

控释氮肥对玉米秸秆腐解及潮土有机碳组分的影响

郑文魁, 卢永健, 邓晓阳, 齐范, 毕小媛, 刘艳丽

(土壤资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 施肥影响秸秆还田效果, 研究不同形态氮肥对秸秆腐解及土壤有机碳组分的影响可为秸秆还田下氮肥合理施用提供科学依据。以10年小麦—玉米轮作定位施肥试验为基础, 采用尼龙网袋田间埋法, 研究了控释掺混尿素和普通尿素不同用量(纯氮 120, 240, 360 kg/hm²)对潮土中玉米秸秆腐解及土壤有机碳组分的影响。结果表明: 与普通尿素相比, 控释掺混尿素具有促进秸秆腐解的趋势; 在秸秆腐解后期, 控释掺混尿素处理较普通尿素显著促进了秸秆氮、磷的释放, 而不同氮肥处理对秸秆中钾素的释放影响并不显著。在秸秆腐解后期, 相同施氮量条件下, 常规施氮量和增施氮量的控释掺混尿素处理较普通尿素显著增加土壤水溶性和热水溶性有机碳含量。在增加土壤微生物量碳、氮含量方面, 在秸秆腐解的某些阶段控释掺混尿素处理的促进作用显著高于普通尿素处理。综合来看, 与普通尿素相比, 控释掺混尿素在秸秆腐解和增加土壤有机碳组分方面具有较好的促进作用。

关键词: 控释掺混尿素; 秸秆腐解; 有机碳组分

中图分类号: S143.1; S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)05-0292-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.05.040

Effects of Controlled-release Nitrogen Fertilizer on Decomposition of Maize Straw and Organic Carbon Fractions in Fluvo-aquic Soil

ZHENG Wenkui, LU Yongjian, DENG Xiaoyang, QI Fan, BI Xiaoyuan, LIU Yanli

(National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018)

Abstract: Fertilization affects the effect of straw returning to the field. To study the effects of different forms of nitrogen fertilizer on the decomposition of straw and the soil organic carbon fractions can provide scientific basis for the rational application of nitrogen fertilizer under straw returning. Based on the 10-year experiment of wheat-maize rotation and location fertilization, the effects of different amounts of controlled-release urea mixed and common urea(CRF)and common urea (CF) (120, 240 and 360 kg N/hm²) on the decomposition of maize straw and soil organic carbon fractions in fluvo-aquic soil were studied. The results showed that compared with the CF treatment, the CRF treatment had a tendency of promoting the decomposition of straw. At the late stage of straw decomposition, CRF treatment significantly promoted the release of nitrogen and phosphorus from straw compared with CF treatment, while different nitrogen fertilizer treatments had no significant effect on the release of potassium from straw. At the later stage of straw decomposition, under the same nitrogen application rates, CRF treatment with conventional nitrogen application and increased nitrogen application significantly increased the content of water-soluble and heat-soluble organic carbon in soil. In terms of increasing soil microbial biomass carbon and nitrogen contents, the promotion of CRF treatment was significantly higher than that of CF treatment at some stages of straw decomposition. In general, compared with CF treatment, CRF treatment has a better effect on promoting straw decomposition and increasing soil organic carbon fractions.

Keywords: controlled-release nitrogen fertilizer; straw decomposition; organic carbon fractions

收稿日期: 2020-03-21

资助项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200604)

第一作者: 郑文魁(1989-), 男, 讲师, 博士, 主要从事土壤养分管理与高效利用研究。E-mail: wkzheng2013@163.com

通信作者: 刘艳丽(1976-), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事施肥效应与土壤环境质量演变研究。E-mail: yanliliu2013@163.com

碳循环是农田生态系统最基本的生态过程,强烈地受到人为作用的影响和调控,对农田生态系统的稳定性、生产力及其环境效应具有关键性的影响^[1-2]。土壤有机碳含量不仅是决定土壤肥力的关键因素,而且还与全球碳循环密切相关,增加土壤有机碳库储量是达到生产和环境双赢的为数不多的措施之一^[3]。秸秆还田作为农业可持续发展和土壤耕地质量提升的重要措施之一,在近些年的研究中越来越受到重视^[4]。已有研究^[5]表明,秸秆还田后在土壤微生物作用下逐渐腐烂分解,提高耕层土壤养分含量,并可藏碳于土,增加土壤碳库储量。我国是一个农业大国,每年农作物秸秆产量近7亿t,秸秆产量约占全世界秸秆总量的30%,是一种数量巨大的可再生资源,其肥量相当于350多万t氮肥、80多万t磷肥、800多万t钾肥,但我国秸秆还田率不足50%,与欧美国家高达90%多的秸秆还田率相比,还具有很大的发展潜力^[6]。因此加强我国秸秆还田率对于逐渐改变我国耕地土壤存在的有机质含量和品质下降、氮素损失严重等现象具有重要意义。

