

低温菌对冬季水稻秸秆发酵腐解特性的影响

关法春¹, 刘亮¹, 苗彦军², 刘会芳³, 张永锋¹, 吴玉德², 贺延国⁴

(1. 吉林省农业科学院, 吉林 长春 130033; 2. 西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 3. 佳木斯大学生命科学学院, 黑龙江 佳木斯 154007; 4. 中水东北勘测设计研究有限责任公司科学研究院, 长春 吉林 130061)

摘要:以青藏高原极端环境下的微生物为主, 制成低温生物菌剂, 应用于冬季稻田内水稻秸秆的原位发酵, 研究水稻秸秆在冬季施用生物菌剂低温发酵后的质量和养分变化。结果表明: 随着秸秆低温发酵时间的延长, 水稻秸秆的总有机质含量逐渐降低, 而水稻秸秆全氮、全磷和全钾则逐步增加, 不同时期秸秆总有机质、全氮、全磷和全钾指标, 结果之间差异极显著($P < 0.01$, $n = 3$)。试验末期测得水稻秸秆失重率为 58.26%, 而 18.34% 的秸秆 C/N 比说明秸秆已经腐熟; 同时 C/N 比与失重率呈极显著负相关($r = -0.947$, $P < 0.01$)。水稻秸秆发酵的综合质量量化评价结果也表明, A0424 秸秆发酵的综合质量投影值为 2.2644, 远高于其他。低温生物菌剂应用于水稻秸秆的冬季发酵, 效果明显。

关键词:低温菌; 水稻秸秆; 发酵腐解; 养分释放

中图分类号: S18

文献标志码: A

文章编号: 2095-4271(2019)04-0338-05

Effects of psychrophilic bacteria on the fermentation and decomposition characteristics of rice straw in winter

GUAN Fa - chun¹, LIU Liang¹, MIAO Yan - jun², LIU Hui - fang³,
ZHANG Yong - feng¹, WU Yu - de², HE Yan - guo⁴

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, P. R. C.; 2. Tibetan College of Agriculture & Animal Husbandry, Linzhi 860000, P. R. C.; 3. School of Life Science, Jiamusi University, Jiamusi 154007, P. R. C.; 4. Chinese Water Northeastern Investigation and Design Research Co. Ltd., Jilin 130061, P. R. C.)

Abstract: The microorganisms from the extreme environment of the Qinghai - Tibet Plateau were used to make low temperature microbial agents for in - situ fermentation of rice straw in paddy fields in winter. The quality and nutrient changes of rice straw after low temperature fermentation with microbial agents in winter were studied in this paper. The results showed that the total organic matter content of rice straw decreased gradually and the total nitrogen, total phosphorus and total potassium of rice straw increased gradually with the extension of straw fermentation time at low temperature, but there were significant differences in total organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium among indices in different periods. The weight loss rate was 58.26%, and the C/N ratio of rice straw was 18.34% in the end of trial, which meet the standards of maturity. At the same time, C/N ratio was significantly negatively correlated with the rate of weight loss ($r = -0.947$, $P < 0.01$). Quantitative evaluation of comprehensive quality of rice straw fermentation also showed that the projection value of comprehensive quality of straw fermentation was 2.2644 for A0424, which was much higher than the other two. The application of cryogenic microbial bacteria in fermentation of rice straw in winter has achieved obvious results.

收稿日期: 2019-04-30

作者简介: 关法春 (1976-), 男, 副研究员, 博士, 研究方向: 为农业生物学. E-mail: gfc1940@163.com

基金项目: 吉林省农业科技创新工程项目 (CXGC2018ZY026, CXGC2017ZD012); 国家水稻现代农业产业技术体系项目 (CARS - 01

Key words: psychrophilic bacteria; rice straw; fermentation and decomposition; nutrient release

