

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)01-0063-08  
DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.01.008

综述

## 马铃薯渣饲料化利用研究进展

刘琳<sup>1</sup>, 赵宇慈<sup>1</sup>, 苏德花<sup>2</sup>, 曾凡逵<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院兰州化学物理研究所, 甘肃 兰州 730030; 2. 西吉县万里淀粉有限公司, 宁夏 固原 756200)

**摘要:** 目前, 对于马铃薯加工后的副产物马铃薯渣资源化使用的最多方式是将其饲料化, 将马铃薯渣进行发酵作为饲料可以提高其营养价值, 整个操作简便, 适合大规模推广。用马铃薯渣发酵饲料饲喂畜禽, 能够提高生产性能、免疫力, 进一步提升畜牧业的经济效益。就马铃薯渣饲料资源的营养特性、饲料化利用技术、对畜禽生产和经济效益的影响进行综述, 并对研究和应用情况以及发展对策进行探讨, 重点分析总结微生物发酵马铃薯渣的质量评估指标和效益, 对马铃薯渣饲料化利用的研究和发展起到指导作用。

**关键词:** 马铃薯渣; 发酵; 饲料; 饲用效果

## Research Progress in Feed Utilization of Potato Residues

LIU Lin<sup>1</sup>, ZHAO Yuci<sup>1</sup>, SU Dehua<sup>2</sup>, ZENG Fankui<sup>1\*</sup>

(1. Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730030, China;  
2. Xiji Wanli Starch Co., Ltd., Guyuan, Ningxia 756200, China)

**Abstract:** Potato residue, a by-product of potato processing, can be fermented to improve its nutritional value, and it is easy to operate and suitable for large-scale promotion when it is used as feed. Potato residue fermented feed for livestock and poultry can improve production performance, immunity and economic benefits of animal husbandry. The review discussed the nutritional characteristics of potato residue feed resources, the technology of feed utilization, the impact on livestock and poultry production and economic benefits, and also discussed the research and application situation and development strategies, focusing on the analysis and summary of the quality evaluation indicators of microbial fermented potato residues and benefit, which may play a guiding role in the research and development of potato residue feed utilization.

**Key Words:** potato residue; ferment; feed; feeding effect

2015年, 农业部宣布中国启动马铃薯主食化战略<sup>[1,2]</sup>, 目前马铃薯已成为中国第四大粮食作物<sup>[3]</sup>, 2020年全国马铃薯鲜薯产量达到1亿t, 全

国马铃薯种植面积稳定在533.33万hm<sup>2</sup>以上。在中国, 马铃薯占粮食产量和农作物总播种面积比例常年保持在3%左右<sup>[4]</sup>。随着马铃薯繁育技术的

收稿日期: 2022-03-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFF0213505); 宁夏回族自治区重点研发项目(2020BBF03018)。

作者简介: 刘琳(1990-), 女, 硕士, 助理工程师, 从事马铃薯加工及营养研究。

\*通信作者(Corresponding author): 曾凡逵, 博士, 研究员, 主要从事马铃薯加工及营养研究, E-mail: zengfk@licp.cas.cn。

不断发展, 中国马铃薯产量不断增加, 产业链不断延伸, 供应链不断完善, 价值链不断提升, 马铃薯的增值空间不断拓宽, 马铃薯淀粉加工业中伴生的废渣因是一种可利用的宝贵再生资源且数量庞大而引起了广泛关注。

目前, 对马铃薯渣资源的利用主要有直接饲喂或经脱水干燥处理后出售的处理方式, 但是这些方式存在很大弊端: (1) 不经处理马铃薯渣作为饲料营养价值差, 蛋白含量低, 粗纤维含量高, 饲用生物效价低; (2) 未经干燥处理马铃薯渣水分高, 不易去除, 贮存和运输困难, 将其干燥脱水能耗大, 成本高; (3) 新鲜薯渣微生物种群丰富, 易腐败变质, 将其丢弃, 浪费资源的同时污染环境。因此, 为了更好的利用薯渣, 从成本、效益、技术、质量、环保等方面综合考虑, 采用微生物发酵处理是最佳解决弊端的方式。

