

分类号：
学 号：20212113014

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



异位酸对围产期奶牛生产性能、血清生化、抗氧化及免疫指标的影响

学 位 申 请 人	龙锐
指 导 教 师	张文举 教授 吴妍妍 高级畜牧师
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

2023年6月

分类号：
学 号：20212113014

密 级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕 士 学 位 论 文



异位酸对围产期奶牛生产性能、血清生化、抗氧化及免疫指标的影响

学 位 申 请 人	龙 锐
指 导 教 师	张 文 举 教 授 吴 妍 妍 高 级 畜 牧 师
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

2023 年 6 月

**Effects of isoacids on production performance, serum biochemical,
antioxidant, and immune indicators in perinatal cows**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Agriculture

By

Rui Long

(Animal Nutrition and Feed Science)

Dissertation Supervisor: Prof. Wen-ju Zhang

June, 2023

Shihezi, Xin Jiang, China

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：龙锐

时间：2023年5月5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：龙锐

时间：2023年5月5日

导师签名：张永军

时间：2023年5月5日

摘要

目的：异位酸是一种有机酸酸化剂，属于营养型添加剂，具有促进瘤胃纤维降解菌的生长繁殖、调节瘤胃发酵、抗热应激等特点。本试验通过在中国荷斯坦奶牛围产期的基础日粮中添加不同水平的异位酸，分析异位酸对围产期奶牛生产性能和血清生化指标的影响。探究在奶牛围产时期添加使用异位酸是否能提高其生产性能和增强机体抗氧化及免疫能力，为其在围产期奶牛生产实践中推广应用提供可靠的数据支撑与理论基础。

方法：选择 18 头健康、第 3 胎次的经产荷斯坦围产期奶牛，按照完全随机分组的方法分为 3 组，为对照组、试验 I 组和试验 II 组，每组 6 个重复，每个重复 1 头奶牛。对照组：每头奶牛只饲喂基础日粮；试验 I 组：奶牛饲喂基础日粮+30mL/d/头的异位酸；试验 II 组：奶牛饲喂基础日粮+60mL/d/头的异位酸。预饲期 10 天，正试期 42 天，从奶牛产前 21d 开始到产后 21d 结束。在产后 19-21d 每天早中晚各三次收集每组奶牛的粪样，进行表观消化率的测定；在产后 21d 晨饲前，用口腔导管采集瘤胃液，测定瘤胃发酵参数；在产后 10d 和 21d 记录早中晚三次产奶量并收集奶样，分析乳成分；在产前 10d、分娩当天、产后 10d 和产后 21d 晨饲前，尾静脉采集血液，离心后的血清用于血清生化指标、抗氧化及免疫指标检测。

结果：试验一：异位酸对围产期奶牛生产性能的影响

(1) 异位酸对围产期奶牛干物质采食量和表观消化率的影响：各试验组奶牛的干物质采食量在围产前期和后期均无显著性差异 ($P>0.05$)。I 组和 II 组 DM、CP、NDF 和 ADF 的表观消化率均与对照组相比均有显著性差异 ($P<0.05$)。

(2) 异位酸对围产期奶牛瘤胃发酵参数的影响：I 组和 II 组氨态氮浓度与对照组相比均显著下降 ($P<0.05$)；I 组和 II 组微生物蛋白含量均显著高于对照组 ($P<0.05$)；II 组乙酸、总挥发性脂肪酸含量均显著高于对照组 ($P<0.05$)，I 组乙酸、总挥发性脂肪酸含量均较对照组分别提高 6.60% 和 2.50%。

(3) 异位酸对围产期奶牛产奶量和乳成分的影响：在产后 10d 和 21d，I 组和 II 组产奶量、乳脂率与对照组相比均有显著性差异 ($P<0.05$)；乳蛋白率、乳糖率和尿素氮各组间无显著差异 ($P>0.05$)。

试验二：围产期奶牛日粮中添加异位酸对血清生化、抗氧化及免疫指标的影响

(1) 异位酸对围产期奶牛血清生化指标的影响：分娩当天，II 组白蛋白含量显著高于 I 组和对照组 ($P<0.05$)；II 在产前 10d，II 组球蛋白含量与对照组相比有显著差异 ($P<0.05$)，在产后 10d，I 组球蛋白含量显著高于对照组 ($P<0.05$)；分娩当天，II 组甘油三酯含量显著高于 I 组 ($P<0.05$)；在产后 21d，I 组和 II 组血糖浓度显著高于对照组 ($P<0.05$)；在产前 10d，I 组和 II 组尿素氮浓度显著低于对照组 ($P<0.05$)，在产后 21d，II 组尿素氮浓度显著低于对照组 ($P<0.05$)；在产前 10d，I 组丙氨酸转氨酶含量显著高于对照组 ($P<0.05$)；总胆固醇、高低密度脂蛋白胆固醇和天冬氨酸转移酶在产前产后均无显著变化 ($P>0.05$)。

(2) 异位酸对围产期奶牛血清抗氧化指标的影响：在产前 10d，I 组谷胱甘肽过氧化物酶含量显著

高于对照组 ($P<0.05$)，在产后 10d，II 组谷胱甘肽过氧化物酶含量与 I 组和对照组相比有显著差异 ($P<0.05$)，在产后 21d，II 组谷胱甘肽过氧化物酶含量与对照组相比有显著差异 ($P<0.05$)；分娩当天，I 组和 II 组丙二醛浓度与对照组相比显著下降 ($P<0.05$)，在产后 10d，II 组丙二醛浓度显著低于对照组 ($P<0.05$)；分娩当天，I 组总抗氧化能力浓度显著高于对照组 ($P<0.05$)，在产后 10d，II 组总抗氧化力浓度显著高于对照组 ($P<0.05$)。

