

DOI:CNKI:61-1390/S.20111216.1116.001

网络出版时间:2011-12-16 11:16

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111216.1116.001.html>

温度与微生物制剂对小麦秸秆腐解及 土壤碳氮的影响

Shaukat Ali Abro, 把余玲, 田霄鸿, 李 萌, 游东海

(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)

【摘 要】 【目的】探讨不同温度和添加微生物制剂条件下, 小麦秸秆腐解对土壤中不同形态碳、氮含量的影响, 为评价秸秆还田措施补充土壤养分、改善土壤肥力的贡献提供理论依据。**【方法】**采用室内模拟恒温培养方法, 于 15 和 20 °C 条件下, 在装有 127.5 g 风干土样的培养盆中, 分别添加不同量秸秆(0.961, 0 g/盆)和微生物制剂(2.88, 0.961, 0 mg/盆), 后培养 75 d, 测定秸秆腐解期间 CO₂ 释放量及腐解后土壤中不同形态碳、氮的含量。**【结果】**温度对秸秆腐解和养分释放影响较大, 而微生物制剂未表现出作用效果。经 75 d 腐解培养后, 添加秸秆与对照相比, 15 °C 下秸秆 CO₂-C 的净累积释放量较 20 °C 下低 37.1%, 而土壤有机碳和微生物量碳净增量分别增加了 260% 和 949%; 同时, 15 °C 下土壤全氮和铵态氮含量分别较 20 °C 下降了 100% 和 18.4%, 微生物量氮提高了 262%。**【结论】**较低的温度有利于秸秆对土壤有机碳和微生物量碳、氮的截留和保蓄, 而较高的温度会加速秸秆有机碳向无机碳转化, 同时微生物制剂在本研究的水热条件下未能发挥作用。

【关键词】 秸秆腐解; CO₂-C 释放; 土壤有机碳; 微生物量碳; 微生物量氮

【中图分类号】 S141.4

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2012)01-0115-08

Effect of temperature and microbial agent on wheat straw decomposition and soil carbon or nitrogen

Shaukat Ali Abro, BA Yu-ling, TIAN Xiao-hong, LI Meng, YOU Dong-hai

(College of Resource and Environment, Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-Environment in
Northwest China, Ministry of Agriculture, Northwestern A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 In order to offer some theoretic foundation for the evaluation of straw returning measures to supply the soil nutrients and improve soil fertility, the decomposition of wheat straw was incubated to investigate the effect of temperature and microbial agent on wheat straw decomposition and soil carbon or nitrogen. **【Method】** The soil (127.5 g air dried soil) with (0.961 g/pot) and without wheat straw was incubated at constant temperature (15 °C, 20 °C) and microbial agents (2.88, 0.961, 0 mg/pot) for 75 d. The CO₂ production during the incubation and different forms of soil carbon and nitrogen content after incubation were determined. **【Result】** There was a strong influence of temperature on the decomposition of straw and nutrient release, however, microbial agents had no obvious effect. Compared to control at the end of 75 day incubation the net cumulative CO₂-C evolution at 15 °C under straw addition was 37.1% lower than that of 20 °C, while the net increase amounts of soil organic carbon and microbial biomass car-

* [收稿日期] 2011-06-15

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B11); 国家自然科学基金项目(40971179, 31071863); 西北农林科技大学“创新团队建设计划”项目(2010)

[作者简介] Shaukat Ali Abro(1976—), 男, 巴基斯坦人(留学生), 博士, 主要从事养分资源管理研究。

E-mail: abro.shaukat@gmail.com

[通信作者] 田霄鸿(1967—), 男, 甘肃天水人, 教授, 博士, 主要从事植物营养调控及循环农业研究。E-mail: txhong@hotmail.com

bon were 260%, 949%, respectively. At the same time, the content of soil total nitrogen and ammonium nitrogen was decreased by 100% and 18.4% in 15 °C treatment compared to 20 °C treatment, and the microbial biomass nitrogen was increased by 262%, respectively. 【Conclusion】 Lower temperature is favorable for soil organic carbon, microbial biomass carbon and nitrogen sequestration and retention, however, higher temperature makes it easier to transform the organic carbon of straw into inorganic carbon, in addition, microbial agents have little effect under this controlled conditions.

