

3 种腐熟剂促进玉米秸秆快速腐解特征

匡恩俊¹, 迟凤琴^{1*}, 宿庆瑞¹, 张久明¹, 高中超¹, 朱宝国²

(1.黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江省肥料工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2.黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:为筛选出适宜东北寒冷区快速腐解秸秆的腐熟剂,通过网袋腐解试验明确施入3种秸秆腐熟剂对玉米秸秆生物量及养分释放的影响。结果显示:经过100 d的腐解,玉米秸秆生物量失重率随着时间的延长逐渐增加,玉米秸秆失重率为57.1%~64.1%,其中以施用3号秸秆腐熟剂的玉米秸秆生物量失重率最高,为64.1%。施入不同秸秆腐熟剂后玉米秸秆氮、磷、钾释放率分别为35.1%~57.2%、44.2%~59.6%、77.4%~89.7%,其中以3号腐熟剂的秸秆磷、钾素释放率最高。各处理有机碳矿化率呈相同的趋势,均随着时间的延长逐渐增加,取样末期有机碳矿化率在65.3%~69.1%之间,且各处理间差异不明显。综上,以3号秸秆腐熟剂腐解秸秆的效果最好。

关键词:玉米;秸秆还田;腐熟剂;养分释放

中图分类号:X712

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)05-0432-05

doi: 10.13254/j.jare.2014.0176

Characteristics of Three Decomposer Accelerators on Maize Straw Decomposition

KUANG En-jun¹, CHI Feng-qin^{1*}, SU Qing-rui¹, ZHANG Jiu-ming¹, GAO Zhong-chao¹, ZHU Bao-guo²

(1.Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Center, Harbin 150086, China; 2.Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China)

Abstract: In order to make sure the effect of straw decomposer accelerators on the maize straws in Northeast of China, mesh bag method was used to determine the decomposition characteristics of maize straw biomass amount and nutrition release regularity in one year. The results showed that after 100 days, decomposition rates of maize straws biomass amount were between 57.1%~64.1%. The highest decomposition rate of 64.1% was the treatment with the 3rd decomposer accelerator. The nutrition release rates of N, P and K were 35.1%~57.2%, 44.2%~59.6%, and 77.4%~89.7% at the end of period, respectively. And the 3rd decomposer accelerator treatment had a better effect on the release rate of P and K. All treatments had the same trend of organic C mineralization rate which increased with the time extending, at last the organic C mineralization rate was between 65.3% and 69.1%. The results showed the 3rd decomposition accelerator had better effect than others.

Keywords: maize; straw returning; decomposer accelerator; nutrition release

秸秆还田是目前增加土壤有机质含量、提高农业综合生产能力、促进农业生态系统碳素良性循环的重要举措之一。目前东北春玉米的秸秆还田量占19.8%^[1],比2007年的秸秆还田比例有了明显的提高^[2]。但因秸秆粉碎程度不够、秸秆腐解过慢而影响农田土壤整地

播种质量,甚至降低作物产量和品质。有研究报道指出:北方地区气候寒冷,玉米秸秆量大且还田后腐解较慢,影响下茬作物的生长^[3]。作物秸秆富含纤维素、木质素等富碳物质以及N、P、K等多种营养元素,还田后有利于更新土壤腐殖质,增加土壤有机质,达到培肥地力的作用^[4],利用腐熟剂催腐秸秆,可使秸秆快速腐解,实现大量秸秆的直接还田^[5-6]。

秸秆腐熟剂是一种富含高效微生物菌系,具有促进秸秆快速腐解的作用^[7-8],能促进作物秸秆较快腐解,在减轻和防止还田秸秆量多给作物生长带来不利影响的同时,可稳定和提高土壤养分含量,显著增加作物产量^[9-10]。Mohd Lokman^[11]研究表明施用腐熟剂加快

