

## 微生物菌群发酵稻秸制备有机肥的研究

孙芬芬<sup>1</sup>, 周丽蓉<sup>2,3</sup>, 伍海全<sup>1</sup>, 罗雪<sup>1</sup>, 雷泞菲<sup>1\*</sup>

(1. 成都理工大学材料与化学化工学院, 成都 610059; 2. 四川蓉加川大环保工程咨询设计有限公司, 成都 610045; 3. 四川大学建筑与环境学院, 成都 610065)

**摘要:** 针对稻草秸秆作为饲料应用价值低及资源化利用中单一菌种发酵降解低等问题, 研究复合微生物菌群降解稻草秸秆快速还田的最优腐解发酵条件并评价其降解效果。结果表明, 粉碎的稻草秸秆固体培养基中加入 0.2% 的  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 、0.8% 的  $KH_2PO_4$  及 2.0% 的尿素; 加水量为 1:1.5; 腐解初始温度为 30℃; 初始 pH 为 7.0; 接种复合微生物菌液为 10:3 ( $kg \cdot L^{-1}$ ), 复合菌液为枯草芽孢杆菌、热带假丝酵母、白腐真菌、黑曲霉以菌液 3:1:1:1 组合; 好氧发酵周期为 25 d。发酵结束后的固态基质中 C/N 比值降低 83%, 木质素、纤维素和半纤维素下降 53.56%、50.86% 和 49.33%; 铵态氮、有效磷、速效钾增加  $1.68 g \cdot kg^{-1}$ 、 $0.24 g \cdot kg^{-1}$  和  $25.25 g \cdot kg^{-1}$ 。此复合菌群降解稻草秸秆迅速, 腐解产物可作为有机肥应用于土壤改良。

**关键词:** 稻草秸秆; 复合微生物菌群; 好氧发酵; 有机肥

中图分类号: S144

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-0967-05

### Study on fermentation of rice straw turning to organic fertilizer by multi-microorganism

SUN Fenfen<sup>1</sup>, ZHOU Lirong<sup>2,3</sup>, WU Haiquan<sup>1</sup>, LUO Xue<sup>1</sup>, LEI Ningfei<sup>1</sup>

(1. College of Materials and Chemistry & Chemical Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

2. Sichuan Rongjiachuanda Environmental Engineering and Consulting and Design Co., Ltd, Chengdu 610045;

3. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065)

**Abstract:** The aim was to study the best fermentation condition of rice straw by multi-microorganism and evaluate the degradation effect for the current problem that rice straw as fodder application value and fermentation degradation rate are all low. Result: Solid culture medium of crushing rice straw added 0.2%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.8%  $KH_2PO_4$  and 2.0% urea. The ratio of the nutrients and water was 1:1.5, the ferment temperature was 30℃, the initial pH was 7.0, the ratio of inoculation was 10:3 ( $kg \cdot L^{-1}$ ), *Bacillus subtilis*, *Candida tropicalis*, White-rot fungi and *Aspergillus niger* are mixed with 3:1:1:1. The ferment time was 20 days. After the fermentation, the solid matrix of C/N reduced by 83%. Lignin, Cellulose and hemicellulose content respectively dropped 53.56%, 50.86% and 49.33%. Meanwhile, Ammonium Nitrogen, available phosphorus and rapid available potassium contents respectively added  $1.68 g \cdot kg^{-1}$ ,  $0.24 g \cdot kg^{-1}$  and  $25.25 g \cdot kg^{-1}$ . The compound bacteria in this paper degraded the straw effectively. The decomposition products can be used as organic fertilize in agriculture field.

**Key words:** rice straw; multi-microorganism; aerobic fermentation; returning to field

我国是世界秸秆产量大国, 平均每年产量约占世界总产量的 30%<sup>[1-2]</sup>。据统计, 2015 年我国秸秆产量近 7 亿 t。随着农户生活用燃料锐减, 导致秸秆田间直接焚烧量大。秸秆焚烧不仅严重污染环境、易引发交通事故和火灾, 而且破坏土壤结构, 造成农田质量下降<sup>[3]</sup>。目前为减少秸秆焚烧、加强资源

化利用, 对农作物秸秆处理的常用技术有氨化技术、青贮技术和秸秆饲料发酵技术。经氨化处理的小麦、玉米秸秆可显著提高瘤胃动物的消化率及粗蛋白含量。此外, 利用微生物处理秸秆具有广阔的前景<sup>[4-6]</sup>。经微生物发酵处理后的玉米秸秆, 适口性好, 明显提高牲畜的采食速度和消化率<sup>[7]</sup>。