增施氮肥是粮食增产的重要措施,外源氮素的添加对农田生态系统的碳循环有着重要的影响^[7]。施用氮肥在改善土壤养分状况、增加碳投入量的同时,也能够影响土壤微生物的活性,进而影响秸秆腐解和土壤有机碳的降解^[8]。土壤微生物分解有机物较合适的碳氮比为25:1,而秸秆本身的碳氮比较高,因此在秸秆还田的同时,要配合施入氮肥,缓解争氮和加快秸秆腐解。秸秆矿化和腐殖化后在增加土壤有机碳含量的同时,也因秸秆碳的激发效应等作用引起土壤固有有机碳的消耗^[9]。目前相关研究^[10]主要集中在秸秆或者是肥料的施用量对秸秆腐解和土壤碳氮动态变化过程的影响,而对于施用缓/控释氮肥对秸秆腐解及土壤可溶性有机碳和微生物量碳、氮等土壤活性碳、氮的影响则鲜有报道。

控释肥的养分释放速率与作物的需肥规律基本吻合,可以满足作物整个期对养分的需求,简化操作,提高劳动效率和肥料利用率。它的研究和应用为化肥的“减量增效”提供了一条极具潜力的捷径,在农业可持续发展中占有重要地位。与普通尿素相比,控释尿素的氮素缓慢释放特征对秸秆腐解过程有何影响?以及控释尿素条件下秸秆的腐解过程对土壤活性土壤有机碳含量与普通尿素相比有何不同?相关研究目前鲜有报道。因此,研究控释尿素对还田秸秆腐解特征以及土壤碳动态变化过程的影响具有重要的研究价值,对于土壤培肥和肥料合理利用具有重要的参考价值。本文依托于山东省淄博市桓台县生态与可持续发展试验站的长期定位试验,采用尼龙网袋田间深埋法,研

究不同施氮量和不同氮肥处理(普通尿素与控释掺混尿素)对玉米秸秆腐解以及土壤有机碳变化的影响,以为秸秆还田下合理施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验地点在山东省淄博市的桓台县生态与可持续发展实验站(117°59'21"E,36°57'75"N)。该地区属暖温带大陆性季风气候,年平均气温13.0℃,年降水量586mm。本地区土壤为黄泛冲积与湖相静水沉积物发育的石灰性潮土。试验前0—20cm土层基本理化性质:pH为8.35(水土比2.5:1),CaCO₃含量为26.95g/kg,全氮0.81g/kg,有机质18.3g/kg,硝态氮5.0mg/kg,铵态氮4.1mg/kg,速效磷9.2mg/kg,速效钾112.5mg/kg。黏粒14.03%,砂粒12.49%,粉粒73.48%,土壤质地为粉壤土。

1.2 供试材料

本试验基于自2008年开始的小麦—玉米轮作长期定位试验。小麦品种为“济麦22”,生育期约240天,玉米品种为“郑单958”,生育期约103天。冬小麦于每年10月中旬播种,次年6月中旬收获;夏玉米于每年6月中旬播种,10月上旬收获。作物籽粒收获后,小麦、玉米秸秆均全部还田。

供试肥料包括硫加树脂包膜控释尿素(PSCU,含N35%),树脂包膜控释尿素(PCU,含N43%),养分释放期均为3个月,以上控释肥均由土肥资源高效利用国家工程实验室研制生产。其他肥料为大颗粒尿素(含N46%)、过磷酸钙(含P₂O₅16%)、硫酸钾(含K₂O50%)。

1.3 试验设计

本研究选取7个处理进行研究,每个处理重复3次,试验小区面积为26m²。各处理分别为:对照(CK,不施氮肥)、普通尿素+常规施氮量的50%(CF1)、普通尿素+常规施氮量(CF2)、普通尿素+常规施氮量的1.5倍(CF3)、控释掺混尿素+常规施氮量的50%(CRF1)、控释掺混尿素+常规施氮量(CRF2)、控释掺混尿素+常规施氮量的1.5倍(CRF3)。小麦和玉米季具体施肥方案见表1。其中CF1、CF2和CF3处理中的氮肥为普通尿素;CRF1、CRF2和CRF3处理中的氮肥为硫加树脂包膜尿素(PSCU,含N35%)、树脂包膜尿素(PCU,含N43%)和普通尿素(Urea含N46%)按纯氮(N)比5:2:3掺混而成。在种植小麦、玉米前,控释掺混尿素和磷钾肥一次性基施,普通尿素50%基施,肥料埋深5cm,剩余50%普通尿素分别在小麦拔节期和玉米大喇叭口期撒施于土壤表面,各处理磷肥和钾肥施用量均相同。

