

东北北部不同埋深玉米秸秆腐解进程及效应的研究

葛选良^{1,2}, 钱春荣^{1*}, 官秀杰¹, 李 梁¹, 郝玉波¹, 姜宇博¹

(1. 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所/农业农村部东北地区作物栽培科学观测实验站, 哈尔滨 150086; 2. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028043)

摘 要: 东北北部年均气温低且低温天气持续时间较长, 致使还田玉米秸秆当季难以腐解。本研究通过探讨不同埋深玉米秸秆腐解规律与效应, 以为东北北部合理选择玉米秸秆还田方式提供理论基础和科学依据。试验基于玉米秸秆不同还田方式定位试验, 采用尼龙网袋法, 于常规垄作模式中设置 0、15、30 cm 3 个秸秆埋深处理, 研究不同埋深玉米秸秆腐解进程及腐解过程中不同埋深土壤碳、氮含量和相关酶活性的变化规律。结果表明: 10~20 cm、20~30 cm 和 0~10 cm 埋深玉米秸秆当季腐解率分别达 81.89%、75.64% 和 60.67%, 碎混还田>翻埋还田>地表覆盖还田模式玉米秸秆当季腐解率分别达 84.92%、77.54% 和 65.26%; 生育期内 10~20 cm 埋深土壤水热条件为最佳, 土壤碳、氮素含量均较高, 土壤酶活性亦较强, 益于加快还田秸秆的有效腐解。

关键字: 东北北部; 埋深; 秸秆; 腐解; 效应

中图分类号: S341; S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2022)05-0057-05

Research on Decomposition Process and Effect of Different Buried Depth of Maize Straw in North of Northeastern China

GE Xuanliang^{1,2}, QIAN Chunrong^{1*}, GONG Xiujie¹, LI Liang¹, HAO Yubo¹, JANG Yubo¹

(1. *Institute of Crop Cultivation and Farming, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in Northeastern China, Ministry of Agriculture, Harbin 150086; 2. College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028043, China*)

Abstract: The annual average temperature in north of northeastern China is lower and the low-temperature weather lasts for a long time, which makes it difficult for the returned maize straw to decompose in the season. Decomposition Process and effect of different buried depth of maize straw were explored to provide theoretical foundation and scientific basis for suitable way selection of maize straw returned in north of northeast China. The study based on location test of different maize straw returning approaches, maize straw buried in the 0, 15, 30 cm depth were set in traditional ridge pattern using the method of nylon mesh bags. The decomposing process of maize straw in different buried depth and changing rules of content of soil carbon, nitrogen and activities of related enzyme were studied during the maize straw decomposing. The results showed that the decomposition rate of maize straw of 10–20 cm, 20–30 cm and 0–10 cm buried depth were 81.89%, 75.64% and 60.67%, respectively in the current season, and the decomposition rate of maize straw of different straw returned pattern were 84.92%, 77.54% and 65.26%, respectively in the current season; conditions of soil water and heat of 10–20 cm buried depth was the best in the growth period, and content of soil carbon and nitrogen content were both higher, activities of soil enzyme was also stronger, which was benefit for accelerating the effective decomposition of returning straw.

Key words: North of Northeastern China; Buried depth; Straw; Decomposing; Effect

收稿日期: 2019-10-12

基金项目: 黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2019C060); 国家重点研发计划(2017YFD0300505-1); 国家玉米产业技术体系专项资金(CARS-02-34)

作者简介: 葛选良(1984-), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事玉米保护性耕作技术研究。

