

分类号：  
学 号：20222113003

密 级：公开  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕 士 学 位 论 文



### 乳酸菌对菠萝渣和玉米秸秆混合青贮品质及水 牛瘤胃体外发酵特性的影响

学 位 申 请 人

李澄特

指 导 教 师

王新峰教授

杨承剑研究员

申 请 学 位 类 别

专业硕士

专 业 名 称

农业

研 究 领 域

畜牧

所 在 学 院

动物科技学院

中国·新疆·石河子

2024年06月

分类号：  
学号：20222113003

密级：公开  
单位代码：10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 乳酸菌对菠萝渣和玉米秸秆混合青贮品质及水牛瘤胃体外发酵特性的影响

学位申请人	李澄特
指导教师	王新峰教授 杨承剑研究员
申请学位类别	专业硕士
专业名称	农业
研究领域	畜牧
所在学院	动物科技学院

中国·新疆·石河子  
2024年06月

**Effect of lactic acid bacteria on silage quality of mixed pineapple  
residue and corn straw silage and in vitro fermentation characteristics  
in buffalo rumen**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Agriculture**

By

**Deng-te Li**

**(Animal Husbandry)**

Dissertation Supervisor: Prof. Xin-feng Wang

Prof. Cheng-jian Yang

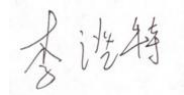
June, 2024

# 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

## 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：

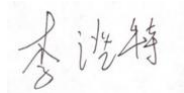


时间：2024 年 5 月 15 日

## 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：



时间：2024 年 5 月 15 日

导师签名：



时间：2024 年 5 月 15 日

## 基金项目

广西自然科学基金青年科学基金《基于水牛瘤胃氨基酸代谢研究桑叶黄酮调控其乳蛋白合成的作用机制》项目资助，项目编号 2021GXNSFBA196060

## 摘要

**目的:** 本试验以菠萝渣和玉米秸秆为研究对象, 从菠萝渣中分离乳酸菌, 通过 16S rDNA 鉴定及产酸速率和生长速率分析, 筛选出可用于青贮饲料的优良乳酸菌株。同时, 评估菠萝渣和玉米秸秆混合青贮的营养价值、品质及微生物多样性, 确定适宜的菠萝渣添加比例。随后, 将筛选出的优良乳酸菌接种到菠萝渣和玉米秸秆混合青贮中, 分析其对菠萝渣和玉米秸秆混合青贮营养价值、品质、有氧稳定性及瘤胃降解率的影响, 为菠萝渣青贮工艺优化提供研究基础。

**方法:** 首先, 从菠萝渣中筛选分离并鉴定乳酸菌, 根据产酸速率、生长速率以及耐热耐酸性挑选出优质乳酸菌。其次, 将玉米秸秆和菠萝渣分别按不同质量比例混合(对照组 100:0、I组 85:15、II组 70:30 和III组 55:45), 每个处理组 5 个重复, 避光置于常温下发酵 45 天后进行指标分析, 确定出最佳添加比例。接着, 以 85:15(鲜重)玉米秸秆和菠萝渣比例混合, 添加不同数量的优质乳酸菌( $2 \times 10^6$  CFU/mL、 $4 \times 10^6$  CFU/mL、 $6 \times 10^6$  CFU/mL), 每个处理 6 个重复, 避光常温发酵 45 天后开封, 取样测定其营养价值、发酵品质及有氧稳定性, 并进行体外发酵试验, 测定其产气量、甲烷氢气含量及体外瘤胃发酵参数。

