秆覆盖还田, 还田量为 4 500 kg/hm ²	秸秆含碳量 44.47%, 氮含量 1.32%
T2	秸秆翻压还田, 还田深度为 0—15 cm, 还田量为 4 500 kg/hm ²	秸秆含碳量 44.47%, 氮含量 1.32%
T3	氨化秸秆翻压还田, 还田深度为 0—15 cm 还田量为 4 500 kg/hm ²	氨化秸秆含碳量 38.61%, 氮含量 1.39%

试验前将秸秆处理成 5 cm 左右小段, 氨化秸秆采用毛华明等^[13]的处理方式, 即以水溶液的形式加入占秸秆干质量 1.33% 的氮素(调整秸秆 C/N)和 4% 的氢氧化钙溶液且溶液总质量为秸秆干质量的 30%, 然后将水溶液喷洒在秸秆上混合均匀后用塑料密封, 在常温下培养 6 天备用。

供试冬小麦品种为“小偃 22”, 于 2016 年 10 月

20 号播种, 采用人工条播种植方式, 播种量 187.4 kg/hm², 播种深度 5 cm, 行距 25 cm; 2017 年 6 月 8 日收获, 全生育期 232 天。整个生育期均无灌溉。基肥施用量磷酸二铵 (P₂O₅ 含量 48%) 为 112.5 kg/hm², T3 处理尿素 (N 含量 46%) 施用量为 110 kg/hm², 其他处理为 225 kg/hm²。播种前用旋耕机将基肥与预处理秸秆一次性翻入土壤耕层 0—15 cm 内

(秸秆覆盖处理在播种后覆盖于地表),生育期内不追肥。其他田间管理与当地农民种植习惯一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤微生物量碳氮 于 2016 年 10 月至 2017 年 6 月,在冬小麦各关键生育期(播种期、分蘖期、拔节期、灌浆期和成熟期)分 0—10,10—20 cm 两个土层采集土壤样品,各小区随机取 3 个点,剔除植物残茬、根系和石块等杂物,混合装袋后保存于 4 °C 冰箱内,用于测定土壤微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN),其余土样于阴凉处风干供其他指标的测定。

微生物量碳氮的测定采用氯仿熏蒸—0.5 mol/L K_2SO_4 浸提法^[14]测定;浸提液中 MBC 采用 TOC—V_{CPH}(日本岛津)分析仪测定;浸提液中 MBN 采用流动分析仪(AutoAnalyzer—III,德国)测定。

1.3.2 土壤基本理化指标及土壤温度 土壤 SOC 和 TN 参照《土壤农化分析》^[15]常规方法测定。10,30 cm 深度土壤温度采用自动传感器(UTBI—001)进行原位监测,测定间隔为 10 min。

1.3.3 冬小麦产量 在成熟期,随机选取每个处理各小区有代表性的 1 m² 小麦进行测产,折合成公顷产量(kg/hm²)。

1.3.4 耗水量与水分利用效率 冬小麦耗水量采用土壤水量平衡公式计算,即:

$$ET = \Delta W + P + I + K$$

式中:ET 为冬小麦耗水量(mm); ΔW 为收获期与播种期剖面水分含量之差(按 160 cm 土层计)(mm);P 为小麦生育期降水量(mm);I 为生育期灌溉量(mm),旱作 I=0;K 为生育期地下水补给量(mm);由于研究区地下水埋深在 5 m 以下,K 视为 0。

水分利用效率计算公式为:

$$WUE = \frac{Y}{ET}$$

式中:WUE 为水分利用效率(kg/(hm²·mm));Y 为单位面积小麦产量(kg/hm²)。

1.4 统计方法

数据采用 Excel 2007 进行基础整理计算,用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,用 Origin 9.0 软件绘制图形。

2 结果与分析

2.1 冬小麦不同生育期土壤微生物量碳氮的变化

从表 2 可以看出,在冬小麦生育期内,各处理土壤 MBC 变化趋势基本一致,呈现先增加后降低再增加的趋势。0—10 cm 土层 MBC 高于 10—20 cm 土