表 1 施肥处理和施肥量

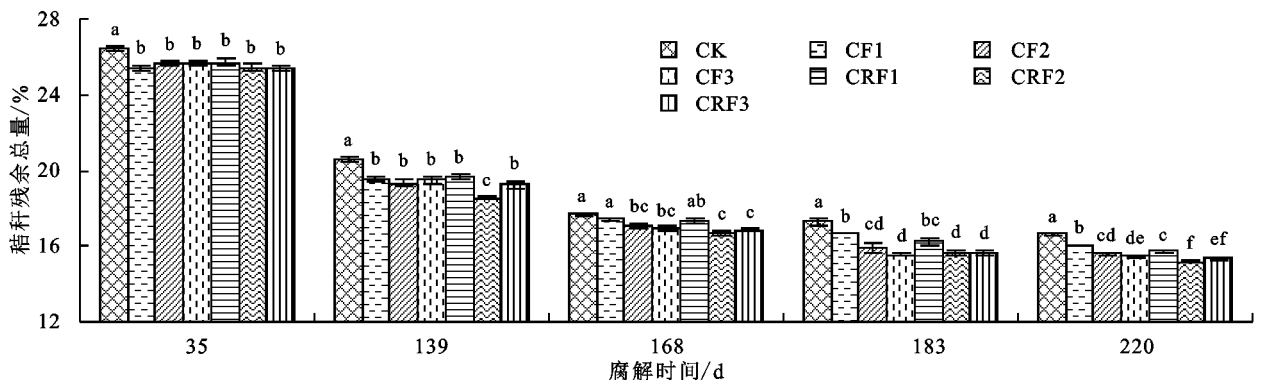
| 处理 | 单位: kg/hm ² | | | | | | 年施氮量 |
|------|------------------------|-------------------------------|------------------|----------|-------------------------------|------------------|------|
| | 冬小麦肥料施用量 | | | 夏玉米肥料施用量 | | | |
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| CK | 0 | 120 | 90 | 0 | 75 | 300 | 0 |
| CF1 | 120 | 120 | 90 | 150 | 75 | 300 | 270 |
| CF2 | 240 | 120 | 90 | 300 | 75 | 300 | 540 |
| CF3 | 360 | 120 | 90 | 450 | 75 | 300 | 810 |
| CRF1 | 120 | 120 | 90 | 150 | 75 | 300 | 270 |
| CRF2 | 240 | 120 | 90 | 300 | 75 | 300 | 540 |
| CRF3 | 360 | 120 | 90 | 450 | 75 | 300 | 810 |

秸秆腐解试验采用尼龙网袋法,于 2018 年 10 月小麦种植前将玉米秸秆还田,具体步骤:待玉米收获后在各试验小区采集新鲜的地上部秸秆(氮含量为 1.87%,磷含量为 0.84%,钾含量为 1.17%),将秸秆切为 1~2 cm 大小(包括茎和叶),充分混匀后于 65 °C 烘干至恒重,称取 30 g 置于 30 cm×30 cm 的 300 目尼龙网袋中,封口,埋入小麦行间,每个小区埋 6 袋,埋深 10 cm,位于肥料的正下方。

1.4 样品采集与测定

分别在玉米秸秆埋袋后 35(苗期),139(返青期),168(拔节期),183(抽穗期),220 天(收获期)破坏性采集土壤(位于尼龙网袋下方 0~3 cm 处)和玉米秸秆,对于鲜土样,尽量在最短时间内挑出可见的根与作物残茬,用于测定土壤溶解性有机碳、微生物量碳、氮;对于玉米秸秆样品,烘干至恒重后磨细,用于测定还田秸秆残余氮、磷、钾含量,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,全氮采用凯氏定氮法测定,全磷采用钒钼黄比色法,全钾采用火焰光度法^[11]测定。

土壤溶解性有机碳:称取 10 g 过 2 mm 筛的鲜土和 50 mL 蒸馏水一起加入离心管中,水平振荡 30 min,经 4 500 r/min 离心 20 min 后将上清液过 0.45 μm 滤膜,



注:同一时期中的平均数值用邓肯多重比较,不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

图 1 不同施氮处理下还田秸秆残余重量

2.2 不同氮肥处理对秸秆氮、磷、钾含量的影响

2.2.1 不同施肥处理对秸秆全氮含量的影响 玉米秸秆还田后,秸秆中的氮素逐渐释放到土壤中(图 2)。还田 35 天时,常规施氮与增氮处理的普通尿素

采用岛津 TOC-VCPH 仪测定^[12]。土壤热水溶性有机碳测定:称取 10 g 过 2 mm 筛的鲜土和 50 mL 蒸馏水一起加入离心管中,水平振荡 30 min,再放入 80 °C 的水浴锅,恒温加热 18 h。随后水平振荡 10 min,经 4 500 r/min 离心 20 min 后将上清液过 0.45 μm 滤膜,采用岛津 TOC-VCPH 仪测定^[12]。土壤微生物量碳、氮采用氯仿熏蒸,0.5 mol/L 的 K₂SO₄ 浸提(水土比为 4:1),采用岛津 TOC-VCPH 仪测定^[11]。

1.5 数据处理

试验结果通过 Microsoft Excel 2010 和 SAS (8.2) 统计分析软件完成分析,ANOVA 方差分析及 Duncan 差异显著性检验,比较不同处理间在 $p < 0.05$ 的显著性水平。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥处理对还田秸秆残余重量的影响