目前, 马铃薯淀粉加工厂对马铃薯废渣利用的方式主要有2种, 其中一种是通过初步脱水后出售给农民当饲料, 初步脱水后的薯渣, 再次通过晾晒或烘干处理后, 作饲料添加剂, 开发膳食纤维食品、发酵产品; 另外一种是国内有不少研究利用生物技术, 用马铃薯渣发酵生产单细胞蛋白, 合理利用薯渣资源的同时增加淀粉加工企业的盈利<sup>[5]</sup>。比较2种利用方式, 第2种方式更加合理、有效, 饲用效价和经济效益更加明显。

利用微生物发酵将薯渣转化为具有特殊香味、营养丰富、适口性好、附加值高的高蛋白饲料。微生物发酵使微生物利用或者酶解纤维素, 提高吸收利用率。微生物刚好能够利用新鲜薯渣中的水分, 利用发酵减少薯渣对环境的污染, 并通过代谢转化产生更多营养物质。该方法适用范围广、效率高、生产效益好, 是一种值得广泛应用且能解决当下畜牧业和农业较为先进的生产废弃物再利用和饲料短缺的方法。

## 1 马铃薯渣饲用价值

从物理组成来看, 薯渣由马铃薯的细胞碎片、细胞壁残留物、残留淀粉颗粒以及薯皮细胞等构成<sup>[6]</sup>; 从化学组成来看, 新鲜马铃薯渣中含有

作为饲料的基本营养物质和生长因子, 具体成分和含量见表1<sup>[7]</sup>。

表1 新鲜薯渣的营养成分

Table 1 Nutritional content of fresh potato residue

营养成分 Nutrient content	干基(%) Dry weight basis	湿基(%) Fresh weight basis
干物质 Dry matter	-	13.0
淀粉 Starch	37	4.9
纤维素 Cellulose	17	2.2
半纤维素 Hemicellulose	14	1.8
果胶 Pectin	17	2.2
其他纤维 Other fibers	7	0.9
灰分 Ash	4	0.5
蛋白质/氨基酸 Protein/Amino acid	4	0.5

未经处理马铃薯渣中淀粉含量是最高的, 是动物能够利用的优质碳水来源, 经过酶解或发酵的淀粉能分解成小分子糖, 更易被动物吸收利用, 也是很好的生长因子。纤维素、半纤维素和果胶含量也较高, 纤维可以帮助动物肠胃蠕动, 促进消化; 果胶能为动物提供能量, 在动物体内被吸收后, 可转化成体脂肪或乳脂肪。薯渣中含有部分钾、钙、镁等矿物元素, 这些矿物元素是维持机体正常生理功能必不可少的, 有的对提高机体的免疫力和促进动物发育至关重要。薯渣中含有蛋白质, 蛋白质是动物体必不可少的营养物质, 是合成机体某些功能性物质的重要成分, 如酶、抗体和激素等, 也能作为发酵基质在发酵饲料过程中为微生物提供重要的营养物质。因此, 马铃薯渣具备饲料化的基础营养条件, 是具备开发前景的一种饲料原料。

相关研究显示<sup>[8]</sup>, 马铃薯渣中自带菌种数量多达15类33种, 其中细菌多达28种, 还有4种霉菌和1种酵母菌<sup>[9]</sup>, 这些菌种都含有较为丰富的营养物质和功能, 其中, 霉菌能够分解纤维素和淀粉, 酵母菌菌体中含有非常丰富的蛋白质、B族维生素、糖、酶等多种营养成分, 并且能提高动

物免疫力、生产性能,减少应激反应。同样也带有大肠杆菌等多种致病菌,加速薯渣腐败,威胁薯渣作为饲料的安全性。因此,马铃薯渣实现饲料化应当趋利避害,利用好有益菌,抑制有害菌,通过发酵菌种的筛选和条件优化,使马铃薯渣成为具有更高营养价值、更安全的饲料资源。

