

DOI: 10.5846/stxb201405100950

周柳强, 黄美福, 罗文丽, 区惠平, 曾艳, 黄金生, 谭宏伟. 粉碎和添加菌剂对红壤区自然堆沤条件下稻秆养分释放的影响. 生态学报, 2014, 34(18): 5200-5205.

Zhou L Q, Huang M F, Luo W L, Ou H P, Zeng Y, Huang J S, Tan H W. Straw nutrient releasing regularity under comminution and adding stem rot agent in red soil region. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(18): 5200-5205.

粉碎和添加菌剂对红壤区自然堆沤条件下 稻秆养分释放的影响

周柳强^{1,*}, 黄美福¹, 罗文丽¹, 区惠平¹, 曾艳¹, 黄金生¹, 谭宏伟²

(1. 广西农科院农业资源与环境研究所, 南宁 530007; 2. 广西农科院甘蔗研究所, 南宁 530007)

摘要:通过对新鲜稻秆进行粉碎或添加菌剂处理,探索在红壤区气候条件下,稻秆加速腐化的技术措施及其 N、P、K 养分释放特征,为合理利用秸秆的养分资源提供科学依据。在每个 60cm×120cm 的 200 目尼龙滤布袋装入 5kg 新鲜水稻秸秆,设置原状、粉碎、粉碎+腐熟剂和粉碎+农家肥等 4 种处理,尼龙滤布袋放置在田间自然条件下堆沤,在处理后的第 0、10、28、35、51、74 天和 91 天采集样本测定秸秆的干物质、水分和氮、磷、钾养分含量,求算秸秆的干物质腐解及养分释放规律。经过 91d 自然堆沤置放后,粉碎过的稻秆,干物质腐解率比不处理的水稻秸秆提高 4.2% (绝对值,下同),N、P、K 养分释放率提高 10.4%、6.8%、12.2%;在粉碎的基础上,添加菌剂后的干物质腐解率提高 6.3%—7.3%,N、P、K 养分释放率提高 1.0%—5.8%、11.6%—14.9%、2.2%—5.3%;粉碎后的水稻秸秆在腐解 20d 内 P 素养分的释放强度在腐解高峰期明显受到抑制,但添加菌剂后,则消除了对 P 素释放的抑制作用。秸秆粉碎后加入腐熟剂或农家肥均促进秸秆的腐解和氮磷钾的释放,商品腐熟菌剂若无针对性,则对水稻秸秆的腐熟无明显效果。

关键词:水稻秸秆;红壤区;腐解规律;养分释放

Straw nutrient releasing regularity under comminution and adding stem rot agent in red soil region

ZHOU Liuqiang^{1,*}, HUANG Meifu¹, LUO Wenli¹, OU Huiping¹, ZENG Yan¹, HUANG Jinsheng¹, TAN Hongwei²

1 Agricultural Resources and Environmental Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China

2 Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China

Abstract: Finding methods to accelerate the straw decomposition provides a scientific basis for straw utilization in red soil region. An experiment was conducted to compare the effects of straw treated with comminution and added stem rot agent on the nutrient releasing regularity of N, P and K. Four treatments were designed including *in-situ* (CK), crushing, crushing + stem rot agent and crushing + farmyard manure. Each of five kg of fresh rice straw was packed in 200 mesh nylon filter bag with a size of 60 cm×120 cm, then placed in the field conditions. The dry matter, moisture and N, P, K nutrient of straw were measured in 0, 10, 28, 35, 51, 74 and 91 days. The results showed that crushing treatment increased the straw decomposition rate by 4.2% compared with CK in 91th day, and the N, P and K nutrient release accordingly increased by 10.4%, 6.8% and 12.2%, respectively. Under crushing combined with stem rot agent treatment, the straw decomposition rate was increased significantly by 6.3%—7.3%, and N, P and K nutrient release increased by 1.0%—5.8%, 11.6%—14.9% and 2.2%—5.3%, respectively. However, P release was obviously inhibited in 20 days under crushing treatment,

基金项目:国家自然科学基金(U1033004);广西农科院基金(2011JM12,2014JZ18);农业部科技专项(201203030,201003014,201203021)

收稿日期:2014-05-09; **修订日期:**2014-08-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lqzhou@gxaas.net

while crushing +microbes treatment did eliminated this inhabitation phenomenon. Rice straw treated with crushing combined with stem rot agent or farmyard manure could promote straw decomposition and nutrient release, but the promotion effect is not significant when combined with non-specific stem rot agent.

