

菌剂降解秸秆直接还田对黑土土壤碳素和氮素的影响

赵伟¹, 郝帅¹, 孙泰朋¹, 王大庆^{2*}, 王宏燕¹

(1. 东北农业大学, 黑龙江哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农垦经济研究所, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要 [目的] 通过3年菌剂降解秸秆直接还田试验,研究了东北黑土土壤碳素和氮素的变化。[方法] 采用TOC仪和凯氏定氮仪,测定土壤有机质、全氮、微生物量碳和微生物量氮。[结果] 与初始的基础肥力相比,各处理土壤有机质含量均有所增加,分别提高了23.39%、18.23%和15.96%。各处理土壤微生物量碳含量在灌浆期达到最高,复合菌处理和纤维素分解菌处理明显高于对照,分别是对照的1.24倍和1.17倍。除2011年施菌剂处理土壤全氮含量显著低于对照外,2010年和2014年施菌剂处理土壤全氮含量均高于对照。土壤微生物量氮含量由大到小依次为复合菌>纤维素分解菌>对照。随着菌剂降解秸秆直接还田年份的增加,各处理土壤的C/N均有所提高,且2014年各处理土壤的C/N显著高于2010年和2011年,接近于微生物降解的最佳C/N(25:1)。[结论] 菌剂降解秸秆直接还田增加了土壤有机质、微生物量碳、全氮、微生物量氮含量和C/N,且2014年各处理土壤的C/N接近于25:1。

关键词 菌剂; 秸秆还田; 碳素; 氮素; 黑土

中图分类号 S141.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)36-182-03

Effects of Agent Degrading Straw and Returning to Black Soil on Carbon and Nitrogen

ZHAO Wei¹, HAO Shuai¹, SUN Tai-peng, WANG Da-qing^{2*} et al (1. Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Heilongjiang Economic Research Institute of States Farms, Harbin, Heilongjiang 150030)

Abstract [Objective] Experiments of three years was conducted to study the effects of agent degrading straw and returning to black soil on carbon and nitrogen. [Method] Instruments such as TOC and kjeldahl apparatus were used to measure organic matter content, microbial biomass carbon content, total nitrogen content, and microbial biomass nitrogen content. [Result] Organic matter contents of all the treatments were higher than those of initial fertilities by 23.39%, 18.23% and 15.96%, respectively. Microbial biomass carbon contents of each treatment were the greatest in grain filling period. Microbial biomass carbon contents of compound bacterium agent treatment and cellulose decomposing bacteria treatment were higher than that of CK by 1.24 times and 1.17 times. Total nitrogen contents in the agent degrading straw treatments in 2010 and 2014 were higher than that of CK, but total nitrogen contents of the agent degrading straw treatments in 2011 were lower than that of CK. Microbial biomass nitrogen content of compound bacterium agent treatment was the highest, that of cellulose decomposing bacteria treatment was the second, and that of CK was the lowest. With three years of agent degrading straw and returning to black soil, C/N of the three treatments all increased. C/N of all the treatments in 2014 which was approached 25:1 were the best and higher than those in 2010 and 2011. [Conclusion] Organic matter, microbial biomass carbon, total nitrogen, microbial biomass nitrogen and C/N were increased by treatments of agent degrading straw and returning to black soil and C/N of all the treatments in 2014 which was approached 25:1.

Key words Agent; Straw return; Carbon; Nitrogen; Black soil

我国黑土地有100~300年的开垦历史。当前,大部分已被开垦的黑土位于我国松嫩平原。黑土开垦后,土壤肥力性状发生变化,有部分土壤向着不断培肥熟化的方向发展,但大量的、比较普遍的则是土壤的自然肥力呈不断下降趋势,黑土耕种层中有机质含量的年下降速度约为0.01%。氮素和碳素是植物生长所必须的元素,但黑土的退化必然影响土壤碳素和氮素含量。