Key words: straw decomposition; CO₂-C evolution; soil organic carbon; microbial biomass C; microbial biomass N

从全球粮食供求角度看,粮食综合生产能力与粮食安全问题一直是世界性重大问题,我国年粮食产量和消费量约占世界粮食产量和消费量的1/4,尽管我国尚不存在粮食短缺问题,但随着人口增加和人民生活水平的提高,粮食消费需求呈刚性增长。目前,粮食不仅用于解决人类的温饱问题,而且还是社会经济发展中最重要的基础性和战略性物资,在生产和生活的众多领域,粮食的间接需求也在日益扩展和增长,保障国家粮食安全和主要农产品的供给将始终是农业生产面临的首要任务。因此,如何实现粮食生产稳定增长就成为我国农业生产的主要问题之一。

关中平原作为传统的粮食主产区,随着农业机械化水平的不断提高,实现作物全面高产的目标备受关注。为了推动粮食增产,人们通过大量施用化肥来补充作物生长期间所需的营养元素,同时有机肥的施用比例也日益降低,随着时间推移,这种高度依赖化肥的种植方式会使土壤养分含量严重失衡,耕作条件不断恶化,肥力逐步退化,并出现了农产品品质下降等问题;此外,作为有机肥源的作物秸秆大都没有以合理方式还田,故作物生长过程中从土壤中吸收的大量养分,尤其是微量元素,均没能归还土壤,从而阻断了以秸秆为纽带的农田生态系统中正常的物质和能量循环^[1-3]。因此,提高关中地区作物秸秆的农业循环利用率已成为当务之急,以秸秆为纽带连通关中平原农业生产的物质能量循环链,是实现关中平原农业可持续发展的重要途径。

农作物秸秆中富含大量有机质和氮、磷、钾及其他微量元素^[4],就目前的经济发展水平来说,只有作物秸秆才能取代传统有机肥成为最重要的有机肥源,故对分布于不同区域和在不同腐解方式下的秸秆还田及腐解过程中的物质变化研究也日益深入,秸秆还田具有营养植物和培肥土壤的双重功效^[5],其技术的推广对新农村建设与环境保护意义重大,同时还具有良好的经济效益、社会效益及广阔的应

用前景。但秸秆直接还田后,存在的秸秆不易腐烂、影响种子发芽、抑制幼苗生长、易发生病虫害、喷药灌水困难等也是生产上面临的新问题,亟待加强对这些问题的研究。

为此,本试验以小麦秸秆作为研究对象,采用室内培养模拟试验,研究小麦秸秆进入土壤后的腐解机理及其对土壤中不同碳、氮形态的影响,旨在探索最有利于秸秆腐解的条件,以期科学地进行秸秆直接还田、提高作物产量提供理论依据和实施办法。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤采自陕西省三原县西北农林科技大学研究所秸秆还田定位试验田间试验示范区,为连续2季未进行秸秆还田处理的耕层土壤(0~15 cm土层),土壤类型属于半淋溶土纲中的红油土。土壤有机碳含量 16.89 g/kg,全氮 0.68 g/kg,NO₃⁻-N 13.87 mg/kg,NH₄⁺-N 12.92 mg/kg。土壤风干后,除去杂物,研磨过孔径 2 mm 筛供培养用。供试秸秆为小麦秸秆,其C含量为 400 g/kg,N为 4 g/kg,为小麦成熟收获后采集的地上部分,70 °C烘干后粉碎(粉状)备用;微生物制剂是一种粉剂的秸秆腐熟剂(由西北农林科技大学资源环境学院资源环境生物研究室提供),在施用过程中依据其产品包装袋上的推荐施用量进行添加。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验采取室内模拟恒温培养方法,每个培养盆(高 11 cm、直径 25 cm 的带密封盖塑料圆盆)装入供试风干土样 127.5 g(风干土吸湿水含量为 20 g/kg),培养过程中保持土壤相对含水量为 80%。试验设置不添加秸秆(0 g/盆)与添加秸秆(0.961 g/盆)2个水平;温度设 15 和 20 °C 2个水平;微生物制剂按每盆秸秆质量的 0.1%,0.3%加入,施用量分别为 0.961 和 2.88 mg/盆,同时以不加微生物制剂为对照,即微生物制剂的添加量分别为 2.88,

0.961,0 mg/盆 3 个水平。采用完全组合设计,12 个处理,重复 4 次,共 48 盆,总计培养 75 d。此外,每个培养盆中添加 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 19.1 mg(调节 C/N 为 30 : 1 的用 N 量)和 KH_2PO_4 2.75 mg。

1.2.2 试验培养过程 首先按照试验方案将 127.5 g 风干土与 0.961 g 秸秆均匀混合后装入培养盆中,然后在每盆加入所需氮肥和磷肥溶液,同时按不同水平加入微生物制剂溶液,最后再放入 1 个装有 10 mL 1 mol/L NaOH 的小烧杯(容积 50 mL)用于收集 CO_2 ,培养盆边缘处涂抹凡士林以保证其密封性,分别将其放于 15 和 20 °C 恒温培养箱中培养。一般情况下, CO_2 释放速率随时间延长而逐渐减小,为尽可能避免对培养环境的扰动,本研究采用了逐渐延长测定间隔的方法,即分别于培养试验的 2,5,10,15,21,28,36,50,63,75 d 进行收集测定。每次测定结束后,将重新装有 10 mL 1 mol/L NaOH 的小烧杯再次放入培养盆,并继续进行培养。培养过程中水分控制采用质量控制法,即加蒸馏水至初始质量。