Key Words: rice straw; red soil; decomposing regulate; nutrient release

秸秆中含有丰富的营养元素,据相关报道表明,世界上每年大约有 20 亿 t 的秸秆资源来自种植的各种谷类作物,但其中被利用的部分仅占 10%左右,我国每年生产约 7 亿 t 的秸秆,其中被利用的不足 2000 万 t,约 97%的秸秆被焚烧、堆积或者遗弃^[1-2],广西农业秸秆资源年理论总产量超过 5000 万 t,但综合利用率不足 30%,经过技术处理后利用不足 5%^[3-4],由于稻秆的腐化速率慢,影响稻田的机耕耘耙,许多农民在水稻收割后就地焚烧稻草秸秆,造成大量的资源浪费。因此,如何加快稻秆的腐化速率,是秸秆资源化应用重要的科学技术瓶颈问题。国内许多学者的研究结果表明,粉碎处理可以促进秸秆的腐解^[2,5-7],填埋深度不同也影响秸秆的腐解速度^[8],添加有利于秸秆腐解的微生物菌剂^[9]或通过调节秸秆 pH、C/N 比等多种方式均可有效的促进秸秆的腐解速度^[10-11];随着水稻收割机械化的逐渐普及,秸秆粉碎已成为稻谷收获的结果,如何加速粉碎后的秸秆的自然腐解速率,并形成有效的简易技术向农民推荐,是秸秆养分有效利用需要解决的现实问题,本研究对刚收获的新鲜水稻秸秆经人工粉碎,然后通过淋农家肥液(自然菌剂)及添加商业的腐熟菌剂,探索水稻秸秆在自然环境下的腐解速率及养分释放的影响,现把本研究的结果总结如下。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2012 年 7 月—10 月在广西南宁市广西农科院试验基地的水田田面上进行堆沤处理(期间田面不再进行耕作),土壤类型为第四纪红土发育的水稻土,供试材料为收割后第 2 天的新鲜水稻秸秆。

1.2 试验处理和试验条件

秸秆堆沤腐解在密闭的尼龙滤袋中进行,尼龙网袋规格为 60cm×100cm,孔径 200 目。每个尼龙滤袋装新鲜秸秆 5kg,各处理扎好后平摊置放在水田田面上,试验区四周开有排水沟,接受自然条件下的日

晒雨淋;期间的日平均气温在 22—29℃,极端高温为 35.5℃,极端低温 16.8℃,降雨天数为 48d,降雨量 0.5—215mm,总降雨量为 848.6mm。设如下处理:CK(原状秸秆(大约 65cm))、粉碎秸秆(秸秆长度短于 2cm)、粉碎秸秆+菌剂和粉碎秸秆+农家肥。其中粉碎秸秆+菌剂处理所用腐熟剂为本地市场上随机购买的商业有机物料腐熟剂(包装袋上标注有效活菌数 0.5 亿/g),每个尼龙滤袋用量为 60g,兑 3 kg 水喷洒。粉碎秸秆+农家肥处理所用农家肥为普通农家猪粪水,按猪粪水 1:5 比例兑成肥水(养分测试结果 N 712 mg/L, P₂O₅ 38mg/L, K₂O 650mg/L),每个尼龙滤袋喷洒 3kg 肥水。CK 和粉碎处理每个尼龙滤袋喷洒 3 kg 清水,使秸秆充分吸收水分。各处理均设 3 次重复。