通讯作者: 钱春荣, 女, 博士, 副研究员, E-mail: qcr3906@163.com

黑龙江省位于我国东北北部,是东北地区最大的商品粮生产基地^[1-2]。按秸秆和籽粒比1.25:1和可收集率90%计算,2012~2016年黑龙江省每年玉米秸秆量均在3 300万吨以上^[3-4]。作为提升土壤肥力重要有机肥源,玉米秸秆直接还田可有效解决因长期重用轻养导致耕层土壤有机质衰减,结构变差,肥力退化等问题。黑龙江省玉米种植区域广,气候条件复杂,年均气温低且低温天气持续时间较长,致使还田玉米秸秆当季难以腐解,进而对玉米出苗质量造成一定的不利影响^[5]。如何有效地提高还田玉米秸秆的腐解效率已成为当前黑龙江省农业科研和生产亟待解决的问题之一。目前关于还田方式和施氮量对作物秸秆腐解进程影响的报道颇多,但东北北部不同还田方式玉米秸秆腐解进程及效应尚不清楚。本研究基于东北北部不同玉米秸秆还田方式定位试验,通过研究不同埋深玉米秸秆腐解进程及土壤碳、氮养分含量和关键酶活性的变化特征,探讨东北北部不同还田方式玉米秸秆腐解规律与效应,进而为东北北部合理选择玉米秸秆全量还田方式提供一定的理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于黑龙江省哈尔滨市道外区民主乡(45°26'N, 126°23'E),年均有效积温2 700 °C·d,年均降水量480 mm,无霜期140 d。试验地土壤类型为黑钙土,试验开始前耕层土壤主要养分分为有机质1.866 g/kg、全氮0.471 g/kg、全磷0.232 g/kg、全钾2.712 g/kg、速效氮216.55 mg/kg、速效磷57.22 mg/kg、速效钾125.17 mg/kg, pH 6.50。

1.2 供试材料

供试材料为京农科728玉米秸秆。

1.3 试验方案

1.3.1 试验设计

试验基于东北北部地区常规垄作模式(不还田)、覆盖还田免耕平作模式、碎混还田平作模式和翻埋还田垄作模式定位试验,采用尼龙网袋法,按照2016年试验地块京农科728的大田实际产量(620 kg/667 m²),计算试验地块秸秆产量(650 kg/667 m²),按秸秆全量还田折算尼龙网袋(30 cm×45 cm)的秸秆量为132 g(秸秆117~122 g/袋,叶片10~15 g/袋),秸秆粉碎程度为长×宽=10 cm×2 cm,采用烘干法计算其平均含水量(13.63%)。2017年秋季在常规垄作模式(不还田)中设置0、

15、30 cm共3个秸秆埋深处理,3次重复;其中0 cm埋深处理将尼龙网袋平铺于地表,不叠加,用8号铁丝交叉固定;15、30 cm埋深处理在试验实施地块进行田间原位取土(与挖埋袋沟同时进行)作为介质,分别将其15、30 cm耕层土壤(500 g)充分混入15 cm埋深处理和30 cm埋深处理尼龙网袋,之后再将其埋入埋袋沟,3次重复。试验于2017年11月5日实施,2018年5月至11月,每月取样1次,共7次。

1.3.2 测定项目

1.3.2.1 秸秆腐解率

玉米秸秆腐解率指玉米秸秆腐解的相对百分含量。2018年5~10月间,逐月挖取不同埋深处理尼龙网袋,将秸秆取出;同时按“S”形在不同秸秆还田模式处理中选取100 cm×100 cm正方形取样点,筛取0~50 cm耕层土壤中的秸秆,去除附秸秆上的土壤,浸泡1 h,人工清除秸秆表面泥土,再将秸秆放入网袋,清水洗净60 °C烘干后称重,计算秸秆腐解速率。

1.3.2.2 不同埋深土壤水热条件

利用ZDR-21温度记录仪全生育期监测常规垄作模式(不还田)0~10 cm、10~20 cm和20~30 cm埋深处土壤温度和含水量。

1.3.2.3 不同埋深土壤碳、氮含量

苗期、灌浆期和成熟期将每个处理尼龙网袋中的秸秆拣出后,留存土壤样品,混匀后液氮速冻处理,并于-80 °C低温冰柜中保存。参照《土壤农化分析》的方法^[6],土壤有机碳用重铬酸钾容量法测定;土壤速效氮用碱解扩散法测定;土壤铵态氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N):0.1 mol/L CaCl₂溶液浸提,浸提液过滤后用SEALAA3流动注射分析仪测定;土壤微生物量氮、微生物量碳:氯仿熏蒸,0.5 mol/L K₂SO₄浸提,浸提液过滤后用ANALYTIKJENA multi N/C3100仪测定有机氮、碳,其中土壤微生物量氮含量以熏蒸和未熏蒸土壤有机氮之差除以K_n(0.45)得到,土壤微生物量碳含量以熏蒸和未熏蒸土壤的有机碳之差除以K_c(0.38)得到^[7]。

