

邢文会,付瑞敏,王 丁,等. 微生物发酵甘薯渣产蛋白饲料的工艺优化及对育肥猪生产性能的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):279-284.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.04.079

微生物发酵甘薯渣产蛋白饲料的工艺优化 及对育肥猪生产性能的影响

邢文会¹,付瑞敏^{1,2},王 丁¹,王雅雅²,谷亚楠²,郭彦钊²,陈五岭²

(1. 河南教育学院,河南郑州 450046; 2. 西北大学生命科学学院,陕西西安 710069)

摘要:以甘薯渣为原料,利用复合微生物菌剂进行固态发酵,并探讨发酵产物对育肥猪生产性能的影响。采用响应面法对甘薯渣的发酵条件进行优化,在单因素试验的基础上,选择接种量、发酵温度、初始 pH 值 3 个因素,以发酵产物的真蛋白含量作为响应值进行响应面法分析,并将发酵产物作为添加物进行育肥猪饲喂试验。结果表明,微生物发酵甘薯渣产蛋白饲料的最优工艺是:接种量 1.64%、发酵温度 29.79 ℃、初始 pH 值 5.59。在该条件下,真蛋白含量增加至 22.95%,比优化前提高了 47.68%。此外,经检测,发酵后产物各项评价指标均良好,可将其添加入育肥猪饲料中,且最佳添加比例为 10%。

关键词:甘薯渣;发酵条件;响应面法;育肥猪

中图分类号:S816.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)04-0279-06

甘薯是一种高产而适应性强的粮食作物^[1],甘薯块根中

收稿日期:2015-11-26

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(编号:15B180002);河南省高等学校青年骨干教师资助计划(编号:2014GGJS-216);陕西省重大科技创新项目(编号:2009ZKC04-16);河南教育学院青年科研课题(编号:20100103);河南省基础与前沿技术研究(编号:152300410092)。

作者简介:邢文会(1982—),女,河南郑州人,硕士,讲师,主要从事动物营养及发育研究。Tel:(0371)69303781;E-mail:angelaminmin@163.com。

通信作者:陈五岭,硕士,教授,主要从事农业微生物研究。Tel:(029)88303700;E-mail:wulingchen@yeah.net。

的拮抗性能与其和致病菌具有良好的凝集率有关,由结果分析可知,JSSW-LA 与温和气单胞菌、豚鼠气单胞菌的凝集率要高于 JSSW-LA 与嗜水气单胞菌、维氏气单胞菌、爱德华氏菌的凝集率。

参考文献:

- [1] 曾子丹,姚朔影. 益生菌的研究前景及国内外发展状况[J]. 食品工业科技,2007,28(8):251-254.
- [2] Goddard S. Feed management in intensive aquaculture[J]. American Journal of Roentgenology Radium Therapy & Nuclear Medicine, 1996,149(2):159-179.
- [3] 权春善,王军华,徐洪涛,等. 一株抗真菌解淀粉芽孢杆菌的分离鉴定及其发酵条件的初步研究[J]. 微生物学报,2006,46(1):7-12.
- [4] 布坎南 R E,吉本斯 N E. 伯杰氏细菌鉴定手册[M]. 中国科学院微生物研究所,译. 8 版. 北京:科学出版社,1984:751-767.
- [5] 东秀珠,蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2001:364-398.
- [6] 曹海鹏,何 珊,刘丽玲,等. 鲟源病原性嗜水气单胞菌拮抗芽孢

含大量的淀粉、糖分、蛋白质和纤维素半纤维素等营养成分^[2-5]。甘薯不仅可以用作人类的主粮,还是饲料生产、淀粉加工和乙醇制造等行业的重要原材料。研究资料表明,甘薯中的膳食纤维对维持人和动物的胃肠道健康具有极其重要的作用^[6-8]。甘薯渣是甘薯淀粉厂提取甘薯淀粉后剩余的残渣,其主要成分是淀粉、纤维素和蛋白质等,质量约占鲜质量的 45%~60%。当前,饲料工业中大多采用新鲜薯渣来生产饲料,陈年薯渣由于久置生霉、产乙醇等原因不易被动物食用,故大多被废弃,不仅污染环境,还造成了资源的浪费^[9-11]。

当前,随着生物技术与饲料加工产业的不断融合,生物饲料的开发已逐渐成为我国饲料加工的热点。基于生物饲料的

杆菌的鉴定及其生物学特性[J]. 微生物学通报,2011,38(9):1377-1384.

