

木薯饲料化应用研究进展

喻珊¹, 王友印², 邢晓东¹, 李开绵¹, 王志勇³, 欧文军^{1*}

1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101; 2. 海南大学热带农林学院, 海南海口 570228;
3. 海南大学三亚南繁研究院, 海南三亚 572025

摘要: 木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 是世界第六大粮食作物, 是世界热区近 7 亿人的基本食物来源, 也是我国生产淀粉、变性淀粉、燃料乙醇等化工产品以及饲料的重要原料, 在热区消除饥饿、脱贫攻坚和乡村振兴中发挥着重要作用。木薯块根富含淀粉, 可提供畜禽生长所需的能量。木薯茎叶中富含蛋白质、纤维素和维生素等多种营养物质, 是一种优质的蛋白饲料资源。木薯能量值近似于玉米, 饲用发展潜力较大, 近年来在猪、羊、鸡等畜禽的饲养中均取得很好的应用效果, 将其作为能量饲料, 替代玉米等原料对减缓人畜争粮、提高养殖经济效益具有重要的意义。本文综述了木薯的营养价值及其在饲料化应用上的研究进展, 并就进一步的研究和利用提出具体建议, 以期为今后木薯饲料化产业发展提供参考。

关键词: 木薯; 营养价值; 饲料化; 研究进展

中图分类号: S533 文献标识码: A

Research Progress on Feed Application of Cassava

YU Shan¹, WANG Youyin², XING Xiaodong¹, LI Kaimian¹, WANG Zhiyong³, OU Wenjun^{1*}

1. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China;
2. College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 3. Sanya Nanfan Research Institute, Hainan University, Sanya, Hainan 572025, China

Abstract: Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is the sixth-largest food crop in the world, nearly 700 million people in the world tropical regions take it as the primary food source, and it is also an important raw material for the production of starch, modified starch, fuel ethanol and other chemical products and feed in China. It plays an important role in eradicating hunger, poverty alleviation and rural revitalization in tropical areas. Cassava root is rich in starch, which can provide energy for livestock and poultry growth. Cassava stems and leaves are rich in protein, cellulose and vitamins and other nutrients, thereby becoming a high-quality protein feed resource. Energy value of cassava is similar to that of corn, thus boasting great development potential as the feed. In recent years, it has achieved good results in the breeding of livestock and poultry such as pigs, sheep and chickens. Therefore, it is of great significance of using cassava as energy feed and replacing corn and other raw materials to mitigating competition for food between human beings and livestock and improve the economic benefits of breeding. This article comprehensively analyzed the nutritional value of cassava and the research progress of its feed application, and put forward specific suggestions for further research and utilization to provide reference for the development of cassava feed industry in the future.

Keywords: cassava; nutritional value; feed processing; research progress

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.12.002

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 是热带地区 淀粉类块根作物又名树薯, 属大戟科木薯属, 被

收稿日期 2023-01-30; 修回日期 2023-04-04

基金项目 现代农业产业体系项目 (No. CARS-11-HNOWJ); 海南省重大科技计划项目 (No. ZDKJ2021012)。

作者简介 喻珊 (1990—), 女, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 热带薯类资源评价及创新利用。*通信作者 (Corresponding author): 欧文军 (OU Wenjun), E-mail: cassava6973@163.com。

认为是世界七大农作物和世界三大薯类作物之一^[1]。木薯为直立灌木，生长高度一般为 1.5~3.0 m，原产于南美洲热带区域，适宜种植在热带和亚热带区域，适应能力强，耐旱瘠薄，耐酸易管，生长速度快。木薯高产且块根淀粉含量高，故有“地下粮仓”“淀粉之王”之称，可作为应急作物。非洲、拉丁美洲及亚洲等地区，近 7 亿人将其作为基本的食物来源^[2]。木薯作为一种重要的经济作物，光合速率较高，广泛栽培于华南地区，在食品、饲料、工业等领域被广泛应用，具有较好的综合经济效益^[3-4]，在热区消除饥饿、脱贫攻坚和乡村振兴中发挥着重要作用。

目前，随着全球气候变化、粮食紧张、能源短缺等问题日益严峻，饲用玉米和豆粕等原料价格持续走高，致使养殖成本攀升，已成为制约我国畜禽业发展的重要因素之一。因此，开辟其他廉价的能量替代饲料势在必行。木薯具有成本较低、淀粉和能量含量较高等优势，将其作为能量饲料，替代玉米等原料对减缓人畜争粮、提高养殖经济效益具有重要的意义。因此，本文就木薯的营养价值以及近年来木薯在养殖生产中的应用进行论述，为木薯在养殖生产饲料化方面的应用提供参考依据，以期进一步提高木薯在饲料化应用方面的效率。

1 木薯的营养价值

1.1 能量和淀粉

淀粉是植物中碳水化合物的主要贮存形式之一，也是畜禽饲料中最常见的碳水化合物，可提供畜禽生长所需的能量^[5]。木薯是碳水化合物含量较高的能量密集型食物之一，每天可提供的能量为 250 kcal/hm²^[6]，鲜薯中碳水化合物含量为 25%~36%，高于小麦、大米、黄玉米和高粱的碳水化合物含量，且其碳水化合物中有 80%为淀粉^[4]。去皮的木薯肉中，干物质含量为 31.5%~42.1%，其淀粉含量分别是甘薯和马铃薯的 1.0~2.3 倍和 1.0~1.5 倍^[7]。在一定的单位面积内，鲜木薯的淀粉产量可达到 5.02 t/hm²，与鲜玉米的 3.78 t/hm²相比，鲜木薯淀粉产量明显高于鲜玉米；木薯的风干物质淀粉含量高达 71.6%，也高于玉米（65.4%），因此木薯也可作为一种高能量的饲料^[8]。

1.2 蛋白质

根据相关报道，木薯的茎和叶中粗蛋白的含量介于 16%~38%之间，而这些蛋白质中的必需氨

基酸总和大约占有所有氨基酸总量的 50%。此外，其赖氨酸含量相对较高，因此木薯可以被视为一种高品质的蛋白质饲料^[9-10]。新鲜木薯块根中的蛋白质含量相对偏低，介于 0.4%~1.5%之间，明显低于玉米和高粱的含量，块根中的氨基酸主要包括精氨酸、谷氨酸和天冬氨酸^[11]，一些必需氨基酸，如酪氨酸、蛋氨酸、色氨酸、赖氨酸和苯丙氨酸的含量极为稀少^[12]。木薯干含有的粗蛋白比例为 2%~4%，其中欠缺含硫氨基酸，如半胱氨酸、胱氨酸和蛋氨酸^[13]。

因此，针对利用木薯块根替代饲料中的能量原料会导致饲料蛋白质含量低的问题，往往需要考虑补充额外的蛋白质，以满足畜禽生长发育的需求。

1.3 纤维素

与豆类和多叶豆类的纤维含量相比，木薯嫩叶纤维含量较高，在 1~10 g/100 g 之间^[14]。木薯块根（鲜重）的粗纤维含量一般在 1.5%以下，干木薯块根的粗纤维含量一般在 4.0%以下，远高于玉米，纤维含量的多少与其品种、年份有关系，此外，还含有较少的葡萄糖、果糖及蔗糖（比例为 1.7%）^[14-15]。

1.4 脂肪

木薯块根中含有的脂肪比例很低，在 0.1%~0.3%之间，高于马铃薯和大米，远远低于玉米。木薯中的脂质主要由糖脂和非极性脂肪酸构成，半乳糖甘油二酯、油酸和棕榈酸是其主要成分，亚油酸含量较少；杨刚等^[16]通过对国内外 10 个不同品种木薯干进行粗脂肪含量的测定，得出脂肪含量为 0.37%~1.98%。

1.5 矿物质

木薯叶中含有大约 2%的矿物质，富含铁、锌、锰、镁和钙^[17]，随着叶片的成熟，钾、镁、磷、锌和锰的含量随之降低，而钙、钠和铁的含量随之增加。木薯叶粉中矿物质含量的变化范围：铁 61.5~270.0 mg/kg、锌 30.0~63.7 mg/kg、锰 50.3~263.0 mg/kg、铜 6.2~50.0 mg/kg、硫 2.3~3.0 g/kg、镁 2.6~9.7 g/kg、钙 0.4~16.3 g/kg 和钾 8.0~16.9 g/kg^[18-19]。木薯块根中含有较为丰富的钙、锌、镁、钾、铁和锰矿物质元素，其含量与多数的豆类（大豆除外）相近，其中钾的含量为 271 mg/100 g，钙的含量为 0.02%~0.18%，这些矿物质含量会受木薯的种植环境所影响^[15]。木薯干

中的钾、锌和铁矿物质元素含量分别为 0.78%、0.14%、1.50%^[14]。

1.6 维生素

木薯叶是类胡萝卜素和维生素 B₁、B₂、C 的丰富来源^[20]。木薯叶的维生素 B₁ 含量超过除了大豆之外的其他豆类；维生素 B₂ 含量超过豆类、大豆、谷类、蛋和奶；与白菜、甘蓝、萝卜等蔬菜相比，木薯叶的维生素 C (60~370 mg/100 g) 含量更为丰富，可当作蔬菜食用；β-胡萝卜素的含量达到 23~86 mg/100 g^[4, 14]，因此，木薯叶片的总维生素含量相当丰富，并且在某些情况下优于大多数豆科植物、谷类、蛋和奶。木薯块根维生素 B 族的含量相对较低，而维生素 C 的含量则相对较高，达 15~45 mg/100 g^[7, 21]。木薯块根的颜色