1.3.2.4 不同埋深土壤酶活性

苗期、灌浆期和成熟期将每个处理尼龙网袋中的秸秆拣出后,留存土壤样品,混匀后液氮速冻处理,于-80 °C低温冰柜中保存。称取3份0.15 g土壤,加入1.35 mL pH 7.4的PBS缓冲液;充分混匀;4 °C,3 000 r/min,离心20 min,收集上清液,采用相应酶联免疫吸附测定(ELISA)试剂盒测定土壤脲酶、纤维素酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、磷酸酶

和蛋白酶活性。

1.3.2.5 产量与穗部性状

收获期不同秸秆还田模式处理中分别选取6个10行×10 m小区,实收测产,并折算成标准含水量(14%)的产量;随机取30个果穗,测定穗长、果穗中部的直径、行数、中等行的行粒数;脱粒后测定含水量,并随机取100粒籽粒,测定百粒重,3次重复,重复间差异小于0.5 g。

1.3.3 数据分析

试验数据利用SPSS 22.0和Graph Pad Prism 6处理。

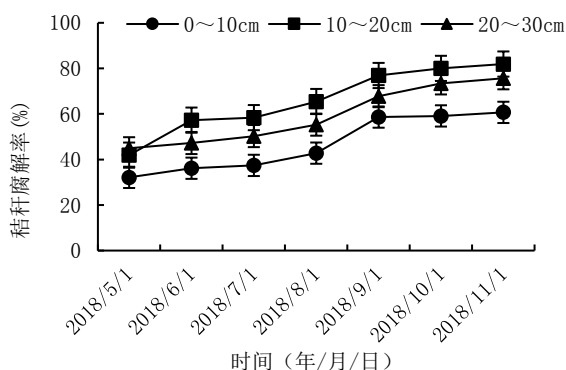


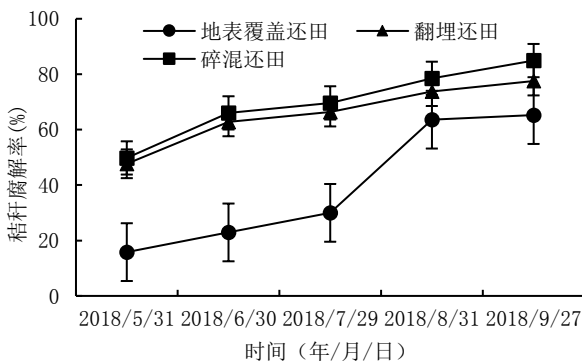
图1 不同埋深和不同还田模式玉米秸秆腐解规律

和84.92%。综上可知,不同埋深和不同还田模式玉米秸秆当季腐解率均在50%以上,其中以10~20 cm埋深和碎混还田平作模式为最高,20~30 cm埋深和翻埋还田垄作模式次之,0~10 cm埋深和

2 结果与分析

2.1 不同埋深和不同还田模式玉米秸秆腐解规律

由图1可知,随着时间的后移,不同埋深和不同还田模式玉米秸秆当季腐解率均呈上升趋势,其中7~8月秸秆腐解最快,生育末期秸秆腐解率最大。截至2018年11月1日,0~10 cm、10~20 cm和20~30 cm埋深玉米秸秆腐解率分别为60.67%、81.89%和75.64%;截至2018年9月27日,地表覆盖免耕平作模式、翻埋还田垄作模式、碎混还田平作模式玉米秸秆腐解率分别为65.26%、77.54%