- [7] Ongena M, Jacques P. Bacillus lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol[J]. Trends in Microbiology, 2008,16(3):115-125.
- [8] 陈 成,崔堂兵,于平儒. 一株抗真菌的解淀粉芽孢杆菌的鉴定及其抗菌性研究[J]. 现代食品科技,2011,27(1):36-39.
- [9] 王德培,孟 慧,管叙龙,等. 解淀粉芽孢杆菌 BI2 的鉴定及其对黄曲霉的抑制作用[J]. 天津科技大学学报,2010,25(6):5-9.
- [10] Kim M S, Jeong H D. Development of 16S rRNA targeted PCR methods for the detection and differentiation of *Vibrio vulnificus* in Marine environments[J]. Aquaculture, 2001,193(3/4):199-211.
- [11] Kesarcodi-Watson A, Kaspar H, Lategan M J, et al. Probiotics in aquaculture: the need, principles and mechanisms of action and screening processes[J]. Aquaculture, 2008,274(1):1-14.
- [12] 刘亚楠. 团头鲂源嗜水气单胞菌拮抗菌的筛选及拮抗特性研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [13] Gordon A S, Millero F J. Electrolyte effects on attachment of an estuarine bacterium[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1984,47(3):495-499.

生产特点,用有益微生物复合菌剂发酵陈年薯渣,利用菌体的生长代谢将薯渣中各种成分进行高效转化并生产蛋白饲料,不仅解决陈年薯渣的污染等难题,还可有效提高薯渣中蛋白质的利用率。此外,由于发酵产物中含有丰富的维生素、矿物质和其他生物活性物质,将其添加于饲料中,可有效提高畜禽的生长率^[12-15]。

本研究拟采用功能微生物发酵陈年甘薯渣,并以发酵残留物中真蛋白含量为品质测定标准,对发酵条件进行优化。采用优化工艺进行蛋白饲料的扩大生产,经测定,所得产物各养分评价指标均良好,育肥猪饲喂试验结果表明,发酵后的产物不仅可提高适口性,还可有效提高育肥猪的料肉比和鲜肉品质等生产性能。本研究结果不仅能够有效解决陈年甘薯渣造成的环境污染问题,还可以实现其资源化,将其用于饲料生产和畜禽养殖,可有效降低生产成本,具有良好的环境和经济效益。

1 材料与方法

1.1 试验材料

陈年甘薯渣:取自山西美家园生物科技股份有限公司。薯渣经固液分离后,含水率为 60%,搅碎成糊状物备用。

功能微生物复合菌剂:为产朊假丝酵母、解脂假丝酵母、乳酸乳球菌、米曲霉。菌种保存于西北大学农业及环境微生物技术工程实验室。

1.2 试验方法

1.2.1 单因素试验 通过对影响甘薯渣发酵的主要因素进行单因素试验,包括:接种量、发酵温度、初始 pH 值、发酵温度。以发酵产物中真蛋白含量的变化来判断各因素对薯渣发酵工艺的影响。

1.2.2 响应面优化发酵条件的优化 根据单因素试验结果,利用 2-Level Factorial Design 试验设计,从发酵接种量、发酵温度、初始 pH 值和发酵温度 4 因素中筛选出对发酵工艺影响重要的 3 个单因素,通过爬坡试验确定各因素的最佳取值范围。利用 Box-Behnken 中心组合试验设计原理,采用响应面法,以甘薯渣残留物真蛋白含量为响应值,进行 3 因素 3 水平试验对甘薯渣发酵条件进行优化。

1.3 甘薯渣发酵残留物品质测定

真蛋白的测定^[16]:用三氯乙酸沉淀法进行预处理后,按照 GB 500905—1986《食品中蛋白质的测定》的方法测定,具体操作流程如下:取发酵产物样品 2 g,加入三氯乙酸 10 mL,振荡摇匀,静置 30 min, 3 000 r/min 离心 10 min,留沉淀,加入三氯乙酸,振荡摇匀、静置、离心,重复过程 2 次,收集沉淀物备用,采用凯氏定氮法^[17]测定沉淀物蛋白含量即为真蛋白。粗脂肪:按照 GB 6433—1986《饲料粗脂肪测定方法》中的索氏提取法测定。粗灰分:按照 GB 6438—1994《饲料中粗灰分的测定方法》的高温灼烧法测定。粗纤维:按照 GB/T 6434—1994《饲料中粗纤维测定方法》中的酸碱洗涤法测定。水分:按照 GB 6435—1992《饲料中水分的测定》方法测定。乳酸菌的测定用平板活菌计数法^[18],采用改良 MRS 培养基。大肠杆菌的测定采用 GB 4789.3—2010《食品微生物学检验 大肠菌群计数》标准执行;酵母菌的测定按照 GB 4789.15—2003《食品卫生微生物学检验 霉菌和酵母计数》标准执行。

1.4 育肥猪的饲养试验研究

选用生长状况基本一致的育肥猪 40 头,随机分组,每组 10 头,对照组饲喂基础日粮,1 号试验组添加 5% 发酵产物,2 号试验组添加 10% 发酵产物,3 号试验组添加 15% 发酵产物。试验周期为 60 d,完成后测定料肉比、屠宰率、肉的品质。试验地点为陕西某养猪场。

料肉比计算方法如下:

料肉比 = 日均耗饲料量/日均增质量;

其中,日均耗饲料量 = 总耗料量/饲养天数;

日均增质量 = (试验猪末质量 - 初质量)/饲养天数。

屠宰率 = 胴体质量/宰前活质量 × 100%。

育肥猪胴体质量为:屠宰后去头、蹄、尾及内脏,保留板油和肾脏的躯体质量。

肉的品质测定包括:pH 值的测定、剪切力的测定、肉色的测定、大理石纹评分^[19]。测定对象为猪肋骨处的背最长肌。用 PH 值 S-25 数显酸度计测定肌肉 pH 值;用 C-L M3B 型数显式肌肉嫩度仪测定剪切力;使用美制 NPPC 标准比色板进行肉色测定;使用美制 NPPC 标准比色板进行大理石纹测定。

鲜肉肉色分为 5 级评定^[20]:1 分为灰白色(PSE 肉色),2 分为轻度灰白(倾向 PSE 肉色),3 分为亮红色(正常肉色),4 分为稍深红色(正常肉色),5 分为暗紫色(DFD 肉色)。

大理石纹:大理石纹是评定肉质指标之一,将最后肋骨处的背最长肌横断面置于 4 ℃冷却 24 h 后测定。评分制分为 5 个等级:1 分为脂肪极少量,2 分为脂肪微量,3 分为脂肪少量,4 分为脂肪适量,5 分为脂肪过量。

2 结果与分析

2.1 接种量对真蛋白含量的影响

在发酵条件为发酵温度 32 ℃、发酵时间 2 d、初始 pH 值自然的情况下,当接种量分别为 0.5%、1%、1.5%、2%、2.5% 时,真蛋白含量的变化情况如图 1 所示。从图 1 可知,在接种量为 0.5%~1.5% 范围内,发酵产物真蛋白含量随着接种量的增加而增加。当接种量为 1.5% 时,真蛋白含量达到了 22.05%。当接种量超过 1.5% 时,真蛋白含量有所下降,从菌体生长和生产成本来看,选择 1.5% 的接种量为最佳。

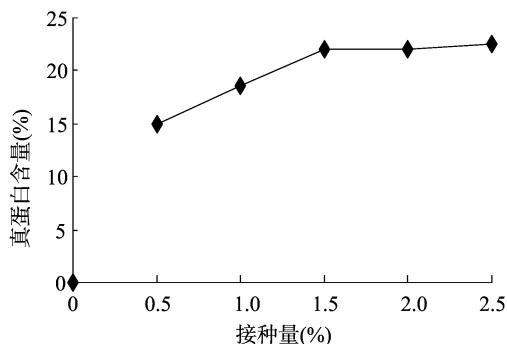


图1 接种量对甘薯渣饲料真蛋白含量的影响

2.2 发酵温度对发酵产物真蛋白含量的影响

在发酵条件为发酵时间 2 d、接种量 1.5%、初始 pH 值自然,发酵温度分别是 26、28、30、32、34 ℃ 时,各组发酵后的真

蛋白含量见图 2。由图 2 可以看出,在 26~30℃ 范围内,甘薯渣发酵产物的真蛋白含量随着温度的升高而增加,在 30℃ 时发酵产物真蛋白含量达到了 21.92%。当发酵温度超过 30℃,真蛋白含量下降。

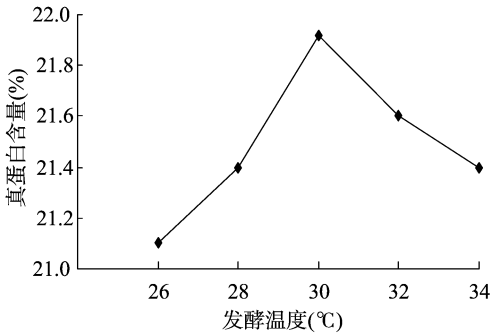


图2 发酵温度对甘薯渣饲料真蛋白含量的影响

2.3 初始 pH 值对发酵产物真蛋白含量的影响

在发酵条件为发酵温度 32℃、接种量 1.5% 的情况下,发酵时间 2 d,初始 pH 值分别设置 5.0、5.5、6.0、6.5、7.0 时,各组发酵后的真蛋白含量见图 3。从图 3 可以看出,pH 值在 5.0~5.5 之间,真蛋白含量的增加趋势明显,在 pH 值 5.5 时真蛋白含量达到了 22.96%。当 pH 值在 5.5~6.5 之间,真蛋白含量呈下降趋势。