主要以白色居多，与胡萝卜素的含量有关，通常黄色品种木薯的胡萝卜素含量比白色品种木薯高^[22]。

2 木薯在养殖生产中的应用

木薯饲料产品的种类因其利用位置和加工技术的不同而异，主要涵盖了木薯块根（鲜薯）、木薯干、木薯叶粉、木薯秆、木薯皮、木薯渣、发酵木薯块根、青贮木薯叶等多种类型。不同种类的木薯饲料产品在营养价值（表 1）上存在较大的差异，因此，适宜饲喂的动物种类也应有所区别。目前，国内外均已经进行了一系列关于木薯饲料喂养的试验性研究，并且已经获得了相当不错的饲养成效。

表 1 玉米及不同木薯产品的常规营养成分含量

Tab. 1 Proximate nutritional component contents of corn and different cassava-based products

项目 Item	干物质 DM/%	粗蛋 白质 CP/%	粗脂肪 EE/%	粗纤维 CF/%	无氮浸 出物 NFE/%	粗灰分 Ash/%	中洗 纤维 NDF/%	酸洗 纤维 ADF/%	钙 Ca/%	总磷 TP/%	总能 GE (MJ·kg ⁻¹)	参考文献 Referrence
玉米	86.00	7.70	3.60	1.80	—	1.20	7.10	1.70	—	—	16.10	[23]
鲜木薯块根	46.90	4.40	—	3.30	—	—	—	—	—	—	—	[24]
发酵木薯块根	33.62	2.41	—	—	—	—	11.95	5.24	—	—	—	[25]
中国木薯干	87.00	3.70	0.70	3.20	—	2.20	6.50	3.90	—	—	15.00	[23]
泰国木薯干	88.00	2.31	1.32	2.54	79.25	2.72	—	—	0.28	0.07	—	[26]
泰国木薯粒	87.90	2.30	1.65	5.53	71.90	6.57	—	—	0.29	0.07	—	[26]
木薯皮	21.60	28.20	—	18.40	—	—	—	—	—	—	—	[7]
木薯叶粉	89.17	17.68	6.49	11.92	43.63	9.45	—	—	—	—	18.37	[27]
青贮木薯叶	15.83	16.33	—	—	—	—	45.14	35.48	—	—	—	[28]
木薯秆	25.25	5.22	—	—	—	—	56.90	45.44	—	—	—	[29]
自然发酵木薯秆	26.46	5.20	—	—	—	—	56.65	46.38	—	—	—	[29]
泰国木薯渣	88.70	2.92	0.92	14.82	64.79	5.24	—	—	0.87	0.05	—	[26]
泰国淀粉渣	88.66	2.49	0.35	18.70	64.51	2.61	33.42	24.15	0.26	0.03	17.17	[30]

注：“—”表示引用文献中未查到此项数值。

Note: “—” indicates that this value was not found in the cited literature.

2.1 木薯在家禽养殖生产中的应用

鉴于木薯的淀粉含量较高，它在家畜和家禽的生产中有替代玉米作为能量饲料的潜力。在适宜添加量下，对动物的生产无不利影响。

2.1.1 木薯在鸡养殖生产中的应用 欧肇林等^[31]研究表明，在肉鸡的低蛋白饲料中，用 50% 的木薯取代玉米对其生长性能并无明显影响。CELIS 等^[32]将木薯粉分别以 0、10% 和 20% 比例替代肉鸡饲料中的玉米，结果发现木薯粉取代玉米时，对饲料的使用量和转化效率，以及肉鸡体重增加、

死亡率和生产效率指标未产生明显的影响，表明 20% 木薯粉可有效替代肉鸡玉米基饲料。于向春等^[33]发现以 15% 比例的发酵木薯渣粉替代文昌雏鸡日粮中的玉米粉（9%）、花生粉（3%）和麸皮（3%）可得到良好的增重效益，且可降低饲养成本。由于木薯块根的蛋白质、叶黄素含量较低，当制作成鸡饲料时，最好补充以较高量的氨基酸（特别是蛋氨酸），或者增加色素用量来满足对肉鸡肉色或蛋鸡蛋黄的需求。而木薯叶中含有较丰富的蛋白质和维生素，是一种很好的鸡饲料原

料^[34]。BAKARE 等^[35]在日龄为 21~49 d 的科宝 500 肉鸡日粮中分别添加 0、10%、20%、30%木薯叶粉。结果显示,在鸡饲料中添加木薯叶粉不影响鸡胸肉的感官品质。研究表明,木薯粉和木薯叶按 4:1 的比例混合,可在鸡饲料中替代玉米,达到降低饲料成本,且不会降低蛋鸡的体重或产蛋量的饲养效果^[36]。OGUNDEJI 等^[37]将 36%木薯粉替换玉米喂养 26 周龄的产蛋鸡,试验持续 10 周,结果发现对蛋的重量、蛋白的重量、蛋黄的重量以及蛋黄的颜色有明显的提升效果,因此,饲喂木薯粉可提高产蛋鸡蛋的品质。

2.1.2 木薯在鸭养殖生产中的应用 研究发现,鸭子对霉菌毒素的敏感性极高,严重者可引起死亡,同时人们发现木薯有抵御霉菌侵入的能力,因此,木薯用于鸭养殖有一定的优越性^[38]。此外,在家禽饲料中添加木薯可降低禽类血液中的脂质和胆固醇水平^[39],从而降低人们因摄入高动物脂肪而产生冠心病的可能。吕武兴等^[40]采用木薯替换双鬼头肉鸭饲料中的部分玉米,替换比例分别为 0、10%、20%和 30%。结果显示,采用木薯代替玉米作为肉鸭饲料可在一定范围内提升日粮表观代谢能以及表观消化率,进而增加日增重并减少料重比。此外,肉鸭日粮中木薯的最佳添加量应控制在 10%~20%之间。张红霞等^[41]用木薯完全替代生长肉鸭饲料中的玉米,发现木薯提供肉鸭生长需要的能量可与玉米相媲美,在血糖浓度方面对生长肉鸭未造成显著影响;在养殖的后期阶段,投喂木薯作为日常饲料可以有效提高肉鸭胸肌的产出,并减少脂肪的积累;从而得出木薯完全替代玉米在前期对生长肉鸭的生长性能无明显影响,但在后期木薯能有效提升肉鸭的日增重及饲料使用效率,同时还能减少腹部脂肪的沉积。SAREE 等^[42]以玉米或木薯为基础日粮饲喂肉鸭,其中玉米为基础日粮喂养的肉鸭作为对照组,3 个处理组分别于第 16、28、35 天饲喂木薯基础日粮,分别喂食到 42 日龄,而另一组在 1~42 日龄喂食基础日粮。结果表明,木薯基础日粮和玉米基础日粮在初始阶段对肉鸭的影响相似,但在育肥阶段,木薯基础日粮对增重和胴体特性有明显效果。蒋建生等^[43]采用发酵木薯渣饲料替代全价饲料饲喂樱桃谷鸭,在肉鸭育雏期(1~14 日龄)阶段,分别按替代比例 1%、3%、5%进行饲喂,发现发酵木薯渣饲料替代比例为 1%时可以有效促进雏鸭饲料的转化;而在肉鸭育肥阶段(15~45

日龄),肉鸭生产性能未受到明显影响。还发现随着发酵木薯渣饲料添加量的增加,其对养殖场中硫化氢(H_2S)和氨气(NH_3)浓度的降低效果更为显著。ABOUELEZZ 等^[44]研究发现,在蛋鸭日粮中添加 15%的木薯淀粉渣,对产蛋率、蛋品质无不良影响,但是可以提高蛋黄中总饱和脂肪酸含量和肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性。

2.1.3 木薯在鹅养殖生产中的应用 鹅是草食型家禽,具有特殊的生理结构,对饲料中的蛋白质和纤维能够很好地消化利用,因此,饲料中适量添加粗饲料不仅可促进鹅的生长发育,还可节约饲养成本^[45]。全球 91.5%的鹅饲养量集中在我国^[46],已开展的关于木薯在鹅养殖中的研究也集中在我国,国外罕见报道。杨家晃等^[47]在玉米占比 61%的日粮中用木薯替换 35%~75%的玉米进行四川白鹅饲养试验,发现对鹅的饲料养分消化率、生长性能、屠宰特性及血液的生化指标未产生显著影响;在玉米占比 45%的日粮中用木薯全部替换时,鹅的生长性能、饲料养分消化以及饲料转化率显著降低,而用同量的木薯和稻谷一起替换玉米饲喂白鹅,对鹅的饲料养分消化率、生长性能、屠宰特性以及血液的生化指标无明显的不良影响,因此得出,可以利用合理的木薯比例或者木薯与其他饲料(稻谷等)混合搭配进行鹅的养殖生产。张芬芬等^[48]研究发现,将不同比例的木薯渣加入 22~49 日龄仔鹅的基础日粮中,对仔鹅的日采食和日增重在一定程度上有提升作用,有助于其更好地生长和发育,降低养殖成本,从而提高整体的经济效益;同时仔鹅的肌胃指数及十二指肠的相对重量下降;综合日增重与饲料成本,最佳的添加量以 12.4%~17.9%为宜。在鹅的基础日粮中添加 5%和 10%木薯叶或木薯叶粉,可以改善鹅的生长性能,提高其日增重、日采食量、胴体性状、肉品质,且添加比例为 5%时,其养殖综合效益最佳^[49-50]。

综上所述,在家禽日粮中添加的木薯产品种类主要为木薯(粉)、木薯叶粉、木薯渣,具体添加比例因动物种类、日龄大小及木薯产品不同而有所区别;适量添加不仅可降低饲料成本,对禽类增重、肉质和产蛋量等也无不良影响,有的还具有较好的提升作用。本文总结了木薯作为饲料在家禽养殖生产中的应用情况,详见表 2。

2.2 木薯在猪养殖生产中的应用

与作为其他畜禽饲料相比,木薯更适合用作

表 2 木薯作为饲料在家禽养殖生产中的应用
Tab. 2 Utilization of cassava as feed in poultry breeding production