地表覆盖免耕平作模式最低,且不同埋深和不同还田模式玉米秸秆当季腐解率可互为印证。

2.2 不同埋深土壤水热动态变化特征

由图2可知,不同秸秆还田模式不同埋深玉

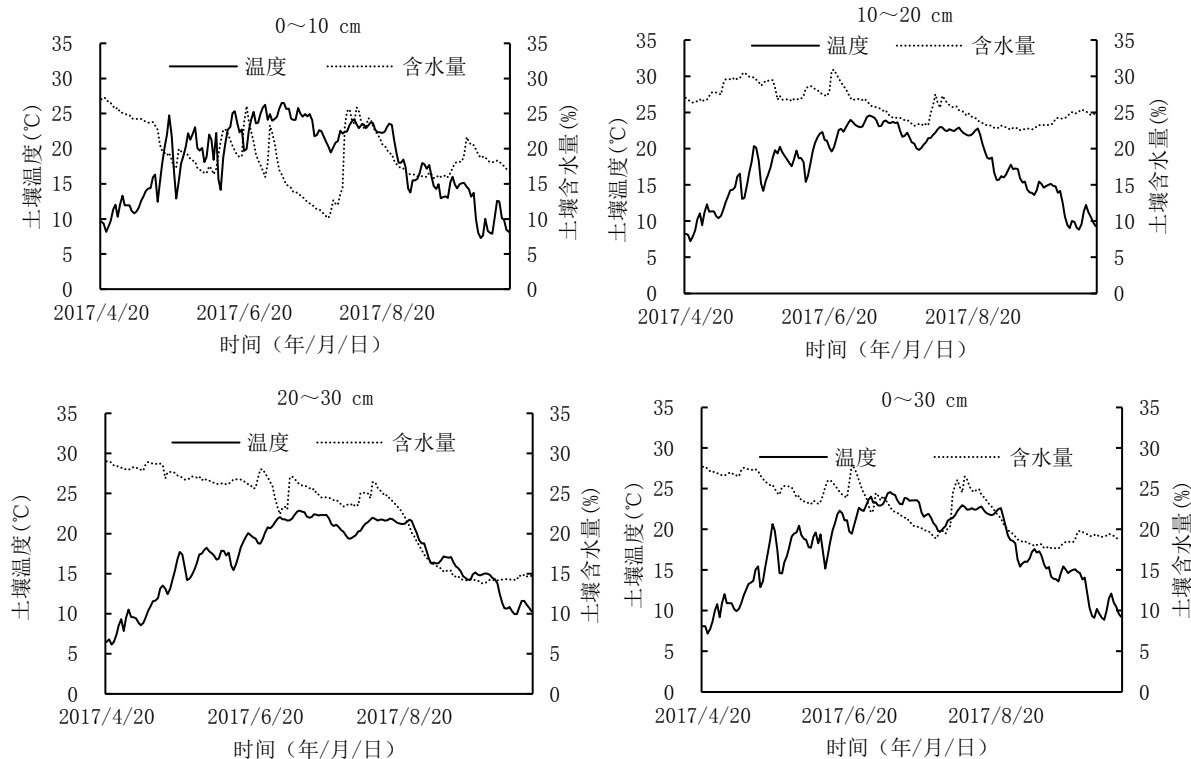


图2 不同埋深土壤水热动态变化特征

米耕层土壤水热条件不尽相同。生育前期(5月31日之前),0~10 cm埋深土壤温度最高,10~20 cm埋深次之,20~30 cm埋深最低,后二者分别较0~10 cm埋深低1.09℃和2.91℃;土壤含水量10~20 cm埋深最高,20~30 cm埋深次之,0~10 cm埋深最低,后二者分别较10~20 cm埋深低5.92%和0.53%。玉米旺盛生长期(5月31日~8月31日),不同埋深土壤温度0~10 cm埋深最高,20~30 cm埋深最低;土壤含水量也以10~20 cm埋深最高,0~10 cm埋深最低。总体上看,整个生育期内0~10 cm埋深土壤温度条件较好,土壤含水量偏低;20~30 cm埋深则相反,综合土壤温度与含水量可知,10~20 cm埋深土壤水热条件最佳。