**结果:** (1) 本研究从菠萝渣中初步分离出 9 株疑似乳酸菌, 经鉴定, L3 和 L19 符合乳酸菌特征。这两株菌在 20-50 °C 温度下耐热能性良好; 在 pH 值 3.5-6.0 的环境中生长良好, 显示良好的环境适应能力。(2) 添加菠萝渣后, 饲料干物质(DM)、粗蛋白(CP)含量呈下降趋势, I组 pH 值显著降低( $P < 0.05$ ), 乳酸、乙酸含量以及乳酸菌数量显著增加。在微生物多样性方面, 随着菠萝渣添加比例的增加, 乳酸菌属(*Lactobacillus*)相对丰度随之增加, 但是添加量达到 45%时, 乳酸菌属相对丰度迅速下降。添加适量的菠萝渣和玉米秸秆混合青贮能提高青贮品质, 对饲料的营养价值影响较小。(3) 试验组粗蛋白含量显著高于对照组( $P < 0.05$ ), III组酸性洗涤纤维(ADF)含量显著低于对照组( $P > 0.05$ )。添加乳酸菌降低了青贮饲料 pH 值, 提高了乳酸、乙酸含量, 增加了青贮饲料的有氧稳定性。(4) 随着青贮时乳酸菌添加量的增加, 各处理组的营养物质降解率和产气量呈上升趋势, 甲烷和氢气产量差异不显著( $P > 0.05$ ), 瘤胃内挥发性脂肪酸(VFA)浓度增加, 瘤胃发酵参数提升。

**结论:** (1) 适量添加菠萝渣与玉米秸秆混合青贮可提高青贮品质, 增加乳酸菌属相对丰度。(2) 筛选出的发酵乳杆菌用于饲料发酵中可减少营养物质损失率, 提高营养价值。(3) 添加发酵乳杆菌可提高饲料的青贮品质及有氧稳定性。(4) 适宜的菠萝渣和玉米混贮对水牛瘤胃发酵没有负面影响, 可作为饲料使用, 促进其瘤胃发酵。

**关键词:** 乳酸菌; 青贮; 菠萝渣; 玉米秸秆; 体外发酵

## Abstract

**Object:** This experiment aims to investigate the isolation of lactic acid bacteria from pineapple residue and their application in the pineapple residue and corn stalk mixed silage. Through 16S rDNA identification, acid production rate, and growth rate analysis, we aim to screen out excellent lactic acid bacteria strains suitable for use in silage. Additionally, we evaluate the nutritional value, quality, and microbial diversity of pineapple residue and corn straw mixed silage to determine the optimal pineapple residue addition ratio. Subsequently, the selected lactic acid bacteria will be inoculated into the mixed silage, and their impact on the nutritional value, quality, aerobic stability, and rumen degradation rate of the silage will be analyzed, providing a research basis for the optimization of pineapple residue silage processing.

**Methods:** Firstly, lactic acid bacteria are isolated, identified, and selected from pineapple residue based on their acid production rate, growth rate, heat tolerance, and acid resistance. Secondly, corn straw and pineapple residue are mixed in different mass ratios (Control group 100:0, Group I 85:15, Group II 70:30). Each treatment group consists of five replicates, and the samples are fermented in the dark at room temperature for 45 days before being analyzed to determine the optimal addition ratio. Then, using a mixture of corn straw and pineapple residue at a ratio of 85:15 (fresh weight), different concentrations of the selected lactic acid bacteria ( $2 \times 10^6$  CFU/mL,  $4 \times 10^6$  CFU/mL,  $6 \times 10^6$  CFU/mL) are added. Each treatment has six replicates, and the samples are fermented in the dark at room temperature for 45 days before being opened and assayed for nutritional value, fermentation quality, and aerobic stability. An in vitro fermentation experiment is also conducted to determine gas production, methane and hydrogen content, and rumen fermentation parameters.

**Results:** (1) Nine presumptive lactic acid bacteria strains were initially isolated from pineapple residue. Among them, L3 and L19 were identified as lactic acid bacteria based on sequencing and other tests. These two strains exhibit good heat tolerance within the temperature range of 20-50 °C and grow well in an environment with a pH value of 3.5-6.0, demonstrating good environmental adaptability. (2) After adding pineapple residue, the content of dry matter (DM) and crude protein (CP) in the feed showed a decreasing trend. The pH value of Group I decreased significantly ( $P < 0.05$ ), while the content of lactic acid, acetic acid, and the number of lactic acid bacteria increased significantly. In terms of microbial diversity, as the proportion of pineapple residue added increases, the relative abundance of *Lactobacillus* increases; however, when the addition amount reaches 45%, the relative abundance of *Lactobacillus* rapidly decreases. Adding an appropriate amount of pineapple residue and corn straw mixed silage can improve the quality of silage while having a minimal impact on the nutritional value of the feed. (3) The crude protein content of the experimental