木薯产品 Cassava products	试验动物 Experimental animal	试验设计 Experiment design	结果 Result	参考文献 Reference
木薯干	新兴黄鸡, 雌性, 1~42 日龄	初始日龄 1 d, 试验期 42 d, 每组 100 只, 共 6 组: 1、2、3 组为玉米日粮, 蛋白质水平分别为 100%、95%、90%; 4、5、6 组为木薯替代 50% 玉米日粮, 蛋白质水平分别为 100%、95%、90%	不同饲料原料及蛋白质水平对肉鸡平均每日摄食量、日增重、回肠蛋白消化率及粪氮排泄具有显著影响。日粮蛋白质水平 90%、95% 时肉鸡平均每日摄食量更高, 且 95% 时补充限制性氨基酸对肉鸡生长性能、回肠蛋白消化率有提升作用。低蛋白日粮中用 50% 的木薯取代玉米对其生长性能无明显影响	[31]
木薯粉	肉鸡	每组 20 只, 共 3 组: 木薯粉分别以 0、10% 和 20% 比例替代肉鸡饲料中的玉米	木薯粉取代玉米时, 对饲料的使用量和转化效率, 肉鸡体重增加、死亡率以及生产效率指标未产生明显影响。表明木薯粉可有效替代肉鸡玉米基饲料的 20%	[32]
发酵木薯渣粉	文昌鸡, 开始日龄 15 d	每组 30 只, 共 10 组: 对照组不加发酵木薯渣粉; 处理组分别使用 3 种不同复合菌剂发酵的木薯渣粉, 然后分别替代日粮中 5%、10%、15% 的部分饲料原料 (玉米粉、花生粉和麦麸)	用发酵木薯渣粉替代文昌鸡日粮中玉米粉、花生粉和麦麸可以降低饲养成本, 且替代比例 15% 时增重效果较好	[33]
木薯叶粉	科宝 500 肉鸡, 雌性, 21~49 日龄	每组 20 只, 共 4 组: 鸡日粮中分别添加 0、10%、20%、30% 的木薯叶粉	喂食木薯叶粉含量较高 (30%) 的日粮, 鸡胸肉灰分、粗脂肪和碳水化合物含量较低。鸡日粮中添加木薯叶粉对鸡胸肉的感官品质无影响, 其乳肉的化学属性会受到影响	[35]
木薯干	双鬼头肉鸭 (北京鸭与麻鸭杂交 11 代), 15~45 日龄	每组 120 只, 共成 4 组: 试验日粮中木薯添加量分别为 0、10%、20% 和 30%	肉鸭平均日采食量随着木薯添加比例的增加而上升。肉鸭日粮干物质表观消化率、表观代谢能、蛋白质表观消化率在添加量为 10%、20% 时有显著提高, 且添加比例为 20% 时增重效果也最好	[40]
木薯干	肉鸭, 1 日龄, 初始体重约 55 g	初始日龄 1 d, 试验期 42 d, 每组 120 只, 共 4 组: 全程喂食玉米型日粮、后期喂食木薯型日粮 (22~24 d 木薯型日粮)、前期喂食木薯型日粮 (1~21 d 木薯型日粮)、全程喂食木薯型日粮	后期喂食木薯型日粮时体重及平均增重最高; 其胸肌占比也显著高于前期喂食木薯型日粮及全程喂食木薯型日粮的试验组。同时, 全程喂食玉米型日粮的肉鸭腹脂占比及血清中甘油三酯和胆固醇浓度显著高于后期喂食木薯型日粮试验组	[41]
木薯饲料	肉鸭, 1 日龄	试验期 42 d, 每组 80 只, 共成 4 组: 对照组饲喂玉米型日粮, 试验组分别从 1、16、28、35 d 开始饲喂木薯型基础饲料	在 1~9 日龄期间, 以玉米或木薯为基础日粮对肉鸭生长影响不大。在 35~42 d, 木薯型日粮增重更显著, 外胸重及内胸重更高。而玉米型基础日粮更有利于提高腹部脂肪含量及肝脏甘油三酯水平, 2 种类型日粮对血清甘油三酯、胆固醇、脂蛋白胆固醇和肝脏胆固醇的影响无显著差异	[42]
发酵木薯渣	樱桃谷鸭, 1 日龄	每组 300 只, 共 4 组: 对照组饲喂全价饲料 (雏鸭饲料 221A 和中大鸭饲料 JK519), 3 个试验组分别为用发酵木薯渣饲料替代少量 (221A+1% 发酵木薯渣饲料、JK519+6% 发酵木薯渣饲料)、中量 (221A+3% 发酵木薯渣饲料、JK519+12% 发酵木薯渣饲料)、稍高量全价饲料 (221A+5% 发酵木薯渣饲料、JK519+15% 发酵木薯渣饲料)	在肉鸭育雏期 (1~14 日龄), 发酵木薯渣饲料替代比例为 1% 时有助于提高雏鸭饲料转化; 在育肥期 (15~45 日龄) 阶段, 各试验组肉鸭的生产性能无显著变化。但随着木薯添加比例升高养殖成本越低, 且养殖环境越好	[43]
木薯淀粉渣	龙岩麻鸭, 20 周龄	试验期 16 周, 每组 72 只, 共 4 组: 木薯淀粉提取渣粉分别以 0、5%、10% 和 15% 的比例替代日粮中部分玉米和麦麸, 各组饲料等热量等氮	用木薯淀粉提取渣粉替代日粮中部分玉米和麦麸饲养蛋鸭时, 替代比例对产蛋量、蛋重、日产蛋量、料蛋比、蛋黄比例和蛋壳厚度均无显著影响; 日采食量随替代比例的升高而降低, 蛋黄颜色、总饱和脂肪酸含量随替代比例的增加而增加	[44]

续表 2 木薯作为饲料在家禽养殖生产中的应用

Tab. 2 Utilization of cassava as feed in poultry breeding production (continued)

木薯产品 Cassava products	试验动物 Experimental animal	试验设计 Experiment design	结果 Result	参考文献 Reference
木薯	试验 1: 四川白鹅, 4 周龄; 试验 2: 四川白鹅, 28 日龄	试验 1: 试验期 24 d, 每组 24 只, 共 4 组, 对照组日粮为含有 61% 玉米的混合料, 试验组分别为用木薯替代混合料中 35%、55%、75% 的玉米。 试验 2: 试验期 24 d, 每组 24 只, 共 4 组, 日粮中能量饲料为 45%, 4 组分别为 45% 玉米、45% 木薯、22.5% 木薯+22.5% 稻谷、17% 玉米+14% 木薯+14% 稻谷	在玉米占比为 61% 的日粮中用木薯替代玉米进行饲养, 对鹅的饲料养分消化率、生长性能、屠宰特性以及血液的生化指标无明显影响。在玉米占比为 45% 的日粮中用木薯全部替换时, 鹅的生长性能、饲料养分消化以及饲料转化率显著降低, 而用同量的木薯和稻谷一起替换玉米来饲喂白鹅, 对鹅的饲料养分消化率、生长性能、屠宰性能以及血液生化指标无明显的不良影响	[47]
木薯渣	扬州鹅, 公鹅, 19 日龄, 平均体重约 786 g	试验期 28 d, 每组 60 只, 共 5 组: 对照组为基础饲料, 试验组为添加 5%、10%、15%、20% 木薯渣的基础日粮	日粮中添加木薯渣对 22~49 日龄仔鹅的日采食和日增重有一定程度上的提升效果, 有助于其更好地生长和发育, 降低养殖成本, 从而提高整体的经济效益; 同时仔鹅的肌胃指数及十二指肠的相对重量下降; 综合日增重与饲料成本, 最佳的添加量以 12.4%~17.9% 为宜	[48]
木薯叶粉	海南本地杂交鹅, 28 日龄	试验期 42 d, 每组 36 只, 共 3 组: 基础饲料、添加 5% 木薯叶粉的饲料、添加 10% 木薯叶粉的饲料	添加木薯叶粉时鹅平均日增重显著提高, 添加 5% 料重比最低。添加 5% 时, 血液平均红细胞体积、血液葡萄糖含量显著高于其他 2 组; 添加 10% 时, 血液白蛋白含量、血液谷丙转氨酶活性最低, 其他血液生化指标无明显区别	[49]
木薯叶	海南地方鹅, 公鹅, 28 日龄	试验期 42 d, 每组 6 只, 共 3 组: 对照组为基础饲料, 试验组分别为添加 5%、10% 木薯叶的基础饲料	添加木薯叶的饲料显著提高了鹅的体重、平均日体重增加量和平均日摄食量, 影响了相对含肉率和脂肪率等胴体品质, 促进了鹅胃肠道发育。在鹅 (第 28~70 天) 饲料中添加木薯叶具有积极作用, 且添加 5% 木薯叶比添加 10% 木薯叶更有益	[50]

猪饲料, 且应用于猪养殖生产时, 可降低养殖成本, 提高经济效益。

早在 20 世纪 80 年代, 国外就开展了木薯养猪研究, 并取得了明显效果。联邦德国用木薯代替大麦开展肥育仔猪养殖试验, 发现木薯用量为日粮的 40%~60% 时, 对猪的增重和肉质无不良影响^[51]。尼日利亚研究发现在热带可持续的猪生产体系中木薯叶可以作为断奶仔猪的基础日粮的蛋白质补充^[52]; 而越南研究发现在木薯叶中添加适量蛋氨酸和赖氨酸来饲养杂交猪 (大白×旺采), 可提高猪的生产性能、降低养殖成本^[53]。近年来, 国内外关于木薯在猪养殖生产中的应用也越来越多, 并取得了显著的成效。在厄瓜多尔, 煮熟的木薯和芋头混合饲料被认为是玉米的合适替代品, 且替代比例为 21% 时的效果最好^[54]。在韩国, 研究发现在木薯基础饲料中添加 0.1% 碳水化合物酶有利于提高猪的生长性能和养分消化率^[55]。ADEYEMI 等^[56]分别使用 0、25%、50%、75% 和 100% 的木薯粉来代替生长猪饲料中的玉米, 发现木薯粉能够完全代替生长猪饲料中的玉米, 从而