层含量,在拔节期以前,T0 与 T2 处理在 0—10 cm 土层变化趋势基本一致,均呈现先增加再降低的趋势。而 T1 与 T3 处理与此相反,呈现先降低后再增加的趋势,且在拔节期达到最大值。拔节期土壤 MBC 总体表现为 T1>T3>T2>T0,T1 显著高于其他处理,T3 与 T2 之间无显著差异,但是均显著大于 T0 处理($P<0.05$)。拔节期到灌浆期除 T0 显著增加外,T1、T2 和 T3 处理均呈下降趋势,灌浆期过后 4 个处理均呈现上升趋势。在 10—20 cm 土层深度范围内生育前期和生育后期 4 个处理趋势基本一致,均为在灌浆期显著下降,在成熟期增加。

总体来看,整个生育期表层(0—10 cm)土壤 MBC 值波动较大,且在拔节期差异最大。整个生育期内,MBC 平均值分别为 T3(472.15 mg/kg)>T2(461.70mg/kg)>T1(434.14 mg/kg)>T0(310.36 mg/kg),T1、T2 和 T3 分别比 T0 高 39.88%,48.76%和 51.13%。在 10—20 cm 土层内,整个生育期 MBC 平均值大小分别为 T2(321.87 mg/kg)>T3(316.64 mg/kg)>T1(281.91 mg/kg)>T0(250.55 mg/kg),T1、T2 和 T3 分别比 T0 高 12.52%,28.46%和 26.38%。播种前期与收获期 T1、T2 和 T3 处理 MBC 无显著性差异($P>0.05$),但 T0 在生育期结束时显著增加。

MBN 变化趋势与 MBC 变化趋势基本一致,大致呈现先增加后降低的趋势;其中拔节期最高,此时 T0 的 MBN 显著低于其他 3 个处理。在 0—10 cm 土层为 15.61 mg/kg,T2 含量最大,达 45.12 mg/kg,T3 为 40.54 mg/kg,T1 为 38.98 mg/kg;在 10—20 cm 土层,T2 的 MBN 分别比 T0、T3 和 T1 高 166.60%,149.89%和 125.56%。所有处理 MBN 均在灌浆期最低,T1、T2 和 T3 处理间无显著差异,且在 0—10 cm 处 T0 显著低于其他处理。T0 的 MBN 几乎在整个生育期均小于其他处理,说明秸秆还田在一定程度上可以提高冬小麦生育期田间微生物活性,增加土壤可利用氮含量。

2.2 不同处理对土壤有机碳和全氮含量的影响

从表 3 可以看出,不同秸秆还田处理在 0—10 cm 土层 SOC 含量差异显著,T1 含量最高,其次是 T2,两者分别显著高于 T0 处理 17.45%和 12.66%,而 T3 略小于 T0。0—10 cm 处,T2 的 TN 最高,其次是 T3 和 T1,均显著高于对照 T0,分别增加了 34.78%,25.00%和 19.57%。在 10—20 cm 土层,不同秸秆还田处理均增加了 SOC 及 TN 含量,但与 T0 无显著差异,T1、T2 和 T3 的 SOC 分别比 T0 高 3.30%,12.89%和 14.21%,TN 分别高 20.48%,12.05%和 26.51%。

表2 不同处理冬小麦生育期土壤微生物量碳(MBC)和氮(MBN)

单位: mg/kg

指标	土层深度/cm	处理	播前期	分蘖期	拔节期	灌浆期	成熟期
MBC	0—10	T0	300.10±49.95c	384.33±45.29c	295.38±17.59c	309.16±28.90bc	442.80±42.78ab
		T1	411.78±29.29b	428.11±68.78bc	684.86±37.26a	242.90±26.01d	403.04±60.95b
		T2	438.00±18.88ab	572.88±65.26a	531.93±16.64b	280.13±34.41cd	485.54±12.74a
	10—20	T3	483.87±71.47a	461.18±48.40b	575.55±56.37b	389.18±25.79a	450.96±57.46ab
		T0	208.34±16.21b	298.74±38.01b	274.10±12.84c	226.69±57.78a	444.92±42.80a
		T1	223.50±20.32b	437.20±79.10a	424.29±5.87b	156.83±39.90b	167.73±61.52c
		T2	278.06±42.03a	444.99±82.77a	428.41±29.84b	202.82±11.69a	255.06±38.29b
		T3	218.94±14.73b	381.71±63.00a	472.14±46.76a	249.67±26.72a	260.75±74.12b
		T0	19.09±3.73c	28.58±0.84b	15.61±2.60b	13.96±2.77b	37.54±2.28a
MBN	0—10	T1	31.71±2.79ab	42.39±4.47a	39.99±7.44a	16.75±6.73ab	38.52±11.54a
		T2	27.73±2.49b	36.81±9.04ab	45.12±6.22a	25.64±4.85a	38.47±7.92a
		T3	33.79±2.89a	37.37±5.11ab	40.54±8.45a	22.54±2.69ab	39.14±6.46a
	10—20	T0	18.59±4.04a	21.17±5.51a	19.77±2.39b	14.05±4.09a	30.57±6.93a
		T1	13.71±2.79b	31.51±4.24a	33.32±9.38a	10.98±3.72a	20.90±5.57b
		T2	16.15±4.04ab	28.79±7.80a	39.38±4.18a	17.26±4.33a	25.63±2.62ab
		T3	13.63±2.46b	27.52±3.74a	36.91±10.22a	14.36±7.13a	29.46±7.10a