秸秆中含有丰富的碳、氮、磷、钾和微量元素,是一种具有多用途和可以再生的生物资源,是物质、能量和养分的载体,也是农业生产重要的有机肥源之一。秸秆还田可以通过增加土壤有机碳的直接输入实现固碳,还田秸秆中8%~35%的有机碳以有机质形式在土壤碳库中保存下来。新鲜秸秆被施入土壤后,一方面为好气性和嫌气性的自生固氮菌提供碳源,促进土壤的固氮作用;另一方面,丰富的碳源使得多种微生物活动旺盛,有利于保存氮素。目前,关于秸秆还田的研究多集中在秸秆还田对土壤物理性状、养分含量、微

生物量、微生物数量、酶、土壤碳固定、温室气体排放、水稻稻米品质、作物杂草等方面^[1-9],但连续秸秆还田对农田黑土碳氮影响的研究较少。高洪军等^[10]对吉林省公主岭市的黑土进行了长期秸秆还田对黑土碳氮及玉米产量变化的影响的研究,发现与NPK处理相比,玉米秸秆还田处理没有明显促进黑土有机碳的积累,与CK、NPK处理相比,秸秆还田+NPK处理能显著提高土壤N素的供应水平。侯占领等^[11]进行了RW腐熟剂在玉米秸秆还田中的应用效果研究,发现施用RW腐熟剂处理全氮、有效磷、速效钾提高幅度较大。张雪艳等^[12]研究发现,填埋秸秆和施用菌剂在生育期内能有效提高土壤中的碳氮比、酶活性,从而促进秸秆的腐解,促进秸秆养分进入土壤。另外,有研究发现菌剂降解秸秆直接还田能增加作物各生育期土壤微生物量C、N含量^[13-14]。通过6年连续秸秆还田试验,笔者研究了菌剂降解秸秆直接还田对黑龙江省松嫩平原黑土农田生态系统土壤碳素、氮素的影响,为修复退化黑土地力、增大黑土土壤碳库和氮库、指导秸秆直接还田提供依据。

1 材料与与方法

1.1 试验区域概况 试验地设在哈尔滨市东北农业大学试验基地,属于松嫩平原退化黑土类型,其中有机质4.36 g/kg,全氮0.19 g/kg,全磷0.21 g/kg,碱解氮173.0 mg/kg,速效磷18.0 mg/kg,速效钾209 mg/kg。2009年供试作物为玉米哲丹

基金项目 黑龙江省博士后科研启动金项目(LBH-Q13020);国家自然科学基金项目(51408108)。

作者简介 赵伟(1971-),女,河北乐亭人,教授,博士,从事农业生态学和土壤生态学方面的研究。*通讯作者,高级工程师,博士,从事农业生态学及农垦生态经济方面的研究。

收稿日期 2015-11-12

37, 2010~2014 年供试作物为玉米 302。

1.2 试验设计 试验共设 3 个处理:对照(秸秆)、纤维素分解菌(秸秆+纤维素分解菌)、复合菌(秸秆+纤维素分解菌+表面活性剂)。每个处理设 3 次重复。试验小区长 6 m, 宽 7 m。所用纤维素分解菌和表面活性剂为实验室研制的菌剂。

所有处理均采用“二分法”小垄深松还田技术,即用 70 cm 小垄,采用间隔种植法(分苗区和空白区),苗区双行点播。对于纤维素分解菌处理和复合菌处理,在玉米收获后将秸秆全部施入空白区,同时施入菌剂进行秸秆翻埋。每年采取二分法平移,即第 1 年玉米种在苗区,第 2 年玉米种在空白区。正常田间管理,分别在玉米拔节期和抽雄期追施肥料。

1.3 土样采集 在玉米的成熟期(T5)取土样,测定土壤有机质和全氮含量;在玉米的出苗期-拔节期(T1-T2)、拔节期-抽雄期(T2-T3)、抽雄期-灌浆期(T3-T4)、灌浆期-成熟期(T4-T5)取土样,测定微生物量碳和微生物量氮。取土深度为 20 cm。每个小区 24 点(蛇形)采取四分法取土。