收稿日期: 2016-03-07

基金项目: 四川省科技厅基金项目(2014FZ0027)资助。

作者简介: 孙芬芬, 硕士研究生。E-mail: 1448793264@qq.com

\* 通信作者: 雷泞菲, 教授。E-mail: leiningfei@cdut.cn

对于稻草秸秆,其作为饲料的应用价值极低,且稻秸位于我国各种秸秆产量之最<sup>[8]</sup>。故对稻草秸秆的资源合理化利用至关重要。研究表明,稻秸通过微生物快速腐解发酵制成有机肥再还田,既解决了秸秆大量堆积无法有效利用的问题,也有利于土壤肥力的提高和可持续发展<sup>[9]</sup>。微生物发酵处理后的稻秸,可改善土壤物理、化学和生物性质,平衡植物营养。当前对稻草秸秆的发酵降解研究较少并集中在单一微生物降解,降解效率低。稻秸中主要含纤维素、半纤维素和木质素,单一微生物并不能完全有效降解这些长链高分子化合物<sup>[10-12]</sup>,因此研究能高效腐解稻秸成有机肥的复合微生物菌群对其资源化利用具有重要意义。本研究旨在对几种降解稻秸优势菌且为农业生产中的有益菌诸如白腐真菌<sup>[13]</sup>、黑曲霉<sup>[14]</sup>、枯草芽孢杆菌<sup>[15]</sup>、热带假丝酵母<sup>[16]</sup>进行合理组合和条件优化,探讨稻秸有氧腐解发酵成有机肥的最佳工艺条件,并评价该条件下稻秸的降解情况及微生物菌群发酵后的秸秆有效肥力。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

菌种:四川成都理工大学生物工程实验室筛选保存的枯草芽孢杆菌、热带假丝酵母、黑曲霉和白腐真菌。

秸秆:来源于成都青白江区农田稻草,自然晾干,粉碎。

预处理:将粉碎的稻草秸秆与10%稀硫酸以质量比1:2混合,于高压灭菌锅中120℃恒温加热2h。然后用自来水洗涤秸秆至洗涤液中性,60℃烘干备用。

### 1.2 培养基

1.2.1 菌种培养基 枯草芽孢杆菌培养基:蛋白胨10g、牛肉膏3g、NaCl 5g、琼脂20g、H<sub>2</sub>O 1000 mL、pH7.2~7.4。

热带假丝酵母培养基:酵母膏10g、蛋白胨20g、葡萄糖20g、H<sub>2</sub>O 1000 mL、自然pH。

白腐真菌、黑曲霉培养基:称取去皮马铃薯200

g,沸水浴中煮沸30min,用纱布过滤取汁,定容至1000mL,加入葡萄糖20g。

1.2.2 发酵固体培养基 预处理稻草秸秆粉(粉碎后过40目)100g,加入0.2%的MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、0.8%的KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、2.0%的尿素,加水,干湿比为1:1.5,翻搅均匀,自然pH。

### 1.3 复合微生物菌剂制备

1.3.1 枯草芽孢杆菌、热带假丝酵母菌生长曲线测定 接种1菌环枯草芽孢杆菌于50mL LB培养基,接种1环热带假丝酵母菌于100mL YPD培养基,28℃、120r·min<sup>-1</sup>振荡培养,接种后每2h各取样1次分别测定两菌液的OD值。

1.3.2 白腐真菌、黑曲霉生长曲线测定 将配置好的PDA培养基精确分装于16个250mL的锥形瓶中,每瓶50mL,接种1环白腐真菌,28℃、120r·min<sup>-1</sup>振荡培养,每6h取2个平行样进行过滤、烘干、称量,计算出每6h白腐真菌质量净增情况(黑曲霉测定同白腐真菌)。

根据各菌种的生长曲线,调整接菌和培养时间,使各菌种同时到达对数生长中后期以获得各菌种扩大培养后的微生物菌剂。设置不同的菌种组合,分别接种于发酵固体培养基中,28℃震荡培养2d,取样,用3,5-二硝基水杨酸法(DNS)法<sup>[17]</sup>对还原糖量测定及羧甲基纤维素酶活(CMCA)<sup>[18]</sup>测定,设3次重复,研究不同组合的微生物菌群对稻秸的降解能力。