I group was significantly higher than that of the control group ( $P < 0.05$ ), while the acid detergent fiber (ADF) content of Group III was significantly lower than that of the control group ( $P > 0.05$ ). The addition of lactic acid bacteria reduced the pH value of the silage, increased the content of lactic acid and acetic acid, and enhanced the aerobic stability of the silage. (4) As the amount of lactic acid bacteria added during silage fermentation increases, the nutrient degradation rate and gas production of each treatment group show an upward trend. There were no significant differences in methane and hydrogen production ( $P > 0.05$ ), but the concentration of volatile fatty acids (VFA) in the rumen increased, leading to improved rumen fermentation parameters.

**Conclusion:** (1) The appropriate addition of pineapple residue to corn straw mixed silage can improve the quality of silage and increase the relative abundance of *Lactobacillus*. (2) The application of selected *Lactobacillus fermentum* in feed fermentation can reduce the loss rate of nutrients and enhance nutritional value. (3) The addition of *Lactobacillus fermentum* can improve the quality and aerobic stability of silage. (4) The appropriate mixed storage of pineapple residue and corn straw has no negative impact on the rumen fermentation of water buffaloes, making it suitable for use as feed to promote rumen fermentation.

**Key words:** lactic acid bacteria; silage; pineapple residue; corn straw; in vitro fermentation

缩略词

Abbreviation

缩略词	英文全称	中文全称
ADF	Acid Detergent Fiber	酸性洗涤纤维
Ca	Calcium	钙
CFU	Colony-forming unit	菌落形成单位
CP	Crude Protein	粗蛋白
DM	Dry Matter	干物质
MCP	Microbial Crude Protein	微生物菌体蛋白
NDF	Neutral Detergent Fiber	中性洗涤纤维
NH <sub>3</sub> -N	Ammoniacal Nitrogen	氨态氮
P	Phosphorus	磷
VFA	Volatile Fatty Acid	挥发性脂肪酸

# 目 录

摘要 .....	I
Abstract .....	II
缩略词 .....	IV
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究目的及意义 .....	1
1.2 青贮饲料乳酸菌添加剂的研究进展 .....	1
1.2.1 青贮饲料中乳酸菌的选择标准 .....	1
1.2.2 青贮饲料中添加乳酸菌对饲料营养价值的影响 .....	2
1.2.3 乳酸菌对青贮饲料发酵品质的影响 .....	2
1.3 菠萝渣的研究进展 .....	3
1.3.1 菠萝渣营养成分及来源 .....	3
1.3.2 菠萝渣的微生物发酵 .....	3
1.3.3 菠萝渣混合青贮的研究进展 .....	3
1.3.4 菠萝渣青贮在动物养殖中的应用 .....	4
1.4 玉米秸秆的研究进展 .....	5
1.4.1 玉米秸秆营养成分及作用 .....	5
1.4.2 玉米秸秆青贮研究进展 .....	6
1.4.3 玉米秸秆青贮在反刍动物养殖中的应用 .....	6
1.5 研究内容及技术路线 .....	7
第 2 章 试验研究 .....	9
2.1 试验一菠萝渣中乳酸菌的分离、筛选及鉴定 .....	9
2.1.1 材料与设计 .....	9
2.1.2 试验结果 .....	11
2.1.3 讨论 .....	15
2.1.4 结论 .....	16
2.2 试验二菠萝渣和玉米秸秆混合青贮比例的优化 .....	17
2.2.1 材料与设计 .....	17
2.2.2 试验方法 .....	17
2.2.3 结果 .....	20
2.2.4 讨论 .....	25

2.2.5 结论 .....	27
2.3 试验三添加乳酸菌对菠萝渣和玉米秸秆混合青贮品质及水牛瘤胃体外发酵特性的影响 .....	28
2.3.1 材料与设计 .....	28
2.3.2 试验方法 .....	29
2.3.3 结果 .....	31
2.3.4 讨论 .....	34
2.3.5 结论 .....	37
第3章 全文结论 .....	38
3.1 结论总结 .....	38
3.2 创新点 .....	38
参考文献 .....	39
致谢 .....	47
作者简介 .....	48