收稿日期:2013-07-09

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAD05B01);公益性行业(农业)科研专项(201303126);国家科技支撑计划项目(2013BAD07B01-02);哈尔滨市科技创新人才研究专项资金资助项目(2012RFXYN020)

作者简介:匡恩俊(1982—),女,黑龙江海林人,硕士,助理研究员,研究方向为土壤肥力。E-mail: kuangenj2002@163.com

*通信作者:迟凤琴 E-mail: fqchi2013@163.com

了堆腐过程中的矿化速度。

因此,本试验选用3种市面上销售较多的不同类型秸秆腐熟剂进行玉米秸秆还田腐解试验,因地制宜地找出适合本地气候、土壤、秸秆等特点的秸秆腐熟剂,以能有效快速地腐解秸秆,解决玉米秸秆还田后不易腐解的问题,为当地秸秆资源的合理利用提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 试验地的基本情况

试验在黑龙江省农科院土壤肥料与环境资源研究所的框栽场进行,中层中壤质黑土,位于E126°37'19",N45°40'37",海拔150 m,属于寒温带大陆季风气候,年平均气温3.6℃,年降水量486.4~543.6 mm;年≥10℃积温为2 600~2 800℃,全年无霜期在135 d左右。土壤基础肥力见表1。

1.2 试验材料

选取了3种不同菌剂的秸秆腐熟剂。1号腐熟剂名为上海联业农业科技有限公司生产的秸秆腐熟剂(商品名为微生物菌剂,高效活性微生物菌群,含低温菌,有效活菌数≥0.5亿·g⁻¹);2号腐熟剂为东莞保得生物工程有限公司生产的秸秆腐熟剂(商品名为腐熟剂,多种有益微生物和纤维素、半纤维素、木质素分解酶,有效活菌数≥0.5亿·g⁻¹);3号秸秆腐熟剂为鸡西市绿农生物制剂厂生产的秸秆腐熟剂(商品名为绿农生物腐解剂,适合北方地温、短时间内腐熟的有益微生物菌群,有效活菌数≥1.0亿·g⁻¹)。

1.3 试验设计

试验设4个处理:(1)玉米秸秆不加腐熟剂(CK);(2)玉米秸秆+1号腐熟剂(1号);(3)玉米秸秆+2号腐熟剂(2号);(4)玉米秸秆+3号腐熟剂(3号)。

试验于2012年5月10日进行。选取粗细与长度接近的完整的玉米秸秆,裁成约2 cm小段,称取40 g秸秆(烘干重),以0.4 g尿素20 mL水溶解均匀喷洒后装入300目尼龙网袋中,将尼龙网袋水平埋入约5~10 cm土层(以覆土厚度5 cm为准)^[2]。每个处理21次重复,取样时间分别为埋后10、20、30、45、60、80、100 d,每次取3个重复,取样后烘干测定秸秆碳、生

物量及氮磷钾养分。

有机碳用TOC仪器(Multi N/C 2100S)测定,生物量用烘干法测定,植物氮磷钾养分参照土壤农业化学分析方法^[13]。

1.4 数据分析

数据统计用SPSS 17.0和Excel 2007软件完成。

2 结果与分析

2.1 腐熟剂对秸秆生物量的影响

秸秆生物量失重率(以下简称失重率)是秸秆分解质量的评价标准之一,秸秆生物量分解的越多,失重率越高,分解效果越好。由图1所示,各处理玉米秸秆失重率随着时间的延长逐渐升高。还田100 d时,对照失重率为57.1%,施用1号腐熟剂的失重率为58.3%,比对照高1.2%;施用2号腐熟剂失重率为58.9%,比对照高1.8个百分点;施用3号腐熟剂的失重率为64.1%,比对照高7.0个百分点。