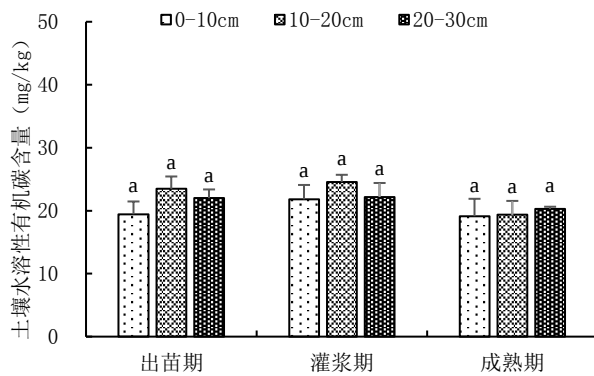


图3 不同埋深土壤碳素特征

2.4 不同埋深土壤氮素的变化特征

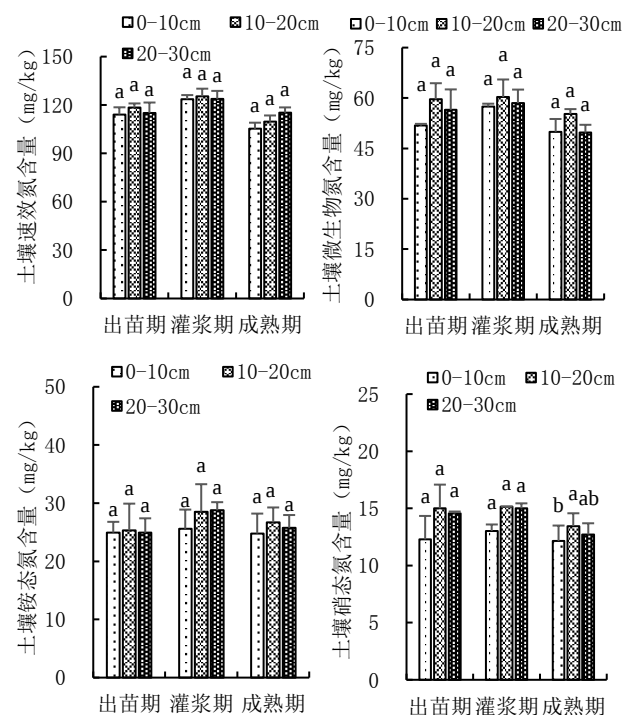
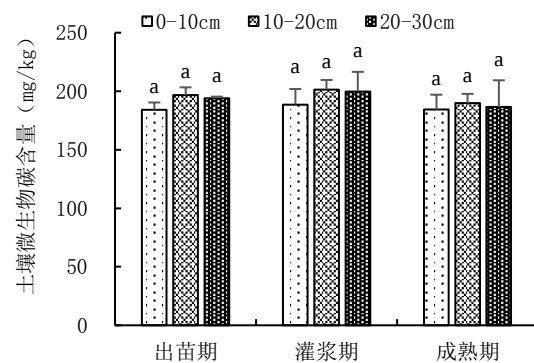
由图4可知,出苗期、灌浆期和成熟期不同还田模式不同埋深玉米耕层土壤氮素含量的差异各异,生育前期,灌浆期土壤氮素含量最高。从整个生育期来看,土壤速效氮含量20~30 cm埋深土壤最高,10~20 cm埋深土壤次之,0~10 cm埋深土壤最低,后二者分别较20~30 cm埋深下降0.19%和3.17%;土壤铵态氮含量10~20 cm埋深土壤最高,20~30 cm埋深土壤次之,0~10 cm埋深土壤最低,后二者分别较10~20 cm埋深下降1.34%和6.49%。不同埋深土壤硝态氮和土壤微生物氮含量的变化趋势与土壤铵态氮相近,与10~20 cm埋深相比,20~30 cm埋深和0~10 cm埋深土壤硝态氮含量分别下降3.09%和14.10%;土壤微生物氮含量则分别下降5.95%和9.05%。综上所述,10~20 cm埋深土壤氮素含量最高,在秸秆全量还田的前提下,碎混还田平作种植模式生育中后期耕层土壤氮素的积累与利用,进而促进其还田秸秆的腐解。

