

欧阳家风, 刘峙嵘, 邹翔. 水稻秸秆在土壤-水体系中的腐解性能[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 546-551.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.03.010

水稻秸秆在土壤-水体系中的腐解性能

欧阳家风, 刘峙嵘, 邹翔

(东华理工大学化学生物与材料科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 以水稻秸秆为代表性秸秆, 探索水稻秸秆在不同条件下的腐解规律。采用尼龙袋法处理秸秆样品, 研究在不同腐解时间、腐解温度、水土比和腐解剂用量下秸秆的腐解特征, 及其腐解过程中养分的释放规律。结果表明, 秸秆样品腐解前 3 d 腐解速率非常快, 腐解 9 d 后速率由快速变为平缓, 在腐解第 15 d 时腐解率达到 24.9%。腐解温度、水土比、腐解剂用量的增加均能促进秸秆腐解, 但不呈正相关性, 超过最优值则会下降, 最佳腐解条件为腐解温度为 30 ℃, 水土比为 3:1 (质量比), 腐解剂用量为 0.5 g。最优条件下碳、氮、磷、钾的累积释放率均总体表现为前 6 d 释放迅速, 之后变缓并趋于稳定, 不同营养元素的累积释放率按从大到小顺序依次为钾>磷>氮≈碳。通过一级动力学方程拟合得到碳、氮、磷、钾的降解半衰期分别为 16.120 d、16.120 d、15.753 d、5.415 d。

关键词: 水稻秸秆; 腐解; 尼龙袋法; 腐解率; 养分释放率

中图分类号: S141.4; X712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)03-0546-06

Decomposition property of rice straw in soil solution

OUYANG Jia-feng, LIU Zhi-rong, ZOU Xiang

(College of Chemical, Biological and Material Science, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: The rice straw was studied to illuminate the law of decomposition under different conditions. The decomposition characteristics of rice straw under different time, temperature, water-soil ratio and straw-decomposing inoculant content were investigated by adapting the nylon bag method, and nutrient release characteristics were also studied in the process of decay. The decomposition rate of straw in the first three days was very fast. After nine days, the decomposition rate changed from rapid to flat and reached 24.9% on the 15th day of decomposition. The increase of temperature, water-soil ratio and straw-decomposing inoculant content all promoted the decomposition of straw, but it was not positively correlated. It would decrease if the optimal value was exceeded. The optimum decomposition conditions were as follows: the temperature was 30 ℃, soil-water ratio was 3:1, and the straw-decomposing inoculant content was 0.5 g. Under the optimum condition, the cumulative release rates of C, N, P and K were rapid in the first six days, then became slower and stabilized, followed by K>P>N≈C. The half-lives of C, N, P and K acquired by first order kinetics equation were 16.120 d, 16.120 d, 15.753 d and 5.415 d, respectively.

Key words: rice straw; decomposition; nylon bag method; decomposition rate; nutrient release rate

秸秆通常指水稻、小麦等农作物收获籽实后剩余

的茎叶部分, 是一种重要的有机肥来源物质。中国作为世界产粮最多的国家之一, 秸秆资源产量占到世界总产量的 30% 以上。秸秆自然腐解的速率缓慢, 中国大部分农村地区为了方便下一茬作物的播种和生长, 往往选择对秸秆进行焚烧处理^[1]。焚烧虽然可以快速处理大量的堆积秸秆, 减少农民处置秸秆的费用, 但同时也造成了秸秆资源的极大浪费, 并引发雾霾等

收稿日期: 2018-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(11375043); 江西省主要学科科学技术带头人资助项目(20172BCB22020)

作者简介: 欧阳家风(1995-), 男, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要从事环境化学研究。(E-mail) 1152543375@qq.com