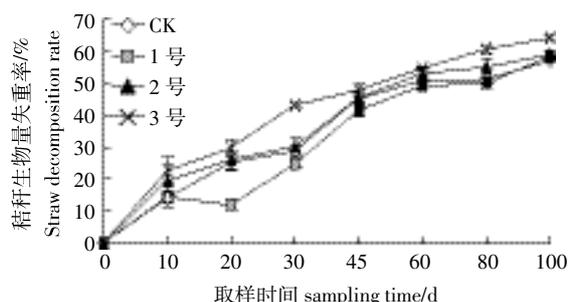


图1 不同腐熟剂对玉米秸秆的分解效果
Figure 1 The decomposition effects of maize straw under different treatments

在初始的10 d内,4个处理的失重率接近,以施用3号秸秆腐熟剂的失重率最高,秸秆生物量分解最快;之后施用腐熟剂的处理秸秆分解速率高于对照(1号腐熟剂除外),一直持续到8月中旬。在第一个月内(5月10日—6月9日),腐熟剂处理月分解率在24.7%~43.0%之间,说明施用腐熟剂在玉米秸秆还田第一个月内能明显提高秸秆分解速率,3号秸秆腐熟剂分解最快。差异达到极显著水平(表2)。第二个月(6月9日—7月8日)施用腐熟剂处理与对照分解速率差别逐渐缩小,差异不明显。到取样末期(8月17

表1 土壤基础肥力

Table 1 The fertility of experiment soil

地点 Location	有机质 O.M/ g·kg ⁻¹	全氮 Total N/ g·kg ⁻¹	全磷 Total P/ g·kg ⁻¹	全钾 Total K/ g·kg ⁻¹	速效氮 Avail. N/ mg·kg ⁻¹	速效磷 Avail. P/ mg·kg ⁻¹	速效钾 Avail. K/ mg·kg ⁻¹	pH
框栽场 Box planted field	31.95	2.40	2.00	21.34	103.1	70.8	167.7	6.62

日),施用 3 号秸秆腐熟剂的处理与对照相比差异达到显著水平,其他处理间差异不明显。

2.2 腐熟剂对秸秆有机碳分解的影响

各处理的有机碳矿化率呈相同的趋势(见图 2),均随时间的延长逐渐增加,45 d 时分解率就已达到 46.3%~55.7%,到 100 d 时,各处理有机碳矿化率在 65.3%~67.7%之间,但各处理间差异不明显。

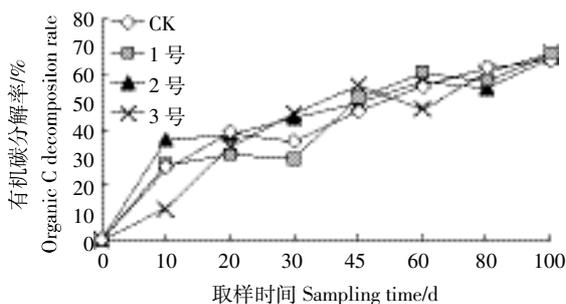


图 2 不同腐熟剂对玉米秸秆有机碳分解的影响

Figure 2 The decomposition effects of maize straw organic carbon under different treatments

2.3 腐熟剂对秸秆养分释放的影响

2.3.1 氮的释放

秸秆氮素的释放特征为随着时间的延长,氮素的释放逐渐加强(图 3)。施入不同秸秆腐熟剂后玉米秸秆有 35.1%~57.2%的氮素被释放。3 种腐熟剂间氮素释放差异不明显,其中施 3 号腐熟剂的处理氮素释放率相对较高,2 号腐熟剂最低,施用秸秆腐熟剂的处理氮的释放速率均低于对照处理。

2.3.2 磷的释放

到 100 d 时,各处理玉米秸秆有 46.5%~59.6%的磷被释放(见图 4),其中,以施用 3 号腐熟剂秸秆磷素的释放率最高为 59.6%,比对照高 12.7%。2 号腐熟剂在 60 d 前磷的释放一直较低,60~100 d 缓慢增加,到 100 d 时比对照高 6.3%;1 号腐熟剂处理 20 d 前磷的释放高于对照,20 d 后呈现低于对照的趋势,直到 100 d 时高于对照 1.7%。4 个处理磷素的平均释放率在 0~20 d 时低于氮而高于钾(表 3),到 45 d 时磷的