注:不同字母表示同一土层同一生育期不同处理 MBC 和 MBN 的差异显著($P<0.05$)。下同。

表3 不同处理冬小麦收获期土壤有机碳和总氮含量

单位: g/kg

土层深度/cm	处理	SOC	TN
0—10	T0	11.06±0.82b	0.92±0.11b
	T1	12.99±0.53a	1.10±0.06ab
	T2	12.46±0.25a	1.24±0.06a
	T3	10.99±0.70b	1.15±0.19a
10—20	T0	9.08±0.90a	0.83±0.23a
	T1	9.38±0.37a	1.00±0.12a
	T2	10.25±1.01a	0.93±0.06a
	T3	10.37±0.37a	1.05±0.08a

注:不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

2.3 不同处理对冬小麦生育期土壤温度的影响

从图2可以看出,各处理土壤温度与气温波动趋势基本一致,10 cm 土壤温度波动范围高于 30 cm,土温在 1—2 月份最低,在 6 月达到最高。与 T0 相比,秸秆还田在前期表现出明显的增温效应,而在后期却表现为降温效应,10 cm 处,播种期到分蘖期 T2 处理日均温最高,分别比 T0、T1 和 T3 高 0.47、0.23、0.46 °C。在生育期后期 T0 处理温度较高,在灌浆期到收获期差异最大,比其他处理高 0.52~0.57 °C。30 cm 处,温度差异与 10 cm 处类似,播种期到分蘖期 T2 处理日均温最高,分别比 T0、T1 和 T3 高 0.29、0.30、0.22 °C;在生育期后期 T0 处理温度较高,在拔节期到灌浆期差异最大,比其他处理高 0.37~0.50 °C,且 T1 温度整个生育期都较低。整个生育期内,两土层平均地温均表现为 T0>T2>T3>T1,10 cm 分别为