显著降低养殖成本, 且在替代比例为 50% 时料重比、采食量以及增重效果最好, 养殖成本最低。宾石玉等^[57]研究发现, 通过使用 30% 的木薯代替育肥猪的日常饲料可明显增加猪的平均每日食量和增重, 而对猪的净肉率、瘦肉率、眼肌面积等胴体性状无显著影响, 说明添加 30% 木薯可提高猪的生产性能, 且对猪的胴体性状未产生不利影响。王旭莉等^[58]研究表明, 在 35~70 kg 育肥猪饲料中, 如果加入 8% 以下的木薯渣, 猪的日增重与料重比均会得到提升; 但当添加量超过 8% 时, 猪的日增重会减少, 而料重则增加, 因此, 在 35~70 kg 育肥猪日粮中添加 8% 木薯渣时综合效益最好。周晓容等^[59]在研究中发现, 采用新鲜发酵的木薯渣喂养育肥猪能够提高经济效益。特别是 17.9% 比例的效果最为显著, 其次是 35.8%。此外, 新鲜发酵木薯渣喂养猪的增重速度相较于对照组差异不显著, 综合考虑生产性能和效益, 建议使用不超过 35.8% 的新鲜发酵木薯渣替代基础日粮喂养育肥猪。蒋慧姣^[60]的研究表明, 环江香猪的日粮中添加 5%~10% 木薯渣或者发酵木薯渣进行

饲喂，对环江香猪的生长性能和血清生化指标无不良影响，同时可减少饲料费用，提高日采食量、熟肉率和肌肉红度值等指标，并且可提升胴体性状和肉的品质，但若长时间饲喂，将会对猪的免疫系统产生不利影响。ZHOU 等^[61]的研究表明，利用木薯作为低蛋白日粮中支链淀粉来源，能够有效地调控生长中的猪对葡萄糖的摄取及相关肠内激素的分泌，从而增强生长猪的

进食欲望和采食量，进而改善生长性能，提高氮的利用效率。

综上，在猪日粮中添加的木薯产品主要为木薯（粉）、木薯渣、木薯叶，一般添加 30%~50% 木薯产品时对猪的生产性能无不良影响，但猪日龄较小时要适当减少添加比例。本文对木薯作为饲料在猪养殖生产中的应用情况进行了总结归纳，详见表 3。

表 3 木薯作为饲料在猪养殖生产中的应用

Tab. 3 Utilization of cassava as feed in pig breeding production

木薯产品 Cassava products	试验动物 Experimental animal	试验设计 Experiment design	结果 Result	参考文献 Reference
木薯叶蛋白 饲料	试验 1: 杂交猪 (大白猪×旺采猪), 初始体重约 20.5 kg; 试验 2: 杂交 (大白×旺采) 猪, 初始体重 20.1 kg	试验 1: 每组 10 头, 共 4 组, 分别饲喂含 45% 干物质的青贮木薯叶和添加 0、0.05%、0.1% 和 0.15% DL-蛋氨酸的青贮木薯块根的基础饲料; 试验 2: 每组 24 头, 共 4 组, 在基础日粮中添加 15% 青贮木薯叶, 并在基础日粮中添加不同量的氨基酸 L-赖氨酸和 DL-蛋氨酸	添加 DL-蛋氨酸显著提高了猪的生产性能和蛋白质增益, 降低了饲料成本 (分别降低 2.6%、7.2% 和 7.5%)。在 20~50 kg 和 50 kg 以上阶段分别添加 0.2% 赖氨酸+0.1% DL-蛋氨酸和 0.1% 赖氨酸+0.05% DL-蛋氨酸的饲料中添加 15% 青贮木薯叶时, 杂交猪的生产性能、蛋白质增益和成本均最佳	[53]
木薯块根	阉割杂交猪 (克里奥尔猪), 60 日龄	试验期 100 d, 每组 7 头, 共 6 组, 在 2 个不同的养殖地点设置 3 个不同饲料的处理, 对照组常规饲料, 试验组在常规饲料基础上添加 32%、42% 的木薯和芋头替代饲料中的部分玉米	当玉米被 42% 熟木薯和芋头替代时, 猪的生长性能更强, 增重、氮同化率和收益/成本比值最高, 且对猪的生长无不良影响	[54]
木薯硬颗粒、木薯渣颗粒	试验 1: [(长×大)×杜] 杂交断奶仔猪, 初始体重约 6.44 kg; 试验 2: 三元杂交猪, 初始体重约 25.10 kg; 试验 3: 三元杂交育肥猪, 初始体重约 54.74 kg	试验 1: 试验期 28 d, 每组 36 头, 共 2 组, 分别饲喂基础日粮 (不含木薯硬粒)、基础饲料添加木薯硬粒。 试验 2: 试验期 42 d, 每组 28 头, 共 3 组, 基础日粮中分别添加 0、20% 和 40% 的木薯。 试验 3: 试验期 28 d, 每组 24 头, 共 4 组, 在含 25% 木薯的饲料基础上, 采用 2×2 析因设计, 分别饲喂两种不同能量水平饲料 (低能、高能), 同时进行添加或不添加 0.1% 碳水化合物酶处理	试验 1: 饲料中添加木薯硬粒显著降低了断奶仔猪 1~14 d 和整个试验期的平均日增重, 料重比在第 1~14 天时也显著降低, 但对平均日采食量无显著影响。 试验 2: 日粮中添加木薯对生长性能和血液指标未产生影响。 试验 3: 与饲喂低能饲料相比, 饲喂 0.1% 碳水化合物酶的高能量饲料降低了平均日采食量, 提高了料重比。但能量组和碳水化合物组的营养物质消化率均显著提高。以上结果表明, 在木薯基础饲料中添加 0.1% 碳水化合物酶有利于提高猪的生长性能和养分消化率	[55]
木薯植物粉	生长猪 (大白猪×汉普夏猪), 平均体重为 20 kg	试验期 56 d, 每组 4 头, 共 5 组: 分别饲喂木薯植物粉替代 0、25%、50%、75% 和 100% 玉米的试验饲料	各处理组的平均每日摄食量、日增重和饲料转化率差异显著。与其他处理相比, 50% 木薯植物粉替代玉米时猪的最终体重最高、生产成本最低; 50% 替代玉米时的料肉比、采食量和增重值也均优于未替代组	[56]
高蛋白木薯饲料	三元杂交猪 (杜×长×大), 体重约 25 kg	每组 12 头, 共 4 组: 分别饲喂含 0、20%、30%、40% 的高蛋白木薯饲料日粮	饲喂 30% 高蛋白木薯饲料时猪平均日增重增加最多, 比对照组高 8.05%; 饲喂其他比例高蛋白木薯饲料时猪的日增重、饲料转化效率也有明显提高, 但均对生长猪净肉率、瘦肉率、眼肌面积等胴体性状无显著影响	[57]
泰国木薯渣	杜长大三元杂种肉猪, 体重约 35 kg	试验期 26 d, 每组 50 头, 共 5 组: 分别饲喂含 0、4%、6%、8%、10% 木薯渣的饲料, 各组饲料按等氨基酸等能量配制	饲料中添加木薯渣对肉猪平均摄食量影响不大; 但日增重随着添加比例增加呈现先升高后下降的趋势, 料重比和饲料成本则先下降后上升, 在添加 8% 时日增重最高、成本最低	[58]

续表 3 木薯作为饲料在猪养殖生产中的应用
Tab. 3 Utilization of cassava as feed in pig breeding production (continued)

木薯产品 Cassava products	试验动物 Experimental animal	试验设计 Experiment design	结果 Result	参考文献 Reference
发酵木薯渣	杜长大育肥猪, 体重约 83 kg	每组 15 头, 共 4 组: 对照组为玉米-麦麸-豆粕型常规日粮, 处理组分别为添加新鲜发酵木薯渣 17.9%、35.8%、53.7% 比例的饲粮, 各组饲粮等能量等蛋白	与对照组相比, 添加 17.9%、35.8% 发酵木薯渣时育肥猪日增重、料重无显著差异, 但饲料成本更低; 结合生产性能和养殖成本, 新鲜发酵木薯渣在替换基础日粮饲喂育肥猪时使用比例应不超过 35.8%	[59]
木薯渣、发酵木薯渣	环江香猪, 体重约 8.85 kg	每组 40 头, 共 3 组: 对照组为基础饲粮, 处理组分别为添加木薯渣、发酵木薯渣的基础饲粮。试验期 58 d, 1~30 d 为第一阶段木薯渣 (发酵木薯渣粉) 添加量为 5%, 31~58 d 为第二阶段木薯渣 (发酵木薯渣) 添加量为 10%	在饲喂 1~30 d, 对照及试验组生长性能差异不显著, 但试验组猪的平均背膘厚显著降低; 在饲喂 31~58 d, 试验组平均每日摄食量显著增加。饲喂木薯渣或发酵木薯渣的香猪中红度值显著上升、肌肉亮度值显著下降, 血清中总蛋白、白蛋白和尿素氮水平差异不显著。表明添加 5%~10% 木薯渣或者发酵木薯渣对环江香猪的生长性能和血清生化指标无不良影响, 并且对胴体性状和肉的品质有提升作用	[60]
木薯粉	杜长大杂交猪, 初始体重约 32.3 kg	试验期 4 周, 每组 36 头, 共 3 组: 玉米-豆粕低蛋白日粮、玉米-木薯-豆粕低蛋白日粮和木薯-豆粕低蛋白日粮	体外消化试验表明, 与玉米-豆粕低蛋白日粮相比, 玉米-木薯-豆粕低蛋白日粮和木薯-豆粕低蛋白日粮淀粉消化和葡萄糖释放速度更快。饲养时, 饲喂木薯-豆粕低蛋白日粮后猪的血糖和相关激素浓度变化最迅速。与其他处理相比, 该处理降低了空腹血浆胰岛素、胰高血糖素和瘦素浓度。饲喂木薯-豆粕低蛋白日粮的生长猪采食欲望更强烈, 采食量和体重增加最大。此外, 饲喂木薯-豆粕低蛋白日粮会导致腹泻, 粪便中异丁酸和异戊酸浓度升高。与玉米-豆粕低蛋白日粮组相比, 玉米-木薯低蛋白日粮组显著降低了尿氮, 提高了氨基酸利用效率	[61]