1.3 测定与计算方法

1.3.1 测定方法 土壤微生物量碳、氮先采用氯仿熏蒸,然后用 0.5 mol/L K_2SO_4 浸提($V(\text{蒸馏水}) : m(\text{土}) = 4 : 1$),其中微生物量碳用 TOC 总有机碳分析仪测定,微生物量氮用消煮氧化法测定^[6-7]。土壤有机碳采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法

测定;土壤全氮采用半微量开氏法测定;土壤硝态氮和铵态氮采用 2 mol/L KCl 浸提,用连续流动分析仪测定^[8]; CO_2 采用碱液吸收滴定法测定^[9]。

1.3.2 计算方法 净累积释放量和净增量,是指添加秸秆后,单纯由秸秆自身所贡献的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 累积释放量和释放到土壤中的碳、氮养分含量,具体计算公式如下:

$$\text{净累积释放量或净增量}(N) = C_1 - C_0。$$

式中: C_1 为添加秸秆处理的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 累积释放量或养分含量; C_0 为不添加秸秆(对照)处理的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 累积释放量或养分含量。

1.4 数据处理

数据采用 Excel、DPS 统计软件进行方差分析和多重比较(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同条件下秸秆腐解过程中 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的释放特征

不同条件下添加秸秆后土壤 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的释放特征见图 1。图 1 表明,添加秸秆处理土壤 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的累积释放量始终显著高于无秸秆处理。在不同温度条件下,尽管培养前 30 d 内 15 与 20 °C 处理土壤的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 累积释放量差异不明显,但 30 d 后 15 °C 处理土壤的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 累积释放量始终高于 20 °C 处理。

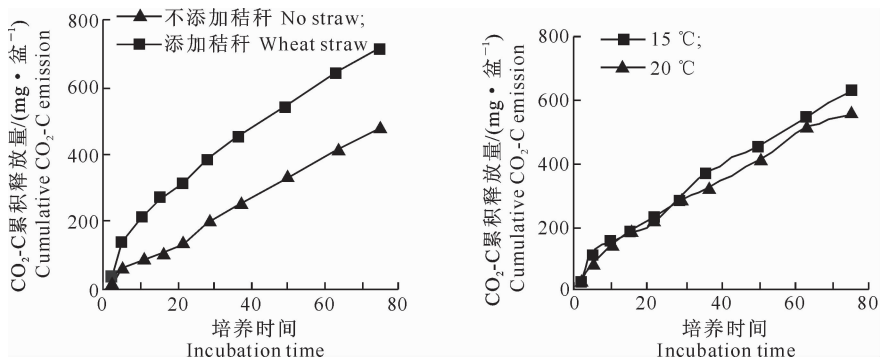


图 1 不同培养条件下秸秆腐解过程中土壤 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的释放特征

Fig. 1 Soil $\text{CO}_2\text{-C}$ emission pattern from straw decomposition under different conditions

表 1 表明,就 $\text{CO}_2\text{-C}$ 累积释放量而言,经 75 d 培养后,各处理间存在一定差异。就单个研究因子而言,首先,在不同微生物制剂量处理间,土壤 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的平均累积释放量无显著性差异;在相同温度下,添加秸秆处理土壤 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的平均累积释放量显著高于不添加秸秆处理;不论添加秸秆与否,15 °C 培养条件下土壤 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的平均累积释放量显著高于 20 °C,且未加秸秆时高出的 $\text{CO}_2\text{-C}$ 累积释放量(1.00 g/kg)是添加秸秆(0.12 g/kg)时的 8 倍

多。这可能是由于较低的温度使水分损失相对较少,更有利于保持土壤微生物活动所需的湿度条件,土壤水热协调,从而有利于秸秆的腐解。此外,较低温度下(15 °C)秸秆 $\text{CO}_2\text{-C}$ 的净累积释放量(1.49 g/kg,指单纯来自秸秆)远低于较高温度(20 °C)处理(2.37 g/kg)。这说明在未添加秸秆条件下,较低温度更有利于土壤原有有机质的矿化;而在添加秸秆条件下,温度对土壤中有机物质矿化的影响作用差异不大。

表 1 不同条件下秸秆腐解过程中 CO₂-C 的累积释放量

Table 1 Cumulative CO ₂ -C emission amounts from straw decomposition under different conditions					g/kg
微生物制剂量/ (mg·盆 ⁻¹) Microbial agent	不添加秸秆 No straw		添加秸秆 Wheat straw		平均值 Average
	15 ℃	20 ℃	15 ℃	20 ℃	
0.961	4.23 c	3.31 d	5.80 a	5.62 b	4.74 A
2.88	4.31 c	3.27 d	5.77 ab	5.71 ab	4.77 A
0	4.36 c	3.32 d	5.79 a	5.69 ab	4.79 A
平均值 Average	4.30 C	3.30 D	5.79 A	5.67 B	