通讯作者: 刘峙嵘, (Tel) 0791-83897967; (E-mail) zhrlu@ecit.cn

环境问题。江西省作为以水稻种植为主的农业大省,秸秆资源非常丰富^[2]。秸秆还田作为目前解决秸秆堆积残留问题的有效措施之一,具有改善土壤理化性质,为土壤微生物(细菌、真菌和放线菌)提供食物来源,并能稳定提高土壤养分含量,对农作物有明显的增产效果^[3-6]。而研究水稻秸秆的腐解过程,不仅能指导秸秆还田,同时也会对资源的合理利用和环境的有效治理产生积极影响。

尼龙袋法常用于测定饲料在单胃中的降解率^[7],其使用方式简单,能在特定时间间隔内测定降解率。为了能在腐解的各个阶段简单、快速地从土壤-水体系溶液中分离秸秆,本试验拟以水稻秸秆为对象,采用尼龙袋法处理秸秆样品,通过对不同条件下秸秆腐解后的各项指标进行测定,探索秸秆的腐解规律,以期找出秸秆还田后腐解的最优条件。

1 材料与方法

1.1 样品来源与处理

本试验选用江西省南昌市望城新区某稻田的二季度晚熟水稻秸秆,供试秸秆的主要成分中全碳占 49.56%,全氮占 0.78%,全磷占 0.05%,全钾占 1.86%。以均匀取样的方式,抽选适量干净、新鲜的秸秆作为研究对象,烘干,取一定量的干燥秸秆均匀剪成 0.5~1.0 cm 的小段,用型号为 15.0 cm×10.0 cm 且尺寸为 100.0 μm 的普通尼龙袋装好备用。

本试验所取的土壤为稻田里的耕层土壤(0~20.0 cm),土壤容质量 1.97 g/cm³,有机质含量 14.20 g/kg,有效氮含量 78.60 mg/kg,有效磷含量 7.80 mg/kg,有效钾含量 62.80 mg/kg。将收集来的土壤置于通风处自然风干,用研钵进行研磨,粉碎,并用孔径为 0.5 mm 的网筛过筛,直至土壤中无较大颗粒及其他杂物。

1.2 试验设计

本试验通过模拟现实中秸秆腐解的环境,研究不同情况(时间、温度、水土比、腐秆剂用量)下,水稻秸秆在土壤-水体系中的腐解特性和养分释放特征。在一系列容量为 500 ml 的烧杯中加入不同水土比(1:1、2:1、3:1、4:1,质量比)的土壤溶液,将剪成 0.5~1.0 cm 小段的 5 g 秸秆样品用尼龙袋封装后浸入土壤溶液中,然后分别加入一定量的腐秆剂(0 g、0.25 g、0.50 g、0.75 g、1.00 g),用保鲜膜封口,放入一定温度(20 ℃、30 ℃、40 ℃)的恒温箱

中培养一段时间(3 d、6 d、9 d、12 d、15 d),各试验均进行 3 组平行试验。腐解过程中每 1 d 都将装有秸秆的土壤溶液烧杯取出,用电子天平称量记录质量变化,并用去离子水补充损失或者蒸发的水分。腐解结束后,通过对比不同腐解条件下秸秆样品的腐解率来确定最佳的腐解条件,并通过测定全碳、全氮、全磷、全钾的累积释放率来表征其腐解动态。

1.3 测定方法

1.3.1 腐解率 采用失重法^[8]测定水稻秸秆的腐解率,腐解结束后用镊子将水稻秸秆样品取出,用水冲洗水稻秸秆样品至滤液呈无色,然后将样品放置在干燥箱中,设置温度为 105 ℃,干燥至质量恒定,称量,计算其腐解率。公式如下:

$$\text{腐解率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

m_1 :腐解前水稻秸秆样品的质量(g); m_2 :腐解后水稻秸秆样品的质量(g)。

1.3.2 碳含量的测定 500 ℃的条件下灼烧水稻秸秆样品 4 h,有机质的质量就是灼烧过程损失的质量,而碳的总质量占有机质质量的 58%^[9]。计算公式如下:

$$W_c = \frac{(c_1 - c_2) \times 0.58}{c_1} \times 100\%$$

W_c :碳的质量分数(%); c_1 :灼烧前水稻秸秆样品的质量(g); c_2 :灼烧后水稻秸秆样品的质量(g)。

1.3.3 氮含量的测定 用凯氏定氮法测定氮累积释放率^[10]。将腐解后的秸秆样品磨碎,其中 95%通过 40 目筛,装入磨口瓶备用。称取 0.1 g 试样 2 份,同时测定样品的含水量。将样品置于 25 ml 凯氏瓶中,加入 1 g 加速剂粉末和 3 ml 硫酸,轻轻摇动凯氏瓶,使试样被硫酸湿润,并倾斜置于电炉上加热消煮,待溶液消煮到无微小碳粒并呈透明的蓝绿色时,继续消煮 30 min。再将试样置于 50 ml 凯氏瓶中,加入 0.5 g 加速剂和 3 ml 混液,在凯氏瓶上放 1 个曲颈小漏斗,倾斜在电炉上加热,继续消煮 30 min。消煮液稍冷却后加少量蒸馏水,轻轻摇匀,进行蒸馏处理。蒸馏时将冷凝管末端插到盛有 10 ml 硼酸指示剂混合液的锥形瓶中,向反应室中加入 40% 氢氧化钠溶液 15 ml,然后通气蒸馏,当馏出液的体积达到约 50 ml 时,降下锥形瓶,使冷凝管末端离开液面,继续蒸馏 1~2 min,用蒸馏水冲洗冷凝管末端,洗液均需流入锥形瓶中。最后以 0.02 mol/L

标准盐酸滴定,至锥形瓶中的溶液由蓝绿色变成灰紫色为止,计算总氮含量。计算公式如下:

$$W_n = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 0.014}{m_3}$$

W_n 为氮的质量分数(g/kg); V_1 表示滴定时消耗盐酸的量(ml); V_2 是空白试验所消耗的盐酸量(ml); c 是盐酸标准液浓度(mol/L); 0.014 是氮原子的毫摩尔质量(g/mol); m_3 是样品质量(g)。

1.3.4 磷含量的测定 称取烘干磨碎的秸秆样品 0.15 g 置于消煮管中,加入 8 ml 浓硫酸,浸泡一晚上。消煮管于 360 °C 条件下消煮 1 h,稍冷后加入 10 滴 H_2O_2 ,消煮 20 min 后冷却,重复滴加 H_2O_2 直至溶液无色或清亮。将消煮液洗入 100 ml 容量瓶中,用水定容,摇匀,静置。吸取 10 ml 消煮液于 50 ml 容量瓶中,加水稀释至 30 ml,加二硝基酚指示剂 2 滴,用氢氧化钠(2.0 mol/L)和硫酸(0.5 mol/L)调节 pH 至溶液成微黄色,然后加入钼锑抗显色剂 5 ml,摇匀,用水定容。放置 30 min 后,用分光光度计比色(波长 700 nm)^[11],以空白溶液为参比液,读取吸收值,在工作曲线上查找出显色液的含磷量。计算公式如下:

$$W_p = \frac{c_3 \times V_3 \times (V_1/V_2)}{m_4 \times 10^6} \times 1\,000$$

W_p 为植物磷的质量分数(g/kg); c_3 为通过校准曲线或回归方程求得的显色液中磷的质量浓度(mg/L); V_1 为消煮液定容体积(ml); V_2 为吸取测定的消煮液体积(ml); V_3 为显色液体积(ml); m_4 为称样量(g)。