## 2 马铃薯渣饲用方式

### 2.1 直接使用

马铃薯渣最简单直接的使用方式是经初步脱水就近进行饲喂。但是在实际生产中很少有直接将马铃薯渣作为主要饲料进行饲喂。原因主要是马铃薯渣杂菌含量高、糖苷生物碱含量高,直接饲喂造成动物拉稀和肠道中毒。西北部分地区有农户将新鲜薯渣蒸煮或直接少量参入其他发酵饲

料中饲喂牛羊。国内大部分马铃薯加工企业收购的原料薯都是露天堆放,露天堆放时间越长,原料薯中的有毒性糖苷生物碱含量越高,有时薯渣中残留生物碱含量超过国际规定20 mg/100 g的10倍以上。糖苷生物碱具有耐高温的特性,120℃也难以将糖苷生物碱分解。因此,一般不建议直接将薯渣作为饲料饲用。

### 2.2 酶解

酶的作用是通过降解功能使不易消化吸收的大分子物质转化成容易消化吸收的小分子物质,薯渣中主要包括淀粉、纤维、果胶等大分子物质。因此,目前使用较多的是淀粉酶、纤维素酶和果胶酶,这些酶根据想要达成的效果可以单独使用,也可以组合使用。酶解马铃薯渣的效果见表2。

表2 酶解马铃薯渣  
Table 2 Enzymatic hydrolysis of potato residue

酶的种类 Type of enzyme	效果 Result	参考文献 Reference
单独使用纤维素酶(酶活1 500 U/mL) Cellulase alone (enzyme activity 1 500 U/mL)	可溶性膳食纤维含量达14.38 g/100 g,较原浆提高18.74%	程力等 <sup>[10]</sup>
纤维素酶(酶活1 500 U/mL)结合耐高温α-淀粉酶(酶活18 000 U/mL) Combined cellulase (enzyme activity 1 500 U/mL) with thermostable α-amylase (enzyme activity 18 000 U/mL)	可溶性膳食纤维含量达15.00 g/100 g,与单独使用纤维素酶水解相比提高4.31%,与原浆相比提高23.86%	程力等 <sup>[10]</sup>
耐高温型α-淀粉酶(酶活20 000 U/mL) High temperature resistant α-amylase (enzyme activity 20 000 U/mL)	持水力、持油力、膨胀力、乳化性和乳化稳定性均有所提高,阳离子交换能力增强,结构松散,纤维素转化率提高,作用位点可以更好地发挥作用,可以为肠道提供一个有助于消化吸收的环境	曲娜等 <sup>[11]</sup>
耐高温型α-淀粉酶 High temperature resistant α-amylase	酶解后的马铃薯渣替代部分麸皮对刚断奶的大鼠生长具有显著的促进作用,有利于饲料的消化吸收,提高饲料转化效率,增加粪便含水率。能显著提高乳酸杆菌数量,并显著降低大肠杆菌数量	曲娜等 <sup>[12]</sup>

纤维素酶的主要作用是降解大分子的纤维,使可溶性膳食纤维的含量提升,通过纤维素酶的作用一方面利于动物的消化吸收,另一方面改善饲料的适口性。耐高温型α-淀粉酶促进马铃薯渣中淀粉的分解,提高了原料利用率。在处理马铃薯渣的过程中,2种酶可以单独使用,也可以组合使用,组合使用时探索到最佳酶解条件能够得

到更好品质的饲料。

### 2.3 发酵

在马铃薯渣中接种发酵饲料的专用菌剂,经过发酵,薯渣中纤维、淀粉被微生物菌群代谢转化成小分子糖,并代谢产生蛋白质或者含氮物质,不仅可以提高发酵后薯渣的粗蛋白质含量,发酵后薯渣中的氨基酸、微生物和各种生物酶都