2.3 木薯在反刍动物养殖生产中的应用

木薯及其副产物 (特别是木薯渣、木薯叶、木薯皮) 中含有较高的粗纤维, 单胃动物不易消化吸收, 然而反刍动物却能很好地消化利用, 所以用木薯饲喂牛、羊可获到较好的生产性能, 同时可减少养殖成本, 提高养殖收益。

2.3.1 木薯在牛养殖生产中的应用 RETNANINGRUM 等^[62]分别将 30%、40%、50%、60% 和 70% 木薯粉加入利木赞杂交公牛的日粮中, 发现添加 40% 时利木赞杂交公牛的养分摄入量、纤维消化及利用率最高, 而加入 70% 木薯粉时公牛的养分摄入量、纤维消化及利用率最低, 因此, 在牛的日粮中加入木薯粉的量最好不超过 40%。李景伟^[63]在饲料中使用等量的木薯渣替代玉米进行西门塔尔牛养殖试验, 替代比例分别为 0、15%、30% 和 45%, 结果发现替代 15% 的情况下肉牛的屠宰和胴体指标并未受到明显影响; 但伴随木薯渣添加量的逐渐增多, 肉牛的胴体重、肉骨比、净肉率、牛柳重量、背膘厚、牛肉嫩度和脂肪含量出现显著下降, 其他指标影响不显著, 但宰前体重、屠宰率和肉质等级均呈下降趋势, 因此, 木薯渣在日粮中高比例替代玉米会对肉牛的肉质、生产性

能和屠宰特性产生负面影响, 当木薯渣替代玉米的比例为 15% 时, 不仅可减少饲养成本, 还对肉牛的生长和发育无不利影响。木薯秆和叶可以被用作青贮的原材料, 用于制作混合青贮料来喂养奶牛, 对牛奶的成分几乎未产生影响, 但混合比例过高, 可能会使饲料适口性变差, 导致泌乳牛奶产量减少, 因此利用木薯秆、叶制作青贮饲喂奶牛的比例应小于 50%^[64]。魏秀莲等^[65]研究发现木薯粉可作为替代玉米的饲料来喂养奶牛, 对其产奶性能和奶中的营养成分均未产生明显的改变, 但有助于减少饲养成本, 从而提高养殖效益。PROMKOT 等^[66]研究发现, 在精料饲料中添加 20% 酵母发酵木薯块根饲喂奶牛, 其平均日增重有增加趋势, 且有利于提高牛瘤胃细菌数量和中性洗涤纤维消化率。林水中等^[67]分别用木薯残渣半替换或全部替换日粮中占比为 24% 的水稻秸秆, 发现木薯残渣全替代水稻秸秆时, 可明显提高肉牛的日平均体重增加量, 同时提升其饲料使用效率和纤维的表观消化率, 还能减少甲烷的排放。

2.3.2 木薯在羊养殖生产中的应用 SUDARMAN 等^[68]将 20% 的青贮木薯叶饲料替代浓缩料来喂养山羊, 结果发现对山羊的生长性能无显著影响,

二者的饲喂效果无明显差异。周璐丽等^[69]研究表明,在日粮中添加木薯茎叶对海南黑山羊的生长发育有明显的改善,且对肉质和安全产生无显著影响。在西非国家,利用发酵木薯渣饲喂西非矮山羊后,不影响山羊的繁育,但是可提高山羊采食量和生长速度,显著改善奶山羊的产奶量和奶品质^[70]。吕小康等^[71]研究表明,随着木薯渣在日粮中添加量的增加,羔羊的生长性能得到了明显提升,同时未对营养物质的表观消化率和瘤胃的发酵产生不利影响,但饲喂高比例木薯渣时会削弱羔羊的抗氧化性能、损伤其肾脏功能,因此建议将木薯渣的添加量控制在 20% 以下。吴灵丽等^[72]采用发酵木薯渣代替海南黑山羊饲料中的王草,代替比例分别为 10%、20%、30%,发现山羊平均每日摄食量有了明显增长,各个处理组间屠宰前体重、胴体重、屠宰率、骨重等胴体性

状和脏器系数无显著差异,这表明可用发酵木薯渣替代王草饲养海南黑山羊,且替代 20% 的新鲜王草饲喂效果最佳,羊的生长性能和肉的质量均得到了提升,并且其屠宰特性无负面影响。樊懿萱等^[73]研究发现,不同比例的发酵木薯渣代替湖羊日粮中的玉米时,湖羊的生长、血液中各项生化指标和肉的质量无负面影响,其中饲喂效果最佳的发酵木薯渣替代比例为 20%,说明饲养湖羊时日粮中玉米可用发酵木薯渣替代,从而使饲养成本减少。

综上,在反刍动物日粮中添加的木薯产品主要为木薯粉、发酵木薯块根、木薯渣,青贮木薯茎叶等,一般添加 15%~50% 木薯产品替代日粮中玉米、草料时对反刍动物生长性能、肉质和产奶量等有改善作用。本文对木薯作为饲料在反刍动物养殖生产中的应用情况进行了总结归纳,详见表 4。

表 4 木薯作为饲料在反刍动物养殖生产中的应用

Tab. 4 Utilization of cassava as feed in ruminant breeding production

木薯产品 Cassava products	试验动物 Experimental animal	试验设计 Experiment design	结果 Result	参考文献 Reference
木薯粉	荷斯坦奶牛, 2~3 胎泌乳中期	试验期 12 周, 每组 50 头, 共 2 组: 试验组分别为木薯粉 0%、100% 替代玉米	用木薯粉代替玉米饲喂荷斯坦奶牛, 其产奶性能和奶的营养成分均未产生明显改变, 但有助于减少饲养成本	[65]
酵母发酵木薯块根	婆罗门肉牛, 初始体重约 256 kg	试验期 21 d, 每组 1 头, 4×4 拉丁方设计, 4 个组: 对照组为基础日粮(未发酵的木薯块根), 3 个试验组分别为含有 10%、20% 和 30% 酵母发酵木薯块根的精料日粮	各处理间干物质摄入量、营养物质消化率无显著差异, 当发酵木薯块在精料日粮中的比例为 20% 时, 奶牛的平均日增重有增加的趋势。饲喂发酵木薯块根后, 中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的消化率呈增长趋势; 瘤胃细菌数量和微生物蛋白随着酵母发酵木薯块根的添加也呈现增长的趋势	[66]
木薯残渣(淀粉渣)	肉牛	试验期 140 d, 每组 32 头, 共 3 组: 对照组为含 24% 水稻秸秆的全混合日粮, 试验组分别为用木薯残渣替代 50%、100% 水稻秸秆的全混合日粮	用木薯残渣替代水稻秸秆时, 替代比例越高平均日增重、瘤胃细菌总数越高, 但产甲烷菌数量显著低于对照组; 100% 替代时肉牛最终体重、饲料使用效率以及中性洗涤纤维、有机物的表观消化率均显著高于对照组	[67]
青贮木薯叶	爪哇细尾公羊, 体重 20 kg	每组 4 头, 共 4 组: 分别饲喂 100% 饲草、100% 粉碎饲草、80% 粉碎饲草+20% 精料、80% 粉碎饲草+20% 青贮木薯叶	各处理间干物质的消耗、瘤胃中总细菌数量无明显变化, 但可消化养分的消耗有显著差异。饲喂 20% 精料或青贮木薯叶可增加体重和饲料利用效率。饲喂精料可以增加瘤胃中原生动物的总量。用青贮木薯叶代替精料, 总挥发性脂肪酸降低、氨气浓度升高	[68]
木薯茎叶青贮饲料	海南黑山羊, 体重约 11.58 kg	试验期 80 d, 每组 10 头, 共 3 组: 饲喂的粗饲料分别为新鲜王草、50% 新鲜王草+50% 青贮饲料、青贮饲料, 3 组饲喂的精饲料相同	饲喂木薯茎叶青贮饲料对增重影响不大, 但黑山羊的摄食量、料重比大幅下降; 同时, 各处理间黑山羊的滴水损失、肌间脂肪含量、氰化物含量等品质指标均差异不显著	[69]
木薯渣	断奶湖羊羔羊, 3~4 月龄	试验期 55 d, 每组 24 头, 共 4 组: 试验组分别加入 0%、5%、10%、20% 的木薯渣到日粮中	随着木薯渣在日粮中添加量的增加, 羔羊平均每日体重增加量显著提高、料重比显著降低, 血清总抗氧化能力先降后升、谷胱甘肽还原酶和甘油三酯含量先升后降、血清 SOD 活性逐渐下降。对体重、血清葡萄糖、营养物质表观消化率和瘤胃的发酵无明显影响	[71]

续表 4 木薯作为饲料在反刍动物养殖生产中的应用

Tab. 4 Utilization of cassava as feed in ruminant breeding production (continued)

