



研究报告

微生物发酵对木薯渣营养成分的影响

蒋慧姣^{1,2} 李净¹ 彭辉平¹ 倪姮佳¹ 方俊² 孔祥峰^{*1}

1 中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态过程重点实验室 动物营养生理与代谢过程湖南省重点实验室 湖南 长沙 410125

2 湖南农业大学生物科学技术学院 湖南省猪场废弃物无害化处理与资源化利用工程研究中心 湖南 长沙 410128

摘要:【背景】将木薯渣作为饲料资源进行开发和利用能够减轻环境污染,实现资源就地转化,已成为国内外研究热点。微生物发酵可降低木薯渣的粗纤维含量,改善适口性,提高饲料转化率。【目的】筛选对木薯渣发酵效果较好的微生物发酵剂及其发酵时长。【方法】试验选用 A (芽孢菌+乳酸菌+酿酒酵母菌)、B (戊糖片球菌+酿酒酵母菌)和 C (植物乳杆菌+枯草芽孢杆菌+酿酒酵母菌)这 3 种复合微生物发酵剂与新鲜木薯渣混合,随机分为 7 组,每组 5 个重复,分别于发酵的第 0、1、3、7、14、28 和 56 天取样,测定其常规营养成分。【结果】与发酵前相比,发酵剂 A 和 B 可显著增加木薯渣的粗灰分含量($P<0.05$),发酵剂 C 可显著增加木薯渣的粗蛋白质含量($P<0.05$);3 种发酵剂均可显著降低木薯渣的中性洗涤纤维含量、显著增加粗脂肪含量($P<0.05$)。【结论】微生物发酵可有效改善木薯渣的营养价值,其中利用发酵剂 C 进行短期发酵对其营养价值,尤其是粗蛋白质和粗脂肪含量的提高最明显。

关键词: 微生物发酵, 木薯渣, 营养成分, 饲料原料

Foundation items: STS Regional Key Project of Chinese Academy of Sciences (KFJ-STIS-QYZD-052); Talent Project of Guangxi Science and Technology Department (AD17195043); Wang Kuancheng's Leading Talent Program of Chinese Academy of Sciences-Industry and Research Talent Support Project

***Corresponding author:** E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

Received: 18-03-2020; **Accepted:** 15-05-2020; **Published online:** 12-08-2020

基金项目: 中国科学院 STS 区域重点项目(KFJ-STIS-QYZD-052); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD17195043); 中科院王宽诚率先人才计划“产研人才扶持项目”

***通信作者:** E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

收稿日期: 2020-03-18; **接受日期:** 2020-05-15; **网络首发日期:** 2020-08-12

Effect of microbial fermentation on nutrient composition of cassava residues

JIANG Huijiao^{1,2} LI Jing¹ PENG Huiping¹ NI Hengjia¹ FANG Jun²
KONG Xiangfeng^{*1}

1 CAS Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Hunan Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition Physiology and Metabolism Process, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125, China

2 Hunan Engineering Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Swine Production, College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China

Abstract: [Background] The development and utilization of cassava residues (CR) as feed resources can reduce environmental pollution and realize the local transformation of these resources. Microbial fermentation can reduce the crude fiber content of CR, improve their palatability, and increase feed conversion efficiency. [Objective] This study was conducted to screen microbial starter cultures with better fermentation effects on CR and their fermentation duration. [Methods] Three kinds of complex microbial starter cultures, including A (*Bacillus*, *Lactobacillus*, and *Saccharomyces cerevisiae*), B (*Pediococcus pentosaceus*, and *Saccharomyces cerevisiae*), and C (*Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, and *Bacillus subtilis*) were selected and mixed with fresh CR. Then, they were randomly divided into seven groups with five replicates per group. Samples were collected on days 0, 1, 3, 7, 14, 28, and 56 of the fermentation, respectively, to determine the nutritional composition. [Results] Compared with fresh CR, starter culture A and B increased ($P<0.05$) the crude ash content of CR; Starter culture C increased ($P<0.05$) the crude protein content of CR; The three kinds of starter cultures decreased ($P<0.05$) the neutral detergent fiber content of CR and increased ($P<0.05$) the crude fat content. [Conclusion] Microbial fermentation can effectively improve the nutritional value of CR, of which the use of starter culture C for short-term fermentation has the most significant increase in their nutritional value, especially crude protein and crude fat contents.