玉米秸秆在埋入土壤中后逐渐腐解,呈由快变慢的趋势(图 1)。与不施氮处理相比,施氮处理能显著促进还田秸秆的腐解。在秸秆腐解 35 天时,除 CK 处理外,其他施氮处理对玉米秸秆残余总量的影响差异不显著,各处理秸秆腐解率在 11.88%~15.31%。在秸秆腐解 139 天时,CRF2 处理秸秆残余总量最小,其他各施氮处理间秸秆残余总量差异不显著。在秸秆腐解 168 天时,与减氮 50% 相比,常规施氮量和增氮 50% 处理的还田秸秆残余量显著降低,常规施氮量和增氮 50% 处理之间差异不显著。在秸秆还田后的 168,183 天时,相同施肥量下,控释掺混尿素处理与普通尿素处理对秸秆残余总量作用差异性不显著。在秸秆还田 220 天时,各处理玉米秸秆累积腐解率为 44.52%~49.46%;相同施肥量下,控释掺混尿素处理较普通尿素处理显著降低了秸秆残余总量。

和控释掺混尿素处理的秸秆氮素释放量显著高于减量施氮和 CK 处理,相同施氮量条件下,控释掺混尿素与普通尿素之间差异不显著。还田 168 天时,CF1 和 CRF1 处理与 CK 处理差异不显著,CF2 与 CRF2

处理间差异不明显。还田 183 天时,各处理都与对照处理有显著差异,CRF3 处理的玉米秸秆氮素释放量显著高于其他处理。还田 220 天时,CRF2 处理的玉

米秸秆氮素释放量显著高于其他处理,CF2、CF3 和 CRF3 处理间差异不显著,各处理玉米秸秆累积氮素累积释放率为 75.57%~89.53%。

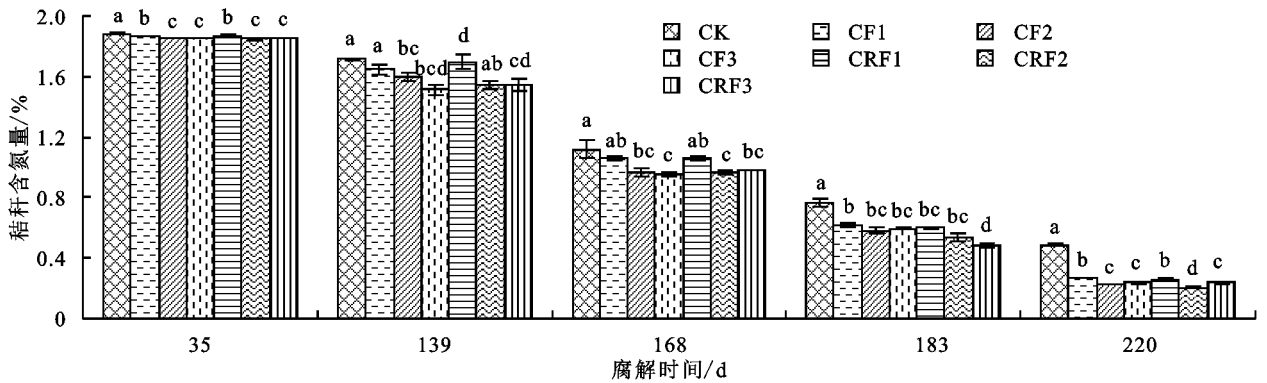


图 2 不同施氮处理下秸秆含氮量

2.2.2 不同施肥处理对秸秆全磷含量的影响 随着腐解时间的延长,玉米秸秆当中的磷元素不断释放(图 3)。在还田 35 天时,施氮处理的秸秆磷素释放量显著高于 CK 处理。

下,普通尿素处理与控释掺混尿素处理之间秸秆磷素残余量差异不显著。而在 183 天时,相同施氮量条件下控释肥处理较普通尿素处理显著促进了秸秆中磷素的释放。在 220 天时,CRF2 处理的玉米秸秆磷素残余量显著低于其他处理,CF2、CF3 和 CRF3 处理间差异不显著,各处理玉米秸秆磷素累积释放率为 77.13%~85.74%。