1.3.5 钾含量的测定 用火焰光度法测定钾累积释放率。首先是 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,其步骤与钼锑抗比色法测定磷累积释放率相同。吸取钾标准液(100 μg/ml) 0 ml、2 ml、4 ml、6 ml、8 ml、10 ml 分别置于 6 个 100 ml 容量瓶中,加入与试样溶液等体积的空白溶液,用水稀释至 100 ml,混匀,此系列溶液浓度为 100 ml 含钾 0 mg、0.2 mg、0.4 mg、0.6 mg、0.8 mg、1.0 mg 的标准溶液。用空白溶液调节仪器低标旋钮至零点,标准溶液中最高浓度的标液用高标调至约 100 光强度值处。记录光强度值,从而建立回归曲线方程。按 GB/7857 规定将称量出的 2 g 样品制备成试验样品,在 250 ml 容量瓶中定容,吸取其中 1 ml 试样溶液于 100 ml 容量瓶中,用水稀释至 100 ml,混匀,在同条件下用火焰光度计分别测定

并记录其与钾标溶液的光强度值,最后用回归方程计算出样品的含量。

1.3.6 残留率 残留率 = 1 - 累积释放率

2 结果与分析

2.1 腐解时间对秸秆腐解的影响

将试验条件设置为腐解温度 20 °C,水土比 4:1(质量比),腐秆剂用量 0.5 g,模拟当地水稻秸秆腐解的现实情况,进行不同腐解时间下秸秆样品腐解程度的试验。结果(图 1)显示,腐解前 3 d 秸秆样品的腐解速率非常快,第 3 d 时腐解率已达到 13.2%,腐解到第 9 d 左右腐解速率逐步变缓,最后趋于稳定,腐解第 15 d 时腐解率达到 24.9%。腐解前期秸秆中丰富的有机物质促进土壤中微生物的繁殖,使得微生物的数量迅速增长,活性大大增强,并产生大量酶,使秸秆质量迅速减少,随着腐解过程进行到后期,秸秆中的有机物质开始减少,微生物代谢速率也开始降低,使得秸秆的腐解速率随之变慢。

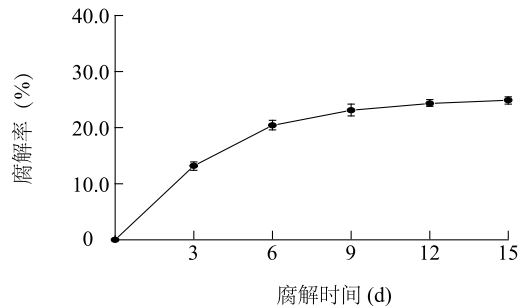


图 1 腐解时间对秸秆腐解率的影响

Fig.1 Effect of time on the decomposition rate of straw

2.2 腐解温度对秸秆腐解的影响

在试验条件为水土比 4:1(质量比),腐秆剂用量 0.5 g,腐解时间为 9 d 情况下,进行腐解温度对秸秆腐解影响的试验。结果(图 2)显示,腐解温度对秸秆腐解有较大的影响。20 °C 时,腐解率仅有 23.1%,30 °C 时,腐解率达到 39.4%,40 °C 时,腐解率有所降低,这是因为微生物的代谢、酶的释放及活性影响秸秆腐解速率^[12]。腐解温度较低时,微生物代谢缓慢,酶的释放率和活性都较低,使得秸秆腐解率较低。当腐解温度过高时,不耐高温的微生物易被杀死,酶的释放和活性也将被抑制,导致秸秆的腐解率随之降低。本试验中,秸秆腐解的最佳温度为 30 °C。