1.4 指标测定与方法 用 TOC 仪测定土壤提取液全碳含量,以熏蒸和未熏蒸土壤提取液全碳含量的差值乘以系数 2.64,得到土壤微生物碳的含量。用凯式定氮仪测定土壤提取液全氮含量,以熏蒸和未熏蒸土壤提取液全氮含量的差值除以系数 0.54,得到土壤微生物氮含量。

2 结果与分析

2.1 菌剂降解秸秆直接还田对土壤碳素含量的影响

2.1.1 土壤有机质。由图 1 可知,2010 年各处理土壤有机质含量间差异不显著,2011 年和 2014 年复合菌处理土壤有机质含量在 0.05 水平显著高于纤维素分解菌处理和对照。随着秸秆的施入,2010、2011 和 2014 年各处理土壤有机质含量呈明显递增的趋势,且与 2010 年相比,2011 年各处理土壤有机质含量在 0.05 水平显著增加,而与 2011 年相比,2014 年各处理土壤有机质含量有所增加,但增加幅度较低。从 3

年的平均值来看,复合菌处理土壤有机质含量最高,分别比纤维素分解菌处理和对照高 4.37% 和 6.41%;纤维素分解菌处理高于对照 1.95%。与初始基础肥力相比,各处理的土壤有机质含量均有所增加,复合菌处理效果最明显,提高了 23.39%,纤维素分解菌处理和对照分别提高 318.23% 和 15.96%。

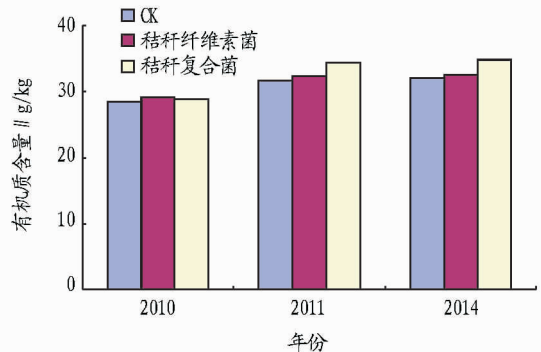


图 1 土壤有机质动态变化

2.1.2 土壤微生物量碳。由表 1 可知,菌剂降解秸秆直接还田对土壤微生物量碳含量的影响差异都达到 0.05 显著水平。从 3 年平均水平来看,复合菌处理和纤维素分解菌处理土壤微生物量碳含量明显高于对照,复合菌处理的农田土壤微生物量碳含量是对照的 1.24 倍;纤维素分解菌处理土壤微生物量碳含量也明显高于对照,是对照的 1.17 倍。2010 年和 2014 年土壤微生物量碳含量都呈现出先升高后降低的趋势,都在抽雄期-灌浆期(T3-T4)达到最高;2011 年土壤中微生物量碳含量呈现先升高后降低再升高的趋势,在灌浆期-成熟期(T4-T5)达到最高,说明施入菌剂降解秸秆还田促进土壤微生物量碳含量的增殖,而且玉米在开花成熟时需要更多的养分,因此微生物活动增强,土壤微生物量碳含量达到最高,促进土壤中养分转化,以满足玉米生长需求。

表 1 土壤微生物量碳动态变化

处理	T1-T2			T2-T3			T3-T4			T4-T5			平均
	2010	2011	2014	2010	2011	2014	2010	2011	2014	2010	2011	2014	
对照	7.67c	13.42b	15.91b	79.85a	17.97b	39.79b	88.47b	10.39b	80.04b	19.93b	30.72c	18.02ab	35.18
秸秆纤维素菌	18.41b	11.42b	12.90b	71.93b	34.23a	40.26b	106.19a	17.64a	92.59a	28.44a	37.55b	21.42a	41.08
秸秆复合菌	30.11a	19.80a	45.78a	52.40c	20.16b	47.92a	84.81b	15.22a	93.13a	24.64a	85.18a	14.80b	44.49
平均	18.73	14.88	24.86	70.93	25.23	42.66	90.28	14.42	88.59	24.34	50.04	18.08	39.98