会相应提高, 并且微生物经过生长繁殖, 最终发酵产物含有大量的菌体蛋白。

发酵根据形态可分为液态发酵和固态发酵2种方式。根据马铃薯渣的形态, 其发酵形式更适合固态发酵, 即利用微生物在固态湿培养基上进行发酵。固态发酵根据是否对原料进行糖化处理分为生料发酵和熟料发酵。将马铃薯渣初步脱水后进行发酵即生料发酵, 因薯渣中含有多种菌群, 此方法杂菌污染几率大, 生产工艺的参数难以确定; 而将马铃薯渣糖化后再发酵, 此方法使用专门的菌种糖化发酵, 染菌率小、发酵条件可控、发酵质量较高<sup>[13]</sup>。常用的饲料发酵菌种包括酵母菌、霉菌、芽孢杆菌、乳酸菌等, 他们能够产生多种活性水解酶、淀粉酶、纤维素酶、蛋白酶、果胶酶等, 能够

消除饲料中的抗营养因子, 同时优势菌种的大量繁殖对病原菌和腐败菌有抑制作用, 菌体蛋白含量高、氨基酸充足, 可提高发酵产品的营养价值, 同时也提高了发酵饲料的适口性。

不同菌种发酵效果不同, 因此, 优化菌种是发酵的关键。目前国内外的研究更趋向于利用多菌种混合生产发酵马铃薯渣, 并注重菌种间的协同性和互补性, 使其发挥更大的效用。多菌种混合发酵可以通过不同代谢能力的组合, 完成单个菌种难以完成的复杂代谢反应, 从而提高发酵产品质量、提高转化率。同时, 也在探索最优的发酵条件, 包括发酵时间、温度、料层厚度、接种量、尿素或其他氮源添加量等。目前, 关于马铃薯发酵的研究见表3。

表3 马铃薯渣发酵菌种、发酵条件及效果

Table 3 Potato residue fermentation strain, fermentation condition and result

发酵菌种 Fermentation strain	发酵条件 Fermentation condition	效果 Result	参考文献 Reference
黑曲霉、啤酒酵母(1:1) 接种量10% <i>Aspergillus niger</i> , beer yeast (1:1) Inoculum 10%	发酵培养基为原辅料比85:15、料水比1:2、尿素添加量2.0%、硫酸铵添加量1.0%, 在发酵温度31℃、发酵100 h、料层厚度3 cm	真蛋白含量、酸性蛋白酶活、纤维素酶活显著提高	宋雅芸 <sup>[14]</sup>
热带假丝酵母11.176 g/L 接种量15% <i>Candida tropicalis</i> 11.176 g/L Inoculum 15%	葡萄糖淀粉酶100 U/g、青霉素80 U/g, 初始pH 4.5、培养温度28℃、培养6 h、转速250 r/min	单细胞蛋白饲料中的蛋白质含量可达12.27%	王文侠 <sup>[15]</sup>
白地霉、热带假丝酵母、酿酒酵母(8:1.5:0.5) 接种量10% <i>Geotrichum candidum</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (8:1.5:0.5) Inoculum 10%	纤维素酶处理后的原料, 经黑曲霉与康宁木霉双菌糖化降解后, 在28℃条件下混合发酵55 h	蛋白质含量可提高到22.16%, 原料的适口性和风味得到改善	负建民等 <sup>[16]</sup>
白地霉、酿酒酵母、热带假丝酵母(8:1.5:0.5) 接种量10% <i>G. candidum</i> , <i>S. cerevisiae</i> , <i>C. tropicalis</i> (8:1.5:0.5) Inoculum 10%	温度28℃下培养3 d	发酵后的蛋白质含量分别提高13.45%、18.53%和22.16%	史琦云和梁琪 <sup>[17]</sup>
黑曲霉、白地霉和热带假丝酵母 接种量15% <i>A. niger</i> , <i>G. candidum</i> and <i>C. tropicalis</i> Inoculum 15%	自然pH, 薯渣:麸皮(90:10), 发酵温度为32℃, 发酵时间为66 h	发酵产物中粗蛋白含量较高, 基本达到蛋白饲料对蛋白质含量的要求	杨希娟等 <sup>[18]</sup>
酿酒酵母、白地霉、热带假丝酵母与植物乳杆菌混菌组合 <i>S. cerevisiae</i> , <i>G. candidum</i> , <i>C. tropicalis</i> and <i>Lactobacillus plantarum</i>	固体发酵培养基: 马铃薯渣80%、麸皮20%、尿素1.5%、硫酸氨1.5%、磷酸氢二钾0.6%、硫酸镁0.05%、水分65%~70%	粗蛋白含量达到35.63%	张鑫等 <sup>[19]</sup>