Keywords: microbial fermentation, cassava residues, nutrients, feedstuff

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)是一种块根灌木植物,适应能力强^[1],在我国广东、广西、海南等省均有大量种植。其中,广西是全国最大的木薯种植区和加工基地,约占全国产量的50%以上^[2]。在木薯加工过程中会产生大量渣液,我国每年产生的木薯渣可达150万t^[3]。这些废弃物得不到妥善处理,不仅会占用土地资源,还会引起环境污染。木薯渣中富含淀粉和微量元素,可作为饲料用于养猪生产^[4-5]。但木薯渣的纤维含量高、蛋白质含量低;另外,新鲜木薯渣的含水量达85%–90%,储存不当易产生有毒的氰类物质。新鲜木薯渣在密封条件下保存3个月后虽然仍能保持原有的感观色泽且含氮量变化小,但其酸性仍较强,适口性差^[6]。这使

得木薯渣的运输、储存和利用均极为不便^[7]。国内外研究已证实,木薯渣经微生物发酵后,其营养价值增加,毒性降低,适口性得到改善^[8];日粮添加发酵木薯渣,能够改善畜禽的生长性能,降低饲养成本,提高养殖效益^[9]。可见,研发木薯渣的发酵工艺可有效解决其贮存和利用问题。因此,本文选用3种复合微生物发酵剂对木薯渣进行发酵处理,筛选发酵效果较好的微生物发酵剂及其发酵时长,为木薯渣饲料的开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 样品

发酵原料木薯渣由都安红河淀粉有限公司提供。

发酵使用的菌种: 发酵剂 A (芽孢菌 $\geq 2.0 \times 10^9$ CFU/g+乳酸菌 $\geq 3.0 \times 10^9$ CFU/g+酿酒酵母菌 5.0×10^9 CFU/g) 由山东百德生物科技有限公司提供, 发酵剂 B (戊糖片球菌 6.0×10^8 CFU/g+酿酒酵母菌 $\geq 4.0 \times 10^9$ CFU/g) 由山东宝来利来生物工程股份有限公司提供, 发酵剂 C (植物乳杆菌 1.0×10^8 CFU/mL+枯草芽孢杆菌 0.2×10^8 CFU/mL+酿酒酵母菌 0.2×10^8 CFU/mL) 由湖南粒丰生物科技有限公司提供。

1.1.2 主要试剂和仪器

石油醚、硫酸钾和五水硫酸铜, 国药集团化学试剂有限公司; 硫酸, 衡阳市凯信化工试剂有限公司。流动注射仪, Seal 公司; 全自动脂肪测定仪、自动纤维分析仪, Gerhardt 公司; 等温式全自动量热仪, 长沙凯德测控仪器有限公司。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计, 设置 7 个发酵处理时间, 每个处理 5 次重复。发酵剂 A: 将 0.20 kg 发酵液、0.20 kg 红糖与 35 °C 左右的 2 kg 温水充分混合后活化 1 h, 均匀喷入待处理的 200 kg 木薯渣后充分混匀; 发酵剂 B: 将 200 kg 木薯渣、0.2 kg 发酵液和 20 kg 玉米粉充分混匀; 发酵剂 C: 将 200 kg 木薯渣、0.2 kg 发酵液和 20 kg 玉米粉充分混匀。装入发酵袋中, 每袋 5 kg, 踩实压紧, 最后抽空气后封口, 室温条件下避光保存。分别于发酵的第 0、1、3、7、14、28 和 56 天, 多点采样后-20 °C 保存待测。

1.3 营养成分测定

样品烘干后进行 40 目粉碎, 水分参照 GB/T 6435-2014《饲料中水分的测定》、粗蛋白质(Crude Protein, CP)采用凯氏定氮法、粗灰分(Crude Ash, Ash)参照 GB/T 6438-2007^[10]测定; 粗脂肪(Ether Extract, EE)采用索氏提取法^[11]、中性洗涤纤维(Neutral Detergent Fiber, NDF)采用滤袋法^[12]测定; 总能(Total Energy, GE)采用氧弹式量热法^[13]测定。所有营养成分含量均以干物质为基础表示。