在 139 天时,与减量施肥相比,常量施氮与增量施氮显著促进秸秆中磷素释放,但常量施氮与增量施氮之间差异不显著。在 168 天前,在相同施氮量

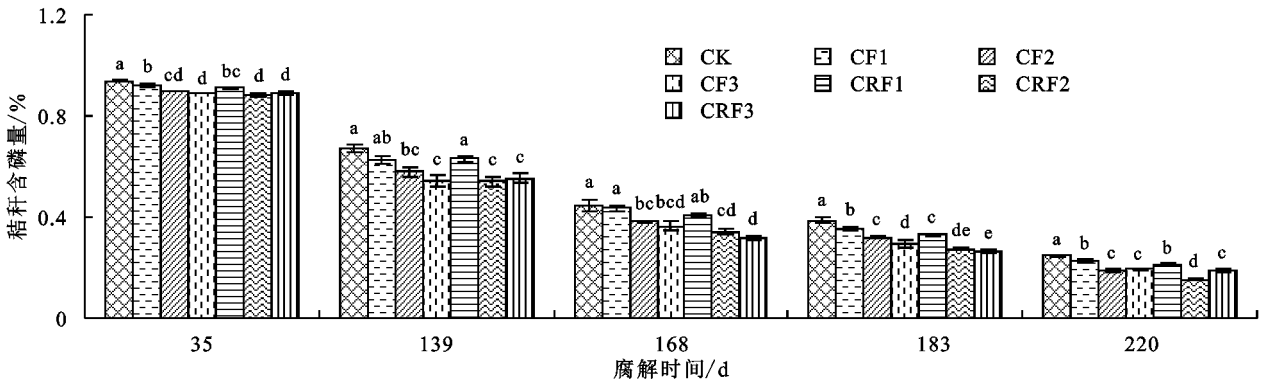


图 3 不同施氮处理下秸秆含磷量

2.2.3 不同施肥处理对秸秆全钾含量的影响 与不施氮肥相比,施氮显著促进了还田秸秆中钾素的释放(图 4)。在还田 35 天时,相同施氮条件下,普通尿素与控释肥尿素处理对秸秆钾素施肥的影响差异不显著。还田 139 天时,CF2 处理较 CRF2 处理显著促进了秸秆中钾素释放。各处理玉米秸秆钾素累积释放率为 75.13%~82.19%。在还田 168 天时,相同施氮量条件下,减量和常量控释掺混尿素处理与普通尿素相比显著促进了秸秆中钾素释放。在 183 天时,除 CF1 处理外,其他各施氮处理间秸秆钾残余量差异不显著。在 220 天时,各施肥处理间秸秆钾残余量差异不显著,但显著低于 CK 处理,各处理玉米秸秆钾素累积释放率为 89.15%~91.62%。

其中施氮处理比 CK 处理能够显著增加土壤中水溶性有机碳含量。还田 35 天时,相同施氮条件下,普通尿素与控释肥尿素处理对土壤水溶性有机碳含量的影响差异不显著,常规施氮量和增氮处理的水溶性有机碳含量显著高于减量处理,常规施氮量处理和增氮处理间差异不显著。秸秆埋入土壤 139 天后,普通尿素处理随着施氮水平的提高,土壤水溶性有机碳含量差异越来越显著,而控释掺混尿素常规氮量与增氮处理之间土壤水溶性有机碳含量差异不显著。CRF1 处理的水溶性有机碳含量显著高于 CF1 处理。埋袋后 168 天以后,常规施氮量与增氮处理相比土壤水溶性有机碳含量有显著增加的趋势。还田 220 天时,常规施氮量处理的土壤水溶性有机碳含量显著高于其他处理。相同施氮条件下,常规施氮量和增氮的控释肥尿素处理较普通尿素处理显著增加土壤水溶性有机碳含量,但减量条件下控释掺混尿素与普通尿素之间差异不显著。

