

# 化学生物联用技术对稻秆腐熟的影响及红外光谱研究

冯新, 孔维栋, 毛小云, 廖宗文

(华南农业大学 新肥料资源研究室, 广东 广州 510642)

**摘要:** 采用化学生物联用技术对稻田稻秆进行快速腐熟处理. 结果表明, 稻秆经化学生物联用技术处理 7 d, 腐熟效果明显, 稻秆呈深黑色, 容易拉断, 腐熟味浓, 且水体颜色发黑. 利用傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 分析表明: 稻秆中的酚羟基、醇羟基和甲基的含量增加, 脂肪族化合物部分降解, 有机态 N 变成无机态  $\text{NH}_4^+$  的过程明显, 聚合态 Si 进行了转化, 生成无定形  $\text{SiO}_2$ , 同时氧化缩合作用增强, 芳构化成分增多. 腐熟稻秆的结构性变化表明化学生物联用处理技术加速了稻秆的腐殖化进程.

**关键词:** 稻秆; 快速腐熟; 红外光谱

中图分类号: S 03/37

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X (2003) 02-0016-04

水稻是我国农业的主要粮食类作物, 分布面积广, 水稻收获后的大量稻秆堆积, 农民多采用焚烧办法处理, 但引起严重的空气污染, 且妨碍飞机起降和公路交通, 已成为急待解决的重大环境问题. 传统的稻秆还田腐熟时间长, 自然腐熟通常要 1 个月左右, 影响下茬农作物播种生产. 研究快速易行的技术使稻秆快速熟化成为一个重要课题. 目前稻秆腐熟的方法多侧重于选用优良菌种, 但效果仍不理想且价格偏高. 本试验针对稻秆难降解的特点, 采取了化学生物联用腐熟技术, 即在对稻秆进行化学处理后再进行生物发酵处理的方法, 进行就地腐熟试验. 在原有多种化学生物腐熟处理试验的基础上<sup>[1]</sup>, 选择其中效果明显的几个处理进行试验. 结果表明, 腐熟效果良好, 时间明显缩短. 我们对大田腐熟后的稻秆取样, 采用红外光谱 (FTIR) 对各处理稻秆进行分子结构研究, 以揭示稻秆腐熟的机理, 为稻秆快速还田, 有机物培肥土壤提供理论依据和实用技术.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

稻秆选取华南农业大学农场稻田收割后的新鲜稻秆, 未经切断; 化学腐熟剂为无机物添加剂, 生物腐熟剂为有机物添加剂, 均为华南农业大学新肥料资源研究室研制, 无害无毒.

### 1.2 方法

在华南农业大学农场田收割后的稻田地, 对新鲜稻秆进行就地腐熟还田处理. 试验设 4 个处理: CK 为不加腐熟剂, T1 为先加化学腐熟剂, 2 d 后再加

生物腐熟剂, T2 为化学与生物腐熟剂同时撒施, T3 为先加化学腐熟剂, 2 d 后再加生物腐熟剂并将稻秆踩入泥中. 每处理 3 次重复, 小区面积  $15\text{ m}^2$ , 稻秆 15 kg, 化学腐熟剂 337 g, 生物腐熟剂 56 g, 表面撒施, 均匀分布. 整个试验过程中保持水层厚度在 10 cm 左右. 7 月 27 日布置试验, 8 月 3 日从处理的每个重复中随机取样, 对腐熟稻秆样品进行水洗干燥研磨处理, 过 200 目筛, 制成分析样品. 红外光谱 (FTIR) 分析采用中国科学院广州地球化学研究所的 Perkin-Elmer1725X 型 FT-IR 红外谱仪, 样质量 1 mg, 用 KBr 压片.