东北地区农作物秸秆总量大、密度高,每年均有大量秸秆闲置,处理困难。秸秆还田是物质回流土壤、改善土壤质量的重要途径^[1],但是受东北地区长达半年的冰冻低温等因素影响,秸秆原位直接还田面临腐解程度差、土壤保墒低、病虫害流行等突出问题^[2],致使应用受限。针对东北地区秸秆的巨大规模,应用耐低温生物菌来实现秸秆冬季发酵堆肥后还田,是彻底实现秸秆消纳、培肥土壤的根本途径^[3]。耐低温菌可以在低温条件下氧化外源物质,从而降低了发酵堆启动温度,但以往有限的低温菌系堆肥研究多主要在菌剂研发^[4]、堆肥成分变化^[5]、堆肥过程监测^[6]等方面,而在高寒地区冬季低温条件下的秸秆低温发酵堆肥,尤其是在东北冬季酷寒条件下的秸秆发酵方面,相关报道则较为有限。

从极端环境中采集耐低温细菌,并进行筛选、鉴定和培养,是培育适合冬季低温下秸秆发酵菌的重要途径。本文以青藏高原极端低温环境下的微生物为主,制成低温生物菌剂,应用于冬季稻田内水稻秸秆的原位堆制发酵,研究水稻秸秆在冬季施用生物菌剂进行低温发酵后的质量和养分变化,明确低温发酵菌剂对冬季水稻秸秆原位低温发酵的腐解效果,并采用投影寻踪方法对不同时期的发酵效果予以量化直观评价,以期提供一条解决高寒地区冬季秸秆原位直接还田腐解困难问题的技术途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

稻草秸秆来自吉林省柳河县姜家店乡蛙田米业公司基地秋收的普通水稻秸秆,未进行任何粉碎和提前加工,供试秸秆共计10吨。

低温发酵菌系采集地点位于西藏山南地区浪卡子县(29°13'16.5" N 90°20'56.5" E),海拔高度5016m,从高山石窝下累积的植物半腐解凋落物中分离低温菌系,经筛选、培养后,与市售酵母菌、芽孢杆菌、固氮菌等按一定比例复配制成低温菌剂,

1.2 试验设计

2018年11月27日进行冬季水稻秸秆低温发酵

试验(白天气温为-17℃)。首先将低温发酵菌剂40kg、稻糠250kg、红糖30kg、尿素50kg混合,作为发酵底料;然后将水稻秸秆平摊在4m×8m的稻田地面上,边摊秸秆边喷水、边撒入发酵底料,逐层添加,最终使水分达到60~65%左右,堆积成长方形发酵垛,覆盖塑料棚膜,完成发酵堆的构建。2019年1月10日翻堆一次,并再次覆盖好塑料棚膜,直至4月下旬春季整地前发酵试验完成。

分别于2018年11月27日、2019年1月26日和4月24日从发酵垛中心随机抽取秸秆发酵样,3次重复,按照采样时间顺序样品依次编码为A1127、A0126、A0424;将样品自然风干后装袋备测,并按照NYT 2722-2015中的方法测定秸秆失重率(weight loss rate, WLR)。总有机质、全氮、全磷、全钾等成分含量分别按照NY525-2012、NY2542-2014、NY2541-2014、NY2540-2014标准,委托吉林省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所检测中心进行测定;碳氮比(C/N)为秸秆总有机质与全氮的比值。

1.3 数据处理

利用Excel 2003统计处理数据,SPSS 17.0单因素方差分析判断差异显著性,置信水平95%;对水稻秸秆发酵各指标进行综合性的量化评价采用投影寻踪模型进行评判,其具体建模步骤参见文献[7]和文献[8]。

2 结果与分析

2.1 低温发酵对秸秆养分含量的影响

随着秸秆低温发酵时间的延长,水稻秸秆的总有机质含量逐渐呈现降低的趋势(见表1)。2018年11月27日、2019年1月26日和4月24日三次取样的总有机质平均含量分别为56.47%、54.97%和50.93%,不同时期测定结果间差异极显著($P < 0.01$, $n = 3$)。说明低温发酵对秸秆总有机质含量影响显著。

而水稻秸秆全氮、全磷和全钾则随着秸秆低温发酵时间的延长,呈现逐步增加的趋势(见表1)。2018年11月27日、2019年1月26日和4月24日,三次

取样时期的全氮平均含量 1.26%、1.26% 和 2.78%，全磷平均含量 0.27%、0.31% 和 0.43%，全钾平均含量 3.91%、4.18% 和 5.29%，上述全氮、全磷和全钾