## 第1章 绪论

### 1.1 研究目的及意义

菠萝属于凤梨科 (*Bromeliaceae*)，是一种在热带和亚热带地区广泛分布的优质、高产的水果。其主要产地包括中国、泰国、马来西亚、印度尼西亚、印度、肯尼亚和菲律宾等国家。菠萝以其气味芳香、香甜爽脆的特点而受到欢迎，不仅是一种美味水果，同时富含糖类、矿物质以及多种维生素等多种营养成分<sup>[1]</sup>。除了其鲜美的口感和丰富的营养成分外，传统上人们认为菠萝对健康还有多种益处。研究表明，菠萝具有健脾益胃、增强食欲的作用，同时还被发现对抗水肿、抗炎、抗血栓，甚至在治疗消化不良等疾病方面具有一定效果<sup>[2,3]</sup>。这使得菠萝在许多地区不仅被认为是美味的水果，更是一种有益健康的天然食物。近年来，我国菠萝产量呈现稳步增长的趋势，充分体现了人们对这一水果的广泛喜爱。据统计，2022年我国的菠萝总产量达到了200.35万吨<sup>[4]</sup>。但是菠萝加工的副产物菠萝渣的处理方式主要是直接丢弃，造成了资源的大量浪费。

玉米秸秆作为主要农作物秸秆之一，具有丰富的营养成分，然而其粗纤维含量较高，限制了其在单独饲喂时的利用效果。通过青贮处理，可以最大限度减少原料在贮存过程中营养成分的损失，提高饲料的适口性，增加家畜的采食量，从而充分发挥其在反刍动物养殖中的潜力。

本研究旨在将菠萝渣与玉米秸秆进行混合青贮，通过分析不同比例下的发酵品质，寻找最适宜的添加比例，以提高青贮饲料的营养价值和发酵品质。此外，通过分离和筛选菠萝渣中的乳酸菌，研究将乳酸菌与玉米秸秆和菠萝渣混合物一起进行青贮发酵，进一步优化发酵过程，改善饲料品质。通过这一综合性的研究，为玉米秸秆和菠萝渣的混合青贮提供科学依据，优化饲料处理工艺，实现资源的综合利用，减少环境污染，促进畜牧业的可持续发展。为菠萝渣的开发利用提供实用性的参考。

### 1.2 青贮饲料乳酸菌添加剂的研究进展

#### 1.2.1 青贮饲料中乳酸菌的选择标准

使用乳酸菌 (LAB) 发酵生产青贮饲料的主要原因是它能够保证饲料的青贮品质，并增加饲料中的有益微生物数量，利用可溶性碳水化合物 (WSC) 并产生有机酸，形成酸性环境，迅速降低青贮饲料 pH 值，抑制有害微生物的生长和繁殖<sup>[5]</sup>。在选择乳酸菌

用于青贮饲料生产时，应确保所选的菌株能够满足以下几个标准：能够迅速增长和繁殖以提高饲料中的微生物数量；能够迅速降低 pH 值；有效地抑制病原体（包括酵母菌和霉菌）；产生较高含量的乳酸而乙酸含量较低；抑制或完全不产生丁酸；增强有氧稳定性和干物质含量；以及能够长期保存丰富的营养成分。这些标准共同确保了青贮饲料的高质量和长期稳定性，为牲畜提供营养丰富的饲料。

### 1.2.2 青贮饲料中添加乳酸菌对饲料营养价值的影响

LAB 在降低青贮饲料中的 pH 值和长期保持营养物质方面发挥着关键作用。研究表明，在青贮过程中添加乳酸菌能够提升发酵产物中乳酸的含量，同时维持了粗蛋白(CP)、酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)的含量，在青贮饲料的不同发酵阶段，添加乳酸菌可以明显提高饲料的营养价值。包括 ADF 和 DM 含量。此外，经 LAB 处理的青贮饲料中的有机物(OM)和 DM 含量得到了提高，而 WSC 的水平降低，这可能是因为 LAB 能够利用 WSC 并将其转化为有机酸<sup>[6-8]</sup>。乳酸菌还能够提高植物代谢物的含量，例如 3-羟基癸酸、2-羟基-4-甲基戊酸等，这进一步丰富了青贮饲料的营养价值<sup>[9]</sup>。这一系列研究结果强调了在青贮饲料制备过程中采用乳酸菌的重要性，不仅对发酵过程有益，而且对提高饲料的整体营养价值至关重要。