1.3 采样和分析方法

试验于 2012 年 7 月 24 日开始,分别于秸秆处理后的第 0、10、28、35、51、74 天和 91 天采集腐解袋中部秸秆样品,测定含水量、干物质及氮、磷、钾养分含量,单位干物质的减轻及其 N、P、K 养分总量的减少部分,均被视为秸秆被微生物所腐解后,释放到自然环境中(加农家肥粪水处理及添加商品菌剂所带来的养分与秸秆腐解释放的养分相比,数量太少,忽略不计),从而求算秸秆干物质的腐解强度、氮、磷、钾释放强度及试验期间的秸秆的腐解率。采集的秸秆样本在采样 2h 内测定含水量,并经 110℃ 高温灭菌 1h 后,再降温到 50—60℃ 抽风干燥箱烘干 24h,粉碎制样。样本均用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,用开氏定氮法、钼锑钨比色法和火焰光度法分别测定秸秆样本中的全氮、磷、钾养分含量。

腐解率(%) = (开始腐解的干物质量 - 试验结束后干物质量) / 开始腐解的干物质量 × 100 (1)

腐解强度(g kg⁻¹ d⁻¹) = 单位腐解率(g/kg) / 腐解时间(d) (2)

1.4 统计分析

使用 Excel 进行数据计算和图表制作,用 DPS

软件对数据进行统计分析。

2 结果分析

2.1 不同秸秆处理方式对水稻秸秆干物质腐解动态的影响

新鲜水稻秸秆,经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理后,在腐解的初期(0—10d),干物质的平均腐解强度明显获得增强,腐解强度提高了13.6—46.3%,以添加商品菌剂处理的腐解强度的提高幅度最为显著,这可能与微生物群落突然增加有关,粉碎处理增加秸秆与环境的接触面,环境微生物的侵入,亦可提高微生物群落数量。腐解10d以后,各处理平均腐解强度明显比前期降低,以粉碎处理的降低幅度最为明显,平均腐解强度仅为前一时期的19.8%,亦明显低于同时期的对照处理,仅为对照

处理的48.6%,这一时期的腐解强度明显降低可能与微生物腐解过程中氮素供应不足有关;经过35d的自然腐解后,各处理的干物质腐解强度又明显升高,经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理的秸秆平均腐解强度又明显高于对照处理;在91d观测试验6次采样测试获得的数据表明,水稻秸秆的腐解强度是一种螺旋式的升高—降低—再升高—再降低并逐步降低的过程,整个试验期间,经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理后的干物质平均腐解强度比对照(原状)处理提高0.73—1.79 g kg⁻¹ d⁻¹,提高幅度为9.5%—23.2%。本试验的结果说明,新鲜水稻秸秆经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理后,在腐解前期能明显促进秸秆的干物质腐解,经过腐解高峰后,各处理与对照基本趋于一致。

表1 不同秸秆处理下水稻秸秆干物质腐解强度的变化(g kg⁻¹ d⁻¹)

Table 1 Rice straw decomposing intensity under different treatments

秸秆腐解时间 Straw decay time	CK(原状) Control (<i>In-site</i>)	粉碎 Crushing	粉碎+菌剂 Crushing + stem rot agent	粉碎+农家肥液 Crushing + farmyard manure
07-24—08-03	13.46cC	17.13bB	20.94aA	18.43bB
08-03—08-20	6.58aA	3.39bB	6.35aA	5.76aA
08-20—08-28	11.88dD	13.50cC	14.70bB	17.39aA
08-28—09-13	6.99bB	8.23aA	5.25cC	5.37cC
09-13—10-06	5.72cC	7.12bB	7.64bAB	8.32aA
10-06—10-23	1.65aA	1.32bB	1.36bB	1.73aA
平均 Average	7.71aA	8.45aA	9.37aA	9.50aA

不同采样时期间: $F=43.78$; * * $LSD_{0.05}=2.433$ (g kg⁻¹ d⁻¹); $LSD_{0.01}=3.365$ (g kg⁻¹ d⁻¹)

2.2 不同秸秆处理方式对水稻秸秆养分含量变化的影响

秸秆在腐解过程中,N 养分含量基本呈初期显著下降,然后逐步提高的趋势;P 养分含量初期稍下降,然后逐步提高的趋势;而 K 养分初期稍有提高,然后逐步下降的趋势。

新鲜水稻秸秆,经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理后,各腐解阶段的 N、P、K 养分含量均明显高于对照处理,这可能与微生物群落数量提高有一定的关系;粉碎与粉碎+菌剂处理间的 N、P、K 养分含量差异基本不明显。