2.3 不同氮肥处理对土壤有机碳氮含量的影响

2.3.1 土壤水溶性有机碳 随着玉米秸秆还田时间的延长,土壤水溶性有机碳含量呈逐渐增加的趋势(表 2),

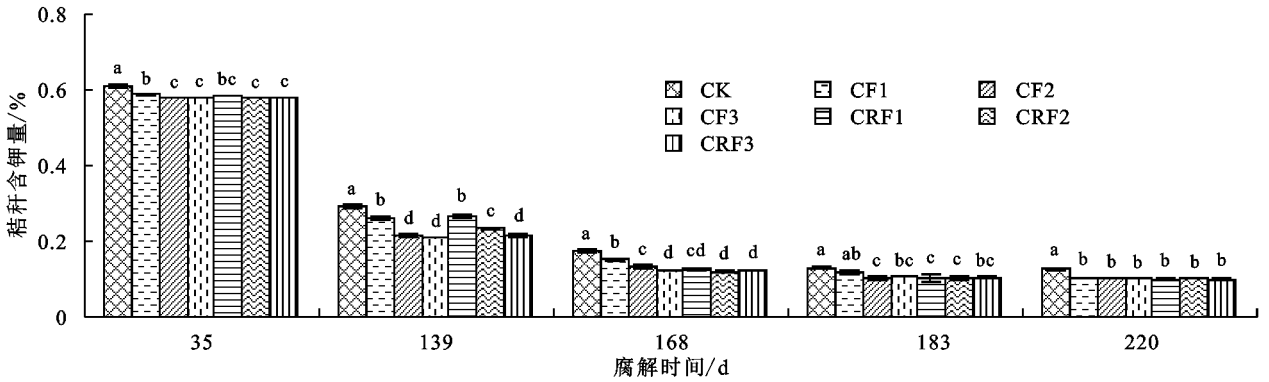


图 4 不同施氮处理下秸秆含钾量

表 2 不同施氮处理下土壤水溶性有机碳含量

单位:mg/kg

| 处理 | 35 天 | 139 天 | 168 天 | 183 天 | 220 天 |
|------|---------|---------|---------|--------|--------|
| CK | 173.1d | 177.4e | 203.6d | 332.7d | 423.0e |
| CF1 | 211.4c | 212.8d | 265.4c | 375.8c | 451.6d |
| CF2 | 237.6b | 239.0b | 332.3ab | 455.5b | 566.6b |
| CF3 | 248.2ab | 252.2a | 296.5bc | 490.0a | 532.3c |
| CRF1 | 219.2c | 225.2c | 274.8c | 445.8b | 460.7d |
| CRF2 | 239.6ab | 246.9ab | 360.9a | 508.6a | 631.2a |
| CRF3 | 249.9a | 256.6a | 350.8a | 493.2a | 581.3b |

注:同列中的平均数值用邓肯多重比较,不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

2.3.2 土壤热水溶性有机碳 在 139 天之前,随着施氮量的增加土壤热水溶性有机碳显著增加,相同施氮条件下,控释肥尿素处理较普通尿素处理显著增加了土壤热水溶性有机碳含量(表 3)。还田 168 天时,CF1、CRF1 与 CK 处理的热水溶性有机碳含量差异不显著,CRF2 处理较 CF2 和 CRF3 处理显著增加了热水溶性有机碳含量。还田 183 天后,CF1 与 CK 处理的热水溶性有机碳含量差异不显著。还田 220 天时,常规施氮量处理的土壤热水溶性有机碳含量显著高于其他处理。相同施氮条件下,常规施氮和增氮的控释肥尿素处理较普通尿素处理显著增加土壤热水溶性有机碳含量,但减氮条件下控释掺混尿素与普通尿素之间差异不显著。

表 3 不同施氮处理下土壤热水溶性有机碳含量

单位:mg/kg

| 处理 | 35 天 | 139 天 | 168 天 | 183 天 | 220 天 |
|------|---------|---------|----------|----------|----------|
| CK | 1249.0e | 1329.0e | 944.9d | 1279.4d | 1096.5d |
| CF1 | 2114.2d | 2127.5d | 969.1d | 1373.3d | 1121.1cd |
| CF2 | 2362.7c | 2439.4c | 1067.1bc | 1536.7c | 1299.0b |
| CF3 | 2475.3b | 2585.3b | 1074.9bc | 1590.5bc | 1153.3cd |
| CRF1 | 2111.9d | 2185.3d | 1002.8cd | 1523.2c | 1164.2c |
| CRF2 | 2365.4c | 2432.1c | 1310.1a | 1670.4b | 1480.9a |
| CRF3 | 2600.6a | 2690.6a | 1141.7b | 1912.7a | 1260.3b |

2.3.3 土壤微生物量有机碳、氮 土壤微生物量碳含量分析数据表明,与不施氮肥相比施氮显著提高了土壤

中微生物碳含量(表 4)。在 183 天之前,CRF3 处理的土壤微生物量碳显著高于其他施氮处理。在减量施氮和常量施氮水平下,控释掺混尿素与普通尿素之间差异不显著。普通尿素中常量施氮和增氮处理之间的土壤微生物量碳差异不显著,而常量施氮量和增氮处理的控释掺混尿素处理中,除 168 天外不同施氮量之间土壤微生物量碳差异显著。在还田 220 天时,CRF2 处理的土壤微生物量碳含量显著高于其他处理。

表 4 不同施氮处理下土壤微生物量碳含量

单位:mg/kg

| 处理 | 35 天 | 139 天 | 168 天 | 183 天 | 220 天 |
|------|--------|---------|---------|--------|---------|
| CK | 256.4d | 264.4d | 328.1e | 258.2d | 179.7d |
| CF1 | 453.2c | 446.5c | 393.3d | 317.7c | 357.2c |
| CF2 | 527.3b | 507.3bc | 466.8bc | 441.0b | 410.3b |
| CF3 | 548.1b | 514.8b | 432.1cd | 423.2b | 375.5bc |
| CRF1 | 473.5c | 479.1bc | 417.3d | 328.1c | 361.5c |
| CRF2 | 529.8b | 536.4b | 491.8ab | 461.1b | 490.9a |
| CRF3 | 603.1a | 746.4a | 523.2a | 564.2a | 403.3b |

与不施氮肥相比,施氮处理显著提高了土壤中微生物氮含量(表 5)。在还田 25 天时,增氮处理的土壤微生物氮量显著高于其他处理,常量施氮和减量施氮处理之间差异不显著,控释掺混尿素和普通尿素之间差异不显著。在 139,183 天时,除 CF1 和 CF2 处理外,其他施氮处理之间的土壤微生物量氮差异不显著。在 220 天时,CRF2 处理的土壤微生物量氮含量显著高于其他处理。常规施氮量处理的土壤微生物氮含量显著高于其他处理。