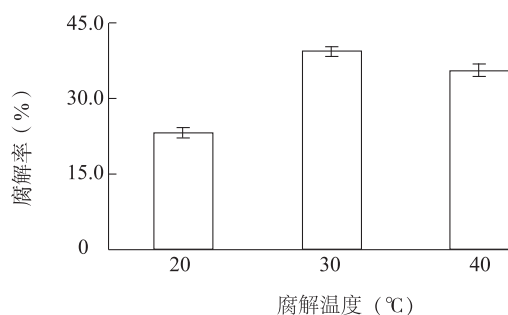


图2 腐解温度对秸秆腐解率的影响

Fig.2 Effect of temperature on the decomposition rate of straw

2.3 水土比对秸秆腐解的影响

在试验条件为腐解温度 20 °C, 腐秆剂用量 0.5 g, 腐解时间为 9 d 情况下, 进行水土比对秸秆腐解影响的试验。结果(图 3)显示, 秸秆的腐解率随水土比的增加而升高, 到达 3 : 1 (质量比) 后, 腐解率开始有所下降。由此可以推断, 水土比对秸秆腐解具有一定影响, 但并不呈正相关, 也有临界最优值。水土比过高会影响氧的传递, 进而影响微生物活动, 还可能造成厌氧环境, 影响秸秆的腐解进程。这与李忠义等^[13] 巴豆秸秆还田试验得出的腐解速率为土埋还田>水淹还田>覆盖还田的结论相类似。本试验中, 秸秆腐解最佳水土比为 3 : 1 (质量比)。

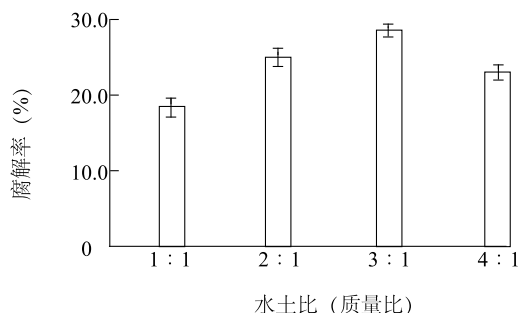


图3 水土比对秸秆样品腐解率的影响

Fig.3 Effect of water-soil ratio on the decomposition rate of straw

2.4 腐秆剂用量对秸秆腐解的影响

在试验条件为腐解温度 20 °C, 腐解时间为 9 d, 水土比为 4 : 1 (质量比) 情况下, 进行腐秆剂用量对秸秆样品腐解影响的试验。结果(图 4)显示, 腐秆剂对秸秆腐解能起到一定的促进作用, 然而当腐秆剂的用量超过最优值时, 秸秆的腐解率有所降低。这是因为腐秆剂多为微生物菌剂, 当腐秆剂用量较小时, 微生物的数量并不多, 无法最大程度使秸秆腐解, 而当腐秆剂用量过高时, 腐秆剂中的微生物菌则

会与土壤微生物竞争秸秆中的营养物质, 使得部分微生物因营养不足而死亡, 从而影响腐解效率。本试验中, 腐秆剂最佳用量为 0.50 g。

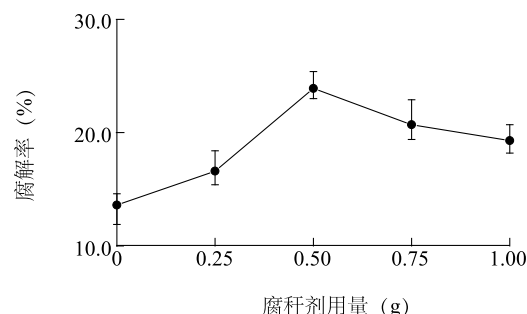


图4 腐秆剂用量对秸秆腐解率的影响

Fig.4 Effect of straw-decomposing inoculant content on decomposition rate of straw

2.5 水稻秸秆腐解过程中养分释放特征及腐解动态

在试验条件为腐解温度 30 °C, 水土比为 3 : 1 (质量比), 腐秆剂用量 0.5 g 的最佳腐解条件下, 测定秸秆在腐解过程中全碳、全氮、全磷和全钾的累积释放率。结果(图 5)显示, 随着腐解时间的推移, 碳、氮、磷养分释放趋势基本保持一致, 呈先快后慢的状态。腐解 6 d 后, 碳、氮、磷的累积释放率分别为 36.6%、39.4%、40.6%。秸秆中全钾释放速率较其他几种元素有明显差异, 前 6 d 钾元素释放迅速, 第 6 d 时释放率就已达到 86.1%, 之后变化不明显。主要原因可能是碳、氮、磷主要以有机物形态存在, 因此不易分解, 释放速率缓慢, 而钾主要以阳离子的形态存在, 容易释放。秸秆腐解 15 d, 4 种营养元素累积释放率从大到小依次是钾>磷>氮≈碳。