12.36、12.15、11.99、11.97 °C,30 cm 分别为 12.23、12.00、11.99、11.82 °C。

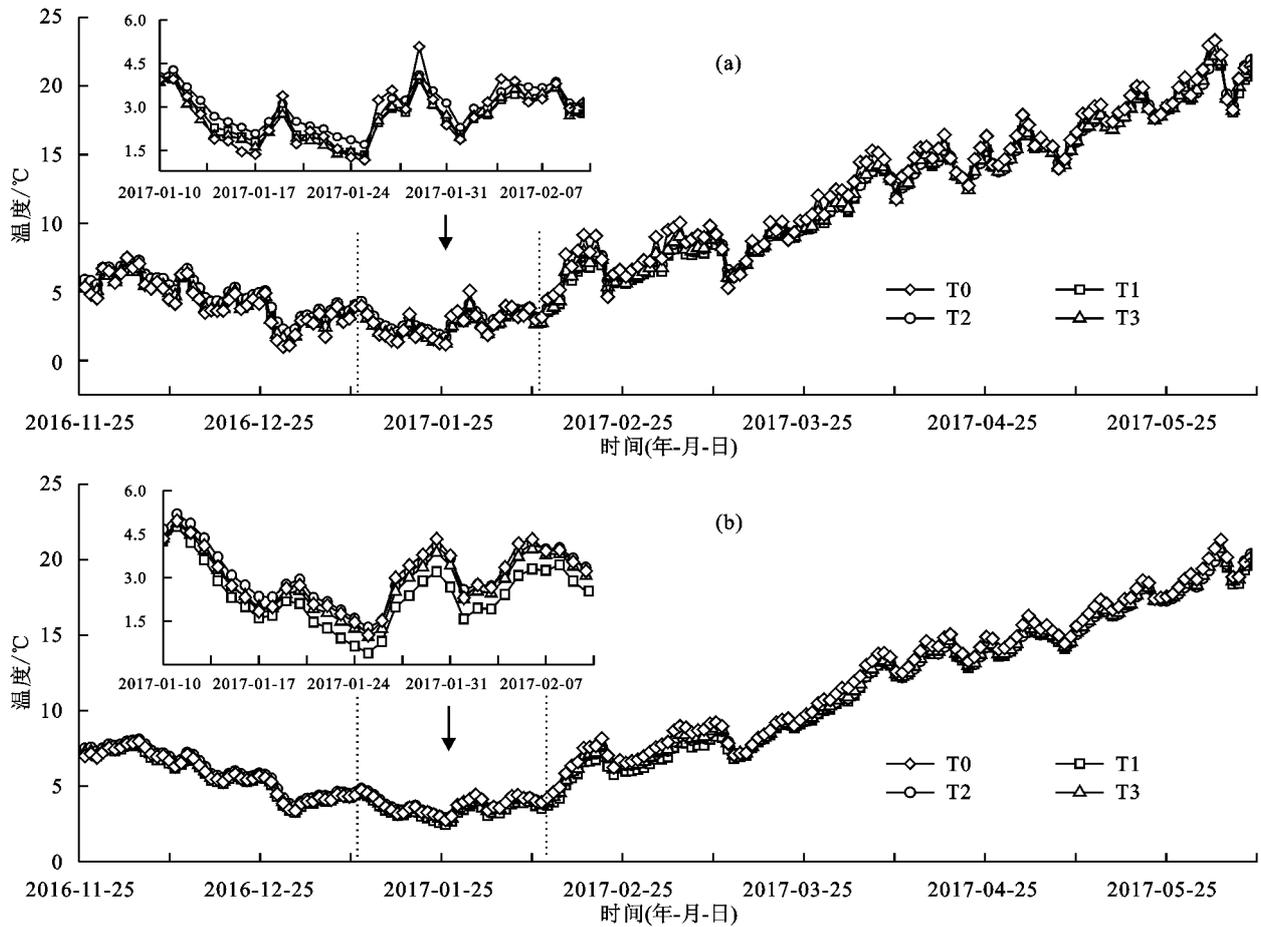
从表4可以看出,在拔节期之前,T2 处理均温最高,最低温均大于其他处理,而拔节期之后 T0 日均温最高,主要表现为最高温大于其他处理。10 cm 处与 30 cm 土层>0 °C 积温趋势一致,均呈现播前期到分蘖期 T2 的积温最大,其余生育期为 T0 有效积温最大。

2.4 不同处理对冬小麦产量和水分利用效率的影响

从表5可以看出,不同秸秆还田方式 1 m² 有效穗数与 T0 均无显著差异;除 T3 的千粒重外,其他处理的千粒重、有效穗数、籽粒产量与生物量产量均比 T0 有所提高,T3、T1 和 T2 籽粒产量分别比 T0 增加了 23.48%、20.17% 和 13.17% ($P<0.05$),地上部生物量分别增加了 19.41%、5.63% 和 11.19%。

相关性分析表明,1 m² 有效穗数和千粒重和地上部生物量对籽粒产量相关系数分别为 0.596 ($P<0.01$),0.149 ($P>0.05$) 和 0.655 ($P<0.01$)。其中,有效穗数与籽粒产量和地上生物量成极显著正相关,籽粒产量和地上部生物量成极显著正相关,而千粒重与其他产量指标无显著关系。

生育期耗水量秸秆还田处理与对照处理间差异不显著,但不同秸秆还田处理均能显著提高 WUE。耗水量大小表现为 T1>T0>T2>T3。T3、T2 和 T1 的 WUE 分别比 T0 提高了 28.73%、15.36% 和 18.83% ($P<0.05$),且 T3 处理显著高于 T2 和 T1。