## 2 结果与分析

### 2.1 化学生物联用处理的外表特征及腐熟效果比较

在化学生物联用方法腐熟稻秆的过程中, 第 4 d 已出现腐熟效果, 但不是十分明显. 而在第 7 d, 各处理的稻秆腐熟外表特征出现显著的差异. 添加腐熟剂的处理, 其稻秆腐熟效果均比对照 (CK) 好, 其中 T3 最好, T2、T1 次之, 而对照稻秆腐熟效果最差. 各处理稻秆的外表特征见表 1. 从表 1 的各项外观指标可知, 各处理由 CK→T1、T2→T3 稻秆颜色逐渐加深, 稻秆拉断逐渐变得容易, 腐熟味逐渐变浓, 水体颜色逐渐加深, 水面菌膜也逐渐增多. 外表特征上的差异表明: 以化学生物联用后并将稻秆踩入泥中的处理腐熟效果最好, 因为稻秆被踩入泥中, 土壤中微生物同时也参与加速了稻秆的腐解过程. 化学腐熟剂与生物腐熟剂分开施用 (T1) 和同时施用 (T2), 其

表 1  化学生物联用处理稻秆第 7 d 的田间观察

Tab. 1  Observation of the decomposing rice straw in the field on the 7<sup>th</sup> day after treatment

| 处理        | 稻秆颜色                | 稻秆拉断情况                      | 稻秆气味               | 水体颜色                      | 菌膜状况            |
|-----------|---------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------|
| treatment | color of rice straw | ease of rice straw snapping | odor of rice straw | color of rice straw fluid | status of velum |
| CK        | 青色居多, 少量为褐色         | 稻秆较硬, 正常用力拉不断               | 无腐熟味               | 浅黑色                       | 黄红色菌膜少量分布       |
| T1        | 黑色                  | 能够拉断                        | 有腐熟味               | 黑色                        | 黄红色菌膜大量分布       |
| T2        | 黑色                  | 能够拉断                        | 有腐熟味               | 黑色                        | 黄红色菌膜大量分布       |
| T3        | 黑色                  | 容易拉断                        | 腐熟味浓               | 深黑色                       | 黄红色菌膜布满小区       |

外观差异不明显. 而 CK 的稻秆腐熟程度低, 水色也较浅, 没有明显的腐解特征.

2.2  红外光谱谱带归属分析

水稻稻秆的主要化学成分为纤维素、半纤维素、木质素、灰分以及少量的脂肪族化合物、糖类和蛋白质, 还包括结晶硅物质. 利用 FTIR 红外光谱法分析腐熟稻秆, 图 1 为不同腐熟剂处理稻秆的红外吸收谱峰图. 从图 1 并参照有关文献<sup>2~9</sup> 的红外光谱分析法看出, 4 000~1 500 cm<sup>-1</sup>的特征频率区主要出现以下基团: 3 696和3 694 cm<sup>-1</sup>为形成氢键的 OH 的伸缩振动吸收谱, 这部分羟基为稻秆中醇和酚分子中的羟基. 3 621和3 619 cm<sup>-1</sup>为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的反对称伸缩振动吸收谱, 它包括一些无机铵离子及氨基酸中 N—H 伸缩振动的吸收. 2 921 和 2 923 cm<sup>-1</sup>为饱和 CH<sub>2</sub> 的反对称伸缩振动吸收谱, 2 854 和 2 856 cm<sup>-1</sup>为饱和 CH<sub>2</sub> 的对称伸缩振动吸收谱, 主要来自稻秆中的碳水化合物和脂肪族化合物. 2 061 和 2 030 cm<sup>-1</sup>是由碳碳三键及碳氮三键引起的伸缩振动, 也包括 C≡C 和 C≡C=O 等累积双键的反对称伸缩振动引起的, 这些基团是稻秆中的不饱和烯烃和炔烃等脂肪族化合物. 1 731和1 729 cm<sup>-1</sup>为羧酸酯类化合物及酮类化合物中的 C=O 伸缩振动. 以1 640 cm<sup>-1</sup>(1 635~1 650 cm<sup>-1</sup>)为中心的宽吸收带为水分子形成氢的变形振动和有机羧酸 COO<sup>-</sup> 反对称伸缩振动的吸收, 木质素中与芳香环相连的 C=O 伸缩振动及酰胺化合物的特征吸收谱带. 1 515和1 519 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰为苯环中环的伸缩振动. 而在小于 1 500 cm<sup>-1</sup>的指纹区的主要基团有以下这些: 1 461 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰为碳水化合物和脂肪族化合物中的 CH<sub>2</sub> 基团的剪式变形振动及脂肪族化合物和木质素中的 CH<sub>3</sub> 基团 C—H 不对称变形振动以及氨基酸等化合物中的 N—H 变形振动. 1 375和1 377 cm<sup>-1</sup>的吸收峰为具有脂肪族特征化合物中的 CH<sub>2</sub> 的对称变形振动. 1 315~1 330 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰为碳水化合物中的—OH 基的变形振动. 1 240和1 243 cm<sup>-1</sup>为酚类中的 C—O 伸缩振动及植物体内聚合态硅化物(SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O)的 Si—O 伸缩振动及纤维素脂等的特