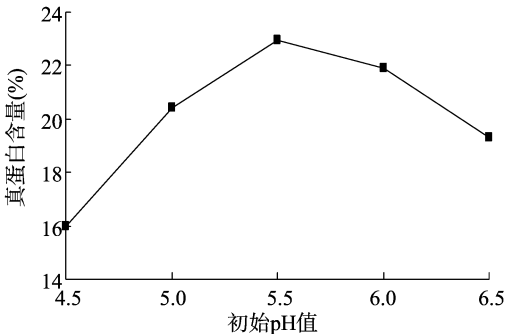


图3 初始pH值对甘薯渣饲料真蛋白含量的影响

2.4 发酵时间对发酵产物真蛋白含量的影响

在发酵温度 32℃、接种量 1.5%,初始 pH 值为自然的情况下,分别设置发酵时间为 24、36、48、60 h 时,各组发酵后的真蛋白含量见图 4。从图 4 可以看出,发酵时间在 24~48 h 之间时,真蛋白含量逐渐增加,当发酵时间为 48 h,真蛋白含量为 21.96%,当发酵时间超过 48 h 之后,真蛋白含量慢慢下降。可能是由于发酵物质缺乏,菌体繁殖将部分真蛋白分解。

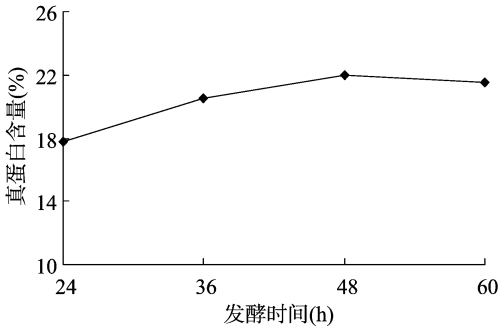


图4 发酵时间对甘薯渣饲料真蛋白含量的影响

2.5 影响发酵工艺的主要因素及其范围

利用 Design Expert 8.0.5b 软件中 2 - Level Factorial Design 设计试验,从接种量、发酵温度(℃)、初始 pH 值和发酵温度中选出主要的影响因素。因素水平表以及试验设计见表 1 和表 2。

表 1 甘薯渣饲料发酵条件因素水平

| 水平编码 | 接种量 (%) | 发酵温度 (℃) | 初始 pH 值 | 发酵时间 (h) |
|------|---------|----------|---------|----------|
| -1 | 1 | 28 | 5 | 48 |
| 1 | 2 | 32 | 6 | 60 |

表 2 甘薯渣饲料发酵 2 - Level Factorial Design 试验设计及结果

| 试验号 | 因素 | | | | 真蛋白含量 (%) |
|-----|---------|----------|---------|----------|-----------|
| | 接种量 (%) | 发酵温度 (℃) | 初始 pH 值 | 发酵时间 (h) | |
| 1 | 1 | 32 | 5 | 60 | 19.72 |
| 2 | 2 | 32 | 5 | 36 | 21.45 |
| 3 | 1 | 32 | 6 | 36 | 19.84 |
| 4 | 2 | 28 | 5 | 60 | 21.85 |
| 5 | 1 | 28 | 6 | 60 | 20.94 |
| 6 | 2 | 28 | 6 | 36 | 22.56 |
| 7 | 1 | 28 | 5 | 36 | 19.75 |
| 8 | 2 | 32 | 6 | 60 | 22.52 |

方差分析结果(表 3)表明,对甘薯渣发酵产物中真蛋白含量的影响因素中,依次为:接种量 > 初始 pH 值 > 发酵温度。

表 3 甘薯渣饲料发酵各因素方差分析结果

| 方差来源 | 平方和 SS | 自由度 df | 均方和 MS | F 值 | P 值 | 重要性 |
|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-----|
| 接种量 | 8.26 | 1 | 8.26 | 165.09 | 0.001 0 | 1 |
| 发酵温度 | 0.31 | 1 | 0.31 | 6.16 | 0.089 2 | 3 |
| 初始 pH 值 | 1.19 | 1 | 1.19 | 23.85 | 0.016 4 | 2 |
| 发酵时间 | 0.26 | 1 | 0.26 | 5.11 | 0.108 9 | 4 |
| 残差 | 0.15 | 3 | 0.050 | | | |
| 总和 | 10.17 | 7 | | | | |

2.6 响应曲面法优化发酵工艺

根据以上单因素试验以及 2 - Level Factorial Design 试验设计的结果,采用响应曲面法对发酵工艺条件进行优化,因素水平见表 4。采用响应曲面法进行多元回归分析,以接种量、发酵温度和初始 pH 值 3 因素 3 水平设计 Box - Benhnken 中心试验,响应面分析方案与结果见表 5。

表 4 甘薯渣饲料发酵条件优化因素水平

| 水平 | 因素 | | |
|----|-----------|------------|-----------|
| | A:接种量 (%) | B:发酵温度 (℃) | C:初始 pH 值 |
| -1 | 1.0 | 28 | 5.0 |
| 0 | 1.5 | 30 | 5.5 |
| 1 | 2.0 | 32 | 6.0 |

利用 Design Expert 8.0.5b 软件对表 5 试验数据进行多元回归拟合,获得真蛋白含量(R)对接种量(A)、发酵温度(B)和初始 pH 值(C)的二次多项回归模型方程为:

表 5 甘薯渣饲料发酵 Box - Behnken 试验设计及结果

| 试验号 | 因素 | | | 真蛋白含量 (%) | | |
|-----|----|----|----|-----------|-------|-------|
| | A | B | C | 试验值 | 预测值 | 残差 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 22.96 | 22.96 | 0.00 |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 20.98 | 21.15 | -0.17 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 20.32 | 20.49 | -0.17 |
| 4 | -1 | 1 | 0 | 18.52 | 18.69 | -0.17 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 22.96 | 22.96 | 0.00 |
| 6 | -1 | -1 | 0 | 18.53 | 18.70 | -0.17 |
| 7 | 0 | 1 | -1 | 20.24 | 20.24 | 0.00 |
| 8 | -1 | 0 | 1 | 18.65 | 18.48 | 0.17 |
| 9 | -1 | 0 | -1 | 18.76 | 18.59 | 0.17 |
| 10 | 0 | -1 | -1 | 20.08 | 20.08 | 0.00 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 22.96 | 22.96 | 0.00 |
| 12 | 1 | 1 | 0 | 21.56 | 21.56 | 0.00 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 22.96 | 22.96 | 0.00 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 22.96 | 22.96 | 0.00 |
| 15 | 1 | -1 | 0 | 20.74 | 20.57 | 0.17 |
| 16 | 1 | 0 | -1 | 20.32 | 20.32 | 0.00 |
| 17 | 0 | -1 | 1 | 21.56 | 21.39 | 0.17 |

$$R = 22.963 + 1.14 \times A - 0.27 \times B + 0.39 \times C + 0.21 \times A \times B + 0.19 \times A \times C - 0.35 \times B \times C - 2.00 \times A^2 - 1.13 \times B^2 - 1.28 \times C^2 + 0.47 \times A^2 \times B - 0.25 \times A^2 \times C。$$

由 NAVOA 拟合结果 (表 6) 分析可知:模型 F 检验极显著 ($P < 0.001$), 失拟项 $P = 0.23 > 0.05$, 表明此二次回归模型拟合性较好, 决定系数 $r^2 = 0.9948$, 调整决定系数 $r^2_{adj} = 0.9835$, 说明回归方程能较好地描述各影响因素与响应值之间的关系。从表 6 可以看出:接种量 (A)、接种量 (A) 的二次方、初始 pH 值 (C) 的二次方对真蛋白含量的影响极显著

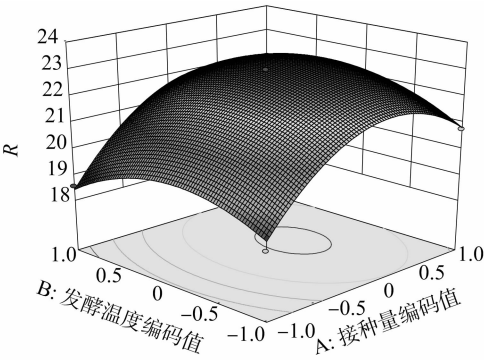


图 5 接种量与发酵温度 2 因素交互对甘薯渣饲料真蛋白含量的响应面分析

从图 6 可以看出,接种量 (A) 与初始 pH 值 (C) 对真蛋白含量的含量影响明显,响应面图曲面较陡峭,并且 2 个因素的交互作用不明显。接种量 (A) 与发酵温度 (B) 交互作用与接种量 (A) 与初始 pH 值 (C) 交互作用相比,前者对真蛋白含量交互作用比后者明显,即 P 值为 0.111 5 和 0.133 4。当接种量一定时,初始 pH 值大于 5.5 时,真蛋白含量呈下降趋势,较高的 pH 值不利于陈年薯渣发酵。

从图 7 可以看出,发酵温度 (B) 和初始 pH 值 (C) 对真蛋白含量的影响显著,响应面曲面较为陡峭。发酵温度 (B) 和初始 pH 值 (C) 2 个因素的交互作用也是明显的。

基于试验设计软件 Design Expert 8.0.5b,对试验结果进

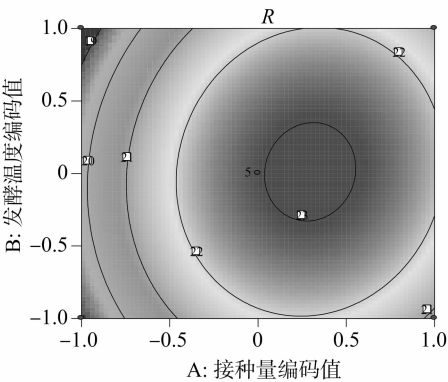
($P < 0.01$)。各影响因素对真蛋白含量的影响显著性顺序为:接种量 > 初始 pH 值 > 发酵温度,该模型可用于陈年薯渣发酵条件的优化。