### 1.2.3 乳酸菌对青贮饲料发酵品质的影响

根据对葡萄糖的发酵方式，乳酸菌可分为同质型和异质型乳酸菌。这两类细菌各具特点，同质型发酵乳酸菌专门发酵己糖以产生乳酸，而异质型发酵乳酸菌则能够发酵戊糖。同质型发酵乳酸菌，如乳杆菌属(*Lactobacillus*)、片球菌属(*Pediococcus*)和乳球菌(*Lactococcus*)，通过增加乳酸产量、降低 pH 值、抑制有害细菌的生长和繁殖以及储存植物蛋白质，来提高青贮品质。而异质型发酵乳酸菌，包括布氏乳杆菌(*L. buchneri*)和短乳杆菌(*L. brevis*)，能够产生乳酸和乙酸的混合物，有效防止酵母和霉菌等污染物的生长，提高饲料的有氧稳定性<sup>[10]</sup>。同质型发酵乳酸菌和异质型发酵乳酸菌在青贮饲料发酵中都发挥着关键作用。有研究在评估同质型和异质型发酵乳酸菌对苜蓿青贮饲料的发酵参数、营养价值、微生物组成以及有氧稳定性的影响时发现，无论是同质型发酵乳酸菌还是异质型发酵乳酸菌，它们都对饲料产生了积极的影响：提高青贮饲料质量、减少了酵母菌和霉菌数量以及提高了青贮饲料的有氧稳定性<sup>[11]</sup>。

## 1.3 菠萝渣的研究进展

### 1.3.1 菠萝渣营养成分及来源

菠萝渣 (*Pineapple residue*) 是菠萝加工过程中产生的副产物, 约占整个菠萝重量的 50%-60%, 其成分主要是加工罐头、菠萝汁、菠萝酱或菠萝酒后剩余的菠萝皮和果肉<sup>[12]</sup>。菠萝中含有丰富的营养物质, 如糖类、脂肪、蛋白质、矿物质和维生素<sup>[13]</sup>, 其加工副产物也含有和菠萝相近丰富的营养成分<sup>[14]</sup>。研究显示, 菠萝渣的主要营养成分(干物质基础)包括: 10.13%的 CP、15.9%的粗纤维 (CF)、6.18%的 Ash、46.52%的 NDF、21.71%的 ADF, 以及 0.28%的钙 (Ca) 和 0.16%的磷 (P) <sup>[15]</sup>。同时, 菠萝渣中的维生素 C 可以缓解动物压力, 促进健康。此外, 菠萝废物富含菠萝蛋白酶、生物活性和功能性化合物, 可作为动物饲料补充剂<sup>[16,17]</sup>。

### 1.3.2 菠萝渣的微生物发酵

菠萝渣的处理技术是当前农业废弃物综合利用领域备受关注的研究方向之一。为了高效地利用菠萝渣, 研究者们已经进行了多方面的探索和实践。其中, 微生物发酵技术被广泛应用于提高菠萝渣的营养价值, 通过添加乳酸菌等微生物发酵剂, 可以有效地改善青贮的品质, 使其更适于动物饲料。黄晓亮等<sup>[18]</sup>在菠萝渣中分别添加适量酵母菌和复合酶制剂进行青贮, 对菠萝渣青贮饲料的发酵品质无不良影响, 但是与青贮前相比, 降低了饲料中的 CF 含量, 提高了饲料中的无氮浸出物含量。吴征敏<sup>[19]</sup>研究发现, 使用纤维素酶青贮菠萝渣, 饲料中的乳酸和 CP 含量提高, 使用乳酸菌青贮菠萝渣, 可以改善菠萝渣的发酵品质和营养价值。