注:同列不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著。

2.2 菌剂降解秸秆直接还田对土壤氮素含量的影响

2.2.1 土壤全氮。由图 2 可知,2010 年复合菌和纤维素菌处理土壤全氮含量在 0.05 水平显著高于对照,但二者之间差异不显著;2011 年施菌剂处理土壤全氮含量在 0.05 水平显著低于对照,2014 年复合菌处理土壤全氮含量在 0.05 水平显著高于纤维素分解菌处理和对照,而纤维素分解菌处理和对照之间不存在差异,且 2014 年各处理土壤全氮含量在 0.05 水平显著低于 2010 年和 2011 年。从 3 年的平均值来看,复合菌处理土壤全氮含量最高,分别比纤维素分解菌处理和对照高 2.94% 和 4.79%,纤维素分解菌处理比对照高 1.79%。

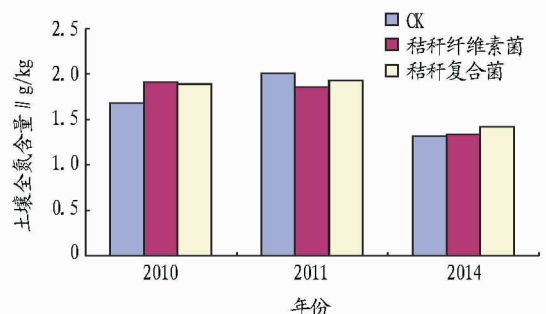


图 2 土壤全氮动态变化

2.2.2 土壤微生物量氮。由表2可知,2010年各处理土壤的微生物量氮含量在拔节期-抽雄期(T2-T3)达到最高;2011年复合菌处理和对照的土壤微生物量氮含量在抽雄期-灌浆期(T3-T4)达到最高,纤维素分解菌处理的土壤微生物量氮含量在拔节期-抽雄期(T2-T3)达到最高;2014年复合菌处理和对照的土壤微生物量氮含量在苗期-拔节期(T1

-T2)达到最高,纤维素分解菌处理的土壤微生物量氮含量在抽雄期-灌浆期(T3-T4)达到最高。土壤的微生物量氮含量平均表现为复合菌处理>纤维素分解菌处理>对照。对照农田土壤微生物量氮含量最小,纤维素分解菌处理和复合菌处理的农田土壤微生物量氮含量分别平均比对照提高15.79%和10.53%。

表2 土壤微生物量氮动态变化

g/kg

处理	T1-T2			T2-T3			T3-T4			T4-T5			平均
	2010	2011	2014	2010	2011	2014	2010	2011	2014	2010	2011	2014	
对照	0.25a	0.09b	0.22b	0.58a	0.10ab	0.20b	0.12b	0.06c	0.13b	0.28a	0.05b	0.21b	0.19
秸秆纤维素菌	0.25a	0.13b	0.27a	0.28b	0.12a	0.25a	0.19a	0.24b	0.41a	0.22b	0.03b	0.25a	0.22
秸秆复合菌	0.24a	0.26a	0.23b	0.25b	0.08b	0.20b	0.19a	0.40a	0.15b	0.09c	0.24a	0.17c	0.21
平均	0.26	0.16	0.24	0.36	0.10	0.22	0.17	0.23	0.23	0.19	0.11	0.21	0.21

2.3 菌剂降解秸秆直接还田对土壤 C/N 的影响 由图3可知,随着施入菌剂降解秸秆直接还田年份的增加,除对照2011年的C/N略低于2010外,各处理土壤的C/N均有所提高,且2014年各处理土壤C/N在0.05水平显著高于2010年和2011年,接近于微生物降解的最佳C/N(25:1)。除2010年复合菌处理和纤维素分解菌处理土壤的C/N低于对照外,2011年和2014年复合菌处理和纤维素分解菌处理土壤的C/N均高于对照。从3年的平均值来看,复合菌处理土壤的C/N最高,比对照高54.74%,纤维素分解菌处理土壤的C/N比对照高0.16%。