1.4 数据处理

试验数据以“平均值±标准误”表示, Excel 2010 初步整理后, 用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析(One-Way ANOVA 或 Welch), 并用 Duncan's 或 Tamhane's T2 对各组数据的平均值进行多重比较。 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后水分含量的影响

由表 1 可知, 与发酵剂 A 组相比, 发酵剂 B 组和 C 组的含水量各时间点均显著下降($P < 0.05$)。发酵剂 A 组的含水量较高, B 组和 C 组的含水量较低, 是因为发酵时 A 组加入了水而 B 组和 C 组添加了玉米粉。与发酵前相比, 发酵剂 A 组的含水量各时间点均无显著变化($P > 0.05$); 发酵剂 B 组的含水量显著增加($P < 0.05$); 发酵剂 C 组的含水量在发酵 1-28 d 有一定程度的增加($P > 0.05$)、第 56 天显著增加($P < 0.05$), 可能是因为微生物的繁殖和代谢活动产生了 CO₂ 和乙醇, CO₂ 能从气孔溢出, 使得水分含量相对增加。

表 1 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后水分含量的影响

Table 1 Effects of different microbial starter cultures on water content of fermented cassava residues (%)

时间 Time (d)	微生物发酵剂 Microbial starter cultures		
	A	B	C
0	76.16±0.29A	69.20±0.77Bb	70.41±0.40Bb
1	76.66±0.42A	71.67±0.46Ba	71.54±0.24Bab
3	76.86±0.56A	71.88±0.38Ba	71.54±0.43Bab
7	76.85±0.26A	71.31±0.27Ba	71.94±0.32Bab
14	76.74±0.29A	70.96±0.34Ba	71.85±0.41Bab
28	77.04±0.57A	71.58±0.23Ba	72.24±0.70Bab
56	78.53±0.77A	72.54±0.68Ba	72.97±0.52Ba

注: 同列数据标注不同小写字母表示同种发酵剂在不同时间点间差异显著($P < 0.05$), 同行数据标注不同大写字母表示同一时间点不同发酵剂之间差异显著($P < 0.05$)。下同

Note: Data in the same row with different small letter superscripts mean significantly differ ($P < 0.05$) among the same microbial starter cultures at different time points; Data in the same column with different capital letter superscripts mean significantly differ ($P < 0.05$) among the different microbial starter cultures at the same time point. The same below

2.2 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后粗灰分含量的影响

由表 2 可知,与发酵剂 A 组相比,发酵剂 B 组和 C 组的粗灰分含量在发酵 1–28 d 均显著下降($P<0.05$),发酵剂 C 组的粗灰分含量在第 56 天显著下降($P<0.05$)。与发酵前相比,发酵剂 A 组的粗灰分含量在第 56 天显著增加($P<0.05$),发酵剂 B 组的粗灰分含量在发酵 7–56 d 显著增加($P<0.05$),发酵剂 C 组的粗灰分含量在发酵 1–7 d 显著下降($P<0.05$)。发酵后期木薯渣中粗灰分含量显著增加,可能是因为发酵过程中木薯渣中部分有机物被微生物利用而造成干物质损失,这与 Chi 等^[14]的报道一致。

2.3 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后总能含量的影响

由表 3 可知,与发酵剂 A 组相比,发酵剂 B 组和 C 组的总能含量各时间点均显著增加($P<0.05$);与发酵剂 B 组相比,发酵剂 C 组的总能含量在第 1 天显著下降($P<0.05$),第 3、7 和 56 天显著增加($P<0.05$)。与发酵前相比,发酵剂 A 组和 B 组的总能含量无显著变化($P>0.05$),发酵剂 C 组的总能含量在第 3、7 和 56 天显著增加($P<0.05$)。随发酵时间的延长各组总能含量增加,可能是因为微生物发酵过程中需要利用底物来满足其生长繁殖需要,发酵后底物量减少,导致总能和脂肪的相对增加^[15]。