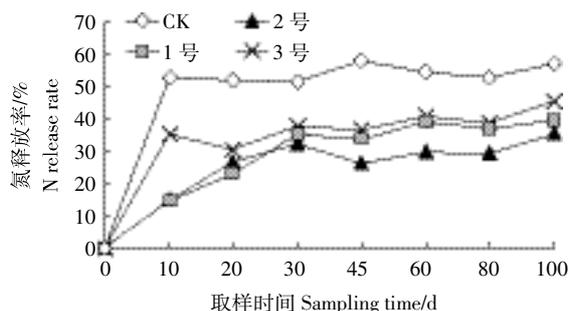


图 3 不同腐熟剂对玉米秸秆氮素释放的影响

Figure 3 The release of N in different treatments

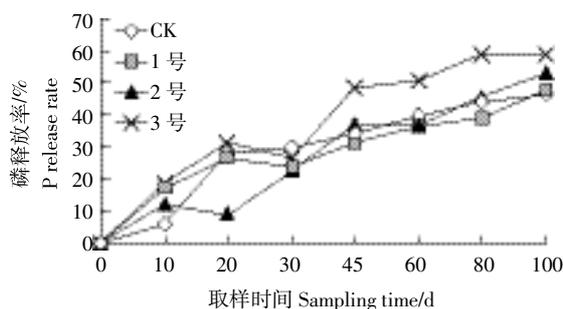


图 4 不同腐熟剂对玉米秸秆磷素释放的影响

Figure 4 P release rate of different treatments

释放率低于氮和钾,60 d 时与氮接近低于钾,而随后的时间里其累计释放率都高于氮低于钾。

2.3.3 钾的释放

不同秸秆腐熟剂处理钾的释放率随着时间的延长逐渐呈升高趋势(图 5)。4 个处理钾的释放速度在秸秆埋后的 45 d 前略有差异,45~100 d 时释放率差异不大。其中以 3 号腐熟剂钾的释放率最高,100 d 时释放率达 84.7%,分别高于对照、2 号腐熟剂和 1 号腐熟剂 1.0、1.6 个和 7.3 个百分点。

从 4 个处理整体平均来看,玉米秸秆埋入土壤后,钾的释放在 20 d 之前都低于氮和磷(表 3),从 45 d 开始直到取样结束,钾的释放率均高于氮和磷。腐解 100 d 的分析结果显示,4 个处理钾的平均释放率高达 82.2%,而此时氮、磷的释放率只有 44.4%和 51.7%。

表 2 不同处理各时期秸秆生物量失重率方差分析表(%)

Table 2 The statistical analysis of different treatments (%)

处理	取样时间/d						
	10	20	30	45	60	80	100
CK	14.42a	11.91bB	24.70bB	41.37a	49.09a	49.89bB	57.06bB
1 号	14.12a	25.19aAB	28.82bB	45.18a	50.87a	51.24bAB	58.26bAB
2 号	19.57a	26.06aAB	30.21bB	45.26a	52.98a	54.98abAB	58.88bA
3 号	22.65a	29.71aA	43.05aA	47.84a	54.55a	60.56aA	64.11aA

注:小写字母表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平上显著,大写字母在 $P < 0.01$ 水平上显著。

表3 不同处理各时期 NPK 养分平均释放率(%)
Table 3 The nutrient average release rate of different treatments (%)

养分	取样时间/d						
	10	20	30	45	60	80	100
N	29.38	32.99	39.22	38.59	40.98	39.39	44.37
P	13.58	23.63	25.63	37.81	40.93	46.82	51.67
K	8.18	16.80	34.32	54.36	60.14	76.00	82.22