土壤氮含量。该研究表明,秸秆配施菌剂直接还田增加了土壤全氮含量,且复合菌处理效果最明显。连续5年秸秆配施菌剂直接还田,2010年施菌剂处理的土壤全氮含量在0.05水平显著高于对照,2011年施菌剂处理土壤全氮含量在0.05水平显著低于对照,2014年复合菌处理土壤全氮含量在0.05水平显著高于纤维素分解菌处理和对照,而纤维素分解菌处理和对照之间差异不显著,且2014年各处理土壤全氮含量在0.05水平显著低于2010年和2011年,说明在2010年新鲜秸秆配施菌剂施入土壤,一方面可为好气性和嫌气性的自生固氮菌提供碳源,促进土壤的固氮作用,另一方面由于丰富的碳源使得多种微生物活动旺盛,从而有利于保存氮素。然而,由于秸秆本身C/N较高,秸秆降解时需要大量的氮,因此2011年施菌剂处理消耗了土壤中大量的氮,导致施菌剂处理土壤全氮含量低于对照。连续5年秸秆还田后,土壤有机质含量得到提升,给土壤微生物创造了极其利于繁殖的外部环境,导致土壤微生物群落和类别均有所提升,增强了土壤中各种功能菌的活性特别是固氮菌,提高了土壤自身固氮能力。2014年复合菌处理土壤全氮含量在0.05水平显著高于纤维素分解菌处理和对照,但各处理土壤全氮含量在0.05水平显著低于2010年和2011年。由此可知,秸秆还田时应配施化肥如尿素等,避免全氮含量的下降,使其在提高作物产量的同时提高氮素利用率。

土壤微生物量碳、微生物量氮是土壤碳素和氮素养分转化和循环研究中的重要参数。它们较直观地反映了土壤微生物和土壤肥力状况。秸秆直接还田可避免氮素挥发损失的发生,增加作物对氮素的吸收,增加土壤中微生物有效性碳含量,极大地刺激了土壤微生物的活动。该研究表明,秸秆还田能有效增加土壤微生物量含量,且复合菌处理和纤维素菌处理土壤微生物量含量明显高于对照。究其原因,是因为秸秆还田增加了土壤生态系统碳的输入量,而碳常是微生物繁殖的限制因子。菌剂与秸秆还田配合使用不仅保证农作物的碳氮需求,而且对土壤微生物的调节和作物根系微环境的改变具有重要作用。2010年、2011年和2014年各处理土壤微生物量碳含量均在灌浆期达到最高,而2010年、2011年和2014年各处理土壤微生物量氮含量在拔节期-抽雄期

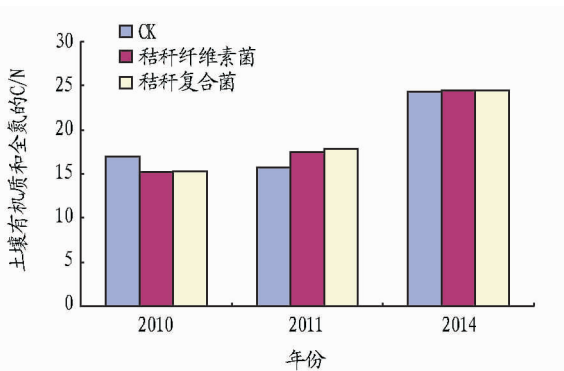


图3 土壤有机质和全氮 C/N 动态变化

3 结论与讨论

作物秸秆本身有丰富的矿物质养分和有机碳。秸秆还田不仅能培肥土壤,而且能避免焚烧秸秆带来的环境污染,从而保护环境。施用菌剂能促进秸秆的降解,改善土壤质量。该研究表明,秸秆还田配施菌剂处理土壤有机质含量得到较大提高。这是因为微生物复合菌剂提高了秸秆降解速度和秸秆利用效率。秸秆的还田降解使得土壤微生物活动更加活跃,而土壤微生物的活跃会促进秸秆的进一步降解。连续多年施用等量秸秆进行还田,各处理土壤有机质含量呈明显递增的趋势,且2011年和2014年土壤有机质含量在0.05水平显著高于2010年,而与2011年相比,2014年各处理土壤有机质含量有所增加,但增加幅度较低。这可能与当年的气候和土壤理化性状有关。