表 6 甘薯渣饲料发酵条件结果方差分析

| 方差来源 | df | SS | MS | F 值 | P 值 | 显著性 |
|------------------|----|-------|-------|--------|---------|-----|
| 模型 | 11 | 44.59 | 4.05 | 87.67 | <0.0001 | ** |
| A | 1 | 10.44 | 10.44 | 225.83 | <0.0001 | ** |
| B | 1 | 0.29 | 0.29 | 6.31 | 0.0537 | |
| C | 1 | 0.61 | 0.61 | 13.16 | 0.0151 | * |
| AB | 1 | 0.17 | 0.17 | 3.72 | 0.1115 | |
| AC | 1 | 0.15 | 0.15 | 3.21 | 0.1334 | |
| BC | 1 | 0.49 | 0.49 | 10.60 | 0.0226 | * |
| A ² | 1 | 16.80 | 16.80 | 363.32 | <0.0001 | ** |
| B ² | 1 | 5.33 | 5.33 | 115.25 | 0.0001 | * |
| C ² | 1 | 6.95 | 6.95 | 150.36 | <0.0001 | ** |
| A ² C | 1 | 0.13 | 0.13 | 2.76 | 0.1577 | |
| A ² B | 1 | 0.45 | 0.45 | 9.66 | 0.0266 | * |
| 残差 | 5 | 0.23 | 0.046 | | | |
| 失拟检验 | 1 | 0.23 | 0.23 | | | |
| 纯误差 | 4 | 0.000 | 0.000 | | | |
| 总和 | 16 | 44.82 | | | | |

注: ** 表示极显著水平 ($P < 0.01$), * 表示显著水平 ($P < 0.05$)。

根据回归方程,利用响应面软件可以绘制出两两交互作用对真蛋白含量影响的等高线和响应面曲线图,所得结果见图 5、图 6、图 7。从图 5 可以看出,当初始 pH 值为 5.5 时,接种量和发酵温度对真蛋白含量的交互影响。接种量 (A)、发酵温度 (B) 对真蛋白含量的影响都是明显的,曲面比较陡峭。接种量 (A) 与发酵温度 (B) 交互作用是不明显的。



行优化,获得最大真蛋白含量的各试验条件为:接种量为 1.64%、发酵温度为 29.79 ℃、初始 pH 值为 5.59。为了检验模型的可靠性,以及实际试验的可操作性,将接种量取为 1.6%、发酵温度取为 30 ℃、初始 pH 值取为 5.6,在此条件下进行验证试验,平行测定 3 次,所得真蛋白含量的平均值为 22.95%,与模型预测的结果很接近,表明该模型可信,具有实际的应用价值。

2.7 扩大验证试验发酵品质测定

在最优工艺条件下,根据实际生产条件,取 1 kg 陈年薯渣进行扩大发酵试验,对发酵原料和发酵产物采用三点法取样,并对发酵后产物进行各项指标测定。从表 7 可以看出:经过发