续表3

发酵菌种 Fermentation strain	发酵条件 Fermentation condition	效果 Result	参考文献 Reference
米曲霉、黑曲霉(1:1) 接种量10% 热带假丝酵母和产朊假丝酵母(1:1) 接种量15% <i>A. oryzae</i> , <i>A. niger</i> (1:1) Inoculum 10% <i>C. tropicalis</i> and <i>C. utilis</i> (1:1) Inoculum 15%	马铃薯废渣:麸皮:自来水(87:11:12) (m:v:v)在转速为180 r/min时,发酵温 度为30℃,发酵容积为1/2的条件下	粗蛋白含量提高10倍,粗蛋白 含量提高8.6倍	祝英 <sup>[20]</sup>
黑曲霉变种、白地霉(1:10) 接种量5% <i>A. niger</i> var. <i>G. candidum</i> (1:10) Inoculum 5%	料层厚度6 cm、发酵时间60 h、发酵温 度28℃、水分含量自然的发酵条件下	龙葵素含量呈递减趋势,从发 酵前期的0.04 mg/100 g发酵60 h 后可降为0.024 mg/100 g。可降 低pH、延长贮存时间	张微微等 <sup>[21]</sup>
黑曲霉、啤酒酵母(1:1) 接种量10% <i>A. niger</i> , beer yeast (1:1) Inoculum 10%	原辅料比85:15、料水比1:2、尿素添 加量2.0%、硫酸铵添加量1.0%,28℃ 培养120 h	真蛋白含量、酸性蛋白酶活、 纤维素酶活分别提高287.79%、 229.45%、1 755.34%	罗仑学等 <sup>[22]</sup>
黑曲霉、热带假丝酵母、枯草芽孢杆菌(2:2:1) 接种量1% <i>A. niger</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> (2:2:1) Inoculum 1%	添加尿素2%,在料层厚度30 cm、发 酵温度33℃、发酵时间48 h、水分含量 自然	粗蛋白含量高达13.5%,提高 126%	刘元甲 <sup>[23]</sup>

另外,在马铃薯淀粉生产过程中,会产生大量的工艺水(分离汁水),其中含有大量的蛋白质、氨基酸、小颗粒淀粉、低聚糖、有机酸等有机营养物质,也含有植物所需的氮、磷、钾等<sup>[24]</sup>,将马铃薯淀粉工艺水中蛋白等营养物质提取回收,添加在马铃薯渣中一并发酵,增加其蛋白含量,也是马铃薯副产物资源化和高值化利用的有效途径之一。

### 3 马铃薯渣饲用效果

马铃薯渣发酵饲料适合牛、羊、兔、猪、鱼等农家畜禽等动物的养殖,在家禽饲料中可根据需求适量添加。利用接种薯渣专用菌剂的方式发酵,淀粉企业生产级别在万t级以上时,可产生的薯渣发酵饲料年产量可达3万~8万t。