### 1.4 发酵条件优化

1.4.1 最佳发酵温度、pH、接种比例及接种量的确定 根据不同菌种组合的产酶能力及分解纤维素生成还原糖的能力选取合适的菌种组合(表1),设计正交试验(表2),复合微生物菌剂接种于秸秆固态发酵培养基后,好氧发酵,隔一段时间疏松曲料,15d后将降解过后的秸秆用蒸馏水冲洗除去菌体,将残留物过滤,105℃烘干后称重,以不接菌种时的秸秆量作为对照,失重法计算秸秆降解率。

1.4.2 确定最佳发酵周期 利用元素分析仪分析发酵基质中的碳氮比。

表1 菌种组合  
Table 1 Strain combination

检测项 Detected item	菌种组合 Strain combination						
	白+黑 W+A	枯+黑 B+A	枯+白 B+W	枯+酵 B+C	枯+白+黑 B+W+A	酵+白+黑 C+W+A	枯+酵+白+黑 B+C+W+A
还原糖/mg·mL <sup>-1</sup> Reducing sugar	0.57±0.05	0.46±0.02	1.09±0.05	0.61±0.02	1.36±0.03	1.28±0.05	1.41±0.04
羧甲基纤维素酶活性/U·g <sup>-1</sup> Activity of carboxymethyl cellulose	61±0.43	56±0.39	89±0.26	70±0.74	1.02±0.92	94±0.81	121±0.37

W: 白 *Whiterot* fungi; A: 黑 *Aspergillus niger*; B: 枯 *Bacillus subtilis*; C: 酵 *Candida*.

表 2 正交试验因素和水平  
Table 2 Orthogonal test factors and levels

水平 Level	A	B	C	D 接种比例 Inoculum proportion	
	接种量/mL Inoculum size	发酵温度/°C Fermentation temperature	初始 pH Initial pH	(枯: 酵: 白: 黑) <i>Bacillus subtilis</i> : <i>Candida</i> : <i>Whiterot</i> fungi: <i>Aspergillus niger</i>	
1	10	25	5.5	1:1:1:1	
2	20	30	6.0	2:1:1:1	
3	30	35	6.5	3:1:1:1	
4	40	40	7.0	4:1:1:1	

### 1.5 固态发酵基质中有效成分测定

为考察复合菌群好氧腐解稻秆效果及有效肥力, 称取稻秆 100 kg, 粉碎, 进行放大实验, 采用范氏洗涤纤维分析法(Van Soest 法), 72% $H_2SO_4$  水解法及灰化法一次性测定 NDF、ADF、ADL、半纤维素和纤维素含量<sup>[19]</sup>。并对秸秆发酵后固态基质中铵态氮、有效磷、速效钾进行测定<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 复合菌剂的制备

根据生长曲线(图 1 和图 2), 调整 4 种菌的接种时间, 使黑曲霉和白腐真菌培养 40 h 与热带假丝酵母培养 15 h、枯草芽孢杆菌培养 11 h 同时达到对数生长中后期, 以获得各菌种扩大培养后的种子液。

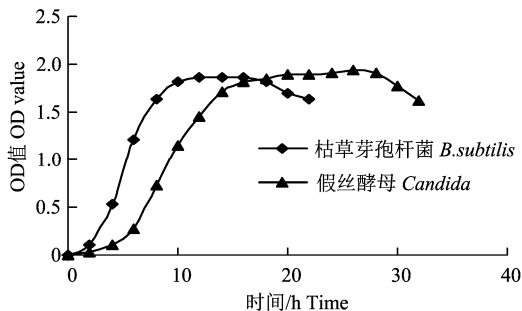


图 1 枯草芽孢杆菌、假丝酵母生长曲线

Figure 1 The growth curve of *Bacillus subtilis* and *Candida*

### 2.2 最优菌种组合

枯草芽孢杆菌能够分泌  $\alpha$ -淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶和纤维素酶; 热带假丝酵母能够降解有机物, 发酵木糖, 产生酵母蛋白; 黑曲霉能够分泌纤维素酶、淀粉酶等; 白腐真菌能够分木质素降解酶(木质素过氧化酶、漆酶), 且降解木质素的能力优于降解纤维素的能力。2 d 后对不同菌种组合的发酵基质中还原糖含量及羧甲基纤维素酶活性进行测定, 结果如表 2 所示, 枯草芽孢杆菌与黑曲霉组合所产还原糖最低, 酶活性也最小; 枯草芽孢杆菌与热带假丝酵母、白腐真菌、黑曲霉组合产酶活性最大且还原糖最多, 可知这 4 种菌的组合没有出现