### 1.3.3 菠萝渣混合青贮的研究进展

果渣类发酵饲料的研究已经成为饲料行业关注的焦点之一, 菠萝渣由于其丰富的营养物质成分, 特别是其含有较高的可溶性碳水化合物, 引起了研究者的广泛兴趣。在青贮过程中, 菠萝渣不仅能够快速增殖乳酸菌, 有效地降低青贮饲料的 pH 值, 而且其添加量对青贮饲料的品质产生显著影响。

在一项研究中, 吕仁龙等<sup>[20]</sup>尝试不同比例的菠萝皮和木薯茎叶混合青贮, 结果显示随着菠萝皮添加量的增加, 青贮料的 pH 值显著降低, 菠萝皮与木薯茎叶混合青贮可以提高发酵品质和营养物质降解率, 研究者建议, 最适宜添加比例为 30%-40%。这一发现为实际饲料生产提供了有益的参考, 有助于调整混合比例, 提高饲料的发酵品质。王坚等<sup>[21]</sup>的研究表明, 王草与菠萝渣混合青贮显著降低了青贮料的 pH 值和氨态氮/总氮含量, 同时提高了王草的发酵品质。这表明菠萝渣的添加不仅对渣料本身有利, 还能够改善混

合饲料的整体发酵效果，提高了饲料的综合营养价值。菠萝皮的添加对构树叶青贮的发酵品质也具有显著影响。朱琳等<sup>[22]</sup>的研究结果显示，随着菠萝皮添加量的增加，青贮料的 pH 值逐渐下降，同时氨态氮含量和 pH 值在添加 20%菠萝皮时达到最低点。这意味着在构树叶青贮中，适量的菠萝皮添加不仅有助于维持较低的 pH 值，还能够提高可溶性碳水化合物的含量，从而改善发酵品质，使青贮料更适合作为饲料。

总体而言，菠萝渣在青贮过程中的应用研究表明其对饲料的发酵品质具有积极影响。研究者通过调整添加比例，优化了青贮料的成分，为生产高质量的饲料提供了科学依据。未来的研究可以进一步探讨菠萝渣青贮过程中微生物群落的变化，以及这些变化对饲料品质和动物生产性能的具体影响，为饲养业的可持续发展提供更深入的理论基础。

### 1.3.4 菠萝渣青贮在动物养殖中的应用

菠萝渣因其富含可消化粗纤维和糖分的特性，成为一种理想的反刍动物饲料，可部分替代玉米等谷物饲料。在吴征敏等<sup>[23]</sup>的研究中，他们发现在青贮菠萝渣的过程中添加 0.025 g/kg 的乳酸菌，使得发酵产物的粗蛋白含量提高了 26.85%。这种发酵菠萝渣被用于饲喂雷州黑山羊，结果显示对瘤胃正常消化功能没有不良影响，反而促进了瘤胃内有益微生物的生长繁殖，提高了山羊瘤胃中优势菌群的相对丰度，改善了山羊的瘤胃菌群结构。在 Liu 等<sup>[24]</sup>的研究中，他们在奶牛日粮中添加了 1.4 和 3.6 kg 的菠萝渣，发现牛的瘤胃 pH、挥发性脂肪酸、氨态氮、瘤胃中的总活菌数、产甲烷菌数量和纤维素菌等关键指标无显著差异，而干物质消化率接近 70%。陈林生等<sup>[25]</sup>的研究中，他们在泌乳奶牛日粮中添加了 2 kg 菠萝渣青贮，替代等量玉米秸秆青贮，结果显示奶牛的产奶量提高了 0.6kg/（头·d），并有效缓解了奶牛受夏季高温潮湿环境影响而处于热应激状态时采食量和产奶量下降的趋势。Gowda 等<sup>[26]</sup>的研究表明，使用青贮菠萝渣替代玉米青贮与精料混合进行饲喂，奶牛的干物质采食量没有显著变化，但平均产奶量提高了 3 升/天，平均乳脂率增加了 0.6%。