木薯产品 Cassava products	试验动物 Experimental animal	试验设计 Experiment design	结果 Result	参考文献 Reference
发酵木薯渣	海南黑山羊, 公羊, 体重约 22 kg	试验期 70 d, 每组 6 头, 共 4 组: 对照组饲喂基础日粮(新鲜王草+精料), 试验组用发酵木薯渣替代新鲜王草, 比例分别为 10%、20%和 30%	采用发酵木薯渣代替海南黑山羊饲料中的王草, 其平均日摄食量明显增加; 替代比例为 20%时平均每日体重增加量、熟肉率最高, 均显著高于对照组; 饲料转化效率、屠宰特性、粗蛋白质含量等其他指标各处理间差异不显著	[72]
发酵木薯渣	湖羊公羔, 3 月龄, 体重约 24.15 kg	试验期 70 d, 每组 12 头, 共 4 组: 发酵木薯渣替代玉米比例分别为 0、20%、40%、60%玉米, 各组饲料等能量等蛋白	发酵木薯渣替代比例为 60%时湖羊出现非常严重的腹泻。替代 20%时, 平均摄食量、平均每日增重量、屠宰前体重和胴体重量显著高于其他试验组, 而料重比显著低于替代 0%和 40%组, 各组间肉的质量、血液生化指标差异不显著	[73]

2.4 木薯在其他动物养殖生产中的应用

EKPO 等^[74]研究表明, 木薯皮粉、去皮木薯块根粉和复合木薯块根粉均可替代玉米粉作为兔饲料的能量来源。OLAFADHAN^[75]研究发现, 通过青贮、晒干和浸泡方法可将木薯皮中的氰化氢含量降到非致命水平用于饲喂家兔, 且加入 20%青贮木薯皮粉、晒干木薯皮粉和蒸熟木薯皮粉对家兔的健康和器官发育状况无不良影响。田雪等^[76]用含量为 0、10%、20%、30%和 40%的木薯粉饲料分别饲喂吉富罗非鱼, 发现 40%木薯粉组饲喂效果最优, 相比较对照组, 罗非鱼的体重增长速率、蛋白质利用效率、饵料系数、表观消化率、全鱼的粗灰分及粗蛋白均得到了显著提升, 同时罗非鱼的粗脂肪也得到了显著降低, 这表明木薯粉适合于罗非鱼养殖, 并且比例为 40%时表现最好。

3 展望

中国是畜禽养殖大国, 饲料需求量巨大。我国主要畜禽养殖饲料配方借鉴美国体系, 以“玉米豆粕型”为主, 由于饲料原料的短缺, 每年需进口大量饲料原料, 这严重危及我国的粮食安全和饲料安全。特别是近年来受国际形势的影响, 大宗饲料原料价格不断上涨, 严重制约了我国畜禽业的发展。据了解, 2023 年玉米进口均价为 2800 元/t, 而木薯干片进口价约为 2100 元/t, 我国本土生产的木薯鲜薯更廉价, 为 600~800 元/t; 且木薯淀粉含量较高, 能量值近似于玉米, 因此, 木薯是很好的玉米豆粕减量替代饲料, 饲用发展潜力较大。近年来, 在鸡、鸭、鹅、猪、牛、羊等动物养殖应用上得到了广泛研究, 且取得了很

好的效果, 木薯可作为一种能量饲料应用于动物的养殖中, 有助于减少饲料成本并增加养殖效益, 但木薯饲料的商业化应用比较少, 国内外重点木薯加工企业主要生产木薯干片、淀粉、酒精及变性淀粉等初、深加工产品, 暂无商业化木薯饲料产品大规模生产和交易。木薯在加工过程中, 会产生很多副产物, 如木薯茎秆、木薯皮、木薯渣等, 目前国内外对这部分资源尚未进行充分开发利用, 造成了资源的巨大浪费, 因此, 开展木薯及其副产物饲料化利用具有较好的市场前景, 同时对减少环境污染、提升木薯种植经济效益和增加新型饲料来源均具有重要意义。

除了进行木薯饲料化科学研究外, 已有部分中小型加工和养殖企业开展木薯饲料化应用, 如南宁欣壮德农牧科技有限公司, 少量工业化生产木薯秆叶与巨菌草混合青贮饲料用于饲养奶牛; 海南天合祥农生态生物科技有限公司制作添加木薯茎叶的发酵型全混合日粮、木薯茎叶和王草混合青贮产品, 在博泰牧业等多个养殖公司进行海南黑山羊、湖羊、和牛养殖示范。前期研究发现, 木薯的不同品种、不同产地、不同部位其营养水平存在差异。此外, 因为木薯蛋白含量低, 氨基酸组成不平衡, 特别是含硫氨基酸很少, 而且还含有一种有毒物质——氢氰酸, 所以在饲料化应用过程中, 需要平衡氨基酸、维生素、矿物质等含量水平, 考虑木薯中的抗营养因子含量, 保证单宁、氰化物及霉菌毒素含量在无毒水平; 同时, 动物的不同品种和不同生长发育阶段对营养水平的需求不同, 需要及时调整日粮配比, 添加适宜木薯量, 以满足动物生长发育的营养需求。因此, 仍需进一步研究木薯饲料化在日粮中适宜的添加量、添加方式, 做到科学配比,

精准使用木薯, 扩大木薯在动物养殖生产领域的应用, 同时带动农业增产、促进农民增收, 提升企业养殖经济效益。

参考文献

- [1] 方佳, 濮文辉, 张慧坚. 国内外木薯产业发展近况[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 353-361.
FANG J, PU W H, ZHANG H J. The development status of cassava industry at home and abroad[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(16): 353-361. (in Chinese)
- [2] NIGEL T, PAUL C, KRIT R, DIMUTH S, ZHANG P. Development and application of transgenic technologies in cassava[J]. Plant Molecular Biology, 2004, 56(4): 671-688.
- [3] 刘小津, 李小波, 郑锦荣. 华南主要旱地作物品种技术产业[M]. 广州: 广东教育出版社, 2014.
LIU X J, LI X B, ZHENG J R. Technical industry of main dryland crop varieties in South China[M]. Guangzhou: Guangdong Education Publishing House, 2014. (in Chinese)
- [4] 钟永恒, 陆柏益, 李开绵. 木薯质量安全、营养品质与加工利用新进展[J]. 中国食品学报, 2019, 19(6): 284-292.
ZHONG Y H, LU B Y, LI K M. Research advances on the safety, nutrition and processing of cassava[J]. Chinese Journal of Food Science, 2019, 19(6): 284-292. (in Chinese)
- [5] 冀凤杰, 曹婷, 刘胜敏, 周汉林. 木薯作为能量饲料的营养特性及其在单胃动物生产中的应用[J]. 动物营养学报, 2021, 33(2): 622-636.
JI F J, CAO T, LIU S M, ZHOU H L. Cassava: nutritional characteristics as energy feed and utilization in monogastric animal production[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(2): 622-636. (in Chinese)
- [6] El-SHARKAWY M A. Salt-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement[J]. Open Journal of Soil Science, 2012 (2): 162-186.
- [7] 魏艳, 黄洁, 许瑞丽, 安飞飞. 木薯肉与木薯皮营养成分的研究初报[J]. 热带作物学报, 2015, 36(3): 536-540.
WEI Y, HUANG J, XU R L, AN F F. Primary study of the nutrient contents in the flesh and cortex of cassava root[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(3): 536-540. (in Chinese)
- [8] 中国饲料成分及营养价值表(2019 年第 30 版)[J]. 中国饲料, 2019(21): 98-107.
Tables of feed composition and nutritional values in China (2019, 30th Edition)[J]. China Feed, 2019(21): 98-107. (in Chinese)
- [9] 邓干然, 郑爽, 李国杰, 崔振德, 李玲, 何冯光. 木薯叶饲料化利用技术研究进展[J]. 饲料工业, 2018, 39(23): 17-22.
DENG G R, ZHENG S, LI G J, CUI Z D, LI L, HE F G. Research progresses of cassava leaf forage utilization technology[J]. Feed Industry, 2018, 39(23): 17-22. (in Chinese)
- [10] 王颖, 张雅媛, 尚小红, 曾文丹, 严华兵, 谢向誉. 食用木薯的营养价值及其保健功效研究进展[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(11): 22-24.
WANG Y, ZHANG Y Y, SHANG X H, ZENG W D, YAN H B, XIE X Y. Research progress on nutritive value and health-care efficacy of edible *Manihot esculenta* Crantz[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 47(11): 22-24. (in Chinese)
- [11] 丁慧敏, 谢彩锋, 古碧, 丘春平. 木薯块根的营养价值及消化性能[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 193-196.
DING H M, XIE C F, GU B, QIU C P. Nutritional value and digestibility of cassava root[J]. Food Research and Development, 2015, 36(20): 193-196. (in Chinese)
- [12] MORGAN N K, CHOCT M. Cassava: nutrient composition and nutritive value in poultry diets[J]. Animal Nutrition, 2016, 2(4): 253-261.
- [13] STUPAK M, VANDERSCHUREN H, GRUISSEM W, ZHANG P. Biotechnological approaches to cassava protein improvement[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(12): 634-641.
- [14] MONTAGNAC J A, DAVIS C R, TANUMIHARDJO S A. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2009, 8(3): 181-194.
- [15] CHARLES A L, SRIROTH K, HUANG T C. Proximate composition, mineral contents, hydrogen cyanide and phytic acid of 5 cassava genotypes[J]. Food Chemistry, 2005, 92(4): 615-620.
- [16] 杨刚, 李瑞, 冯淦熠, 向强, 田明洲, 蒋线吉, 刘小杰, 范志勇, 黄瑞林, 印遇龙. 生长育肥猪木薯消化能和代谢能的测定及预测模型的建立[J]. 动物营养学报, 2022, 34(3): 1486-1494.
YANG G, LI R, FENG G Y, XIANG Q, TIAN M Z, JIANG X J, LIU X J, FAN Z Y, HUANG R L, YIN Y L. Evaluation and prediction model establishment of digestible energy and metabolizable energy of cassava for growing-finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(3): 1486-1494. (in Chinese)
- [17] WOBETO C, CORRÊA A D, ABREU C M P D, SANTOS C D D, ABREU J R D. Nutrients in the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaf meal at three ages of the plant[J]. Food Science and Technology, 2006, 26(4): 865-869.
- [18] CHAVEZ A L, BEDOYA J M, SÁNCHEZ T, LGLESIAS C, CEBALLOS H, ROCA W. Iron, carotene, and ascorbic acid in cassava roots and leaves[J]. Food and Nutrition Bulletin, 2000, 21(4): 410-413.