拮抗作用, 反而是相互促进的, 对纤维素的降解是最有效率的。

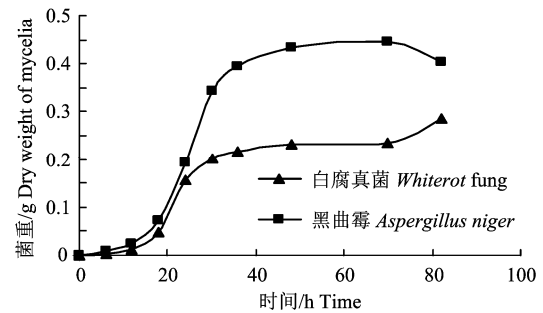


图 2 黑曲霉、白腐真菌生长曲线

Figure 2 The growth curve of *Whiterot* fungi and *Aspergillus niger*

### 2.3 复合菌群发酵秸秆最佳条件的正交试验

采用  $L_{16}(4^4)$  的正交试验分析接种量、发酵温度、初始 pH、菌种比例对稻草秸秆的影响, 从而确定最佳降解条件, 具体结果见表 3。

对表 3 复合微生物降解秸秆的正交试验结果进行分析得出  $R_A > R_D > R_B > R_C$ , 即接种量对秸秆降解的影响最大, 其次是接种比例, 培养温度和初始 pH 影响不显著, 所以此正交试验的最优条件为  $A_3B_2C_4D_3$ , 即接种量为 30mL 菌液, 降解温度为 30 °C, 初始 pH 为 7.0, 枯草芽孢杆菌与热带假丝酵母、白腐真菌, 黑曲霉的接种比例为 3:1:1:1。

### 2.4 发酵基质中 C/N 随时间的变化

秸秆直接还田后, 较高的碳氮比在秸秆腐烂过程中会与作物争夺土壤中原有的氮素, 磷素和水分, 如果土壤底肥不足和干旱, 就会影响出苗率, 不利于壮苗和作物生长<sup>[2]</sup>。根据 C/N 比值可判断腐殖化系数, 比值小即腐殖化系数小, 矿化快, 对作物供肥快。本研究中, 经测定稻秸的碳氮比为 58.25, 加入 2.0% 的尿素后 C/N 达到 25.87, 是适合微生物生长繁殖的碳氮比。腐解发酵过程中 C/N 的比值逐渐减小(图 3), 25 d 时达到最小值 9.90, 比发酵前稻草秸秆的碳氮比降低 83%。此复合菌系发酵后的稻秸还田后可显著提高土壤氮元素含量, 避免与农作物争肥现象; 降解效率比单菌种或其他复合菌系

提高 30%~65%。腐解过程中,降解速度先快后慢, 质减少有关。这可能与较长时间后部分菌体溶解, 秸秆中有机物

表 3 发酵的正交试验结果

Table 3 The results of orthogonal experiment of fermentation

处理号 No.	接种量/mL Inoculum size	降解温度/°C Degradation temperature	初始 pH Initial pH	接种比例(枯:酵:白:黑) Inoculum proportion	降解率/% Degradation rate
1	10	25	5.5	1:1:1:1	21.76
2	10	30	6.0	2:1:1:1	29.21
3	10	35	6.5	3:1:1:1	27.62
4	10	40	7.0	4:1:1:1	21.75
5	20	25	6.0	3:1:1:1	31.69
6	20	30	5.5	4:1:1:1	34.51
7	20	35	7.0	1:1:1:1	32.56
8	20	40	6.5	2:1:1:1	31.53
9	30	25	6.5	4:1:1:1	45.64
10	30	30	7.0	3:1:1:1	45.59
11	30	35	5.5	2:1:1:1	42.38
12	30	40	6.0	1:1:1:1	38.21
13	40	25	7.0	2:1:1:1	41.22
14	40	30	6.5	1:1:1:1	34.15
15	40	35	6.0	4:1:1:1	36.23
16	40	40	5.5	3:1:1:1	41.58
K1	100.34	140.31	140.23	126.68	
K2	130.23	143.46	135.34	144.34	
K3	171.82	138.79	138.94	146.48	
K4	153.18	133.07	141.12	138.13	
R	17.87	2.597	1.445	4.95	