注:(a)和(b)分别是距地表 10 cm 和 30 cm 处的温度。

图 2 不同秸秆还田对日平均地温的影响

表 4 不同处理生育期土壤温度特征

单位: °C

处理	项目	10 cm 土层				30 cm 土层			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
T0	均温	6.02	6.39	15.28	19.49	7.39	6.85	14.74	18.33
	最大日均温	7.47	15.57	17.89	23.32	7.85	14.59	16.27	21.31
	最小日均温	4.53	1.02	12.75	17.38	6.89	2.76	13.28	15.99
	>0 °C 积温	54.15	843.82	382.09	565.23	66.52	903.59	368.54	531.45
T1	均温	6.26	6.04	14.77	18.92	7.38	6.40	14.24	17.88
	最大日均温	7.26	14.83	16.75	22.13	7.68	13.97	15.54	20.48
	最小日均温	5.33	1.35	12.59	17.00	6.98	2.45	12.83	15.50
	>0 °C 积温	56.38	797.83	369.37	548.63	66.38	845.37	356.00	518.52
T2	均温	6.49	6.30	14.76	18.97	7.68	6.71	14.26	17.88
	最大日均温	7.46	14.85	16.48	21.89	8.04	13.85	15.51	20.40
	最小日均温	5.54	1.70	12.62	16.76	7.32	2.89	13.00	15.40
	>0 °C 积温	58.44	831.81	368.94	550.11	69.14	886.25	356.61	518.51
T3	均温	6.03	6.09	14.77	18.92	7.46	6.66	14.37	17.96
	最大日均温	7.21	15.01	16.65	22.19	7.84	14.07	15.68	20.73
	最小日均温	5.07	1.27	12.44	16.83	7.06	2.73	13.00	15.55
	>0 °C 积温	54.28	803.98	369.20	548.77	67.17	879.15	359.24	520.85

注:S1 为播前期到分蘖期;S2 为分蘖期到拔节期;S3 为拔节期到灌浆期;S4 为灌浆期到成熟期。

表 5 不同处理对冬小麦产量、作物耗水量及水分利用效率的影响

处理	有效穗数/ m ²	籽粒产量/ (kg · hm ⁻²)	地上部生物量/ (kg · hm ⁻²)	千粒重/ g	耗水量/ mm	水分利用效率/ (kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)
T0	618.33±7.23a	6508.17±260.53b	14960.75±132.44b	42.14±3.54a	348.33±8.64a	18.69±0.46c
T1	667.00±29.67a	7820.67±386.76ab	15803.00±232.49ab	44.11±3.27a	352.58±15.50a	22.21±1.00b
T2	679.33±37.86a	7365.47±153.10ab	16634.62±294.45ab	45.84±2.86a	341.88±12.50a	21.56±0.80b
T3	708.67±44.60a	8036.03±194.94a	17864.57±103.54a	40.75±1.50a	334.22±8.81a	24.06±0.63a

3 讨论

3.1 秸秆还田方式对土壤 MBC 和 MBN 影响

秸秆还田较无秸秆还田处理能增加冬小麦生育前期的微生物量碳氮含量,在 0—10 cm 土层,拔节期秸秆还田处理能显著提高 MBC,而在之后缓缓降低,在灌浆期甚至降低土壤微生物量碳氮的含量,这与刘龙等^[16]的研究结果相反,但与王芸等^[12]研究结果基本一致。这说明秸秆还田对于土壤微生物的影响随着时间推移而逐渐降低。这可能主要有 3 个方面的原因:一是由秸秆的腐解特征造成,玉米秸秆还田初期快速分解,至 100 天,腐解率可达 50%,之后腐解速度变慢,且氨化秸秆加快秸秆分解^[17];二是在灌浆期,作物属于快速生长时期,养分被大量吸收,秸秆还田处理的地上部生物量和籽粒产量均大于无秸秆还田;三是温度原因,分蘖期前,由于秸秆翻压还田的快速分解^[18],微生物剧烈活动产生的热和上层土层的保温作用提高了土壤温度,使得秸秆翻压还田处理温度高于无秸秆还田。而后由于无秸秆还田处理地上部生物量较低,故日均温度大于秸秆还田处理,在一定范围内,温度与微生物活性与数量呈正相关关系^[19]。MBC 与 MBN 含量表现为 0—10 cm 土层含量大于 10—20 cm,这是因为表层土壤气体和热量充足,且秸秆覆盖和翻压大都集中在 0—10 cm 土层中。由于氨化秸秆 C/N 比较小,利于微生物生长且秸秆翻压还田温度较高,故整个生育期 MBC 平均值表现为 T3≈T2>T1>T0。MBN 是土壤氮库中重要的一部分,是作物生长可利用态养分的重要来源^[20],本研究中秸秆还田处理在灌浆期之前能提高土壤中 MBN 的含量,这部分氮在作物生长期间,可逐渐矿化释放,表明秸秆还田能提高土壤可利用氮的含量。