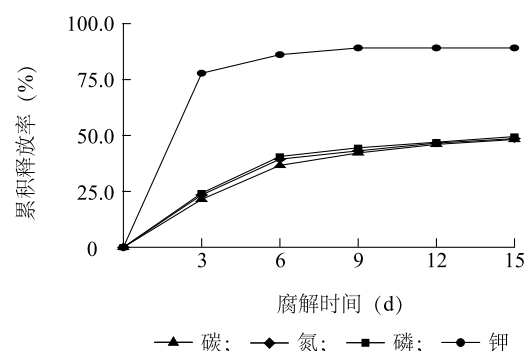


图5 水稻秸秆腐解过程中养分的释放

Fig.5 The release of nutrient in the process of rice straw decomposition

根据水稻秸秆中各养分在最佳条件下的残留动态,用一级动力学方程进行拟合,结果(图 6)显示,碳、氮、磷的相关系数分别为 0.903 5、0.869 7 和 0.866 4,说明拟合方程线性良好,钾的相关系数为 0.680 7,相关性较低,说明用该模型模拟钾残留率变化规律的准确度不高。

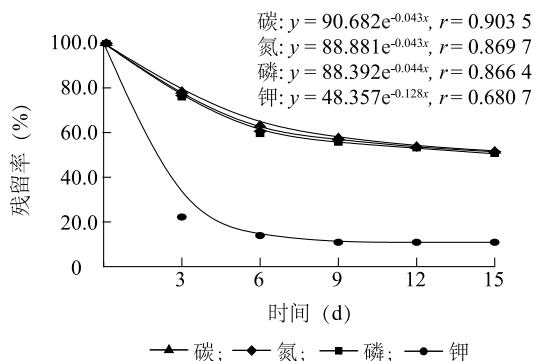


图 6 养分分解动态

Fig.6 The dynamic decomposition of nutrient

用一级动力学拟合参数,表 1 显示,腐解过程中碳和氮的降解半衰期相同,均为 16.120 d,磷降解半衰期稍短于碳和氮,为 15.753 d,钾的降解半衰期最短,为 5.415 d。本次试验的养分释放特征与牛怡^[14]、戴志刚等^[15]的试验结果相同,而且也与武际等^[16]关于腐解过程中养分释放率的结果(钾>磷>氮≈碳)吻合。

表 1 各养分一级降解动力学参数

Table 1 First order degradation kinetic parameters of each nutrient

样品	回归方程	动力学常数 $K(d^{-1})$	相关系数 (r)	降解半衰期 $T_{1/2}(d)$
碳	$y = 90.682e^{-0.043x}$	0.043	0.903 5	16.120
氮	$y = 88.881e^{-0.043x}$	0.043	0.869 7	16.120
磷	$y = 88.392e^{-0.044x}$	0.044	0.866 4	15.753
钾	$y = 48.357e^{-0.128x}$	0.128	0.680 7	5.415

3 讨论

水稻秸秆中含有大量有机质和营养元素,将其作为还田肥料,对改善中国养分失调的土壤有着深远意义。本试验通过建立土壤-水溶液体系,模拟一

系列的自然条件,从而掌握了水稻秸秆在自然环境中的腐解规律。

温度的升高对秸秆腐解有促进作用,但过高的温度会抑制秸秆的腐解。随着水土比的增加,腐解率上升,但当水土比高于最优值后,腐解进程就会被抑制。腐秆剂对水稻秸秆腐解也具有促进作用,但也有一个最优用量,过多亦会对腐解有所抑制。以上试验结果均表明,外界环境对腐解过程有较大影响。