注:多重比较分别在 12 个处理、3 个微生物制剂水平或 4 个温度与秸秆组合处理间进行,数据后标不同小(大)写字母者表示差异显著,标相同小(大)字母者表示差异不显著($P<0.05$)。下表同。

Note:The multiple comparisons were conducted among twelve treatments and different levels of microbial agent or four treatments (two temperature combined with straw levels), respectively. The different lowercase (capital) letters within each data indicate significant difference at 5% level. The same below.

2.2 不同条件下秸秆腐解对土壤有机碳和微生物量碳含量的影响

表 2 显示,经 75 d 培养后,各处理间土壤有机碳含量存在一定差异。在较低温度(15 ℃)下,添加秸秆对土壤有机碳的提高效果表现得更为明显,与

不添加秸秆相比,其中 15 ℃下添加秸秆处理的土壤有机碳平均含量最高,较 20 ℃不添加秸秆(对照)处理时高 1.07 g/kg,且 15 ℃下土壤有机碳的净增量较 20 ℃提高了 260%。

表 2 不同条件下秸秆腐解对土壤有机碳含量的影响

Table 2 Effect of straw decomposition on soil organic carbon under different conditions					g/kg
微生物制剂量/ (mg·盆 ⁻¹) Microbial agent	不添加秸秆 No straw		添加秸秆 Wheat straw		平均值 Average
	15 ℃	20 ℃	15 ℃	20 ℃	
0.961	13.71 ab	12.70 cde	13.76 ab	12.49 e	13.16 A
2.88	12.80 cde	12.92 cde	14.38 a	12.45 e	13.14 A
0	13.30 bc	12.61 de	13.27 bcd	13.74 ab	13.23 A
平均值 Average	13.27 AB	12.74 B	13.81 A	12.89 B	

由表 3 可以看出,不同处理间土壤中微生物量碳含量有明显差异。无论在何种条件下,微生物制剂均未表现出加快秸秆腐解的作用;与未添加秸秆相比,在同一温度条件下,添加秸秆后土壤的微生物量碳平均含量显著提高,表明添加秸秆对土壤微生物量碳的增加有明显促进作用;添加秸秆后,15 ℃

培养土壤的微生物量碳平均含量显著高于 20 ℃处理,且其土壤微生物量碳的净增量为 160.5 mg/kg,显著高于 20 ℃下的 15.3 mg/kg,增幅高出 10 倍有余。可见,秸秆腐解能显著增加土壤的微生物量碳含量,对土壤碳库的活化和补充有重大意义。

表 3 不同条件下秸秆腐解对土壤微生物量碳含量的影响

Table 3 Effect of straw decomposition on soil microbial biomass carbon under different conditions					mg/kg
微生物制剂量/ (mg·盆 ⁻¹) Microbial agent	不添加秸秆 No straw		添加秸秆 Wheat straw		平均值 Average
	15 ℃	20 ℃	15 ℃	20 ℃	
0.961	108.8 e	133.0 de	307.5 a	165.0 cde	178.6 A
2.88	118.7 e	136.2 de	234.6 abc	184.4 cde	168.4 A
0	109.2 e	217.6 bcd	276.2 ab	183.6 cde	196.6 A
平均值 Average	112.2 C	162.3 B	272.7 A	177.6 B	

2.3 不同条件下秸秆腐解对土壤氮含量的影响

从表 4 可以看出,在不同处理组合下,土壤全氮含量之间有一定差异,其中微生物制剂添加水平对土壤全氮含量无显著影响;添加秸秆后土壤的全氮含量多高于未添加秸秆处理,且在 20 ℃下达到最高,添加秸秆后土壤全氮的平均含量增加 0.07 g/kg。同时,20 ℃条件下土壤全氮净增量较 15 ℃时高 0.07 g/kg。由此可以看出,温度对土壤全氮与

有机碳的影响趋势并不一致。

表 5 表明,在不同的秸秆、温度、微生物制剂添加水平条件下,不同处理土壤硝态氮含量之间有明显差异。添加微生物制剂与否,对土壤硝态氮含量影响不大;在同一温度下,添加秸秆处理土壤的硝态氮平均含量均显著低于未添加秸秆处理,这说明添加秸秆后,土壤硝态氮含量下降显著;添加秸秆与否,20 ℃条件下培养的土壤平均硝态氮含量均显著