表 2 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后粗灰分含量的影响

Table 2 Effects of different microbial starter cultures on crude ash content of fermented cassava residues (%)

时间 Time (d)	微生物发酵剂 Microbial starter cultures		
	A	B	C
0	2.52±0.09b	2.42±0.01c	2.34±0.04a
1	2.54±0.06Ab	2.41±0.02Bc	2.21±0.01Ccd
3	2.72±0.05Ab	2.37±0.02Bc	2.19±0.02Cd
7	2.67±0.05Ab	2.53±0.02Bb	2.25±0.04Cbcd
14	2.72±0.02Ab	2.53±0.01Bb	2.28±0.01Cab
28	2.76±0.03Ab	2.58±0.03Bab	2.32±0.03Cab
56	2.93±0.02Aa	2.62±0.01Aa	2.36±0.02Ba

表 3 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后总能含量的影响

Table 3 Effects of different microbial starter cultures on gross energy content of fermented cassava residues (MJ/kg)

时间 Time (d)	微生物发酵剂 Microbial starter cultures		
	A	B	C
0	16.13±0.04B	16.42±0.03Aabc	16.36±0.07Acd
1	16.04±0.03C	16.48±0.04Aab	16.18±0.05Be
3	16.03±0.03C	16.31±0.02Bc	16.56±0.04Aab
7	16.04±0.03C	16.36±0.02Bbc	16.51±0.02Ab
14	16.06±0.03B	16.39±0.07Abc	16.28±0.05Ade
28	15.95±0.05B	16.41±0.04Aabc	16.43±0.04Abc
56	16.08±0.02C	16.53±0.04Ba	16.66±0.03Aa

2.4 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后粗蛋白质含量的影响

由表 4 可知,与发酵剂 A 组相比,发酵剂 B 组和 C 组的粗蛋白质含量各时间点均显著增加($P<0.05$);与发酵剂 B 组相比,发酵剂 C 组的粗蛋白质含量在发酵 3–14 d 显著增加($P<0.05$)、第 56 天显著下降($P<0.05$)。与发酵前相比,发酵剂 A 组的粗蛋白质含量在发酵 7–28 d 显著下降($P<0.05$)、第 56 天显著增加($P<0.05$),发酵剂 B 组的粗蛋白质含量在第 56 天显著增加($P<0.05$),发酵剂 C 组的粗蛋白质含量各时间点均显著增加($P<0.05$)。发酵剂 A 组粗蛋白质含量的下降可能与其含水量过高影响了通透性有关,当含水量过高对菌种生长不利,使营养成分大量渗出;发酵剂 B 组和 C 组粗蛋白质含量的增加与发酵过程中微生物的大量增殖与代谢有关。

表 4 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后粗蛋白质含量的影响

Table 4 Effects of different microbial starter cultures on crude protein content of fermented cassava residues (%)

时间 Time (d)	微生物发酵剂 Microbial starter cultures		
	A	B	C
0	2.73±0.17Bb	3.39±0.07Ab	3.30±0.06Ad
1	2.24±0.02Bb	3.55±0.05Ab	3.83±0.07Ac
3	2.28±0.05Cb	3.33±0.17Bb	4.45±0.17Abc
7	1.93±0.03Cc	3.49±0.08Bb	4.79±0.14Ab
14	1.77±0.10Cc	3.48±0.08Bb	5.71±0.10Aa
28	1.87±0.08Bc	3.51±0.06Ab	3.85±0.29Abc
56	3.73±0.07Ba	4.39±0.10Aa	3.72±0.07Bc

2.5 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后中性洗涤纤维含量的影响

由表 5 可知,与发酵剂 A 组相比,发酵剂 B 组和 C 组的中性洗涤纤维含量在第 0 天和 14–56 d 均显著下降($P<0.05$),发酵剂 B 组中性洗涤纤维含量在第 7 天显著下降($P<0.05$);与发酵剂 B 组相比,发酵剂 C 组的中性洗涤纤维含量在第 1 天和第 56 天显著增加($P<0.05$)。与发酵前相比,发酵剂 A 组的中性洗涤纤维含量各时间点均显著下降($P<0.05$),发酵剂 B 组的中性洗涤纤维含量在第 28 天和第 56 天显著下降($P<0.05$),发酵剂 C 组的中性洗涤纤维含量各时间点均无显著变化($P>0.05$)。试验各组的中性洗涤纤维含量在发酵 1–14 d 内大幅度下降,可能是因为该阶段乳酸菌等菌种的生长旺盛,起到了快速降解纤维素的作用。但随着发酵菌生长到达平台期,其生长速度减缓,对纤维素的降解作用也逐渐下降^[16]。