表2 不同秸秆处理方式的不同腐解时期的秸秆养分含量(g/kg)

Table 2 Straw nutrient content under different treatments in different sampling time

养分 Nutrient	采样时期 Sampling time	CK(原状) Control (<i>In-site</i>)	粉碎 Crushing	粉碎+菌剂 Crushing + stem rot agent	粉碎+农家肥液 Crushing + farmyard manure
N	07-24	25.49	25.49	25.49	25.49
	08-03	11.97bB	14.50aA	13.96aA	14.64aA
	08-20	13.11bB	16.86aA	16.48aAB	17.92aA
	08-28	14.62cC	17.34bB	17.62bB	19.96aA
	09-13	14.05cC	19.26aA	18.56bB	18.97aAB
	10-06	17.54cBC	19.43aA	16.93cC	18.52bAB
	10-23	17.98dC	20.70aA	18.81cBC	19.58bB

续表

养分 Nutrient	采样时期 Sampling time	CK(原状) Control (<i>In-situ</i>)	粉碎 Crushing	粉碎+菌剂 Crushing + stem rot agent	粉碎+农家肥液 Crushing + farmyard manure
P	07-24	1.910	1.910	1.910	1.910
	08-03	1.505 bB	1.677 abAB	1.690 aAB	1.795 aA
	08-20	1.613 cB	1.789 bcAB	1.800 abAB	1.978 aA
	08-28	2.107 dD	2.274 cC	2.389 bB	2.500 aA
	09-13	2.002 bB	2.109 bAB	2.443 aA	2.466 aA
	10-06	2.842 bA	2.968 abA	3.054 aA	3.092 aA
	10-23	2.866 bA	3.130 aA	3.236 aA	3.274 aA
K	07-24	16.60	16.60	16.60	16.60
	08-03	20.42 bB	21.85 aA	21.36 aAB	21.23 abAB
	08-20	16.03 bA	18.48 aA	17.77 aA	17.59 abA
	08-28	16.32 cB	18.18 bA	19.25 aA	17.69 bAB
	09-13	17.36 dC	21.03 aA	19.55 bB	18.44 cBC
	10-06	8.77 bB	10.26 aA	10.18 aA	9.65 aAB
	10-23	10.17 cC	12.54 aA	12.34 aAB	11.70 bB

2.3 不同秸秆处理方式对水稻秸秆养分腐解动态的影响

秸秆的腐解与秸秆的 C/N 比有密切相关,有机 C 的腐解是 NPK 养分腐解的基础^[10],有机 C 腐解过程中的养分释放,对微生物群落的发展变化有直接的影响(图 1),不同秸秆处理后,N、P、K 养分腐解 27d 内有明显的差异,在相同的自然环境下,粉碎处

理后的秸秆,P 素养分的腐解高峰期的腐解强度明显受到抑制,腐解强度比对照处理降低了 43.1%,但添加菌剂后,则消除了 P 素腐解的被抑制作用;经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理后,在整个腐解试验期内(91d)的 N、K 养分腐解强度普遍均高于对照处理,其中 K 养分在腐解 10d 内的平均腐解强度比对照明显提高了 36.3%—62.9%。