高于 15 ℃条件下培养的土壤。添加秸秆后,土壤硝态氮含量在较低温度(15 ℃)下降低了 60. 3 mg/kg,而在较高温度(20 ℃)下降低了 41. 1 mg/kg。总体来看,与不添加秸秆相比,添加秸秆处理显著降低了土壤的硝态氮含量。此外,低温条件下土壤硝态氮含量的下降趋势较高温时更为显著。

表 4 不同条件下秸秆腐解对土壤全氮含量的影响

Table 4 Effect of straw decomposition on soil total nitrogen under different conditions					g/kg
微生物制剂量/ (mg·盆 ⁻¹) Microbial agent	不添加秸秆 No straw		添加秸秆 Wheat straw		平均值 Average
	15 ℃	20 ℃	15 ℃	20 ℃	
0. 961	0. 77 cd	0. 77 cd	0. 75 d	0. 84 a	0. 78 A
2. 88	0. 73 d	0. 76 cd	0. 74 d	0. 83 ab	0. 77 A
0	0. 77 cd	0. 74 d	0. 80 bc	0. 81 ab	0. 78 A
平均值 Average	0. 76 B	0. 76 B	0. 76 B	0. 83 A	

表 5 不同条件下秸秆腐解对土壤硝态氮含量的影响

Table 5 Effect of straw decomposition on soil nitrate nitrogen under different conditions					mg/kg
微生物制剂量/ (mg·盆 ⁻¹) Microbial agent	不添加秸秆 No straw		添加秸秆 Wheat straw		平均值 Average
	15 ℃	20 ℃	15 ℃	20 ℃	
0. 961	146. 3 cd	185. 8 a	84. 4 f	145. 2 cde	140. 4 A
2. 88	145. 1 cde	185. 5 a	90. 5 f	138. 9 e	140. 0 A
0	149. 5 c	177. 1 b	85. 2 f	141. 1 de	138. 2 A
平均值 Average	147. 0 B	182. 8 A	86. 7 D	141. 7 C	

从表 6 可以看出,在不考虑微生物制剂影响的前提下,秸秆和温度对土壤铵态氮的影响均较为明显,在同一温度下,添加秸秆处理土壤的铵态氮平均含量均显著高于无秸秆处理;不管添加秸秆与否,15 ℃处理土壤的铵态氮平均含量整体均高于 20 ℃时的对应处理,但二者之间差异并不显著,且土壤铵态氮的净增量在 15 ℃时为 1. 02 mg/kg,低于 20 ℃时的 1. 25 mg/kg,这表明添加秸秆能显著提高土壤的铵态氮含量,而温度对其影响并不显著。

表 7 表明,不同腐解条件对土壤微生物量氮含量的影响与其对微生物量碳含量的影响规律相似,其对微生物量氮含量的影响也非常显著。不论添加秸秆与否,15 ℃时土壤微生物量氮的平均含量均显著高于 20 ℃,且 15 ℃条件下土壤微生物量氮的净增量较 20 ℃时高出 28. 3 mg/kg;在同一温度下,添加秸秆处理的土壤微生物量氮含量显著高于不添加秸秆处理,表明秸秆还田对土壤微生物量氮含量的增加有非常明显的促进作用。

表 6 不同条件下秸秆腐解对土壤铵态氮含量的影响

Table 6 Effect of straw decomposition on soil ammonium nitrogen under different conditions					mg/kg
微生物制剂量/ (mg·盆 ⁻¹) Microbial agent	不添加秸秆 No straw		添加秸秆 Wheat straw		平均值 Average
	15 ℃	20 ℃	15 ℃	20 ℃	
0. 961	1. 43 de	1. 14 de	1. 70 cd	2. 40 b	1. 67 A
2. 88	1. 46 de	1. 17 de	2. 33 bc	2. 23 bc	1. 80 A
0	1. 32 de	1. 00 e	3. 22 a	2. 43 b	2. 00 A
平均值 Average	1. 40 B	1. 11 B	2. 42 A	2. 36 A	

表 7 不同条件下秸秆腐解对土壤微生物量氮含量的影响

Table 7 Effect of straw decomposition on soil microbial biomass N under different conditions					mg/kg
微生物制剂量/ (mg·盆 ⁻¹) Microbial agent	不添加秸秆 No straw		添加秸秆 Wheat straw		平均值 Average
	15 ℃	20 ℃	15 ℃	20 ℃	
0. 961	15. 10 cd	8. 32 d	56. 26 ab	24. 35 c	26. 01 A
2. 88	22. 11 cd	14. 99 cd	47. 27 b	24. 44 c	27. 20 A
0	18. 73 cd	11. 90 cd	69. 85 a	18. 95 cd	29. 86 A
平均值 Average	18. 64 BC	11. 73 C	57. 79 A	22. 58 B	