- [19] MADRUGA M S, CAMARA F S. The chemical composition of "Multimistura" as a food supplement[J]. Food Chemistry, 2000, 68(1): 41-44.
- [20] LATIF S, MÜLLER J. Potential of cassava leaves in human nutrition: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 44(2): 147-158.
- [21] SIDDIQ M, UEBERSAX M A. Cassava production, processing and nutrition[M]//Handbook of vegetables and vegetable processing. America: John Wiley & Sons, Inc., 2018(10): 609-632.
- [22] NASSAR N, VIZZOTTO C S, SILVA H L I. Potentiality of cassava cultivars as a source of carotenoids[J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 2005, 3(3/4): 33.
- [23] 中国饲料成分及营养价值表(2022年第33版)(续)[J]. 中国饲料, 2022(24): 63-68.
Tables of feed composition and nutritional values in China (2022, 33th Edition)[J]. China Feed, 2022(24): 63-68. (in Chinese)
- [24] 魏艳, 黄洁, 林立铭, 罗春芳. 木薯块根不同部位的营养成分研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(6): 53-61.
WEI Y, HUANG J, LIN L M, LUO C F. Nutrients in different parts of cassava root[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2016, 44(6): 53-61. (in Chinese)
- [25] 潘佳慧, 喻珊, 蔡杰, 李开绵, 欧文军, 王志勇. 添加不同益生菌对木薯块根青贮品质和微生物菌群多样性的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(11): 2301-2312.
PAN J H, YU S, CAI J, LI K M, OU W J, WANG Z Y. Effect of different biological probiotics on the quality of cassava root silage and the impact on microbial flora diversity[J]. Pratacultural Science, 2021, 38(11): 2301-2312. (in Chinese)
- [26] 唐德富, IJI P, CHOCT M, 汝应俊, 宋淑玉, CLARKE K L. 木薯产品营养成分的分析与比较研究[J]. 中国畜牧兽医, 2014, 41(9): 74-80.
TANG D F, IJI P, CHOCT M, RU Y J, SONG S Y, CLARKE K L. Comparative study and analysis on nutrients of cassava products[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2014, 41(9): 74-80. (in Chinese)
- [27] 吴世林, 沈应然, 蒋宗勇, 陈小薇, 梁玉华. 木薯叶粉和木薯渣对猪的营养价值评定[J]. 中国饲料, 1993(3): 18-19.
WU S L, SHEN Y R, JIANG Z Y, CHEN X W, LIANG Y H. Evaluation of nutritional value of cassava leaf powder and cassava residue for pigs[J]. China Feed, 1993(3): 18-19. (in Chinese)
- [28] 李茂, 字学娟, 刁其玉, 胡海超, 唐军, 周汉林. 添加有机酸改善木薯叶青贮品质和营养成分[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1312-1316.
LI M, ZI X J, DIAO Q Y, HU H C, TANG J, ZHOU H L. Organic acids improve the fermentation quality and nutrient value of cassava foliage[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(7): 1312-1316. (in Chinese)
- [29] 王启芝, 杨家会, 何仁春, 周志扬, 梁琪妹, 廖玉英, 罗鲜青, 黄丽霞, 周俊华, 黄春花, 唐承明, 黄香, 李绍波, 黄光云. 木薯秆微贮与自然发酵青贮品质比较分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(2): 104-107.
WANG Q Z, YANG J H, HE R C, ZHOU Z Y, LIANG Q M, LIAO Y Y, LUO X Q, HUANG L X, ZHOU J H, HUANG C H, TANG C M, HUANG X, LI S B, HUANG G Y. Research on growth characteristics of *Caragana versicolor* in different populations in Tibet[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2020(2): 104-107. (in Chinese)
- [30] 冀凤杰, 王定发, 侯冠彧, 周雄, 周汉林. 木薯渣饲用价值分析[J]. 中国饲料, 2016(6): 37-40.
JI F J, WANG D F, HOU G Y, ZHOU X, ZHOU H L. Cassava residue feeding value analysis[J]. China Feed, 2016(6): 37-40. (in Chinese)
- [31] 欧肇林, 翁小芳, 黄国京, 黄朝云. 低蛋白日粮添加木薯替代玉米对肉鸡生长性能、回肠蛋白质消化率和氮排泄的影响[J]. 中国饲料, 2018(2): 69-75.
OU Z L, WENG X F, HUANG G J, HUANG Z Y. Effects of low protein level diets and substitution of cassava for corn in broiler diets on growth performance, ileal protein digestibility and nitrogen excretion[J]. China Feed, 2018(2): 69-75. (in Chinese)
- [32] CELIS W, MATHIOS M, CÁCERES J. Rendimiento productivo de pollos parrilleros alimentados con harina de yuca (*Manihot esculenta*) como reemplazo del maíz[J]. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 2019, 30(2): 676-681.
- [33] 于向春, 刘易均, 杨志斌, 柳贤德. 发酵木薯渣粉在文昌鸡日粮中的应用[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 394-397.
YU X C, LIU Y J, YANG Z B, LIU X D. Utilization of fermented cassava flour residue in the Wenchang Chicken diets[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(1): 394-397. (in Chinese)
- [34] 王东劲, 周汉林, 李琼, 黄显洲. 木薯叶粉养鸡试验[J]. 中国草食动物, 2000(1): 32-33.
WANG D J, ZHOU H L, LI Q, HUANG X Z. Cassava leaf powder chicken experiment[J]. China Herbivore Science, 2000(1): 32-33. (in Chinese)
- [35] BAKARE A G, CAWAKI P, LEDUA I, BAUTISTA J V, KOUR G, SHARMA A C, TAMANI E. Quality evaluation of breast meat from chickens fed cassava leaf meal-based di-

- ets[J]. *Animal Production Science*, 2021, 61(6): 613-619.
- [36] TADESSE T. Review on feed resources with more emphasis on use of cassava and sweet potato meal in chicken diet: Ethiopia[J]. *Animal and Veterinary Sciences*, 2021, 9(2): 32-38.
- [37] OGUNDEJI S T, AKINFALA E O. Egg production performance and egg quality of laying birds fed cassava plant meal based diet[J]. *Nigerian Journal of Animal Science*, 2020, 22(1): 289-297.
- [38] 温子瑜. 黄曲霉毒素污染玉米及霉菌毒素吸附剂对肉鸭生产性能和健康的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- WEN Z Y. Effects of aflatoxin contaminated corn and mycotoxin binder on performance and health status of Cherry Valley ducks[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [39] WARAPHAN J. Effect of substitution of cassava meal for broken rice in diet on production performance, meat quality and population of microorganism in digestive tract of meat ducks [D]. Bangkok: Kasetsart University, 2003.
- [40] 吕武兴, 贺建华, 李俊波, 彭鹏, 王杰. 日粮中添加木薯对肉鸭生长性能和养分利用率的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 38(1): 78-82.
- LYU W X, HE J H, LI J B, PENG P, WANG J. Effects of different supplemental levels of cassava on growth performance and nutrient utilization of meat ducks[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2012, 38(1): 78-82. (in Chinese)
- [41] 张红霞, 李燕. 木薯替代玉米对肉鸭生长性能、胴体性状、血清生化指标及经济收益的影响[J]. *中国饲料*, 2021(10): 38-41.
- ZHANG H X, LI Y. Effects of cassava substitution of maize on growth performance, carcass traits, serum biochemical indices and economic value of meat ducks[J]. *China Feed*, 2021(10): 38-41. (in Chinese)
- [42] SAREE S, BUNCHASAK C, RAKANGTONG C, SAKDEE J, KRUTTHAI N, POEIKHAMPHA T. Comparative effects of corn-based diet and phase-fed cassava-based diet on growth rate, carcass characteristics and lipid profile of meat-type ducks[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2017, 30(6): 843-848.
- [43] 蒋建生, 庞继达, 蒋爱国, 胡昌文, 蒋桥明, 俸祥仁, 兰宗宝. 发酵木薯渣饲料替代部分全价饲料养殖肉鸭的效果研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(11): 16-20.
- JIANG J S, PANG J D, JIANG A G, HU C W, JIANG Q M, FENG X R, LANG Z B. Effects of fermented cassava residue feed replacing complete feed on meat-duck breeding[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(11): 16-20. (in Chinese)
- [44] ABOUELEZZ K F M, WANG S, XIA W G, CHEN W, ELOKIL A A, ZHANG Y N, WANG S L, LI K C, HUANG X B, ZHENG C T. Effects of dietary inclusion of cassava starch-extraction-residue meal on egg production, egg quality, oxidative status and yolk fatty acid profile in laying ducks[J]. *Poultry Science*, 2022, 101(9): 102015.
- [45] WANG Z Y, YANG H M, LU J, LI W Z, ZOU J M. Influence of whole hulled rice and rice husk feeding on the performance, carcass yield and digestive tract development of geese[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 194: 99-105.
- [46] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- (China Hgricwltural Yearbook Edltoria Commitee. China agriculture yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2007. (in Chinese)
- [47] 杨家晃, 何仁春, 杨禾泽, 张捷, 吴琛, 黄丽霞, 卢桂猷. 木薯作为鹅能量饲料的应用研究[J]. *中国草食动物*, 2010, 30(3): 11-17.
- YANG J H, HE R C, YANG H Z, ZHANG J, WU T, HUANG L X, LU G Y. Research on the application of cassava meal as energy feed in goose diets[J]. *China Herbivore Science*, 2010, 30(3): 11-17. (in Chinese)
- [48] 张芬芬, 王志跃, 杨海明, 李彦品, 马尹鹏, 谢燕娟. 木薯渣对 22~49 日龄仔鹅生长性能、屠宰性能及内脏器官发育的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(6): 1804-1812.
- ZHANG F F, WANG Z Y, YANG H M, LI Y P, MA Y P, XIE Y J. Effects of cassava residues on growth performance, slaughter performance and visceral development of geese at 22 to 49 days of age[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(6): 1804-1812. (in Chinese)
- [49] 李茂, 字学娟, 徐铁山, 周汉林. 木薯叶粉对鹅生长性能和血液生理生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(10): 3168-3174.
- LI M, ZI X J, XU T S, ZHOU H L. Effects of cassava leaf meal on growth performance and blood physiological and biochemical indexes of geese[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(10): 3168-3174. (in Chinese)
- [50] LI M, ZHOU H L, XU T S, ZI X J. Effect of cassava foliage on the performance, carcass characteristics and gastrointestinal tract development of geese[J]. *Poultry Science*, 2019, 98(5): 2133-2138.
- [51] 唐学成. 国外木薯饲料的应用研究[J]. *热带作物研究*, 1986(4): 74-79.
- TANG X C. Study on application of cassava feed abroad[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 1986(4): 74-79. (in Chinese)
- [52] IYAYI E A, DADA E O, FAKUNLE O O. Cassava leaves as