征吸收. 1 159 cm<sup>-1</sup>为脂肪族化合物和脂肪环中的醚键—O—的非对称伸缩振动以及 C—O 和氨基酸的 C—N 伸缩振动. 1 008、1 033和1 035 cm<sup>-1</sup>为无定形 SiO<sub>2</sub> 等的 Si—O 伸缩振动, 这种物质来源于稻秆中聚合态硅的转化. 898 cm<sup>-1</sup>为纤维素及糖类中的环振动产生. 782 cm<sup>-1</sup>为邻位取代芳烃的面外振动引起, 而 694 cm<sup>-1</sup>为单取代芳环的面外振动产生.

2.3  化学生物联用处理后稻秆的红外光谱变化

从图 1 可知, 化学生物联用处理腐熟 7 d 的稻秆的红外光谱吸收峰变化明显. 3 696和3 694 cm<sup>-1</sup>的氢键—OH 的伸缩振动吸收谱, 2 854~2 923 cm<sup>-1</sup>的饱和 CH<sub>2</sub> 的伸缩振动吸收谱, 以1 635~1 650 cm<sup>-1</sup>的有机羧酸 COO<sup>-</sup> 反对称伸缩振动, 以及1 515和1 519 cm<sup>-1</sup>的苯环伸缩振动在腐熟剂处理的稻秆中得到加强, 表明稻秆在腐熟过程中碳水化合物、有机羧酸、酰胺化合物在逐步分解, 大分子的长键烃切断成小分子的短键烃, 从而使羟基、亚甲基基团及羧基数量不断增加. 处理中出现3 621和3 619 cm<sup>-1</sup>的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的反对称伸缩振动吸收谱, 且依 T1、T2、T3 的顺序增强, 而在 CK 中该谱峰不存在, 说明化学生物联用处理使稻秆的有机态 N 发生矿化过程, 产生无机态的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. 1 515和1 519 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰增强, 表明苯环的芳构化成分增多. 1 461 cm<sup>-1</sup>处的 CH<sub>2</sub> 基团、CH<sub>3</sub> 基团和 N—H 变形振动吸收谱, 以及 1 159 cm<sup>-1</sup>的醚键 C—O—C 的非对称伸缩振动以及 C—O 和 C—N 伸缩振动吸收峰在腐熟剂处理的稻秆中消失, 说明碳水化合物、脂肪族化合物和氨基酸在逐渐分解. 1 240和1 243 cm<sup>-1</sup>的酚类中的 C—O 伸缩振动, 聚合态硅化物(SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O)中的 Si—O 伸缩振动在腐熟剂处理的稻秆中得到减弱, 且在 T3 中该峰消失. 1 008~1 035 cm<sup>-1</sup>的 Si—O 伸缩振动出现分裂情况, 产生了 O—Si—O 无定形态硅(SiO<sub>2</sub>). 表明稻秆中的聚合态 Si 进行了转化, 形成无定形态. 898 和 694 cm<sup>-1</sup>为处理稻秆的新增吸收峰, 且随 T1、T2 到 T3 的顺序依次加强, 分别是由稻草中纤维素及其他糖类腐熟和单取代芳烃的增多所产生的. 782 cm<sup>-1</sup>在 T3 中被分裂成796和779 cm<sup>-1</sup>, 说明 1, 3 取代芳烃的数量增加.



chromosome 6[J]. *Mammalian Genome*, 2000, 11: 344—346.