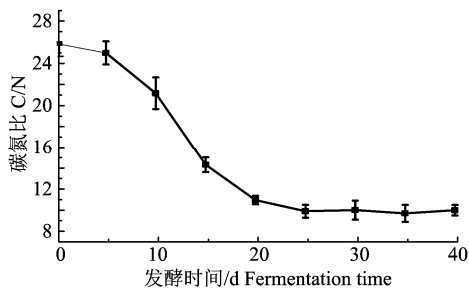


图 3 发酵基质的碳氮比

Figure 3 Carbon/nitrogen ratio of ground substance

## 2.5 腐解发酵过程中基质组分的测定

按最优好氧发酵条件接种复合菌群到大量固态培养基,腐解过程中基质组分变化见表 4。从表 4 可以看出,0~5 d 内菌群对 NDF、ADF、半纤维素的降解速率不明显,主要原因是 NDF 和 ADF 是植物的细胞壁成分,纤维素、半纤维素和木质素相互紧密交联,微生物需要一段时间附着在底物上才能开始进行消化;5~12 d 内菌群对 NDF、ADF、半纤维素的降解速率明显提高,21 d 时接近最大值,复合菌群对纤维素的降解率一直处于较稳定状态,木质素含量 8 d 后有明显减少趋势,原因是白腐真菌产生的木质素降解酶为次生代谢产物,自然状态下,

氮源耗尽才产生;铵态氮、有效磷、速效钾的含量增加,铵态氮在 18~21 d 时增加量最大,有效磷和速效钾含量增加较稳定;0~25 d 内,NDF、ADF、木质素、纤维素及半纤维素的含量分别下降了:37.68%、35.15%、53.56%、50.86%和 49.33%。本研究结果表明这几种菌的合理组合可显著提高木质素的降解,且木质素的降解速度高于 NDF 和 ADF,初步解决了木质素降解速度慢、降解率低这一难题。

土壤中能被作物直接利用的那部分肥力称为有效肥力。作物生长离不开氮磷钾,而土壤中最先能被植物直接利用的氮磷钾是以铵态氮、有效磷、速效钾的形态存在。本研究中经复合微生物菌群有氧发酵 25 d 后的稻秸已完全腐熟,呈黑褐色,生成中性腐殖质,铵态氮、有效磷、速效钾的含量分别增加:1.68、0.24 和 25.25 g·kg<sup>-1</sup>。这种生物发酵有机肥是一种完全的肥料,有机质含量十分丰富,不但富含氮、磷、钾等大量元素,还含硼、氯、硫、钙、镁、铁、锰、铜等中微量元素。此外,有氧发酵利用的这 4 种有益菌类既能分解土壤中的矿物磷,又能分解土壤中的矿物钾,释放出磷、钾等多种营养成分,能较持久的给农作物提供养分,造土的效果好,对作物有壮苗、防病及提高品质有重要作用。

表 4 发酵基质的组分测定

Table 4 Determination of component in fermentation substrate

发酵时间/d Fermentation time	铵态氮/g·kg <sup>-1</sup> Ammonium nitrogen	有效磷 /mg·kg <sup>-1</sup> Available P	速效钾 /g·kg <sup>-1</sup> Available K	NDF/%	ADF/%	木质素/% Lignin	半纤维素/% Hemicellulose	纤维素/% Cellulose
0	0.126	69.90	0.11	83.64	63.41	24.12	20.23	30.26
2	0.146	77.79	0.17	81.37	62.36	24.09	20.01	30.21
5	0.268	117.73	1.35	79.35	60.35	24.04	19.96	27.45
8	0.457	140.12	5.31	77.31	60.28	23.87	17.03	25.07
12	0.736	182.57	8.17	76.17	59.16	20.38	17.01	22.86
18	1.015	203.01	12.23	63.54	50.78	17.04	12.76	20.66
21	1.774	271.83	21.79	60.28	49.19	15.45	11.09	17.91
25	1.803	311.36	25.36	51.37	41.12	13.29	10.25	15.16
30	1.811	317.18	26.59	49.26	39.29	12.56	9.97	14.87
35	1.801	319.83	25.13	50.38	37.11	12.04	9.89	14.91