- protein supplement to basal diet for weaner pigs in a sustainable swine production system in the tropics[C]//Proceedings of the British Society of Animal Science, 2000: 118.
- [53] HOA T N L, DUC L N, ANTONIUS W M V, HENDRIKUS W H. Pig performance increases with the addition of DL-methionine and L-lysine to ensiled cassava leaf protein diets[J]. Tropical Animal Health and Production, 2012, 44(1): 165-172.
- [54] ALFREDO L V, ANA G, EVANGELINA S R. Utilization of cooked cassava and taro as alternative feed in enhancing pig production in Ecuadorian Backyard System[J]. Animals, 2023, 13(3): 356-356.
- [55] SHANMUGAM S, BALASUBRAMABIAN B, HO I K. Supplemental impact of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) hard pellet and residue pellet-based diet as a replacement for corn on the growth performance, total tract digestibility and blood profiles in pigs[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2021, 106(4): 792-801.
- [56] ADEYEMI M A, AKINFALA E O. Performance and cost benefits of growing pigs fed diets containing graded levels of cassava plant meal[J]. Nigerian Journal of Animal Science, 2019, 21(2): 240-246.
- [57] 宾石玉, 李维姣, 孙涛. 高蛋白木薯饲料对生长猪生产性能和胴体品质的影响[J]. 湖南畜牧兽医, 2007(5): 3-5.
BING S Y, LI W J, SUN T. Effects of high protein cassava diet on growth performance and carcass quality of growing pigs[J]. Hunan Journal of Animal Science & Veterinary, 2007(5): 3-5. (in Chinese)
- [58] 王旭莉, 何晓明, 曾志良, 凌宝明. 木薯渣在生长猪饲料中适宜比例的研究[J]. 养猪, 2017(5): 54-56.
WANG X L, HE X M, ZENG Z L, LING B M. The appropriate proportion of cassava residue in the diets of growing pigs[J]. Swine Production, 2017(5): 54-56. (in Chinese)
- [59] 周晓容, 杨飞云, 谢跃伟, 江山, 肖融, 姚焰础, 黄健. 发酵木薯渣在育肥猪上的应用效果研究[J]. 饲料工业, 2014, 35(17): 99-101.
ZHOU X R, YANG F Y, XIE Y W, JIANG S, XIAO R, YAO Y C, HUANG J. Effects of cassava dregs fermentation on fattening pigs[J]. Feed Industry, 2014, 35(17): 99-101. (in Chinese)
- [60] 蒋慧姣. 发酵木薯渣在环江香猪养殖中的应用研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
JIANG J H. Study on application of fermented cassava residues in Huanjiang mini-pigs production[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020. (in Chinese)
- [61] ZHOU J Y, WANG L, ZHOU J C, ZENG X F, QIAO S Y. Effects of using cassava as an amylopectin source in low protein diets on growth performance, nitrogen efficiency, and postprandial changes in plasma glucose and related hormones concentrations of growing pigs[J]. Journal of Animal Science, 2021, 99(12): 332.
- [62] RETNANINGRUM S, KUSMARTNNO, MASHUDI, HARPER K J, POPPI D. Effect of using different levels of cassava meal on nutrient intake, fiber digestibility and body condition score in crossbreed limousin bulls[J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020, 478(1): 1-6.
- [63] 李景伟. 木薯渣对肉牛生产性能、屠宰性能、胴体品质及血清生化指标的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
LI J W. Effects of cassava residue on production performance, slaughter performance, carcass quality and serum biochemistry of beef cattle[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [64] 李维姣, 梁辛, 陈超贵. 木薯秆叶与巨菌草混合青贮对奶水牛泌乳性能及乳品质影响的试验研究[J]. 广西畜牧兽医, 2018, 34(2): 98-100.
LI W J, LIANG X, CHEN C G. Effects of mixed silage of cassava stem leaves and giant fungus grass on milk performance and milk quality of buffalo[J]. Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2018, 34(2): 98-100. (in Chinese)
- [65] 魏秀莲, 邓程君, 孟庆翔, 任丽萍. 木薯粉代替玉米在奶牛生产中的示范应用[J]. 饲料研究, 2012(3): 48-49, 53.
WEI X L, DENG C J, MENG Q X, REN L P. Demonstration application of cassava meal instead of corn in dairy cow production[J]. Feed Research, 2012(3): 48-49, 53. (in Chinese)
- [66] PROMKOT C, NITIPOT P, PIAMPON N, ABDULLAH N, PROMKOT A. Cassava root fermented with yeast improved feed digestibility in Brahman beef cattle[J]. Animal Production Science, 2016, 57(8): 1613-1617.
- [67] 林水中, 李明. 木薯残渣作为粗饲料对肉牛生长性能、养分消化及瘤胃发酵性能的影响[J]. 中国饲料, 2021(16): 118-121.
LIN S Z, LI M. Effects of cassava residue as rouge on growth performance, nutrient digestion and rumen fermentation performance of beef cattle[J]. China Feed, 2021(16): 118-121. (in Chinese)
- [68] SUDARMAN A, HAYASHIDA M, PUSPITANING R, JAYANEGARA A, SHIWACHI H. The use of cassava leaf silage as a substitute for concentrate feed in sheep[J]. Tropical Animal Health and Production, 2016, 48(7): 1509-1512.
- [69] 周璐丽, 胡海超, 王定发, 周汉林. 饲喂青贮木薯茎叶对海南黑山羊生长性能和肉质的影响[J]. 养殖与饲料, 2020, 19(8): 11-15.
ZHOU L L, HU H C, WANG D F, ZHOU H L. Effects of

- feeding silage cassava stems and leaves on growth performance and meat quality of Hainan black goats[J]. *Animals Breeding and Feed*, 2020, 19(8): 11-15. (in Chinese)
- [70] BELEWU M A, BELEWU K Y, BELLO I O. Effects of *Trichoderma*-treated cassava waste in the diets of West African dwarf goat on blood, reproductive and urinary parameters[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2006, 5(21): 2037-2040.
- [71] 吕小康, 王杰, 王世琴, 崔凯, 刁其玉, 张乃锋. 饲料添加木薯渣对羔羊生长性能、血清指标及瘤胃发酵指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(10): 3666-3675.
- LYU X K, WANG J, WANG S Q, CUI K, DIAO Q Y, ZHANG N F. Effects of dietary cassava residue supplementation on growth performance, serum indexes and rumen fermentation indexes of growing lambs[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(10): 3666-3675. (in Chinese)
- [72] 吴灵丽, 施力光, 刘强, 王聪, 荀文娟. 发酵木薯渣替代不同比例王草对海南黑山羊生长性能、屠宰性能及肉品质的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(6): 102-105, 110.
- WU L L, SHI L G, LIU Q, WANG C, XUN W J. Effect of fermented cassava residue as substitute of different ration of king grass on growth performance, slaughtering performance and meat quality of hainan black goats[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(6): 102-105, 110. (in Chinese)
- [73] 樊懿萱, 王锋, 王强, 聂海涛, 王子玉, 陶晓强. 发酵木薯渣替代部分玉米对湖羊生长性能、血清生化指标、屠宰性能和肉品质的影响[J]. *草业学报*, 2017, 26(3): 91-99.
- FAN Y X, WANG F, WANG Q, NIE H T, WANG Z Y, TAO X Q. Effects of substitution of corn and fermented cassava residue in the diet on growth, carcass characteristics and meat quality of Hu lamb[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(3): 91-99. (in Chinese)
- [74] EKPO J S, SOLOMON I P, ISAAC L J. Carcass characteristics and economic benefits of weaner rabbits fed cassava tuber meals[J]. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2009, 4(4): 214-218.
- [75] OLAFADEHAN O A. Haematological parameters, serum constituents and organ development of growing rabbits as affected by feeding of processed cassava peels[J]. *Animal Nutrition & Feed Technology*, 2011, 11(1): 41-51.
- [76] 田雪, 华雪铭, 周洪琪, 韩斌, 李维娇. 木薯粉对罗非鱼生长、饲料利用和鱼体营养成分的影响[J]. *水产学报*, 2008(1): 71-76.
- TIAN X, HUA X M, ZHOU H Q, HAN B, LI W J. Effect of dietary cassava meal on growth feed utilization and body composition of Jifu strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2008(1): 71-76. (in Chinese)