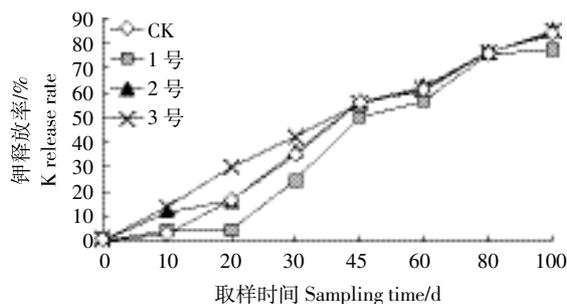


图5 不同腐熟剂对玉米秸秆钾素释放的影响
Figure 5 K release rate of different treatments

3 讨论

秸秆生物量失重率是秸秆分解质量的评价标准之一,秸秆生物量失重率越高,分解效果越好。有研究表明,玉米秸秆比某些作物秸秆腐解慢,腐解率较低,施用秸秆腐熟剂后,秸秆的腐解率有所提高^[14]。马永良等^[15]在河北曲周的试验结果表明:玉米秸秆粉碎还田后2个月内分解率超过40%,而本试验未加腐熟剂的处理在还田后60d时分解率就高达50.9%,占全部分解量的89.2%,这充分说明秸秆还田后前2个月是其分解的主要时期。在这2个月内各处理间分解速率差异不明显,80d以后,各腐熟剂的作用才表现出来,处理间差异显著。秸秆腐解速度有所增加,但不同腐熟剂对秸秆腐解程度的影响不同,这可能与微生物组成有关^[16]。

作物秸秆的干物重有42%是有机碳组成的,是一种碳源较丰富的能源物质。作物秸秆施入土壤后一部分碳在微生物的作用下以CO₂的形式释放掉,且秸秆碳的矿化主要是在施入土壤后的40d内发生^[17]。本试验4个处理的有机碳矿化趋势相同,均随时间的延长逐渐增加,施用何种腐熟剂及施用腐熟剂与否对有机碳的矿化作用不明显。

玉米秸秆一般含氮0.92%、磷0.12%、钾1.18%,由于养分性质不同,其还田后养分的归还率也不同,磷、钾一般高于氮^[18]。本试验玉米秸秆还田100d时氮、磷、钾的释放率分别平均为35.5%、41.3%和65.8%,呈现钾>磷>氮规律;就其归还率而言,磷、钾属矿质

元素,释放后可全部归还到土壤中,而氮则不同,秸秆释放的氮在微生物的作用下一部分以腐殖质、无机盐等形式归还到土壤中,另外一部分则由于反硝化作用变成气体进入了大气,因此从这个角度来说氮的归还率则会更低。玉米秸秆中氮磷钾的释放受腐熟剂影响程度大小不一。对氮的影响最大,施用腐熟剂普遍降低了氮的释放率,而且不同腐熟剂对氮释放影响的程度亦不相同,其中3号腐熟剂降低最少,2号腐熟剂降低最多;对磷的影响相对较弱,只有3号腐熟剂能够增加磷的释放率,其他2种腐熟剂作用不明显;对钾的释放腐熟剂的影响整体最小,只有1号腐熟剂对钾的释放有抑制的趋势,但差异不明显。有研究表明:玉米秸秆还田添加腐熟剂(促腐剂)后,要求的C/N高达35:1^[19],这就说明施用腐熟剂能够降低秸秆腐解过程中微生物对秸秆氮的需求。而另一方面,氮元素是植物有机合成物的主体,秸秆还田后氮元素的分解较复杂,其释放速度相对较慢^[20]。因此,该试验施用腐熟剂的3个处理的氮素释放率均低于对照。各处理秸秆钾的释放速度较快,这是由于钾元素在植物体内以离子态存在,秸秆含有丰富的水溶性钾,在秸秆分解中易释放出来。