秸秆还田不仅可以直接对土壤中的各种形态氮素予以补给,而且可以促进固氮作用,从而经过复杂的反应来提高

岷县黄芪含钾量最高,而山西浑源黄芪含钾量最低。不同产地钙、镁元素含量差异较大,山西浑源、内蒙呼伦贝尔黄芪钙含量均高于3 685 mg/kg,四川理塘、安徽亳州、内蒙古巴彦淖尔钙含量为1 000~2 000 mg/kg,甘肃岷县的含钙量最低,为838.3 mg/kg;内蒙古巴彦淖尔镁含量最高,高于520 mg/kg,山西2个产地的黄芪镁含量最低,均低于400 mg/kg,其余产地的黄芪镁含量为400~500 mg/kg。山西浑源、安徽、四川、内蒙呼伦贝尔这4个产地的黄芪铁含量均高于250 mg/kg,其余产地黄芪铁含量均低于250 mg/kg;四川、安徽、山西浑源的锰含量均高于30 mg/kg,其余产地的锰含量均低于30 mg/kg。不同产地黄芪的锌含量差异较大,甘肃岷县、内蒙呼伦贝尔、山西运城、山西浑源这4个产地的锌含量较高,为17~23 mg/kg,而其余产地的锌含量为4~8 mg/kg。山西2种黄芪含硒量较高,分别为0.202、0.464 mg/kg,而内蒙呼伦贝尔含硒量最低,为0.009 mg/kg,其余产地硒含量为0.02~0.05 mg/kg,这可能与当地富硒土壤的土质有关。综上所述,黄芪的矿质元素含量高低不仅与产地有关,同时也与品种有关。

参考文献

[1] 袁利超,程延安,党双锁,等. 大黄素、黄芪多糖抑制大鼠肝癌的研究[J]. 中华现代内科学杂志,2004,1(5):391.

- [2] 倪永年,宋荣梅. ICP-AES测定不同产地中药黄芪中微量元素的含量[J]. 南昌大学学报,2011,35(1):72-78.
- [3] 孟辉. MPT-AES在线标准加入法测定中草药黄芪中微量元素[J]. 2005,41(5):313-315.
- [4] 刘冬莲. 黄芪道地产区与非道地产区药材质量比较研究[J]. 唐山师范学院学报,2010,32(2):24-26.
- [5] 李翔,朱臻宇,王彬,等. HPLC-MS测定黄芪药材中3种成分的含量[J]. 药学学报,2006,41(8):793-796.
- [6] 胡芳第,封士兰,赵健雄,等. HPLC法测定黄芪中黄酮类成分和黄芪甲苷的含量[J]. 分析测试技术与仪器,2003,9(3):173.
- [7] 王允飞,李继红. 原子吸收分光光度法对东北黄芪中微量元素的全分析[J]. 化学工程师,2005,112(1):37.
- [8] 段亚丽,谢梅冬. 黄芪化学成分及其有效成分黄芪甲苷含量测定的研究现状[J]. 中国兽药杂志,2005,39(3):35-38.
- [9] 郑民奇,王党辉,孙泽坤. 微波消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定植物样品中硒[J]. 岩矿测试,2007,26(5):416-418.
- [10] 祁彪,崔杰华,王颜红,等. 微波消解-ICP-AES同时测定黄芪中10种微量元素[J]. 光谱实验室,2009,26(6):1555-1559.
- [11] 丁润梅,田大年. 微波辅助法提取宁夏黄芪中主要微量元素的工艺研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(21):12854-12856.
- [12] 南焕杰. 黄芪药材质量控制和品质评价研究[D]. 太原:山西大学,2009:2-33.
- [13] 韩凤兰,陈宇红,张惠素. 用X射线荧光法测定黄芪中的多种矿质元素[J]. 宁夏大学学报,2003,24(4):381-383.
- [14] 彭茵,李宏岩,张莹. 不同产地黄芪中Zn含量及溶出率的比较[J]. 光谱实验室,2009,26(5):1230-1232.
- [15] 周权,张娜. 分光光度法测定中草药黄芪中硒含量[J]. 黄山学院学报,2008,10(3):48-50.
- [16] 龚俊,南蓬,王国亮,等. 鄂西自治州黄芪等药用植物中硒等微量元素的测定[J]. 天然产物研究与开发,1997,10(2):37-40.