### 3 结论

枯草芽孢杆菌、热带假丝酵母、白腐真菌和黑曲霉经协同驯化后进行正交试验。结果表明, 最佳降解条件为粉碎的稻草秸秆固体培养基中加入 0.2% 的 MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、0.8% 的 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、2.0% 的尿素; 加水量为 1:1.5; 降解温度为 30℃; 初始 pH 为 7.0; 接种复合微生物菌液为 10:3 (kg·L<sup>-1</sup>), 复合菌液为枯草芽孢杆菌(0.9×10<sup>10</sup>~1.2×10<sup>10</sup> cfu·mL<sup>-1</sup>): 热带假丝酵母菌(1.5×10<sup>8</sup>~2×10<sup>8</sup> cfu·mL<sup>-1</sup>): 白腐真菌(4.5~4.8 mg·mL<sup>-1</sup>): 黑曲霉(8.5~8.7 mg·mL<sup>-1</sup>)以菌液 3:1:1:1 组合; 好氧发酵周期为 25 d。

此复合微生物菌群降解稻草秸秆迅速, 比用单一菌种降解率高 30%~65%, 腐解 25 d 后的发酵基质中, 稻秸已完全腐熟, C/N 比值降低 83%。由表 4 可知, 木质素、纤维素、半纤维素的含量分别下降 53.56%、50.86% 和 49.33%; 铵态氮、有效磷、速效钾增加 1.68、0.24 和 25.25 g·kg<sup>-1</sup>, 速效钾含量增加最多。

综上所述, 本研究中复合微生物菌群组合可快速彻底地腐解稻秸, 能在短期间完全腐熟秸秆、酝酿发酵成为改良土壤的优质材料。初步解决了秸秆的资源化合理利用, 发酵过程简单, 成本投入低。随着我国有机农业的快速发展, 这种生物有机肥料将展示出较好的市场前景。

### 参考文献:

- [1] 王亚静, 毕于运. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1852-1859.
- [2] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 23-35.
- [3] 冯伟, 张利群, 庞中伟, 等. 中国秸秆废弃焚烧与资源

化利用的经济与环境分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 350-354.

- [4] GUO H, CHANG J, YIN Q, et al. Effect of the combined physical and chemical treatments with microbial fermentation on corn straw degradation[J]. Bioresour Technol, 2013, 148: 361-365.
- [5] 吕开宇, 仇焕广, 白军飞, 等. 中国玉米秸秆直接还田的现状与发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(3): 171-176.
- [6] 张辉, 吴华, 兰洋. 白腐真菌降解生物质秸秆效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8): 4598-4599.
- [7] 侯进, 李婷, 李杰. 白腐真菌降解玉米秸秆的研究[J]. 饲料博览, 2010(1): 4-7.
- [8] 张文举, 王加启, 龚月生, 等. 秸秆饲料资源开发利用的研究进展[J]. 国外畜牧科技, 2001, 28(3): 15-18.
- [9] 吉海平, 王凤斌. 浅谈微生物在秸秆生物学转化中的应用[J]. 生物工程进展, 1997, 17(2): 56-59.
- [10] 马立安, 赵雷鸣, 陈启武. 降解麦秸木质素菌种的筛选及发酵条件研究[J]. 长江大学学报(自然科学版农学卷), 2009(3): 53-55.
- [11] 王欣, 孙玥, 张春艳, 等. 高效降解纤维素真菌的筛选与鉴定[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 136-139.
- [12] BAKRI Y, MASSON M, THONART P. Isolation and identification of two new fungal strains for xylanase production[J]. Appl Biochem Biotechnol, 2010, 162(6): 1626-1634.
- [13] 李海红, 李红艳. 朽木中白腐真菌的选育及对木质纤维素降解性能研究[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2013, 31(4): 96-100.
- [14] 侯雪敏, 臧淑艳, 李盼盼, 等. 黑曲霉对菲共代谢降解的影响[J]. 沈阳化工大学学报, 2012, 26(2): 97-100.
- [15] 王毅, 刘云国, 刁兴梅, 等. 枯草芽孢杆菌降解木质纤维素能力及产酶研究[J]. 微生物学杂志, 2008, 28(4): 1-6.
- [16] 赵建国, 钟世博, 张明祥. 热带假丝酵母固体发酵黄酒糟生产蛋白饲料的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2002(2): 22-24.
- [17] 赵凯, 许鹏举, 谷广焯. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 534-536.
- [18] 吕慧卿, 李日强, 董良利, 等. 一株秸秆分解菌的分离及酶活力测定[J]. 山西农业科学, 2004, 32(2): 53-56.
- [19] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素的测定[J]. 粮食与饲料工业, 2005(8): 40-41.
- [20] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.