#### 3.1 反刍动物

发酵马铃薯渣由于含有大量的纤维,用于反刍动物饲料的研究较多。发酵薯渣对反刍动物最

明显的改善是增重和提升产奶量。薯渣发酵饲料在反刍动物的应用见表4。

#### 3.2 非反刍动物

应用于禽类的马铃薯发酵饲料研究表明,发酵马铃薯渣对禽类生长无不良影响,适当的添加可以改善肉质、提高蛋白质利用率<sup>[9]</sup>。薯渣发酵饲料在非反刍动物的应用见表5。

### 4 马铃薯渣发酵饲料存在的问题

目前,马铃薯渣饲用利用率很低,马铃薯渣发酵饲料的应用范围很小,主要限制因素是马铃薯中含有有毒物质糖苷生物碱,Friedman<sup>[2]</sup>研究了一种商品马铃薯浓缩蛋白中的糖苷生物碱,结果显示糖苷生物碱含量高达200 mg/100 g,严重超出了食品安全上限20 mg/100 g。近年对中国多地马铃薯淀粉加工分离汁水提取回收的蛋白和薯渣中糖苷生物碱含量的监测研究发现,北方马铃薯一季作收获高峰期,淀粉企业集中收购马铃薯原

料露天堆放超过一周以上的回收蛋白和薯渣中基本都出现了糖苷生物碱超过 20 mg/100 g 的食品安全上限。糖苷生物碱不易分解, 达到一定量时会

损害动物的消化系统, 引发动物疾病, 或者导致减重。因此, 马铃薯渣高值化利用首要解决的问题是研究如何有效降低糖苷生物碱含量。

表4 薯渣发酵饲料在反刍动物的应用

Table 4 Application of potato residue fermented feed in ruminants

饲料原料 Feed ingredient	饲喂方式 Feeding method	饲喂对象 Feeding object	饲喂效果 Feeding result	参考文献 Reference
马铃薯淀粉渣与玉米秸秆 Potato starch residue and corn stalk	饲喂混合发酵饲料	肉羊	45%肉羊日增重显著提高14.19%, 瘤胃液氨态氮浓度极显著降低33.03%, 对血清尿素氮浓度和葡萄糖浓度显著升高	王典等 <sup>[25]</sup>
马铃薯淀粉渣与玉米秸秆 Potato starch residue and corn stalk	代替全株玉米青贮饲喂	肉牛	累计增质量20.0 kg, 日增质量217 g	陈亮等 <sup>[26]</sup>
马铃薯糟渣饲料 Potato residue feed	15%替代精料中的玉米	奶牛	产奶量达到21.11 kg/d, 对其无显著影响	李伟等 <sup>[27]</sup>

表5 薯渣发酵饲料在非反刍动物的应用

Table 5 Application of potato residue fermented feed in non-ruminant animals

饲喂方式 Feeding method	饲喂对象 Feeding object	饲喂效果 Feeding result	参考文献 Reference
乳酸菌发酵后直接饲喂 Feed directly after lactic acid bacteria fermentation	三元杂交仔猪	可以提高平均日增重、料重比, 降低生产成本	李永祥 <sup>[28]</sup>
组合菌发酵后直接饲喂 Feed directly after combination bacteria fermentation	三元杂交仔猪	仔猪平均日增重610.2 g, 增加率14%, 料重比为3.85:1, 降低12.3%, 发酵产品对猪肉品质及其组织器官有保健促长功能; 投入产出比为1:1.45, 提高7.4%	刘元甲 <sup>[23]</sup>
组合菌发酵后以20%的比例替日粮 20% of the diet replaced after the combined bacteria fermentation	肉兔	促进增重, 降低饲料消耗, 提高肉兔日粮中蛋白质的利用率和兔肉的脂肪含量	徐兴军等 <sup>[29]</sup>
在饲料中添加发酵马铃薯渣10% Add fermented potato pulp 10% to the feed	AA肉仔鸡	日增重提高3.29%, 料肉比显著降低5.58%, 死淘率为0, 极显著降低血液总胆红素、 $\gamma$ -谷氨酰胺转氨酶、谷草转氨酶含量, 显著降低血液尿酸	梅宁安等 <sup>[30]</sup>
组合菌发酵后直接饲喂 Feed directly after combination bacteria fermentation	白羽肉鸡	促进肉鸡增重, 减少料重比, 降低饲料消耗, 降低脂肪含量, 增加蛋白质含量	张伟伟等 <sup>[31]</sup>
组合菌发酵后日粮中添加30% Add 30% to the diet after the combined bacteria fermentation	蛋鸡	能显著提高蛋鸡的蛋白质利用率	张伟伟等 <sup>[32]</sup>
组合菌发酵后直接饲喂 Feed directly after combination bacteria fermentation	鹌鹑	日增重提高9.4%、料重比降低9.7%、产蛋率提高20%	江成英等 <sup>[33]</sup>