在 Acaina 等<sup>[27]</sup>的研究中，使用青贮菠萝废料作为粗饲料来源的牛在有机物、DM、CP、NDF 和 ADF 的表观消化率方面均高于以干草作为粗饲料来源的牛。随着日粮中干草比例的提高，表观消化率逐渐下降，证明青贮菠萝废料替代干草是可行的。在 Yang 等<sup>[28]</sup>的研究中，他们发现将发酵菠萝皮残渣部分替代全玉米青贮饲料，可以显著增加黑山羊的采食量和平均日增重。特别是当替代量为 50%时，山羊的平均日增重约为饲喂全玉米青贮饲料组的 3 倍。此外，血清参数和肉质均无不良影响，添加发酵菠萝皮残渣的组的黑山羊采食的规律性增加，有助于降低外界不利因素对黑山羊的影响。Suchart 等<sup>[29]</sup>的研究发现，以青贮菠萝废料作为粗饲料来源的牛的表观消化率高于以纳皮尔草作为粗饲料来源的牛。此外，随着青贮菠萝废料替代纳皮尔草的比例的增加，表观消化率呈上升趋势，提高了采食的效率。Kyawt 等<sup>[30]</sup>的研究显示，使用菠萝渣青贮饲料替代 25%纳

皮尔草青贮饲料，能够显著提高牛的干物质采食量，较对照组达到增加了 19%。Deng 等<sup>[31]</sup>的研究发现，发酵菠萝渣分别以 25%和 50%的比例替代青贮料进行西门塔尔牛的饲喂，不会影响瘤胃菌群的微生物多样性，不仅可以提高牛的经济效益和肉质，而且，西门塔尔牛的平均日增重与发酵菠萝渣添加比例呈正相关。这一系列研究为菠萝渣在反刍动物饲养中的广泛应用提供了有力的支持。

同时，菠萝渣也是单胃动物的潜在饲料资源。Mandey 等<sup>[32]</sup>探索用发酵菠萝渣作为肉鸡饲料，以减少纤维含量并改善其他营养成分，结果显示发酵菠萝渣对肉鸡的生长性能无不良影响。吕庆芳等<sup>[1]</sup>研究发现，添加 2.5%的菠萝渣对贵妃鸡的生长及屠宰性能无不良影响。HAN 等<sup>[33]</sup>研究发现，青贮后的菠萝叶渣饲料可以提高生长育肥猪的日增重、改善肉质、提高养殖的经济效益，其中添加 4%的菠萝叶渣青贮饲料效果最佳。Adeyemi 等<sup>[34]</sup>研究发现，在日粮中添加菠萝渣对家兔生长性能和饲料成本均无不良影响。

## 1.4 玉米秸秆的研究进展

### 1.4.1 玉米秸秆营养成分及作用

我国农作物秸秆的种类丰富、产量巨大以及分布广泛，其中玉米秸秆作为主要的农作物秸秆之一具有显著的重要性。据最新统计数据显示，截至 2020 年，我国玉米秸秆的年产量高达 70379.6 万吨<sup>[35]</sup>。玉米作为我国主要粮食作物之一，其种植分布涵盖全国各地。在南北地区成熟时间的季节性差异中，以广西为例，春播玉米通常在 6 月到 7 月之间成熟，而夏播玉米则在 11 月到 12 月成熟<sup>[36]</sup>，形成了较为明显的季节性生产特征。

研究表明，玉米秸秆具有丰富的营养成分(以干物质为基础):CP 含量 6.17%~6.49%、粗脂肪 (EE) 含量约为 0.86%~0.99%、ADF 含量 70.74%~72.36%、NDF 含量 42.19%~44.42%、Ca 含量约为 0.91%、P 含量为 0.10%<sup>[37]</sup>。这些丰富的养分构成为玉米秸秆成为一种优质的反刍动物粗饲料来源提供了基础。合理高效地利用玉米秸秆不仅可以促进我国农业的良性循环，还有助于推动畜牧业的发展<sup>[38]</sup>。

通过将玉米秸秆纳入反刍动物的饲料体系，不仅能够有效利用农业废弃物资源，降低饲料成本，还有望提高畜禽产品的生产性能和品质。此外，这一做法还有助于解决秸秆焚烧带来的环境问题，为可持续发展路径提供了一种环保的解决方案。因此，对玉米秸秆的科学利用不仅关系到农业和畜牧业的发展，更是对可持续农业和资源循环利用的重要贡献。