(上接第184页)

达到最高。这可能是由于在此时期温度最适宜,菌剂中微生物活跃加快了作物秸秆的分解,改良土壤的物理和化学性质,提高土壤酶活性,为微生物生长提供物质基础。

土壤碳氮比能够反映出土壤碳、氮之间的耦合关系,对评价土壤质量水平起到重要的作用。同时,它也是土壤有机物腐殖化程度的一个指标,即C/N越高,有机物的腐解程度就越低。该研究表明,除2010年复合菌处理和纤维素分解菌处理土壤的C/N对于对照外,2011年和2014年复合菌处理和纤维素分解菌处理土壤的C/N均高于对照;对照2011年的C/N略低于2010年,各处理土壤的C/N均有所提高,且2014年各处理土壤的C/N在0.05水平显著高于2010年和2011年,接近于微生物降解的最佳C/N(25:1)^[15]。这说明尽管秸秆中C/N较高,在秸秆开始降解时降解微生物需从土壤中获取无机氮以维持适宜的碳氮比,从而减少了土壤中无机氮含量,但其残留率高,能增加土壤腐殖质和有机质含量。由此可知,连续秸秆直接还田达到了缓效施肥的效果,有效减少氮素流失,控制农田生态系统中因氮素淋失造成的农业污染,提高退化黑土的土壤肥力,保持土壤碳氮平衡和土壤的可持续利用。

参考文献

- [1] SHAUKAT A A,把余玲,田霄鸿,等. 温度与微生物制剂对小麦秸秆腐解及土壤碳氮的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(1):115-122.
- [2] 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.

- [3] GAIND S, NAIN L. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants [J]. Biodegradation,2007,18:495-503.
- [4] 段华平,牛永志,李凤博,等. 耕作方式和秸秆还田对直播产量及稻田土壤碳固定的影响[J]. 江苏农业学报,2009,25(3):706-708.
- [5] SODHI G P S, BERI V, BENBI D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice wheat system[J]. Soil & tillage research,2009,103(2):412-418.
- [6] POTTHOFF M, DYCKMANS J, FLESSA H, et al. Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen[J]. Soil biology and biochemistry,2005,37(7):1259-1266.
- [7] KHALIL M I, INUBUSHI K. Possibilities to reduce rice straw induced global warming potential of a sandy paddy soil by combining hydrological manipulations and urea-N fertilizations[J]. Soil and biology biochemistry,2007,39(10):2675-2681.
- [8] 顾丽. 长期与短期秸秆还田后稻米品质的差异性变化研究[D]. 扬州:扬州大学,2008.
- [9] 韩惠芳,宁堂原,田慎重,等. 土壤耕作及秸秆还田对夏玉米田杂草生物多样性的影响[J]. 生态学报,2010,30(5):1140-1147.
- [10] 高洪军,彭涛,张秀芝,等. 长期秸秆还田对黑土碳氮及玉米产量变化的影响[J]. 玉米科学,2011,19(6):105-107.
- [11] 侯占领,牛银霞,苗小红,等. RW腐熟剂在玉米秸秆还田中的应用效果研究[J]. 安徽农业通报,2015,21(3/4):65-66.
- [12] 张电学,韩志卿,李东坡,等. 不同促腐条件下秸秆还田对土壤微生物量碳氮磷动态变化的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(10):1903-1908.
- [13] 赵伟,潘延欣,靳雯然,等. 低温菌剂降解秸秆还田对东北黑土微生物活性的影响[J]. 湖北农业科学,2014,53(17):4020-4024.
- [14] 张雪艳,田蕾,王冠,等. 秸秆反应堆与生物菌剂对番茄土壤碳氮比与酶活性的影响[J]. 北方园艺,2015(4):165-169.
- [15] 龚伟,胡庭兴,王景燕,等. 川南天然川柯林人工更新后土团粒结构的分形特征[J]. 植物生态学报,2007,31(1):56-65.