3 讨 论

3. 1 温度和微生物制剂与秸秆腐解的关系

作物秸秆的腐解过程是一个复杂的物质和能量

转化的生物化学过程,而外界环境条件对其有很大影响^[10],其中温度是重要影响因素之一,它介入土壤特性,通过促进微生物的产生而加速秸秆的分解^[11-13]。土壤微生物是土壤中物质分解、转化和养

分循环的主动力,其一方面是有有机残体降解和腐殖化过程的直接参与者,另一方面其本身及其分泌物中的 N、P、S 及其他营养元素又是植物可直接利用的速效养分^[14-15]。秸秆作为一种有机肥料,肥效发挥缓慢而持久,除能供给农作物所需的养分外,还能作为土壤微生物生命活动提供必要的能源和营养物质^[16]。本研究结果表明,在温度相对较低(15℃)的条件下,CO₂-C 的累积释放在培养前期(0~30 d)与 20℃处理差异不大,但在培养 30 d 以后,15℃处理土壤的 CO₂-C 累积释放量显著高于 20℃处理,至培养结束时,15℃培养条件下的 CO₂-C 累积释放量较高,CO₂-C 净累积释放量较低,而有机碳的净增量却与之相反。总体而言,秸秆经过腐解后,除土壤全氮和硝态氮以外,15℃培养土壤的有机碳、微生物量碳、铵态氮、微生物量氮含量均高于 20℃处理,究其原因,可能是因为在在本试验条件下,较低的温度更有利于微生物进行腐殖质化活动,从而可累积更多的土壤有机碳和微生物量碳氮。

本研究表明,微生物制剂未对秸秆腐解产生明显的影响。这可能是因为秸秆是在优越的水热条件下进行腐解的,本研究的环境条件已充分满足了其腐解需要,因此微生物制剂难以发挥作用;另一方面,可能是在氧气不足条件下不利于腐熟功能菌的生长与繁殖,或者是由于其用量偏低而未显示出效果。由于微生物参与土壤中的物质循环是一个复杂易变的过程,导致这一结果的原因还有待进一步研究。

3.2 秸秆腐解对土壤碳氮含量的影响

土壤有机质不但能改善土壤肥力,而且能固定大气中的 CO₂,故土壤已被看成是一个能大范围缓解大气 CO₂ 浓度上升的碳库。有机碳作为有机质的主要组成部分,其在土壤和植物体系物质循环与利用方面也有无可替代作用^[17-18]。在全球气温明显升高的环境压力下,其数量与生物活性的变化,不仅影响到土壤肥力,而且还可以通过多种途径影响土壤向大气释放 CO₂ 或固持大气中的 CO₂,从而影响到土壤与大气之间的碳素平衡^[19],更与环境、大气圈、生物圈的可持续发展紧密相关。CO₂ 作为数量最多的温室气体,约占大气总容量的 0.03%,目前全球气候变暖已成为威胁人类生存的致命危机,同时降低 CO₂ 排放也成为各国面临的首要问题,而增加陆地生态系统中的碳库储量被认为是一种非常有效的 CO₂ 减排措施。尽管哥本哈根大会的成果并不能让各方满意,但中国作为全球 CO₂ 排放量较大的国家

之一,已承诺到 2020 年中国单位国内生产总值(GDP)CO₂ 排放量较 2005 年下降 40%~45%^[20]。因此,可增加土壤有机碳库储量的一些农业措施,如秸秆还田就得到了广泛的重视与关注,而在当前一些农业生产模式下,由于分布区域和利用方式不均衡,造成农田生态系统中土壤有机碳含量在长时间尺度上持续下降^[21]。本研究结果发现,添加作物秸秆,虽然能提高土壤有机碳含量,但作用并不显著,这可能是由于单纯室内模拟秸秆腐解与实际秸秆还田条件上的差异以及动态影响因素的不同,导致其对土壤养分的影响不如长期覆盖明显^[22]。但是添加秸秆能显著增加 CO₂-C 的累积释放量,这使得秸秆腐解过程中的碳源大部分以 CO₂ 形式释放到外界环境当中,因此如何提高土壤截留碳还有待更深入的研究。

本研究表明,秸秆腐解过程中除了对土壤有机碳有重要的补充作用外,其对土壤氮也有一定的影响。培养结束后,土壤全氮含量虽然有增加的趋势,但增幅并不明显;而对于硝态氮和铵态氮而言,添加秸秆后土壤硝态氮含量显著下降,而铵态氮含量变化与之相反。在温度相对较低(15℃)的条件下,腐解后土壤中的硝态氮含量较 20℃时明显下降;与此同时,土壤铵态氮含量却呈一定的升高趋势。这可能是由于在腐解过程中,秸秆为微生物活动提供了充分的碳源,微生物通过消耗较多的有效氮来完成自身的生长繁殖和秸秆腐解,其中硝态氮更容易被利用。此外,由于本试验中的氮肥是以尿素形式施入土壤的,尿素进入土壤后大部分是经脲酶分解以铵态氮的形式被吸收,这可能补充了微生物消耗的一部分铵态氮,同时由于培养过程中的缺氧条件使得铵态氮不容易转化为硝态氮,故至培养结束时,土壤中的铵态氮含量有所上升,硝态氮含量显著下降。