[ 3 ] GERBENS F, de KONING D J, HARDERS F L, et al. The effect of adipocyte and heart fatty acid-binding protein genes on intramuscular fat and backfat content in meishan crossbred pigs[J]. *J Anim Sci*, 2000, 78: 552—559.

[ 4 ] 元开兴, 连林生. 猪数量性状位点定位的研究现状[J]. *动物科学与动物医学*, 2000, 17(5): 23—25.

[ 5 ] ROBIC A, PARROU J L, YERLE M, et al. Pig microsatellites isolated from cosmids revealing polymorphism and localized on chromosomes[J]. *Animal Genetics*, 1995, 26: 1—6.

[ 6 ] ZHAO F, AMBADY S, PONCE de LEON F A, et al. Microsatellite markers from a microdissected swine chromosome 6 genomic library[J]. *Animal Genetics*, 1999, 30: 251—255.

[ 7 ] AMBADY S, MENDIOLA J R, LOUIS C F, et al. Development and use of a microdissected swine chromosome 6 DNA library[J]. *Cytogenetics and Cell Genetics*, 1997, 76: 27—33.

[ 8 ] ROTHSCCHILD M F. 猪数量性状座位和候选基因探测研究进展及展望[J]. 刘荣宗译. *国外畜牧科技*, 1998, 25(5): 35—37.

Relationships Between Microsatellite DNA Markers and Pork Quality Traits

HOU Jian-guo, LI Jia-qi, CHEN Yao-sheng, WANG Chong  
(College of Animal Science, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Pork quality traits, color, marbling, pH and water-holding capacity, were measured in F<sub>2</sub> population of Landrace×Lantang swine reference family by genotyping 23 microsatellite DNA markers at chromosome 6. The results showed that the correlation coefficients between pork color and marbling, pH, water-holding capacity were -0.322, 0.419, 0.468 respectively, and 0.737 between pH and water-holding capacity. The additive effect of QTL linkage with D allele at MN006 locus is 0.108 for pH, and the additive effect of QTL linkage with A allele at MN004 locus is 0.125 for marbling.

**Key words:** swine; microsatellite DNA markers; pork quality traits; QTL

【责任编辑 柴 焰】

(上接第18页)

Studies on Effects of Combined Chemo-Biological Technique on Rice Straw Decomposition and Its IR Characteristics

FENG Xin, KONG Wei-dong, MAO Xiao-yun, LIAO Zong-wen  
(New Fertilizer Resources Research Lab, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Decomposition of rice straw was studied by applying a combined chemo-biological technique. The results showed that the treated rice straw turned deeply black, was easily drawn apart and gave out strong odor. The water submerging the treated rice straw became black too. The treated rice straw was studied with FTIR technique. The results indicated that there was an increase in the contents of phenylic- and alcohol hydroxy and methyl radicals. The fatty group compounds were partly decomposed. Carboxylic acid lipid compounds and ketone compounds were hydrolyzed. There was an obvious process of organic nitrogen being changed into inorganic nitrogen in the form of ammonium ion. Available silicon existing in amorphous form was obtained from the decomposition of polymeric silicon and even brought into accumulation. Oxidation and condensation of the organic compounds were intensified and the contents of aryl compounds increased. The structural variation of the treated rice straw showed that the decomposition of rice straw was accelerated by the combined chemo-biological technique.

**Key words:** rice straw; quick decomposition; IR spectrum

【责任编辑 周志红】