3.2 秸秆还田对土壤养分状况的影响

秸秆中含有蛋白质、木质素、糖和丰富的纤维素、半纤维,施用秸秆能提高土壤中 SOC 及 TN 的含量^[21],且对 0—10 cm 土层培肥效果大于 10—20 cm。长期定位试验发现单施秸秆比单施化肥更有利于土壤有机质的提升,且土壤有机质、速效氮、铁、锌和锰与秸秆还田量有显著正相关关系^[2]。有研究^[5]表明,秸秆直接还田、菌渣还田和过腹还田相对于无秸秆还田都能提高土壤有机质含量,但在两年内无显著差异。本试验氨化秸秆翻压还田 0—10 cm 土层内 SOC 显著低于普通秸秆覆盖还田和翻压还田,由于氨化秸秆较易分解,微生物活性强,有利于土壤有机质的矿化作用,造成土壤原有 SOC 的分解^[11]。有秸秆施入处理的 TN 比无秸秆还田均有不同程度的增

加,在 0—10 cm 土层,秸秆翻压还田显著增加了土壤 TN,覆盖还田增加不显著,但不同还田方式之间无显著差异,可能在于翻压秸秆还田增加了土层中的无机氮数量,而覆盖还田对无机氮含量影响不显著^[22]。还有研究表明,玉米秸秆还田会降低小麦季土壤 CO₂ 和 N₂O 的释放量,利于土壤碳库的积累^[23],因此秸秆还田对于土壤养分状况具有十分重要的影响。

3.3 秸秆还田对冬小麦产量的影响

目前,关于秸秆还田对冬小麦产量的影响多有报道,但对其与土壤水热状况的关系分析相对较少^[6]。有些研究^[8]认为秸秆还田能提升田间水热条件,从而增加作物产量,但也有学者认为秸秆还田由于长期使土壤过于湿冷而导致作物生长发育受阻,从而造成减产。本研究表明秸秆还田拥有良好的平抑地温的作用,在前期温度较低时,起到增温作用,促进出苗,到了后期天气炎热时,降低温度,降低水分蒸发,进一步保水保墒,有利于协调生育期水热供给,促进作物生长发育。余坤等^[11]研究表明,相比于常规秸秆还田,氨化秸秆还田能显著加快秸秆腐解速率,提高夏玉米和冬小麦的产量。本研究表明,不同秸秆还田处理均会显著提高水分利用效率,但对耗水量无显著影响,这与赵亚丽等^[24]的研究结果相似。氨化秸秆显著提高冬小麦籽粒产量与地上生物量,普通秸秆覆盖和翻压还田也会提高作物产量但增产效果并不显著,秸秆还田处理比 T0 相比,产量提高的原因可能是增加了有效穗数。

综上所述,秸秆还田对于农田的综合影响是一个长期的累积过程,氨化秸秆有利于提升冬小麦生育前期 MBC 和 MBN 的含量,改善土壤温度,提高 SOC 含量,提升水分利用效率,从而促进冬小麦产量的增加。但是本研究缺乏机理性研究,对于土壤中增加的微生物量碳氮来源不够明确,需要进一步借助同位素标定秸秆等方法来进行研究。此外,本研究采用旋耕机将秸秆翻压还田,理论深度约为 10 cm,但由于操作误差,0—15 cm 土层都影响属于影响范围。导致 10—20 cm 的土壤取样和解释其与表层土壤受秸秆影响差异时存在一定难度。总之,氨化秸秆在提高作物籽粒产量和地上部生物量的效果优于其他传统秸秆还田,这对于西北地区旱作农业秸秆还田技术的完善和实践具有一定的指导作用。