3 讨论

3.1 不同氮肥对秸秆腐解及氮磷钾养分释放的影响

秸秆中含有大量有机质和植物生长所必需的氮、磷、钾及其他中微量元素,还田后具有改良土壤结构,提高土壤肥力及蓄水保墒能力,减少化肥使用等积极作用^[13]。同样秸秆还入土壤后也会引起碳氮比失调、有机酸累积、影响作物出苗和生长等问题^[14]。

秸秆在土壤中的腐解速率和养分释放特征是还田能否达到理想效果的关键,化肥施用等外界因素对秸秆腐解过程有着重要的影响^[15]。前人^[16]研究表明,秸秆在土壤中的腐解呈现前期较快、后期逐渐减慢的趋势,这与本研究结果相似。在腐解初始阶段,秸秆中的可溶性糖、有机碳等含量较高,能够为土壤微生物的生长繁殖提供充足的营养物质,随着腐解的不断进行,秸秆中的碳含量逐渐降低,微生物可利用的碳源减少,活性降低,腐解速率减慢^[17]。本研究中,施氮显著促进了玉米秸秆腐解,与减氮 50% 相比,常规施氮量和增氮 50% 处理能够加速还田秸秆降解,与普通尿素相比,控释掺混尿素具有促进秸秆腐解的趋势,可能的原因是控释氮肥的缓慢释放能够持续为微生物提供充足的氮源,使其活性增加,从而促进了中后期秸秆的腐解。

表 5 不同施氮处理下土壤微生物量氮含量

| 处理 | 单位:mg/kg | | | | |
|------|----------|-------|-------|-------|-------|
| | 35 天 | 139 天 | 168 天 | 183 天 | 220 天 |
| CK | 21.0c | 30.2c | 45.2c | 28.9d | 43.7d |
| CF1 | 37.4b | 48.0b | 68.1b | 49.4c | 49.1c |
| CF2 | 41.5b | 61.2b | 85.0a | 68.9b | 56.3b |
| CF3 | 58.6a | 86.1a | 70.5b | 84.8a | 51.5c |
| CRF1 | 37.8b | 84.1a | 68.1b | 81.8a | 52.3c |
| CRF2 | 40.5b | 83.6a | 65.7b | 81.6a | 60.7a |
| CRF3 | 59.9a | 89.5a | 90.0a | 89.2a | 56.9b |

秸秆还田后在土壤微生物作用下腐解并释放出供作物吸收利用的氮、磷、钾养分及中、微量元素,研究不同氮素形态下秸秆腐解速度和养分素释放规律对秸秆还田与化肥的配合使用具有重要指导意义。李晓韦等^[18]采用尼龙网袋研究法,研究了尿素硝酸铵和石灰氮对油菜秸秆腐解及养分释放规律的影响,结果表明,尿素硝酸铵较其他施肥处理显著提高了碳、氮和磷累积释放率,而对秸秆钾的释放率影响不显著。本研究中,玉米秸秆碳氮磷钾的释放规律表现为钾显著大于氮、磷,这与已有的研究^[19]结果一致。这是因为玉米秸秆中钾素主要是以水溶态形式存在,容易释放;磷一部分以离子态存在,另一部分以难分解的有机态存在;而氮主要是以难腐解的有机态存在,因此释放速率慢^[20]。不同氮源处理对秸秆钾素释放影响差异不显著。在秸秆还田的前期,相同施氮量条件下控释掺混尿素处理较普通尿素处理对秸秆氮、磷释放差异不显著,在还田后期,控释掺混尿素处理较普通尿素处理显著促进了秸秆中氮、磷的释放,其中常规施肥量的控释掺混尿素促进作用最为显著,这与不同氮源对玉米秸秆腐解率影响的规律基本一致。

3.2 秸秆还田条件下不同氮肥处理对土壤有机碳组分的影响

秸秆腐解过程中,秸秆碳在土壤中的转化直接影响土壤各有机碳库的含量。水溶性有机碳是碳循环中重要组成成分,具有较高的周转速率,是土壤微生物的能源物质,调控养分的周转以及微生物的生长^[21]。本研究中,施氮显著增加了土壤水溶性有机碳含量,在秸秆还田后期,相同施氮条件下,常规施氮量和增氮的控释肥尿素处理较普通尿素处理显著增加土壤水溶性有机碳含量。此外热水溶性有机碳常被用作衡量潜在微生物有机碳的易溶性碳组分^[22],本研究中,随着施氮量的增加土壤热水溶性有机碳显著增加,相同施氮条件下,控释肥尿素处理较普通尿素处理显著增加了土壤热水溶性有机碳含量,这可能是秸秆还田条件下长期施用不同氮源肥料产生的效果。