2.6 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后粗脂肪含量的影响

由表 6 可知,与发酵剂 A 组和 B 组相比,发酵剂 C 组的粗脂肪含量在第 3 天显著下降($P<0.05$),在第 14 天显著增加($P<0.05$)。与发酵前相比,发酵剂 A 组的粗脂肪含量在第 3 天和第 28 天显著增加($P<0.05$),发酵剂 B 组和 C 组各个时间点的粗脂肪含量均无显著变化($P>0.05$)。在发酵第 56 天时各组发

表 5 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后中性洗涤纤维含量的影响

Table 5 Effects of different microbial starter cultures on neutral detergent fiber content of fermented cassava residues (%)

时间 Time (d)	微生物发酵剂 Microbial starter cultures		
	A	B	C
0	37.78±0.80Aa	30.93±0.87Ba	28.87±1.00Bab
1	32.33±0.51Ab	29.93±0.55Ba	31.93±0.69Aa
3	29.04±0.68b	27.82±0.89ab	28.12±0.71b
7	30.69±0.62Ab	27.50±0.28Bab	29.39±0.94ABab
14	32.60±1.09Ab	28.00±1.04Bab	27.80±1.26Bb
28	31.35±0.27Ab	26.03±0.83Bb	24.99±0.52Bb
56	29.06±0.24Ab	22.08±0.17Cc	25.08±0.39Bb

表 6 不同微生物发酵剂对木薯渣发酵后粗脂肪含量的影响

Table 6 Effects of different microbial starter cultures on crude fat content of fermented cassava residues (%)

时间 Time (d)	微生物发酵剂 Microbial starter cultures		
	A	B	C
0	7.27±0.32Bc	8.67±0.26Aabc	8.29±0.45Aab
1	8.31±0.50abc	8.85±0.31ab	8.20±0.29ab
3	9.01±0.39Aab	9.33±0.45Aab	7.28±0.43Bb
7	7.80±0.52bc	7.46±0.50c	7.81±0.37b
14	8.53±0.41Babc	8.06±0.44Bbc	12.09±0.90Aa
28	9.37±0.26a	8.70±0.45abc	10.24±0.77ab
56	8.11±0.20abc	9.57±0.47a	9.35±0.60ab

酵产物中粗脂肪的含量均有不同程度增加。这可能是因为微生物在发酵过程中消耗了底物中的糖类,进而转化生成了脂类物质^[17]。

3 讨论与结论

大量研究发现,混合菌发酵的效果优于单一菌发酵,因为前者可以弥补菌种之间存在的缺陷,充分发挥各种酶的协同作用^[18]。但是,混合菌在发酵时菌种间也会存在相互强化作用,促进发酵;或者是菌种间相互竞争,降低发酵效果。因此,混合菌发酵时各菌种的搭配极其重要。本研究选用了 3 种混合菌种发酵剂对木薯渣进行发酵,且均含有酵母菌,以期达到较好的发酵效果。酵母菌一般为氮素转化菌,其作用是将培养基中的大分子蛋白质以及非蛋白氮转化成营养丰富的微生物蛋白,使原料中蛋白质含量达到理想状态^[19]。Bouatenin 等^[20]报道,酵母菌与乳酸菌、枯草芽孢杆菌等益生菌组合具有优势互补、协同改善发酵效果的作用。Swain 等^[21]提出,乳酸菌和枯草芽孢杆菌能通过产生多种有益物质来提高发酵原料的适口性。

发酵物的含水量与营养物质的溶解性、菌种的生长等密切相关,合适的含水量可促进乳酸菌发酵并在一定程度上抑制有害菌生长;然而含水量过高会影响通透性,对菌种生长不利,使营养成分大量渗出甚至引起霉变^[22]。本研究中,在发酵的第 1 天,各组的含水量均有不同程度的增加,其中发酵剂 B