由于不同地区土壤、秸秆中土著微生物类群和数量均有差异,而一些腐熟剂微生物菌群与土著微生物菌群间不能协同作用,从而对秸秆的促腐作用不明显^[21]。1号和2号腐熟剂分别产自上海和东莞,而3号腐熟剂是本地自产,在适应温度低的条件上有优势。因此,腐熟剂在秸秆还田中的推广应用中还需因地制宜,筛选适合当地的产品。

4 结论

腐熟剂对秸秆的腐解有一定的促进作用,不同的秸秆腐熟剂对玉米秸秆的腐解效果不同,3号腐熟剂是当地自产,在适应环境等方面比其他地区的腐熟剂有较好的优势。在秸秆的养分释放方面,腐熟剂的影响相对较弱。

影响秸秆的腐解因素有很多,除腐熟剂外,与秸秆的种类、还田数量、还田的方式、土壤类型、微生物活性以及耕作制度等都存在密切关联。所以,今后的研究中还应综合考虑各种因素,以探求更加科学的秸秆还田的途径及最佳效果。

参考文献:

[1] 王如芳,张吉旺,董树亭.我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效

- 果[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1504-1510.
WANG Ru-fang, ZHANG Ji-wang, DONG Shu-ting. Present situation of maize straw resource utilization and its effect in main maize production regions of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(6): 1504-1510. (in Chinese)
- [2] 姚宗路, 赵立欣, 田宜水, 等. 黑龙江省农作物秸秆资源利用现状及中长期展望[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 288-292.
YAO Zong-lu, ZHAO Li-xin, TIAN Yi-shui, et al. Utilization status and medium and long-term forecast of crop straw resource in Heilongjiang Province[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(11): 288-292. (in Chinese)
- [3] 胡立峰, 裴宝琦, 翟学军. 论秸秆功能演化及秸秆腐解剂效应[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 134-138.
HU Li-feng, PEI Bao-qi, ZHAI Xue-jun. Function evolution of straw and effect of effective microorganisms[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(19): 134-138. (in Chinese)
- [4] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 141-144.
CHEN Shang-hong, ZHU Zhong-lin, WU Jie, et al. Decomposition characteristics of straw return to soil and its effect on soil fertility in purple hilly region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 141-144. (in Chinese)
- [5] 金海洋, 姚政, 徐四新, 等. 纤维素分解菌剂对水稻秸秆田间降解效果的研究[J]. 上海农业学报, 2004, 20(4): 83-85.
JIN Hai-yang, YAO Zheng, XU Si-xin, et al. Effect of applying cellulose decomposing microbes on rice straw decomposition[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2004, 20(4): 83-85. (in Chinese)
- [6] 黄春红, 唐章亮, 文幕芬. 瑞来特微生物催腐剂在甘蔗叶中的腐熟试验[J]. 现代农业科技, 2008(11): 188-189.
HUANG Chun-hong, TANG Zhang-liang, WEN Mu-fen. Composting experiment reilate microbe corrosion inhibitor in the sugarcane leaves [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2008 (11): 188-189. (in Chinese)
- [7] 赵明文, 史玉英, 李玉祥, 等. 纤维分解菌群对水稻秸秆腐熟效果的研究[J]. 江苏农业科学, 2000(1): 51-53.
ZHAO Ming-wen, SHI Yu-ying, LI Yu-xiang, et al. Effect of cellulose decomposing bacteria population on decomposed rice straw[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2000(1): 51-53. (in Chinese)
- [8] 潘国庆. 酵素菌技术的原理特点及应用效果[J]. 江苏农业科学, 1999(6): 52-54.
PAN Guo-qing. Effect of application and characteristics ferment technology[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 1999(6): 52-54. (in Chinese)
- [9] 李忠佩, 唐永良, 石华, 等. 不同施肥制度下红壤稻草的循环与平衡规律[J]. 中国农业科学, 1998, 31(1): 46-54.
LI Zhong-pei, TANG Yong-liang, SHI Hua, et al. Nutrient cycling and balance of paddy fields in different fertilization systems in red soil region of subtropical China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998, 31(1): 46-54. (in Chinese)