2.5 不同埋深土壤酶活性的变化特征

由图5可知,出苗期、灌浆期和成熟期不同还田模式不同埋深玉米耕层土壤酶活性的差异不尽

2.3 不同埋深土壤碳素的变化特征

由图3可知,出苗期、灌浆期和成熟期不同还田模式不同埋深玉米耕层土壤碳素含量的差异均不显著,且以灌浆期为最高。从整个生育期来看,土壤水溶性有机碳含量以10~20 cm埋深土壤为最高,20~30 cm埋深土壤次之,0~10 cm埋深土壤最低,后二者分别较10~20 cm埋深下降4.36%和10.40%;土壤微生物碳的变化趋势与土壤水溶性有机碳相近,与10~20 cm埋深相比,20~30 cm埋深和0~10 cm埋深土壤微生物碳含量分别下降1.30%和5.21%。综上所述,10~20 cm埋深土壤碳素含量最高,在秸秆全量还田的前提下,碎混还田平作种植模式耕层土壤碳素含量略高,利于生育中后期耕层土壤碳素运转。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

图4 不同埋深土壤氮素特征

相同,生育前期,灌浆期土壤氮素含量最高。从

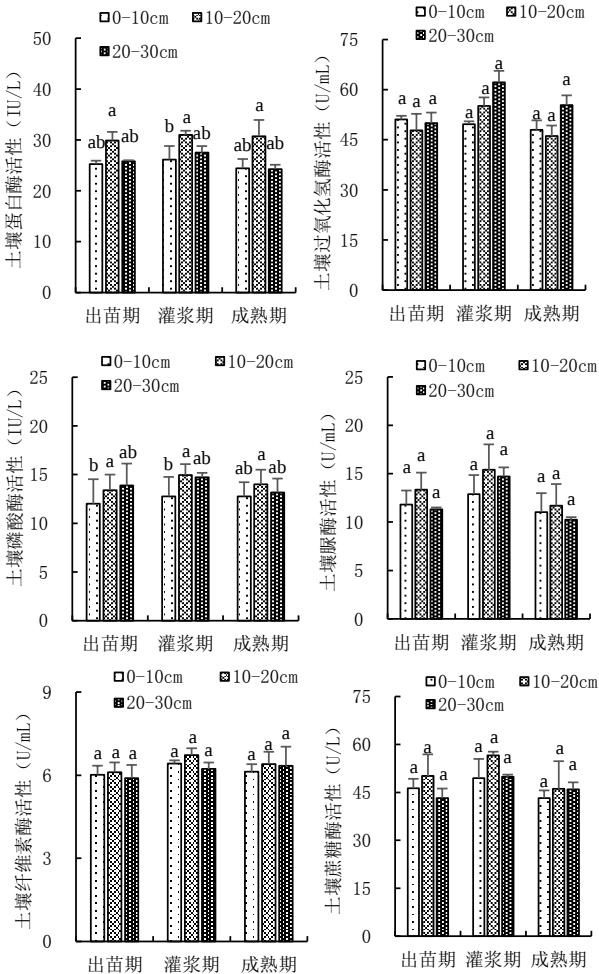


图5 不同埋深土壤酶活性特征

整个生育期来看,不同埋深土壤脲酶、纤维素酶、蔗糖酶、磷酸酶和蛋白酶活性均以 10~20 cm 埋深

为最高,其中 0~10 cm、20~30 cm 埋深土壤脲酶、纤维素酶、蔗糖酶、磷酸酶和蛋白酶活性分别较 10~20 cm 埋深土壤下降 11.67%、10.39%、3.46%、3.97%、9.06%、9.04%、11.39%、1.33% 和 17.23%、15.40%;与 20~30 cm 埋深相比,0~10 cm 埋深和 20~30 cm 埋深土壤过氧化氢酶活性分别下降 11.21% 和 11.05%;土壤微生物氮含量则分别下降 5.95% 和 9.05%。综上,由于耕层土壤扰动少,10~20 cm 埋深土壤酶活性较强,利于生育中后期耕层土壤保持较高的生物活性,有益于加快还田秸秆的有效腐解。