指标不同时期测定结果间差异极显著($P < 0.01$, $n = 3$)。

表 1 秸秆养分含量指标
Table 1 Nutrient content index of straw

项目 Items	样品 Samples		
	A1127	A0126	A0424
总有机质 Total organic matter (%)	56.47 ± 0.37 A	54.97 ± 0.21 B	50.93 ± 0.14 C
全氮 Total N (%)	1.26 ± 0.01 C	1.73 ± 0.01 B	2.78 ± 0.02 A
全磷 Total P (%)	0.27 ± 0.01 C	0.31 ± 0.01 B	0.43 ± 0.01 A
全钾 Total K (%)	3.91 ± 0.08 C	4.18 ± 0.07 B	5.59 ± 0.03 A

注:同一列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著.下同.

Note: Different lowercase letters in each column indicate a difference between treatments at the 0.05 significance level, and different uppercase letters indicate a difference between treatments at the 0.01 significance level. The same below.

2.2 低温发酵对秸秆失重率和碳氮比的影响

低温发酵的不同阶段,水稻秸秆的失重率差异明显(见图 1-A). 取样秸秆腐解速度较慢,1 月 26 日取样测定的秸秆失重率仅为 11.53%,发酵结束后,水

稻秸秆的失重率为 58.26%,不同时期测定结果间差异极显著($P \leq 0.01$, $n = 3$)水稻秸秆载发酵后单位体积密度大幅减少. 经过 5 个月的发酵后,水稻秸秆的平均失重速度为 11.65%/月.

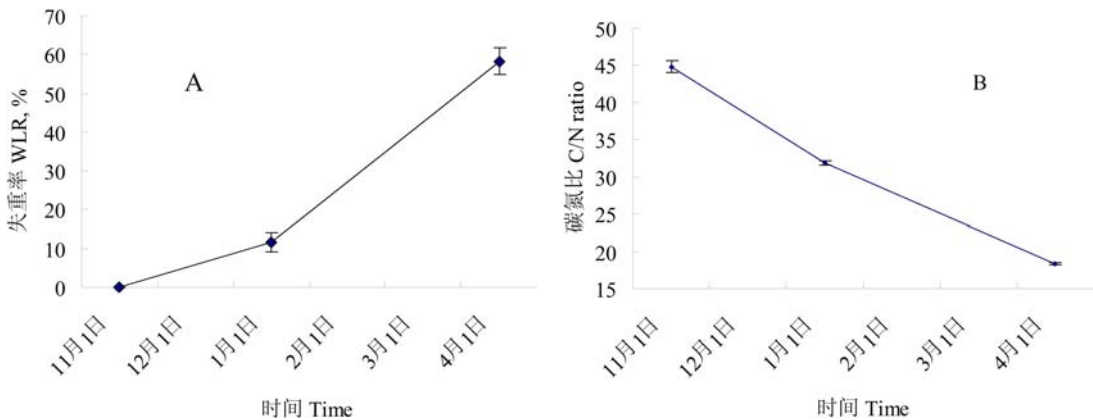


图 1 低温发酵过程中的秸秆失重率和碳氮比变化

A: 秸秆失重率; B: 碳氮比

Fig. 1 Weight loss rate and C/N ratio of straw during low-temperature fermentation

C/N 比反映了秸秆腐解的基本特征,是堆肥质量和腐熟程度的常用指示因子之一. 从结果来看(见图 1-B),2018 年 11 月 27 日、2019 年 1 月 26 日和 4 月 24 日三次取样的碳氮比平均数值为 44.82%、31.84% 和 18.34%,不同时期测定结果间差异极显著($P < 0.01$, $n = 3$).

2.3 秸秆 C/N 比与失重率的相关性分析

随着发酵进程,秸秆失重逐渐增加而秸秆 C/N 比则逐步降低, C/N 比与其失重率呈极显著负相关($r = -0.947$, $P < 0.01$),说明秸秆发酵过程中,其失重率越大,秸秆 C/N 比则越低.