秸秆腐解过程中土壤微生物担负着十分重要的作用,微生物量碳作为活体微生物中固存的有机碳被认为是活性有机质的主要成分,可调节土壤有机质的转化,其含量受多种因素的影响^[23]。施肥作为重要的农田管理措施,对土壤微生物提含量影响作用巨大。前人^[24]研究表明,缓控释尿素肥料有利于提高土壤酶活性及微生物量碳、氮含量。本研究中,施氮处理显著提高了土壤中微生物氮含量,在秸秆腐解的某些阶段控释掺混尿素处理的微生物量碳含量显著高于普通尿素处理,主要的原因可能是由于随着腐解的不断进行,秸秆中可以被微生物利用的有机物逐渐减少,微生物数量减少,活性降低,控释掺混尿素的氮素缓慢释放使土壤中可利用的氮稳定地保持一定量,能够暂时提高土壤微生物的活性。

4 结论

与不施氮处理相比,施氮处理能显著促进还田秸秆的腐解,在秸秆腐解 220 天时,相同施肥量下,控释掺混尿素处理较普通尿素处理显著降低了秸秆残余总量,其中常规施肥量的控释掺混尿素处理玉米秸秆累积腐解率最高为 49.46%。玉米秸秆中钾素释放显著快于氮、磷,不同氮肥处理对秸秆中钾素的释放影响并不显著,在秸秆腐解后期,控释掺混尿素处理较普通尿素显著促进了秸秆氮、磷的释放。在秸秆腐解后期,相同施氮量条件下,常规施氮量和增施氮量的控释掺混尿素处理较普通尿素显著增加土壤水溶性和热水溶性有机碳含量。在增加土壤微生物量碳、氮含量方面,在秸秆腐解的某些阶段控释掺混尿素处理的促进作用显著高于普通尿素处理。

参考文献:

- [1] Demessie A, Singh B R, Lal R. Soil carbon and nitrogen stocks under chronosequence of farm and traditional agroforestry land uses in Gambo District, Southern Ethiopia[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2013, 95(3): 365-375.
- [2] Yang P G, Byrne J M, Yang M. Spatial variability of soil magnetic susceptibility organic carbon and total nitrogen from farmland in northern China [J]. Catena, 2016, 145: 92-98.
- [3] 李海波, 韩晓增, 王风. 长期施肥条件下土壤碳氮循环过程研究进展[J]. 土壤通报, 2007, 38(2): 384-388.
- [4] Hu N J, Wang B J, Gu Z H, et al. Effects of different straw returning modes on greenhouse gas emissions and crop yields in a rice-wheat rotation system[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2016, 223: 115-122.
- [5] Memon M S, Tagar A A, Jiang C X, et al. Influence of straw incorporation and tillage practices on sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and soil organic carbon dynamics in rice-wheat rotation system[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2017, 26(4): 85-95.
- [6] 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.
- [7] Mazzoncini M, Sapkota T B, Bärberi P, et al. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content [J]. Soil & Tillage Research, 2011, 114(2): 165-174.
- [8] 钱海燕, 杨滨娟, 黄国勤, 等. 秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(3): 440-445.
- [9] David B. Straw management effects on organic matter mineralization and salinity in semiarid agricultural soils [J]. Arid Soil Research & Rehabilitation, 2000, 14(2): 193-203.
- [10] Halpern M T, Whalen J K, Madramootoo C A. Long-term tillage and residue management influences soil carbon and nitrogen dynamics[J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(4): 1211-1217.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 23-107.
- [12] Jones D L, Willett V B. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38(5): 991-999.
- [13] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
- [14] 靳海洋, 蒋向, 杨习文, 等. 作物秸秆直接还田思考与秸秆多途径利用商榷[J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 142-147.
- [15] 李昌明, 王晓玥, 孙波. 不同气候和土壤条件下秸秆腐解过程中养分的释放特征及其影响因素[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1206-1217.
- [16] 岳丹, 蔡立群, 齐鹏, 等. 小麦和玉米秸秆不同还田量下腐解特征及其养分释放规律[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(3): 80-85.
- [17] 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.
- [18] 李晓韦, 韩上, 雷之萌, 等. 氮素形态对油菜秸秆腐解及养分释放规律的影响[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(5): 717-725.
- [19] 徐健程, 王晓维, 朱晓芳, 等. 不同绿肥种植模式下玉米秸秆腐解特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 48-58.
- [20] 代文才, 高明, 兰木羚, 等. 不同作物秸秆在旱地和水田中的腐解特性及养分释放规律[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 188-199.
- [21] 李玲, 仇少君, 刘京涛, 等. 土壤溶解性有机碳在陆地生态系统碳循环中的作用[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1407-1414.
- [22] Ghani A, Dexter M, Perrott K W. Hot-water extractable carbon in soils: A sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(9): 1231-1243.
- [23] Jagadish C T, Subhash C, Meena S K, et al. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition[J]. European Journal of Soil Biology, 2001, 37(3): 157-160.
- [24] 丁济娜, 李东坡, 武志杰, 等. 土壤理化性质与生物活性对持续施用缓/控释尿素肥料的响应[J]. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1769-1778.