4 结论

(1) 秸秆还田在生育期可以提高土壤 MBC 和 MBN 的含量,在拔节期达到最大值。0—10 cm 土层 MBC 平均值分别为 T3(472.15 mg/kg)>T2(461.70

mg/kg) > T1 (434.14 mg/kg) > T0 (310.36 mg/kg)。在 10—20 cm 土层内, 整个生育期 MBC 平均值大小分别为 T2(321.87 mg/kg) > T3(316.64 mg/kg) > T1(281.91 mg/kg) > T0(250.55 mg/kg); 且秸秆还田可以增加土壤 SOC 与 TN 含量。

(2) 秸秆还田有平抑地温的作用。秸秆还田对 10 cm 土层温度影响大于 30 cm, 相较于无秸秆还田, 10 cm 处分蘖期之前, 秸秆还田日均温增温 0.01~0.47 °C, 之后日均温降温 0.09~0.57 °C。

(3) 相对于无秸秆还田, T3、T1 和 T2 能显著提高水分利用效率(分别为 28.73%, 18.83% 和 15.36%), 显著增加冬小麦籽粒产量(分别增加 23.48%, 20.17% 和 13.17%) 与地上部生物量(分别增加 19.41%, 5.63% 和 11.19%)。

参考文献:

- [1] 石祖梁, 贾涛, 王亚静, 等. 我国农作物秸秆综合利用现状及焚烧碳排放估算[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 32-37.
- [2] 劳秀荣, 吴子一, 高燕春. 长期秸秆还田改土培肥效应的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 49-52.
- [3] 张静, 温晓霞, 廖允成, 等. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 612-619.
- [4] Chen Z, Wang H, Liu X, et al. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice-wheat cropping system[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 165(1): 121-127.
- [5] 李新华, 郭洪海, 朱振林, 等. 不同秸秆还田模式对土壤有机碳及其活性组分的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 130-135.
- [6] 赵亚丽, 郭海斌, 薛志伟, 等. 耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1785-1792.
- [7] 李晓莎, 武宁, 刘玲, 等. 不同秸秆还田和耕作方式对夏玉米农田土壤呼吸及微生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1765-1771.
- [8] 赵秀玲, 任永祥, 赵鑫, 等. 华北平原秸秆还田生态效应研究进展[J]. 作物杂志, 2017(1): 1-7.
- [9] Yu K, Dong Q G, Chen H X, et al. Incorporation of pre-treated straw improves soil aggregate stability and increases crop productivity [J]. Agronomy Journal, 2017, 109(5): 1-13.
- [10] 丁奠元, 冯浩, 赵英, 等. 氮化秸秆还田对土壤孔隙结构的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 650-658.
- [11] 余坤, 冯浩, 赵英, 等. 氮化秸秆还田加快秸秆分解提高冬小麦产量和水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 103-111.
- [12] 王芸, 李增嘉, 韩宾, 等. 保护性耕作对土壤微生物量及活性的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3384-3390.
- [13] 毛华明, 冯仰廉. 饲喂复合化学处理大麦秸颗粒对泌乳牛生产性能的影响[J]. 云南农业大学学报, 1999, 14(2): 167-170.
- [14] 张帆, 黄凤球, 肖小平, 等. 冬季作物对稻田土壤微生物量碳、氮和微生物熵的短期影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 734-739.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [16] 刘龙, 李志洪, 赵小军, 等. 种还分离玉米秸秆还田对土壤微生物量碳及酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4): 259-263.
- [17] 张珺, 王婧, 张莉, 等. 理化预处理方式对玉米秸秆腐解与养分释放特征的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23): 226-232.
- [18] 李新举, 张志国, 李贻学. 土壤深度对还田秸秆腐解速度的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 135-138.
- [19] Davidson E A, Belk E, Boone R D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest[J]. Global Change Biology, 1998, 4(2): 217-227.
- [20] Bijayalaxmi D N, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India[J]. Applied Soil Ecology, 2006, 31(3): 220-227.
- [21] Lou Y, Xu M, Wang W, et al. Return rate of straw residue affects soil organic C sequestration by chemical fertilization[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 113(1): 70-73.
- [22] 李贵桐, 赵紫娟, 黄元仿, 等. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 162-167.
- [23] 李新华, 朱振林, 董红云, 等. 玉米秸秆不同还田方式下麦田温室气体排放特征[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(2): 176-181.
- [24] 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.