3.3 秸秆腐解对土壤微生物量的影响

微生物生物量作为土壤有效养分的源和库,虽然其所占比例较低,但其对外界环境条件变化敏感,一旦有适宜的土壤条件,微生物便可利用现有的能源和养分大量繁殖,使微生物量很快达到最大值;此外,由于可利用能源和养分的减少,土壤微生物量也会逐渐减少,但最终会趋于稳定,并能够及时地反映土壤管理状况的变化^[23],故微生物量可以综合反映土壤的肥力和环境质量状况^[24]。本试验发现,秸秆还田对土壤微生物量碳、氮的影响十分明显,在施入秸秆及温度相对较低(15℃)的条件下,土壤微生物量碳、氮含量明显高于未添加秸秆及 20℃的环境

温度处理,且 15 ℃ 时土壤微生物量碳、氮的净增量分别较 20 ℃ 时提高 949% 和 262%。原因可能是在本研究的培养过程中,相对低温型的微生物占主导地位,故两温度之间相比,低温更有利于秸秆对微生物量碳、氮的累积与储存。土壤微生物量碳、氮比值(BC/BN)为 3.95~18.29,较土壤 C/N 值(18.97~23.11)低^[25]。有研究表明,土壤 C/N 越大,有机物质越不易被矿化,矿化速率越低,供氮能力越弱,土壤微生物量 C、N 是土壤碳氮形态中最易受环境和农作措施影响而发生改变的组分^[26-27],这说明土壤中的微生物条件发生了改变。刘恩科等^[28]研究认为,土壤微生物的生物量可以作为评价长期土壤培肥过程中土壤质量变化的生物学指标。由此可见,对土壤微生物条件进行改善,是提高土壤肥力的一个重要途径,对增加土壤碳库具有重要的生态效应,故碳的增加将会对人类的生存和生活产生重大影响。

4 结 论

1) 相对较低的温度(15 ℃)有利于秸秆对土壤有机碳和微生物量碳、氮的固持与保蓄,而较高的温度(20 ℃)会加速秸秆有机碳向无机碳方向转化,同时微生物制剂在本研究的水热条件下未发挥作用。

2) 土壤全氮含量虽然在各处理间变化不明显,但其净增量却与有机碳不一致,高温(20 ℃)更有利于秸秆对全氮含量的保持;添加秸秆后,土壤硝态氮含量显著下降,且在较低温度(15 ℃)下的下降趋势更明显。

3) 在腐解期间,大部分秸秆碳进入土壤而补充到土壤碳库中,改善了土壤有效碳库的质量,而土壤微生物量的增加又进一步促进了有机质的循环与转化,使农田生态系统中的土壤有机碳氮保持平衡。因此,秸秆腐解作为补充土壤碳氮等养分元素的有效途径之一,对改善土壤肥力及粮食增产有重大意义。

[参考文献]

- [1] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, et al. Ecological linkages between aboveground and belowground biota [J]. *Science*, 2004, 304: 1629-1633.
- [2] 赵其国, 周炳中, 杨 浩, 等. 中国耕地资源安全问题及相关对策思考 [J]. *土壤*, 2002, 14(6): 293-302.
Zhao Q G, Zhou B Z, Yang H, et al. Security problems of arable soil resources of China and the strategy suggestions [J]. *Soils*, 2002, 14(6): 293-302. (in Chinese)
- [3] 柳 敏, 张 璐, 宇万太, 等. 有机物料中有机碳和有机氮的分解进程及分解残留率 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2503-2506.
Liu M, Zhang L, Yu W T, et al. Decomposition process and residual rate of organic materials C and N in soils [J]. *China Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2503-2506. (in Chinese)
- [4] 南雄雄, 田霄鸿, 张 琳, 等. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳氮含量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(3): 626-633.
Nan X X, Tian X H, Zhang L, et al. The law of maize straw and wheat straw decomposition and effects on soil carbon or nitrogen content [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 626-633. (in Chinese)
- [5] 杨文钰, 王兰英. 作物秸秆还田的现状与展望 [J]. *四川农业大学学报*, 1999, 17(2): 211-216.
Yang W Y, Wang L Y. Present situation and prospects of returning application of crop straw [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1999, 17(2): 211-216. (in Chinese)
- [6] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial C [J]. *Soil Biol Biochem*, 1987, 19: 703-707.
- [7] Jenkinson D S, Brookes P C, Powlson D S. Measuring soil microbial biomass [J]. *Soil Biol Biochem*, 2004, 36: 5-7.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002: 30-56.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. 3rd edition. Beijing: China Agricultural Press, 2002: 30-56. (in Chinese)
- [9] Zhang X H, Li L Q, Pan G X. Topsoil organic carbon mineralization and CO₂ evolution of three paddy soils from South China and the temperature dependence [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19: 319-326.
- [10] Jarvis S C, Stockdale E A, Shepherd M A. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurements [J]. *Advances in Agronomy*, 1996, 57: 187-235.
- [11] Bastian F, Bouziri L, Nicolardot B, et al. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure [J]. *Soil Biol Biochem*, 2009, 41: 262-275.
- [12] Baumann K, Marschner P, Smernik R J, et al. Residue chemistry and microbial community structure during decomposition of eucalypt, wheat and vetch residues [J]. *Soil Biol Biochem*, 2009, 41: 1966-1975.
- [13] Davidson E A, Verchot L V, Cattaneo J H, et al. Effect of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 53-69.
- [14] Gregorich E G, Carter M R, Angers D A, et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils [J]. *Can J Soil Sci*, 1994, 74: 367-385.
- [15] Gregorich E G, Carter M R. Soil quality for crop production and ecosystem health [M]. Amsterdam, The Netherlands;