## 5 结 语

随着中国马铃薯加工产业特别是淀粉加工业的不断发展, 马铃薯渣的资源化和高值化利用研究成为了越来越重要和迫切的内容。目前中国大部分马铃薯淀粉加工产生的大量薯渣, 因含水量高、易腐败变质, 成为企业最严重的固体污染物, 是环保部门的重要监管对象之一。多数企业需要雇佣专门车辆拉到田间地头, 洒在农田中作为有机肥施入地中用土覆盖; 部分企业堆在厂区附近, 自然晒干后做燃料用。处理不当就会造成环境污染。因此, 解决马铃薯渣的资源化利用特别是饲料化利用是较科学便捷的固废处理方式。薯渣因果胶含量高, 脱水困难, 通过机械和填料适当脱水, 达到固体发酵要求, 可以大幅度节约常规干燥脱水能耗高的问题。未来应对马铃薯渣发酵的具体生产工艺和参数进行定量化研究, 薯渣脱除糖苷生物碱毒性和抑制杂菌滋生, 并对不同菌种混合发酵的作用机制、在动物体内的作用渠道进行深层次研究, 开发符合经济效益和工业化生产的制备方式, 使发酵马铃薯渣能够更好地应用于饲料生产, 解决饲用蛋白质资源短缺的问题。同时当地政府设立引导资金, 对延伸马铃薯渣饲料产业链条中添补当地空白的产品和技术给予一定的资金补助或贷款贴息<sup>[34]</sup>, 以推进产业链发展。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 曾凡逵, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243.
- [ 2 ] Friedman M. Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(23): 8655-8681.
- [ 3 ] 赵宇慈, 许丹, 靳承煜, 等. 马铃薯块茎干物质、淀粉及还原糖含量的检测及相关性分析 [J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 280, 288-293.
- [ 4 ] 徐宁, 张洪亮, 张荣华, 等. 中国马铃薯种植业现状与展望 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(1): 81-96.
- [ 5 ] 刘刚, 赵鑫, 周添红, 等. 我国马铃薯加工产业结构分析与发展思考 [J]. 农业工程技术: 农产品加工业, 2010(8): 4-11.
- [ 6 ] 李芙蓉, 王英, 安志刚. 马铃薯渣的资源化开发利用 [J]. 粮食与饲料工业, 2018(7): 43-48.
- [ 7 ] 曾凡逵, 周添红, 刘刚. 马铃薯淀粉加工副产物资源化利用研究进展 [J]. 农业工程技术: 农产品加工业, 2013(11): 33-37.
- [ 8 ] Mayer F, Hillebrandt J O. Potato pulp: microbiological characterization, physical modification, and application of this agricultural waste product [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1997, 48(4): 435-440.
- [ 9 ] 白梦娇, 王思珍, 牛化欣, 等. 酶解与发酵马铃薯渣生物饲料的营养价值及其应用研究进展 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(15): 65-68.
- [ 10 ] 程力, 廖瑾, 顾正彪, 等. 酶法处理马铃薯渣对其功能性质的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 118-122.
- [ 11 ] 曲娜, 顾正彪, 王德军. 酶解处理对马铃薯渣理化性能的影响 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43(11): 295-297, 307.
- [ 12 ] 曲娜, 顾正彪, 程力, 等. 酶解马铃薯渣对大鼠体重和肠道菌群的影响 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 363-366.
- [ 13 ] 王君. 发酵马铃薯渣的制备及其在动物生产中的应用 [J]. 饲料研究, 2019, 42(8): 123-126.
- [ 14 ] 宋雅芸. 马铃薯渣发酵生产蛋白饲料的研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.
- [ 15 ] 王文侠. 马铃薯渣酶法水解液制备单细胞蛋白饲料的研究 [J]. 中国饲料, 2005(6): 33-36.
- [ 16 ] 负建民, 刘陇生, 安志刚, 等. 马铃薯淀粉渣生料多菌种固态发酵生产蛋白饲料工艺 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(s2): 399-404.
- [ 17 ] 史琦云, 梁琪. 马铃薯渣菌体蛋白饲料的研制与品质分析 [J]. 粮食与饲料工业, 2004(9): 32-33.
- [ 18 ] 杨希娟, 孙小凤, 肖明, 等. 马铃薯渣发酵生产菌体蛋白饲料的工艺条件优化 [J]. 农产品加工: 创新版, 2009(6): 41-44.
- [ 19 ] 张鑫, 高爱武, 黄雅娟, 等. 酵母菌与乳酸菌共培养发酵马铃薯渣的研究 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 194-197.
- [ 20 ] 祝英. 马铃薯废渣多菌发酵生产单细胞蛋白饲料工艺的研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [ 21 ] 张微微, 张永根, 刘震, 等. 响应面法优化马铃薯渣固态发酵生产奶牛饲料工艺条件研究 [J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(12): 113-118.
- [ 22 ] 罗仓学, 宋雅芸, 邵明亮. 马铃薯渣发酵产活性蛋白饲料培养基优化 [J]. 陕西科技大学学报, 2017, 35(3): 127-131.