2.6 不同秸秆还田模式玉米产量与产量构成因素

由表 1 可见,不同秸秆还田模式玉米产量及产量构成因素的差异不尽相同,产量、穗数的差异均不显著。不同秸秆还田模式产量为翻埋还田垄作>覆盖还田免耕平作>碎混还田平作>常规垄作,翻埋还田垄作、覆盖还田免耕平作和碎混还田平作分别较常规垄作增产 8.70%、5.45% 和 3.03%;千粒重为翻埋还田垄作>碎混还田平作>覆盖还田免耕平作>常规垄作,翻埋还田垄作、碎混还田平作和覆盖还田免耕平作分别较常规垄作提高 11.89%、5.95% 和 4.44%;不同秸秆还田模式穗数差异不明显,其中覆盖还田免耕平作模式较常规垄作增加 0.26%,翻埋还田垄作较常规垄作降低 1.94%;穗粒数为常规垄作>覆盖还田免耕平作>翻埋还田垄作>碎混还田平作,覆盖还田免耕平作、翻埋还田垄作和碎混还田平作分别较常规

表 1 不同秸秆还田模式玉米产量与产量构成因素

还田模式	产量(kg/hm ²)	穗数(穗/hm ²)	穗粒数(粒)	千粒重(g)
常规垄作	11 328.4Aa	62 180Aa	565Aa	364.9Bb
覆盖还田免耕平作	11 945.9Aa	62 340Aa	556Aab	381.1ABab
翻埋还田垄作	12 314.3Aa	60 974Aa	547Aab	408.3Aa
碎混还田平作	11 671.5Aa	62 180Aa	545Aab	386.6ABab

注: 同列数据后不同小、大写字母分别表示差异达 0.05、0.01 水平

垄作降低 1.59%、3.19% 和 3.54%。综上可见,本试验条件下不同秸秆还田模式玉米千粒重的提高对产量增加的贡献率最大。

3 结论与讨论

作物秸秆腐解是一系列复杂土壤生态过程的综合效应,受到多种生物和非生物因素的交互影响,其腐解过程包括三个阶段,即快速腐解期、缓慢腐解期和停滞期。秸秆还田前 4 周的腐解率可达 40%;随着易分解物质逐渐被微生物耗尽,秸秆

腐解率逐渐降低,秸秆中微生物氮含量呈单峰曲线的变化趋势;最后由于剩下的组分均难以分解利用,腐解过程基本停止^[8-9]。大量玉米秸秆还田后会导致微生物汲取土壤氮素,从而与作物争夺土壤氮素,引起耕层土壤矿质氮降低和碳氮比失调,进而影响还田秸秆的有效腐解^[10-11]。国内外围绕农艺措施(如施肥、水分管理等)及环境条件(如温度、降水、土壤性质等)对玉米秸秆腐解的影响开展大量研究^[12-16]。结果表明,在适宜温度范围内,土壤温度升高将提高降解(下转第 155 页)

- [J]. 吉林农业科学, 2014, 39(1): 41-43.
- [6] 周进春, 陈英智. 黑龙江省东部低山丘陵区水土流失现状危害及发展趋势[J]. 水土保持应用技术, 2015(6): 33-34.
- [7] 丁启朔. 耕作力学研究的土壤结构及其评价方法[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [8] 蔡赞烽, 胡明振, 刘 超, 等. 破碎理论与数学模型发展综述[J]. 黑龙江科技信息, 2008(4): 48.
- [9] 章 勇, 毛京伟, 冯宪冬. 颚式破碎机的挤压过程分析[J]. 机械管理开发, 2011(3): 73-75.
- [10] 曹庆军, 杨粉团, 姜晓莉, 等. 玉米抗茎倒能力评价及理想株型[J]. 东北农业科学, 2017, 42(2): 17-21.
- [11] 高连兴, 焦维鹏, 杨德旭, 等. 含水率对大豆静压机械特性的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 40-44.
- [12] 高连兴, 李晓峰, 接 鑫, 等. 大豆机械脱粒损伤特征及损伤率研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(1): 55-58.
- [13] 李心平, 李玉柱, 马福丽, 等. 玉米种子抗压特性及裂纹生成规律[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 94-98.
- [14] 李心平, 马福丽, 高连兴. 玉米种子的跌落式冲击试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 113-116.
- [15] 马秋成, 邓飞龙, 雷林韬, 等. 莲仁钻削去心过程力学特性及减损工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2019, 35(9): 291-300.
- [16] 马秋成, 郭耿君, 马 婕, 等. 莲仁力学特性参数测定及挤压破碎特性试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(6): 263-271.
- [17] 宋 江, 王 明. 平贝母鳞茎力学特性试验[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(13): 3072-3074.
- [18] 孙志江, 衣淑娟, 陶桂香, 等. 马铃薯切块机剪切力学特性试验[J]. 农机化研究, 2020, 42(5): 171-175.
- [19] 孟凡钢, 饶德民, 赵 婧, 等. 不同基因型大豆品种对肥料的响应研究[J]. 东北农业科学, 2018, 43(6): 9-12.