2.4 不同时期水稻秸秆发酵的综合质量量化评价

以总有机质、碳氮比、全氮、全磷、全钾、失重率等六个指标,建立水稻秸秆发酵的综合质量量化评价指标体系,其中对于全氮、全磷、全钾、失重率等指标采用公式(1-a)归一化处理,对有机质、碳氮比指标采用公式(1-b)进行归一化处理^[7-8]。

采用 MATLAB 6.5 软件编程处理数据,选定父代初始种群规模为 $n = 400$,交叉概率 $p_c = 0.80$,变异概率 $p_m = 0.80$,优秀个体数目选定为 20 个, $\alpha = 0.05$,加速次数为 20,得出最大投影指标值为:0.3976,各个状态变量的最佳投影方向 $a^* = (0.0344, 0.4432, 0.4494, 0.4645, 0.4577, 0.4185)$,将 a^* 代入式(2),即得各样本综合评价的函数投影值 $z^*(j) = (0.0344, 0.6534, 2.2644)$ (见图 2)。

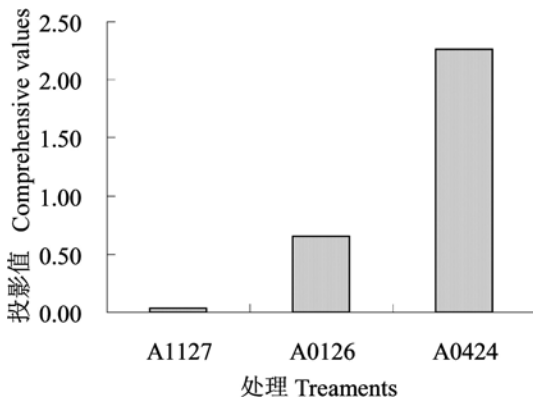


图 2 不同时期水稻秸秆发酵综合质量函数投影值

Fig. 1 Projection values of fermentation quality of rice straw at different periods

水稻秸秆发酵的综合质量量化评价结果表明(图 2),不同时期水稻秸秆发酵的综合质量之间差异非常明显,随着发酵时间的延长,水稻秸秆发酵综合质量函数投影值逐渐提高,A1127、A0126 和 A0424 秸秆发酵质量的函数投影值大小依次为 0.0344、0.6534 和 2.2644, A0424 的函数投影值分别比 A0126 和 A1127 高 1.6110 和 2.2300。

3 讨论

在高寒高海拔环境中孕育的低温微生物往往比中温、嗜热微生物发挥更有效的作用^[9]。本试验低温生物菌采集自海拔五千米以上砾石密布、植被稀疏的临近雪线区,其耐低温细菌对低温抗性强,将其筛选

并扩繁后构建低温生物菌群,低温生物菌可将秸秆分解、转化成小分子有机物质,并释放 CO_2 及大量热量^[10],直接导致秸秆失重率的提高,并为后续其他生物菌的萌动和扩繁奠定养料和温度基础,从而启动整个秸秆堆的发酵进程,秸秆中木质素、纤维素和半纤维素等成分在分解过程中大量转化成 CO_2 等气体释放,秸秆失重率增加,秸秆总有机碳含量下降,而全氮、全磷、全钾浓度上升,进而秸秆 C/N 比减低,这与以往研究结果相似^[11-12]。

C/N 比是衡量秸秆腐熟程度的关键指标,本试验堆肥后期水稻秸秆 C/N 比稳定后,其 C/N 比平均值为 18.34%,一般认为 C/N 比为 15~20 时堆肥腐熟^[13-14],可以认为本试验的水稻秸秆经过冬春 5 个月的低温发酵后,已经可以腐熟还田。秸秆中难分解的物质、木质素、纤维素等含量较高,而氮素含量有限,以致 C/N 比较高,限制了秸秆的分解和利用^[15]。在本试验中 C/N 比与失重率呈极显著负相关,说明水稻秸秆在低温生物菌剂发酵过程中失重逐渐增加而 C/N 比逐渐降低,这在其他同类研究中也得到类似结果^[16]。