- [10] Witt C, Cassman K G, Olk D C O, et al. Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cyclin and productivity of irrigated rice systems[J]. *Plan and Soil*, 2000, 225(1): 263-278.
- [11] Mohd Lokman Che Jusoh, Latifah Abd Manaf, Puziah Abdul Latiff. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality[J]. *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 2013(10): 17-25.
- [12] 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.
LI XIN-ju, ZHANG Zhi-guo, LI Yi-xue. Effect of soil depth on decay speed of straw[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(1): 135-138. (in Chinese)
- [13] 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.
LU Ru-kun. Analytic technique of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Science and Technique Press, 2000. (in Chinese)
- [14] 陈银建, 周冀衡, 李强, 等. 秸秆腐解剂对不同作物秸秆腐解特征研究[J]. 湖南农业科学, 2011(1): 19-21, 25.
CHEN Yin-jian, ZHOU Yi-heng, LI Qiang, et al. Decomposition characteristics of stalk decomposition accelerator on different crop-stalks [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2011(1): 19-21, 25. (in Chinese)
- [15] 马永良, 宇振荣, 江永红, 等. 两种还田模式下玉米秸秆分解速率的比较[J]. 生态学杂志, 2002, 21(6): 68-70.
MA Yong-liang, YU Zhen-rong, JIANG Yong-hong, et al. Comparison of decomposition rates of maize straw between two kinds of straw incorporation[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(6): 68-70. (in Chinese)
- [16] 胡立峰, 檀海斌, 董福双, 等. 不同耕作栽培环境对秸秆腐解剂腐解效果的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(20): 8796-8797, 8835.
HU Li-feng, TAN Hai-bin, DONG Fu-shuang, et al. Effect of effective microorganisms on straw decay rate under different cultivation environments[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2008, 36(20): 8796-8797, 8835. (in Chinese)
- [17] Nvberg G, Ekblad A, Buresh R. et al. Short-term patters of carbon and nitrogen mineralization in a fallow field amended with green-manures from agroforestry trees[J]. *Biol Fert Soils*, 2002, 36: 18-25.
- [18] 戴志刚, 鲁剑巍, 周先竹, 等. 中国农作物秸秆养分资源现状及利用方式[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(1): 27-29.
DAI Zhi-gang, LU Jian-wei, ZHOU Xian-zhu, et al. The present situation and utilization mode of crop residue nutritious resources[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(1): 27-29. (in Chinese)
- [19] 张电学, 韩志卿, 刘微, 等. 玉米秸秆直接还田配施促腐剂效应研究 I. 对土壤氮素时空动态变化和作物产量的影响[J]. 河北职业技术学院学报, 2003, 17(4): 5-9.
ZHANG Dian-xue, HAN Zhi-qing, LIU Wei, et al. The effect of maize stalk application in the field with transformation promoter I. On the space-time dynamic variation of soil N nutrient and winter wheat-corn yields[J]. *Journal of Hebei Vocation-Technical Teachers*, 2003, 17(4): 5-9. (in Chinese)
- [20] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
DAI Zhi-gang, LU Jian-wei, LI Xiao-kun, et al. Nutrient release characteristic of different crop straws manure[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(6): 272-276. (in Chinese)
- [21] 温从雨, 王华良, 程扶旗. 绩溪县秸秆腐解菌剂大田对比试验初报[J]. 安徽农业通报, 2008, 14(19): 72-73.
WEN Cong-yu, WANG Hua-liang, CHENG Fu-qi. A preliminary experiment in field comparison Jixi County straw decayed bacterium[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2008, 14(19): 72-73. (in Chinese)