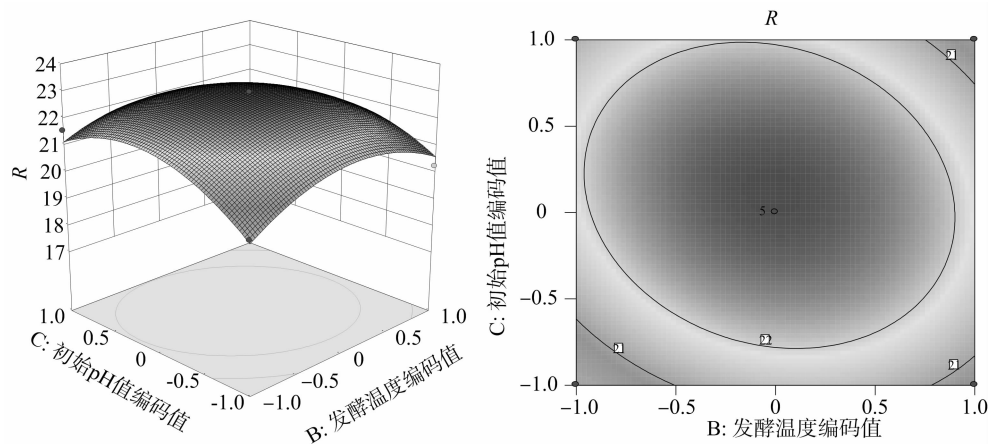


图6 发酵温度与初始pH值2因素交互对甘薯渣饲料真蛋白含量的响应面分析

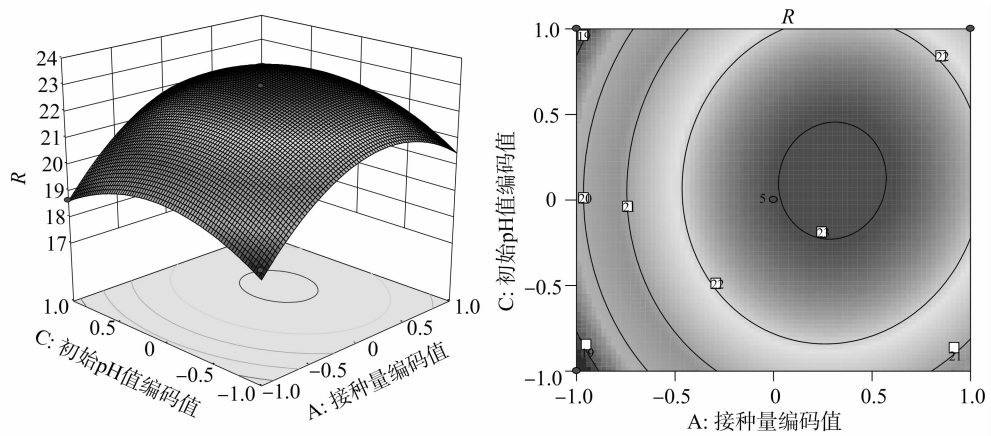


图7 接种量与初始pH值2因素交互对甘薯渣饲料真蛋白含量的响应面分析

表 7 陈年甘薯渣发酵前后的营养成分

| 样品 | 真蛋白含量 (%) | 粗脂肪含量 (%) | 粗灰分含量 (%) | 水分含量 (%) | 酵母菌数 (CFU/g) | 乳酸菌数 (CFU/g) | 大肠杆菌数 (CFU/g) |
|------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------------|-------------------|---------------|
| 发酵原料 | 15.54 | 7.47 | 3.24 | 70 | $<1 \times 10^6$ | $<1 \times 10^7$ | 545 |
| 发酵产物 | 22.95 | 6.43 | 4.34 | 18.5 | 7.7×10^8 | 2.8×10^9 | 25 |

酵后产物中酵母菌数量达到了 7.7×10^8 CFU/g,发酵产物有发酵香味。乳酸菌数达到了 2.8×10^9 CFU/g,大肠杆菌的数量由发酵前的 545 CFU/g 降低至发酵后的 25 CFU/g。发酵产物的各项微生物指标良好。真蛋白含量增加了 47.68%,粗脂肪以及粗灰分变化量不明显。

2.8 发酵产物对育肥猪饲养试验研究

试验猪基础日粮由养殖场提供,育肥结束后,测定料肉

比、屠宰率、肉品质。由表 8 可知,2 号试验组的料肉比最小,小于对照组,并且优于 1 号和 3 号试验组,各试验组屠宰率结果中,2 号试验组大于其他试验组,因此选用添加 10% 的甘薯渣发酵产物作为最佳的添加量。由表 9 可知,鲜肉 pH 值在 6.2 左右,肉色评分在 3~4 分之间,色泽良好,大理石纹评分在 4 左右,肌肉脂肪呈适量分布。上述结果表明甘薯渣发酵产物的添加对鲜肉品质无影响。

表 8 各试验组育肥猪的料肉比以及屠宰率检测

| 试验组 | 日均耗饲料量 (kg) | 日均增质量 (g) | 料肉比 | 宰前活质量 (kg) | 胴体质量 (kg) | 屠宰率 (%) |
|-----|-------------|-----------|----------|------------|-----------|---------|
| 对照 | 2.354 | 700.5 | 3.36 : 1 | 98.5 | 77.2 | 78.38 |
| 1 号 | 2.478 | 776.8 | 3.19 : 1 | 110.5 | 89.4 | 80.90 |
| 2 号 | 2.608 | 825.7 | 3.16 : 1 | 120.5 | 99.5 | 82.57 |
| 3 号 | 2.645 | 825.4 | 3.20 : 1 | 121.2 | 99.8 | 82.34 |

3 结论与讨论

通过利用复合微生物菌剂对陈年甘薯渣进行发酵,提高

发酵产物的真蛋白含量并且应用于育肥猪的饲喂过程中。通过单因素试验,试验因素分别为接种量、发酵温度、初始 pH 值,利用响应面法对发酵条件进行优化,在最优条件下,根据

表 9 各试验组育肥猪肉质的测定结果

| 试验组 | pH 值 | 剪切力 (kg/cm ²) | 肉色评分 | 大理石纹 评分 |
|-----|------|------------------------------|------|------------|
| 对照 | 6.22 | 2.95 | 3.00 | 3.5 |
| 1 号 | 6.20 | 2.64 | 3.5 | 4.0 |
| 2 号 | 6.18 | 2.52 | 3.5 | 4.5 |
| 3 号 | 6.20 | 2.62 | 3.75 | 4.5 |

实际生产情况进行扩大验证试验,结果表明与预测模型十分相近,并且真蛋白含量的增加率为 47.68%。将发酵产物作为饲料添加物,对育肥猪进行饲喂试验,结果表明,当添加量为 10% 时,与其他组相比料肉比小、屠宰率高。说明添加 10% 发酵产物后的饲料适口性好,并且经过检测鲜肉品质较之前有所提高。试验结果表明,将陈年甘薯渣作为原材料发酵生产猪蛋白饲料,是一种可行的方法,它不仅可高效利用甘薯中的营养成分,且对生态环境没有造成任何污染,整个过程是一个绿色高效循环的农业模式,具有良好的应用和推广前景。

参考文献:

[1] Lei H, Wang H L, Ning T T, et al. Protein enrichment of potato starch residue by solid state fermentation with mixed strains[J]. Journal of Animal and Veterinary Advances, 2012, 11(15): 2700 – 2705.