组的含水量显著增加。微生物的代谢活动可能是造成含水量变化的主要原因。在发酵前期,发酵袋中残留的氧气可使酵母菌大量繁殖,当氧气耗尽后,酵母菌进行厌氧发酵,产生 CO_2 和乙醇, CO_2 能从气孔溢出,使得水分和蛋白质含量相对增加,提高发酵饲料的适口性^[23]。当发酵原料的初始含水量较高时,可通过晾晒等途径减少含水量,提高发酵效果。

粗灰分可反映饲料中矿物元素含量的高低,总能则是饲料中碳水化合物、脂肪和蛋白质能量的总和。在本研究中,微生物发酵后的粗灰分含量有不同程度增加,原因在于微生物在利用发酵底物时,部分营养物质以 CO_2 形式排出,使得其中的粗灰分、粗蛋白质、粗脂肪和总能含量相对增加。

本研究中,发酵提高了木薯渣的粗蛋白质含量,这与赵华等^[24]关于复合微生物固态发酵可以显著提高木薯渣营养价值的报道一致。魏立民等^[25]报道,以 2 000 mL/t 混合菌种发酵木薯渣能够增加粗蛋白质含量,降低中性洗涤纤维含量。

饲料中酸性和中性洗涤纤维的含量越低,饲料的消化率就越高,其饲用价值也就越大^[26]。乳酸菌可将粗纤维降解为单糖、双糖和氨基酸等小分子物质,从而提高饲料的消化率。陈凌华等^[27]报道,在饲料中添加乳酸菌可降低水稻秸秆中的中性洗涤纤维含量。另外,发酵饲料中的细菌、白腐真菌、软腐真菌和褐腐真菌等微生物能够合成纤维二糖脱氢酶,使不可溶的粗纤维转化成葡萄糖、纤维二糖等可溶性糖,进一步降低饲料的粗纤维水平^[28]。

综上所述,微生物发酵可有效提高木薯渣的粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分含量,降低中性洗涤纤维含量,其中发酵剂 C 对木薯渣的短期(14–28 d)发酵效果最佳,发酵剂 B 对木薯渣的长期(56 d)发酵效果最佳。

REFERENCES

- [1] Forbes SJ, Cernusak LA, Northfield TD, Gleadow RM, Lambert S, Cheesman AW. Elevated temperature and carbon dioxide alter resource allocation to growth, storage and defence in cassava (*Manihot esculenta*)[J]. Environmental and Experimental Botany, 2020, 173: 103997
- [2] Huang P, Qi RL. Development and utilization of cassava residue as feed resource[J]. Sichuan Animal & Veterinary Sciences, 2012, 39(12): 34-36 (in Chinese)
黄萍, 齐仁立. 木薯渣作为饲料资源的开发与利用[J]. 四川畜牧兽医, 2012, 39(12): 34-36
- [3] Ji FJ, Wang DF, Hou GY, Zhou X, Zhou HL. Nutrition value analysis of cassava residue[J]. China Feed, 2016(6): 37-40 (in Chinese)
冀凤杰, 王定发, 侯冠斌, 周雄, 周汉林. 木薯渣饲用价值分析[J]. 中国饲料, 2016(6): 37-40
- [4] Kosugi A, Kondo A, Ueda M, Murata Y, Vaithanomsat P, Thanapase W, Arai T, Mori Y. Production of ethanol from cassava pulp via fermentation with a surface-engineered yeast strain displaying glucoamylase[J]. Renewable Energy, 2009, 34(5): 1354-1358
- [5] Liu XF, Li L, Xu X. Advances in comprehensive utilization of cassava residue[J]. Shandong Food Ferment, 2014(4): 19-21 (in Chinese)
刘晓峰, 李莉, 徐新. 木薯渣综合利用研究进展[J]. 山东食品发酵, 2014(4): 19-21
- [6] Soto-Blanco B, Górniak SL. Toxic effects of prolonged administration of leaves of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to goats[J]. Experimental and Toxicologic Pathology, 2010, 62(4): 361-366
- [7] Peng ZL, Wang JL, Lu XJ, Jiao J, Wang G, Zheng Y, Gong P, Yang MP. Study on the composition changes of cassava residue from starch factory under different storage condition[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(18): 103-104, 107 (in Chinese)
彭志连, 王金丽, 陆小静, 焦静, 王刚, 郑勇, 公谱, 杨美萍. 淀粉木薯渣不同保存条件下的成分变化[J]. 广东农业科学, 2012, 39(18): 103-104, 107
- [8] Khempaka S, Molee W, Guillaume M. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2009, 18(3): 487-493
- [9] Wu DQ, Zhang G, Zhang SR, Dai QZ. Study on feed value of cassava residue for growing-fishing pigs[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2015, 42(12): 3239-3245 (in Chinese)
吴端钦, 张刚, 张石蕊, 戴求仲. 木薯渣对生长肥育猪饲用价值的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2015, 42(12): 3239-3245
- [10] Lu J, Guo LL, Yang Y, Shang FF, Li X, Fan XY, Shang Z, Li J. Key control points during the detection of feed routine nutrition indexes[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(9): 2701-2707 (in Chinese)
陆静, 郭丽丽, 杨莹, 商方方, 李贤, 范晓燕, 商政, 李俊. 饲料常规营养指标检测过程的关键控制点[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(9): 2701-2707
- [11] Wei YY, Yin JJ, Zhang L. Study on determination of fat in sausage by fat analyzer[J]. Meat Industry, 2012(3): 15-16 (in Chinese)