- [23] 刘元甲. 复合微生物菌剂发酵马铃薯渣生产蛋白饲料的研究 [D]. 西安: 西北大学, 2009.
- [24] 吕清晨, 李明安, 马力, 等. 北大荒马铃薯集团产业现状及发展建议 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29(5): 311-314.
- [25] 王典, 李发弟, 张养东, 等. 马铃薯淀粉渣-玉米秸秆混合青贮料对肉羊生产性能, 瘤胃内环境和血液生化指标的影响 [J]. 草业学报, 2012, 21(5): 47-54.
- [26] 陈亮, 洪龙, 张凌青, 等. 马铃薯淀粉渣与玉米秸秆混贮饲喂肉牛效果的研究 [J]. 饲料研究, 2014(9): 45-48.
- [27] 李伟, 刘学良, 郭春晖, 等. 马铃薯糟渣饲料部分替代玉米对奶生产奶量的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(24): 72-74.
- [28] 李永祥. 坑池发酵马铃薯渣饲喂猪的效果试验 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 2003(1): 7-8.
- [29] 徐兴军, 张伟伟, 吕建伟, 等. 马铃薯渣发酵饲料对肉兔生产性能及肉品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 5005-5006, 5019.
- [30] 梅宁安, 刘自新, 王华, 等. 发酵马铃薯渣对肉仔鸡生产性能的影响及安全性评价试验 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(1): 80-83.
- [31] 张伟伟, 邵淑丽, 徐兴军. 马铃薯渣发酵饲料饲喂肉鸡效果的研究 [J]. 中国家禽, 2011, 33(16): 64-65.
- [32] 张伟伟, 邵淑丽, 徐兴军. 马铃薯渣发酵蛋白饲料对蛋鸡饲喂效果的研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2012(9): 81-82.
- [33] 江成英, 吴耘红, 王拓一, 等. 利用马铃薯渣生产能量饲料菌种选择的研究 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(1): 201-202.
- [34] 丁国梁. 乌兰察布市马铃薯渣饲料产业链情况分析 [J]. 饲料广角, 2015(16): 33-34.