[2] Hao Z H, Wang D J, Chen H, et al. Sweet potato starch residue as starting material to prepare polyacrylonitrile adsorbent via SI – SET – LRP[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(8): 1765 – 1770.

[3] Minh N P. Technical factors affecting to production of sweet potato wine[J]. Int J Pure App Biosci, 2015, 3(2): 237 – 240.

[4] Hsu P K, Liu C P, Liu Li Yun, et al. Protein enrichment and digestion improvement of napiergrass and pangolagrass with solid – state fermentation[J]. Journal of Microbiology, 2013, 46(3): 171 – 179.

[5] Hu C C, Liu Li Yun, Yang S S. Protein enrichment, cellulase production and *in vitro* digestion improvement of pangolagrass with solid state fermentation[J]. Journal of Microbiology, 2012, 45(1): 7 – 14.

[6] Liu G, Yang G, Fang T, et al. NMR – based metabolomic studies reveal changes in biochemical profile of urine and plasma from rats fed with sweet potato fiber or sweet potato residue[J]. RSC Advances, 2014, 4(45): 23749 – 23758.

[7] Zhang K, Feng H. Fermentation potentials of *Zymomonas mobilis* and its application in ethanol production from low – cost raw sweet potato

[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(37): 6122 – 6128.

[8] Mutua F K, Dewey C, Arimi S, et al. A description of local pig feeding systems in village smallholder farms of Western Kenya[J]. Tropical Animal Health and Production, 2012, 44(6): 1157 – 1162.

[9] Wang X Y, Zhang S T, Wang J, et al. Exploring optimal feed to microbes ratio for anaerobic acidogenic fermentation of cassava residue from brewery[J]. BioResources, 2012, 7(1): 1111 – 1122.

[10] Onyimba I A, Ogbonna C C, Akueshi C O, et al. Changes in the nutrient composition of brewery spent grain subjected to solid state natural fermentation[J]. Nigerian Journal of Biotechnology, 2015, 20(1): 55 – 60.

[11] Mussoline W A, Wilkie A C. Anaerobic digestion potential of coproducts associated with ethanol production from sweetpotato: a review[J]. Industrial Biotechnology, 2015, 11(2): 113 – 126.

[12] Tsai C C, Chiu T H, Ho C Y, et al. Effects of anti – hypertension and intestinal microflora of spontaneously hypertensive rats fed gamma – aminobutyric acid – enriched Chingshey purple sweet potato fermented milk by lactic acid bacteria[J]. African Journal of Microbiological Research, 2013, 7(11): 932 – 940.

[13] Díaz I, González C, Reyes J L, et al. Digestion of sweet potato (*Ipomea batatass* Lam) foliage in pigs Ileal and fecal *in vitro* digestibility [J]. Cuban Journal of Agricultural Science, 2013, 47(1): 289.

[14] Soo C S, Yap W S, Hon W M, et al. Mini review: Hydrogen and ethanol co – production from waste materials via microbial fermentation [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2015, 31(10): 1475 – 1488.

[15] Sanusi G O, Belewu M A, Oduguwa B O, et al. Changes in chemical composition of jatropha curcas kernel cake after solid – state fermentation using some selected fungi [J]. Global Journal of Biology, Agriculture and Health Science, 2013, 2(2): 66 – 68.

[16] 胡艳丽, 王克然. 饲料中真蛋白的测定[J]. 河南畜牧兽医, 2007, 28(10): 31 – 32.

[17] 张世仙, 余永华, 金茜, 等. 凯氏定氮法测定茅台酱香型酒糟蛋白质含量[J]. 中国酿造, 2013, 32(1): 130 – 132.

[18] 张艳, 刘均娥, 张晶, 等. 平板活菌计数法检测粪便中的肠道菌群[J]. 首都医科大学学报, 2008, 29(1): 85 – 86.

[19] 孙朋朋, 宋春阳. 猪肉品质的评价指标及营养因素对猪肉品质影响的研究进展[J]. 猪业科学, 2014(2): 112 – 117.

[20] 周波, 黄瑞华, 曲亮, 等. 色差仪和肉色板在猪肉肉色评定中的应用[J]. 江苏农业科学, 2007(2): 121 – 124.