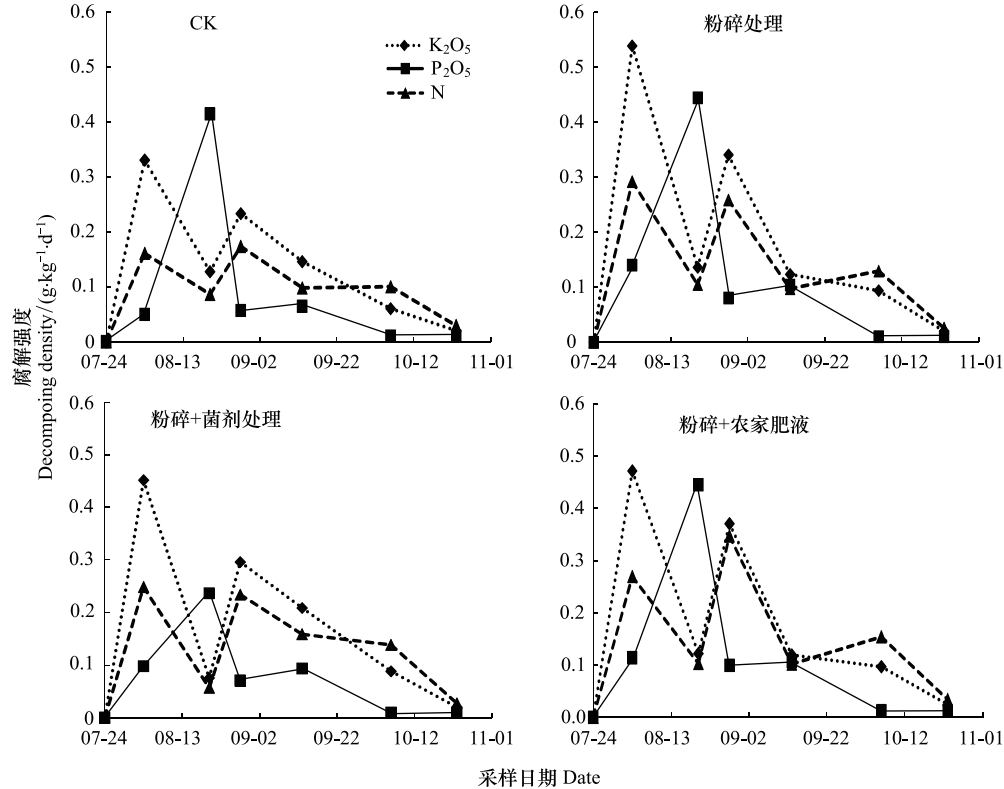


图 1 不同处理方式对水稻秸秆养分腐解强度的影响
Fig.1 Nutrient release of rice straw under different treatments

2.4 不同秸秆处理方式对水稻秸秆腐解率的影响

新鲜水稻秸秆,经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理 91d 后,干物质、N、P、K 养分的腐解率分别比对照提高 4.2%—11.5% (绝对值,下同)、10.4%—16.2%、6.8%—21.7%、12.2%—17.5%;添加菌剂后,水稻秸秆的干物质、N、P、K 养分腐解率亦

提高了 6.3%—7.3%、1.0%—5.8%、11.6%—14.9%、2.2%—5.3%,可见粉碎和添加菌剂处理,均可促进水稻秸秆的腐解和养分的释放,商品性的菌剂与自然条件下的常规菌剂(农家肥水)对水稻秸秆腐解,本试验条件下无明显的优势。

表 3 不同秸秆处理方式下水稻秸秆腐解率/%

Table 3 Rice straw decompose rate under different treatments

养分 Nutrient	CK(原状) Control (<i>In-site</i>)	粉碎 Crushing	粉碎+菌剂 crushing + stem rot agent	粉碎+农家肥液 crushing + farmyard manure
干物质 Dry matter	61.30 cC	65.46 bB	71.79 aA	72.81 bB
N	34.74 cC	45.11 bB	46.08 bA	50.91 aA
P ₂ O ₅	47.16 cB	53.93 bB	65.58 bAB	68.85 aA
K ₂ O	57.14 bB	69.32 bAB	74.60 aA	71.53 aAB

3 结论与讨论

本试验的结果说明,粉碎、添加自然菌剂均可以加速水稻秸秆的腐解,在 91d 内,粉碎的水稻秸秆,干物质腐解率比不处理的水稻秸秆提高 4.2% (绝对值,下同),N、P、K 养分释放率提高 10.4%、6.8%、12.2%。水稻秸秆的外部形态影响干物质腐解量和腐解率,一方面粉碎后的秸秆总表面积增加,增大了与外界环境的接触面,秸秆接触面越大,微生物繁殖生长面随之越大,微生物数量增多,促进秸秆的腐解和养分的释放;另一方面原状水稻秸秆紧密度低,水分挥发流失快,而粉碎后的秸秆紧密度高,锁水能力优于原状秸秆,腐解过程中微生物的繁殖生长需要保持一定的水分条件,水分含量低,微生物生长受阻,不利于腐解的进行和养分的释放。在粉碎的基础上,添加菌剂后的干物质腐解率提高 6.3%—7.3%,N、P、K 养分释放率提高 1.0%—5.8%、11.6%—14.9%、2.2%—5.3%。微生物对有机化合物分解起重要作用,外源微生物的加入,在适宜的条件下能增加秸秆微生物数量,而微生物分泌物是多种酶的来源,酶活性增加可加速各种物质分解,提高干物质腐解率和养分释放率^[5,8,11]。