水稻秸秆是微生物(如细菌、真菌和放线菌)很好的食物来源。通过微生物分解,秸秆转化成微生物所需的营养成分。水稻在自然堆肥和诱导堆肥过程中,会产生木质纤维降解放线菌,用于降解水稻秸秆,进而增强土壤肥力。秸秆腐解过程中存在一个复杂的微生物系统,里面含有多个菌种分泌的酶系,秸秆在多种菌种作用下降解。生态环境系统中微生物群落具有多样性特点,多种微生物产生多种酶系,共同使秸秆降解。稳定的群落结构使得各种微生物在降解过程中发挥独特作用。从腐解率变化情况来看,外部条件的改变也使得微生物的种群数量发生改变,从而影响秸秆腐解率。

在温度 30 ℃,水土比为 3:1(质量比),腐秆剂用量为 0.5 g 的最佳腐解条件下,对秸秆腐解的试验结果用一级动力学方程进行拟合,得到碳、氮、磷、钾的降解半衰期分别为 16.120 d、16.120 d、15.753 d、5.415 d,但钾在该模型下的相关性偏低,可以尝试用更适合的模型进行表征。以累积释放率作为测定指标,腐解过程中各元素的变化趋势均表现为前期较快,后期缓慢,累积释放率表现为钾>磷>氮≈碳。在元素测定方法的选择上,碳和氮的累积释放率用灼烧失重法和凯氏定氮法容易产生误差,可以考虑用元素分析法,也可以改变测定指标,研究腐解过程中菌落的变化情况或者纤维素、半纤维素、木质素含量的变化。

参考文献:

- [1] PALMIERI N, FORLEO M B, GIANNOCARO G, et al. Environmental impact of cereal straw management: An on-farm assessment[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 2950-2964.
- [2] 石金明,范敏,席细平,等. 江西省秸秆资源量分析[J]. 能源研究与管理, 2012(1):1-4.
- [3] 常志州,靳红梅,黄红英,等. “十三五”江苏省秸秆综合利用策略与秸秆产业发展的思考[J]. 江苏农业学报,2016,32(3):

- 534-541.
- [4] 杨振兴,周怀平,关春林,等. 秸秆腐熟剂在玉米秸秆还田中的效果[J]. 山西农业科学, 2013, 41(4):354-357.
- [5] 高大响,黄小忠,王亚萍. 秸秆还田及腐熟剂对土壤微生物特性和酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12):468-471.
- [6] 宋朝玉,宫明波,高 倩,等. 长期玉米秸秆还田模式下氮肥用量对玉米生长发育及土壤养分的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(10):55-59.
- [7] 张成喜,孙国强. 尼龙袋技术在动物饲料营养价值评定中的研究进展[J]. 饲料博览, 2016(7):20-23.
- [8] 谢朝怀,李 进,罗 彬,等. 对失重法测定秸秆腐熟度方法修改的探讨[J]. 南方农业, 2012, 6(9):57-58.
- [9] 陈 帅,刘峙嵘,曾 凯. 腐秆剂对水稻秸秆腐解性能的影响[J]. 环境工程学报, 2016, 10(2):839-844.
- [10] 张 薇,付 昀,李季芳,等. 基于凯氏定氮法与杜马斯燃烧法测定土壤全氮的比较研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(35):172-175.
- [11] 杨艳华. 土壤解磷微生物的分离鉴定[D]. 郑州:河南农业大学, 2014.
- [12] 侯淑艳,窦 森,刘建新,等. 温度对玉米秸秆腐解期间腐殖质消长动态的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(4):87-92.
- [13] 李忠义,唐红琴,蒙炎成,等. 不同还田方式下拉巴豆秸秆腐解及养分释放特征[J]. 中国土壤与肥料, 2017(2):130-135.
- [14] 牛 怡. 两种耕作方式下黄土高原旱作农田还田玉米秸秆腐解特征与养分释放研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2014.
- [15] 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.
- [16] 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(2):565-575.

(责任编辑:王 妮)