- 魏永义, 尹军杰, 张莉. 脂肪测定仪测定香肠中脂肪含量的研究[J]. 肉类工业, 2012(3): 15-16
- [12] Liu Y, Zhou J, Chen DM, Wang LN, Hu L. Validation results and analysis of quantitative determination ability of crude fiber in feed[J]. Feed Review, 2020(4): 42-45, 48 (in Chinese)
刘英, 周娟, 陈冬梅, 王利娜, 胡露. 饲料中粗纤维定量测定能力验证结果与分析[J]. 饲料博览, 2020(4): 42-45, 48
- [13] Cai AM, Li PT, Fan YT, Li GY, Gao TY. Effects of grinding particle size on gross energy of total mixed ration measured by oxygen bomb calorimetry[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(9): 4194-4199 (in Chinese)
蔡阿敏, 李鹏涛, 范逸婷, 李改英, 高腾云. 粉碎粒度对氧弹式量热法测定全混合日粮总能的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9): 4194-4199
- [14] Chi CH, Cho SJ. Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *Lactobacillus* spp. and *Saccharomyces cerevisiae*[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 68: 619-625
- [15] Chen ZP, Zhou AG, Wang ZS, Liu DC, Peng DY. Evaluation of nutritional quality of soybean meals fermented by *Aspergillus oryzae*[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2011, 47(9): 40-44 (in Chinese)
陈中平, 周安国, 王之盛, 刘大春, 彭点懿. 米曲霉发酵豆粕营养特性的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47(9): 40-44
- [16] Wang P, Souma K, Saitou T, Iwata S, Tanaka T, Hanada M, Masuko T. Influences of the addition of a lactic acid bacterial inoculant or mixture of lactic acid bacteria and enzyme to corn silage on fermentation quality and the nutritive value and nutrient intake by sheep[J]. Japanese Journal of Grassland Science, 2009, 54(4): 311-316 (in Japanese)
- [17] An XP, Wang ZQ, Qi JW, Yu CQ, Tong BS. Effects of mixed bacteria solid-state fermentation on nutritional characteristics of soybean meal[J]. Feed Research, 2014(1): 66-70 (in Chinese)
安晓萍, 王哲奇, 齐景伟, 于长青, 仝宝生. 混菌固态发酵对豆粕营养特性的影响[J]. 饲料研究, 2014(1): 66-70
- [18] Huanghe QT, Bin DM, Yi C, Wu DQ, Rao LQ. Comparison of the degradation effects of cellulose between single strain and mixed strains fermentation with brewer's grains[J]. Cereal & Feed Industry, 2016(1): 46-50 (in Chinese)
黄河清涛, 宾冬梅, 易诚, 伍渡清, 饶力群. 啤酒糟单菌发酵与混菌发酵降解纤维素效果比较[J]. 粮食与饲料工业, 2016(1): 46-50
- [19] Gu LT, Zhang GQ, Song DG. Change of crude protein in bean dregs with mixed bacteria[J]. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 2011, 29(3): 80-83 (in Chinese)
辜澜涛, 张光琦, 宋德贵. 混合菌发酵豆渣检测其粗蛋白变化情况[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2011, 29(3): 80-83