Elsevier Science B V,1997;81-113.

[16] 张成娥,王栓全.作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究[J].水土保持学报,2000,14(3):96-99.
Zhang C E,Wang S Q. Study on soil microbial biomass during decomposition of crop straws [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2000,14(3):96-99. (in Chinese)

[17] 邱建军,王立刚,李 虎,等.农田土壤有机碳含量对作物产量影响的模拟研究[J].中国农业科学,2009,42(1):154-161.
Qiu J J,Wang L G,Li H,et al. Modeling the impacts of soil organic carbon content of croplands on crop yields in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42 (1): 154-161. (in Chinese)

[18] 潘根兴,赵其国.我国农田土壤碳库演变研究:全球变化和国家安全粮食[J].地球科学进展,2005,20(4):384-393.
Pan G X,Zhao Q G. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security [J]. Advance in Earth Sciences,2005,20(4):384-393. (in Chinese)

[19] 彭少麟,李越林,任 海,等.全球变化条件下的土壤呼吸效应[J].地球科学进展,2002,17(5):705-713.
Peng S L,Li Y L,Ren H,et al. Progress in research on soil respiration under global change [J]. Advances in Earth Science,2002,17(5):705-713. (in Chinese)

[20] 李 涛,傅 强.中国省际碳排放效率研究[J].统计研究,2011,28(7):62-70.
Li T,Fu Q. Study on China's carbon dioxide emissions efficiency [J]. Statistical Research,2011,28(7):62-70. (in Chinese)

[21] Matson P A,Parton W J,Power A G,et al. Agricultural intensification and ecosystem properties [J]. Science,1997,277:504-509.

[22] 沈裕琥,黄相国,王海庆.秸秆覆盖的农田效应[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):45-50.
Shen Y H, Huang X G, Wang H Q. Field effects of straw mulching [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,1998, 16(1):45-50. (in Chinese)

[23] Nsabimana D,Haynes R J,Wallis F M. Size,activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use [J]. Applied Soil Ecology,2004,26(2):81-92.

[24] Spedding T A,Hamel C,Mehuys G,et al. Soil microbial dynamics in maize growing soil under different tillage and residue management systems [J]. Soil Biol Biochem,2004,36(3):499-512.

[25] 李东坡,陈利军,武志杰,等.不同施肥黑土微生物量氮变化特征及相关因素[J].应用生态学报,2004,15(10):1891-1896.
Li D P,Chen L J,Wu Z J,et al. Dynamics of microbial biomass N in different fertilized black soil and its related factors [J]. Chin J Appl Ecol,2004,15(10):1891-1896. (in Chinese)

[26] Marumoto T,Anderson J P E,Domsch K H. Mineralization of nutrients from soil microbial biomass [J]. Soil Biology and Biochem,1982,14:469-475.

[27] Roberto Alvarez,Raúl A Diaz,Nidia Barbero,et al. Soil organic carbon,microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems [J]. Soil and Tillage Research,1995,33:17-28.

[28] 刘恩科,梅旭荣,赵秉强,等.长期不同施肥制度对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J].中国农业大学学报,2009,14(3):63-68.
Liu E K, Mei X R, Zhao B Q, et al. Long-term effects of different fertilizer management on microbial biomass C, N, P in a Fluvo-aquic soil [J]. Journal of China Agricultural University,2009,14(3):63-68. (in Chinese)