综合水稻秸秆发酵质量各指标来看,通过投影寻踪模型对不同时期水稻秸秆发酵的综合质量进行量化评价,能够准确反映出不同时期水稻秸秆发酵的综合质量,其结果更加直观。

4 结论

在整个发酵过程中,水稻秸秆的平均失重速度为 11.65%/月;随着秸秆低温发酵时间的延长,水稻秸秆的总有机质含量逐渐呈现降低,而水稻秸秆全氮、全磷和全钾则逐步增加,不同时期的总有机质、全氮、全磷和全钾指标,结果之间差异极显著($P < 0.01$, $n = 3$);试验末期测得水稻秸秆 C/N 比为 18.34%,达到腐熟标准;同时 C/N 与失重率呈极显著负相关($r = -0.947$, $P < 0.01$)。不同发时期水稻秸秆发酵的综合质量投影值的量化分析结果也表明,A0424 秸秆发酵综合质量最好,其函数投影值为 2.2644,远远高于 A0126 和 A1127 的函数投影值 0.6534 和 0.0344。低温生物菌剂对水稻秸秆的冬季发酵取得了良好的应用效果,这对于东北高寒地区低温时节的秸秆快速腐解具有重要价值。

参考文献

- [1] YADVINDER S, GUPTA R K, JAGMOHAN, et al. Placement effects on rice residue decomposition and nutrient dynamics on two soil types during wheat cropping in rice - wheat system in northwestern India[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2010, 88(3):471 - 480.
- [2] 方志超, 刘玉涛, 丁为民, 等. 微生物菌喷施对集沟还田稻麦秸秆的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23):187 - 194.
- [3] 孟德臣, 宗宪春, 关法春, 等. “农牧一体化”生产下的农田植株营养价值及载畜量[J]. *玉米科学*, 2018, 26(6):63 - 67.
- [4] 勾长龙. 低温纤维素降解菌的筛选及其复合菌系在牛粪堆肥中的应用研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2014.
- [5] 张书敏, 徐凤花, 代欢, 等. 低温复合菌系对玉米秸秆与牛粪堆肥的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2017(2):136 - 140.
- [6] 谢宇新, 徐凤花, 王彦伟, 等. 低温菌株的筛选及对堆肥温度的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, (7):1436 - 1442.
- [7] FU Q, FU H. Applying PPE model based on RAGA in the investment decision making of water saving irrigation project[J]. *Nature & Science*, 2003, 11(1):72 - 77.
- [8] 关法春, 贺延国, 李景富. RAGA 的投影寻踪模型在番茄杂交组合综合评价中的应用[J]. *东北农业大学学报*, 2008, 39(1):29 - 33.
- [9] 韩晓云, 姜安玺, 何丽蓉. 低温菌及其在环境工程中的应用[J]. *东北林业大学学报*, 2003, 31(2):33 - 35.
- [10] 高云航, 勾长龙, 王雨琼, 等. 低温复合菌剂对牛粪堆肥发酵影响的研究[J]. *环境科学学报*, 2014, 34(12):3166 - 3170.
- [11] ZHU N W. Composting of high moisture content swine manure with corn cobina pilot scale aerated static bin system[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97:1870 - 1875.
- [12] 翟修彩, 刘明, 李忠佩, 等. 不同添加剂处理对水稻秸秆腐解效果的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(12):2412 - 2419.
- [13] 马迪, 赵兰坡. 禽畜粪便堆肥化过程中碳氮比的变化研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(14):193 - 197.
- [14] 李文学, 李力, 李俊, 等. 小麦秸秆高效腐解菌复合系 WSS - 1 的选育及其菌群分析[J]. *生态学报*, 2010, 30(3):759 - 764.
- [15] 金虎范. 林分密度对华北落叶松人工林凋落物分解影响的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [16] 邓长春. 季节性雪被对高山林线交错带凋落叶分解的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2015.

(责任编辑:李建忠, 付强, 张阳, 罗敏; 英文编辑:周序林, 郑玉才)