- [20] Bouatenin KMJP, Djeni NT, Kouame KA, Bi YCT, Menan EH, Dje KM. Use of starter cultures of lactic acid bacteria, yeasts, bacilli and moulds in the fermentation of cassava dough for attiéké (an ivoirien fermented food) preparation[J]. International Journal of Innovation and Applied Studies, 2017, 21(1): 48-58
- [21] Swain MR, Ray RC. Alpha-amylase production by *Bacillus subtilis* CM3 in solid state fermentation using cassava fibrous residue[J]. Journal of Basic Microbiology, 2007, 47(5): 417-425
- [22] Li L, Chen XL, Xu JX. Research on process parameters and quality of the complex probiotics fermented feed[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2010, 28(6): 530-533, 551 (in Chinese)
李龙, 陈小连, 徐建雄. 复合益生菌发酵饲料工艺参数及品质研究[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2010, 28(6): 530-533, 551
- [23] Geng MY, Chen CH, Liu JM, Yang GW. Application of biological fermentation feed in piglet development[J]. Xinjiang Xumuye, 2015(1): 35, 27 (in Chinese)
耿明阳, 陈春华, 刘建明, 杨光维. 生物发酵饲料在仔猪发育的应用性研究[J]. 新疆畜牧业, 2015(1): 35, 27
- [24] Zhao H, Tang XP, Tang JY, Cao L, Wang XT, Jia G, Liu GM, Chen XL, Wang KN. Solid-state fermentation parameters optimization and nutritional improvement of cassava residue with complex culture of microbial strains[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2016, 52(5): 55-59, 92 (in Chinese)
赵华, 汤小鹏, 汤加勇, 曹蕾, 王雪涛, 贾刚, 刘光芒, 陈小玲, 王康宁. 复合生态菌固态发酵木薯渣工艺参数优化及混菌发酵对木薯渣营养品质的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(5): 55-59, 92
- [25] Wei LM, Liu QW, Huang LL, Liu HL, Zheng XL, Wang F, Chao Z, Sun RP. Effects of EM ecological probiotics on the quality of fermentation cassava dregs[J]. Cereal & Feed Industry, 2016(12): 44-46 (in Chinese)
魏立民, 刘圈伟, 黄丽丽, 刘海隆, 郑心力, 王峰, 晁哲, 孙瑞萍. EM生态益生菌对木薯渣发酵品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2016(12): 44-46
- [26] Xue ZL, Song LM, Huang BZ. Effects of adding urea or salt on silage quality of *Sorghum vulgare* × *S. udanense*[J]. Chinese Journal of Grassland, 2014, 36(1): 75-78 (in Chinese)
薛祝林, 宋丽梅, 黄必志. 添加尿素或食盐对高丹草青贮品质的影响[J]. 中国草地学报, 2014, 36(1): 75-78
- [27] Chen LH, Yang ZJ, Cheng ZX. Effects of enzyme preparation and lactic acid bacteria on the fermentation quality of rice straw silage[J]. China Feed, 2018(20): 81-85 (in Chinese)
陈凌华, 杨志坚, 程祖铨. 添加酶制剂和乳酸菌对水稻秸秆青贮质量的影响[J]. 中国饲料, 2018(20): 81-85
- [28] Huang JH, Wang SC, Liang ZM. Study of process conditions of cassava residue fermented by mixed strains[J]. Feed Industry, 2014, 35(11): 22-25 (in Chinese)
黄金华, 王士长, 梁珠民. 多菌种混合发酵木薯渣饲料的工艺条件研究[J]. 饲料工业, 2014, 35(11): 22-25