新鲜水稻秸秆经粉碎、粉碎+菌剂(农家肥和商业菌种)处理后,在腐解前期能明显促进秸秆的干物质腐解,经过腐解高峰后,各处理与对照基本趋于一致。水稻秸秆腐解速率总体表现为早期快后期慢的特点,最后趋于平稳^[9,11,14],在一些研究中,水稻秸秆

的腐解高峰在腐解前 15d^[11]。秸秆外部形态不同,造成结果过程中的水分和微生物生长面不同,腐解前期,粉碎、粉碎+菌剂处理的秸秆在适宜的条件下促进微生物生长,加快秸秆组织结构的破坏,易分解物质被快速分解,腐解量明显比原状秸秆提高。随着腐解的进行,一方面易分解物质逐渐减少,粉碎、粉碎+菌剂处理的秸秆对秸秆的腐解难以有明显的提高,另一方面,原状秸秆的紧密度逐渐增加,水分条件逐渐转好,对微生物的繁殖较之前有一定的促进作用,在一定程度上可促进干物质的腐解,最后各处理间的干物质腐解量逐渐趋于一致。

粉碎后的水稻秸秆在腐解 20d 内 P 素养分的腐解高峰期的腐解强度明显受到抑制,但添加菌剂后,则消除了 P 素腐解的被抑制作用;N、K 养分腐解强度普遍均高于对照处理。在秸秆腐解过程中,微生物不断以碳源物质为能源,利用秸秆腐解的各种养分合成自身所需物质,在微生物和酶的作用下,部分氮素被分解成铵态氮或硝态氮等无机氮形式,以气态或水溶态形式释放^[15]。粉碎、粉碎+菌剂处理在腐解前期干物质腐解量明显高于对照处理,提供给微生物的能源物质增加,促进微生物生长和酶活性增加,对 N 素分解释放随之增加。秸秆中的钾绝大部分以离子态形式存在^[12],容易随水流失,粉碎后的秸秆增大整体表面积,K 更容易随分水移动而流失。秸秆中 P 的腐解受酶活性影响较大,特别是磷酸酶。本试验中,原状秸秆 P 腐解强度比单纯的粉碎秸秆处理高,而加入外源微生物菌剂后,P 腐解强

度与对照无明显差异,可能是外源菌剂增加一定的微生物种群和数量在一定程度上提高了磷酸酶活性,但具体原因还有待进一步研究。

秸秆的腐熟需要一定特征的微生物群落,本试验选用的腐熟菌剂可能对水稻的腐解并未形成优势群落,虽然能在一定程度增加秸秆干物质腐解量和 N、K 的释放,但总体效果稍差于农家肥带有的微生物群落,因而选用商品腐熟剂时应对该菌落特征有所了解后慎重采用。

References:

- [1] Hu H X, Ma Z W, Shao Z Y. Decomposition characteristics of returned straw. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012, (5): 44-46.
- [2] Zhang Q L. Present situation and analysis of rice straw returning. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2006, (8): 223-223.
- [3] Lu M Y, Yu P F, Dong Y C, Xu Y H, Li X H. Study on development of straw comprehensive utilization technology in Guangxi. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 24(6): 2420-2423.
- [4] Liu Y X, Liang Q F, Li F S, Liu Q K, Zhong J J, Cai L M, Ye X D. Current status of low-carbon agriculture in Guangxi and its development strategies. *Journal of Southern Agriculture*, 2011, 42(4): 453-456.
- [5] Kuang E J, Chi F Q, Su Q R, Zhang J M, Jin L. Decomposition characteristics of maize straws under different returning methods. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(2): 99-101, 106-106.
- [6] Kuang E J. Decomposition characteristics of soybean stalk under different stalk returning method. *Soybean Science*, 2010, 29(3): 479-482.
- [7] Ma Y L, Yu Z R, Jiang Y H, Luo W. Comparison of decomposition rates of maize straw between two kinds of straw incorporation. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(6): 68-70.
- [8] Chen Y J, Zhou J H, Li Q, Xie Y, Liu J H. Decomposition characteristics of stalk decomposition accelerator on different crop-stalks. *Hunan Agricultural Sciences*, 2011, (1): 19-21, 25-25.
- [9] Dai Z G, Lu J W, Li X K, Lu M X, Yang W B, Gao X Z. Nutrient release characteristic of different crop straws manure. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(6): 272-276.
- [10] Han L N, Wang Z H, Li J G. Effects of inoculating microbes on banana pseudostem composting. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2012, 6(11): 4215-4222.
- [11] Hu H X, Wang Y F, He F, Di Y F. Decomposition characteristics of rice straw and its increasing yield effect. *Soil and Water Conservation in China*, 2012, (7): 51-53.
- [12] Li F Y, Sun X F, Feng W Q, Qin Y S, Wang C Q, Tu S H. Nutrient release patterns and decomposing rates of wheat and rapeseed straw. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 374-380.
- [13] Wang Y Q, Guo X S. Decomposition characteristics of crop-stalk under different incorporation methods. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3): 607-610.
- [14] Zhai X C, Liu M, Li Z P, Xu Y C. Effect of different additives on decomposition of rice straw. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(12): 2412-2419.
- [15]
- 参考文献:
- [1] 胡宏祥, 马中文, 邵致远. 还田秸秆腐解特征研究. *湖南农业科学*, 2012, (5): 44-46.
- [2] 张庆玲. 水稻秸秆还田现状与分析. *农机化研究*, 2006, (8): 223-223.
- [3] 陆宇明, 于平福, 董颖聪, 徐有海, 李小红. 广西秸秆综合利用科技发展研究. *西南农业学报*, 2011, 24(6): 2420-2423.
- [4] 刘永贤, 梁崎峰, 李伏生, 刘其葵, 钟俊军, 蔡利民, 叶小冬. 广西低碳农业发展现状与对策. *南方农业学报*, 2011, 42(4): 453-456.
- [5] 匡恩俊, 迟凤琴, 宿庆瑞, 张久明, 金梁. 不同还田方式下玉米秸秆腐解规律的研究. *玉米科学*, 2012, 20(2): 99-101, 106-106.
- [6] 匡恩俊. 不同还田方式下大豆秸秆腐解特征研究. *大豆科学*, 2010, 29(3): 479-482.
- [7] 马永良, 宇振荣, 江永红, 罗维. 两种还田模式下玉米秸秆分解速率的比较. *生态学杂志*, 2002, 21(6): 68-70.
- [8] 陈银建, 周冀衡, 李强, 解燕, 刘加红. 秸秆腐解剂对不同作物秸秆腐解特征研究. *湖南农业科学*, 2011, (1): 19-21, 25-25.
- [9] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 鲁明星, 杨文兵, 高祥照. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 272-276.
- [10] 韩丽娜, 王泽槐, 李建国. 接种外源微生物菌剂对香蕉茎秆堆肥的影响. *环境工程学报*, 2012, 6(11): 4215-4222.
- [11] 胡宏祥, 汪玉芳, 何方, 邸云飞. 水稻秸秆的腐解特征及其培肥增产作用研究. *中国水土保持*, 2012, (7): 51-53.
- [12] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 秦鱼生, 王昌全, 涂仕华. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(2): 374-380.
- [13] 王允青, 郭熙盛. 不同还田方式作物秸秆腐解特征研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(3): 607-610.
- [14] 翟修彩, 刘明, 李忠佩, 徐阳春. 不同添加剂处理对水稻秸秆腐解效果的影响. *中国农业科学*, 2012, 45(12): 2412-2419.
- [15] 匡石滋, 李春雨, 田世尧, 邝瑞彬, 易干军, 刘传和. 复合菌剂对香蕉茎秆堆肥中微生物和养分含量的影响. *中国农学通报*, 2011, 27(6): 182-187.