(责任编辑:王丝语)

(上接第 61 页)秸秆的微生物生物量、微生物活性和呼吸率,进而加速秸秆分解;降水导致干湿交替会影响分解者活性,也导致分解秸秆微生物中厌氧菌和好氧菌交替,最佳土壤水分状况通常是接近最大田间持水量,此时土壤有机质分解最快^[17-18]。本研究表明,10~20 cm 埋深土壤氮素含量和秸秆腐解相关酶活性均较高,结合不同还田模式秸秆腐解规律可知,碎混还田平作模式还田秸秆当季腐解率最高。但由于年际间的气温、降水分布均存在较大变幅,气候因子的改变势必会影响到不同埋深和不同还田模式玉米秸秆的腐解效果,因此不同埋深和不同秸秆还田模式玉米秸秆腐解效率及效应的研究应综合考虑当地气候因素合理应用推广。故应在本试验研究结果基础上进一步开展年际间的相关试验。同时,有关氮肥配施对不同还田模式玉米秸秆腐解的相关研究也应尽快开展。

参考文献:

- [1] 王 萍, 李秀芬, 姜丽霞, 等. 气候变化背景下黑龙江省主栽作物稳产类型区划[J]. 东北农业科学, 2019, 44(4): 85-88.
- [2] 高洪军, 彭 畅, 赵叶明, 等. 气候、品种和密度对东北春玉米增产潜力的影响[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(4): 4-8.
- [3] 王亚静, 毕于运, 高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1852-1859.
- [4] 崔胜先, 谢光辉, 董仁杰. 灰色系统理论在黑龙江省农作物秸秆可收集量预测中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(8): 123-130.
- [5] 崔正果, 李秋祝, 张玉斌, 等. 玉米秸秆全量粉碎耕翻还田条件下播种深度与镇压强度对玉米出苗率的影响[J]. 东北农业科学, 2018, 43(6): 16-19.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-58.
- [7] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 54-74.
- [8] Iqbal A, Garnier P, Lashermes G, et al. A new equation to simulate the contact between soil and maize residues of different sizes during their decomposition[J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50: 645-655.
- [9] 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): 136-138.
- [10] 杨滨娟, 黄国勤, 钱海燕. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(1): 150-157.
- [11] Arcand M M, Knight J D, Farrell R E. Differentiating between the supply of N to wheat from above and belowground residues of preceding crops of pea and canola[J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50: 563-570.
- [12] Toenshoff C, Stuelpnagel R, Joergensen R G, et al. Carbon in plant biomass and soils of poplar and willow plantations—implications for SOC distribution in different soil fractions after re-conversion to arable land[J]. Plant Soil, 2013, 367: 407-417.
- [13] Toenshoff C, Joergensen R G, Stuelpnagel R, et al. Initial decomposition of post-harvest crown and root residues of poplars as affected by N availability and particle size[J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50: 675-683.
- [14] 张 红, 吕家珑, 曹莹菲, 等. 不同植物秸秆腐解特性与土壤微生物功能多样性研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 743-751.
- [15] Castro H F, Classen A T, Austin E E, et al. Soil microbial community responses to multiple experimental climate change drivers[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(4): 999-1007.
- [16] 张丽霞, 王俊文, 王立春, 等. 有机物料腐熟剂在东北农作物秸秆还田上的应用[J]. 东北农业科学, 2018, 43(6): 5-8.
- [17] 董志新, 孙 波, 殷士学, 等. 气候条件和作物对黑土和潮土固氮微生物群落多样性的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 130-138.
- [18] Ibrahim M, Cao C G, Zhan M, et al. Changes of CO₂ emission and labile organic carbon as influenced by rice straw and different water regimes[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2015, 12(1): 263-274.

(责任编辑:王 昱)