(3) 异位酸对围产期奶牛血清免疫指标的影响：在产后 10d，II 组免疫球蛋白 A (IgA) 含量显著高于对照组 ($P<0.05$)；在产前 10d，I 组和 II 组免疫球蛋白 G (IgG) 含量显著高于对照组 ($P<0.05$)，分娩当天，II 组免疫球蛋白 G (IgG) 显著高于对照组 ($P<0.05$)；分娩当天，II 组免疫球蛋白 M (IgM) 含量与对照组相比有显著差异 ($P<0.05$)，产后 10d，I 组免疫球蛋白 M (IgM) 含量与对照组相比有显著差异 ($P<0.05$)。

结论：在围产期奶牛日粮中添加异位酸能够提高日粮中营养物质表观消化率、降低瘤胃内环境中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度、提高瘤胃中 MCP、乙酸和总挥发性脂肪酸含量、产奶量以及乳脂率，增强奶牛机体的抗氧化和免疫能力。综上，本试验研究中最适异位酸添加量为 60mL/d/头。

关键词：异位酸；奶牛围产期；瘤胃发酵参数；乳成分；血清生化指标

Abstract

Objective: isoacids is a type of organic acid acidifier that is a food supplement. It has the ability to control rumen fermentation, tolerate heat stress, and encourage the development and reproduction of bacteria that break down rumen fiber. In order to examine the impact of isoacids on performance and blood biochemical indices of perinatal dairy cows, different quantities of isoacids were given to the basal diet of Chinese Holstein dairy cows. To explore whether the addition and use of isoacids during the perinatal period can improve the production performance and enhance the antioxidant and immune capacity of the body, so as to provide reliable data support and theoretical basis for its application in the production practice in perinatal cows.

Methods: Select 18 healthy, 3rd parity postpartum Holstein cows. They were randomly divided into 3 groups: the control group, the trial I group, and the trial II group, with 6 cows in each group and 1 cow in each replicate. Control group: Each cow was fed a basic diet only; Experiment Group I: Each cow was fed a basic diet of +30mL/d isoacids; Experiment Group II: Each cow was fed a basic diet of +60mL/d of isoacids. The pre-feeding period lasted for 10 days, and the trial period lasted for 42 days, from 21 days before to 21 days after delivery. Fecal samples of cows in each group were collected three times a day, in the morning, middle, and evening, from 19 to 21 days postpartum, and the apparent digestibility was determined. Rumen fluid was collected with an oral catheter at 21 days postpartum before morning feeding to determine rumen fermentation parameters. Three times of milk production were recorded at 10 and 21 days postpartum, and milk samples were collected to analyze milk composition. Blood was collected from the caudal vein at 10 days prenatal, on the day of delivery, and at 10 days postpartum and 21 days postpartum before morning feeding for the detection of serum biochemical indices, antioxidants, and immune indices.

Results: Experiment 1: Effects of isoacids on the production performance in perinatal cows

(1) Effects of isoacids on dry matter intake and apparent digestibility in perinatal cows: There was no significant difference ($P>0.05$) in the dry matter intake of cows in each experimental group during the early and late stages of perinatal period. The apparent digestibility of DM, CP, NDF, and ADF in group I and group II cows showed significant differences compared to the control group ($P<0.05$).

(2) Effects of isoacids on rumen fermentation in perinatal cows : The concentrations of ammonia nitrogen in groups I and II were significantly lower than those in the control group ($P<0.05$); The content of microbial protein in groups I and II was significantly higher than that in control group ($P<0.05$); the concentrations of isoacids and total volatile fatty acids in group II were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$); and the concentrations of isoacids and total volatile fatty acids in group I were, respectively, 6.60% and 2.50% higher than those in the control group.

(3) Effects of isoacids on lactation performance in perinatal cows: On postpartum day 10 and 21,

compared with the control group, milk yield and milk fat percentage in groups I and II were significantly increased ($P<0.05$); there were no significant differences in milk protein percentage, lactose percentage, or urea nitrogen among all groups ($P>0.05$).

Trial 2: Effects of isoacids to the diet in perinatal cows on serum biochemical, antioxidant, and immune indicators

(1) Effects of isoacids on serum biochemical indices in perinatal cows: On the day of delivery, the albumin content in group I and control group was significantly lower than that in group II ($P<0.05$); At 10 days postpartum, the content of globulin in group I was significantly higher than that in the control group ($P<0.05$); on the day of delivery, the triglyceride content of group I was significantly lower than that of group II ($P<0.05$); On postpartum day 21, blood glucose concentrations in groups I and II was significantly higher than those in the control group ($P<0.05$); On postpartum day 21, blood glucose concentrations in groups I and II were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$); At 10 days before delivery, The control group's urea nitrogen concentration was significantly higher compared to groups I and II ($P<0.05$), and at 21 days after delivery, The urea nitrogen concentration in the control group was significantly higher than that in group II ($P<0.05$); At 10 days before delivery, The content of alanine aminotransferase in group I was significantly increased compared with that in control group ($P<0.05$); There were no significant changes in total cholesterol, high density lipoprotein cholesterol, or aspartic acid transferase before and after delivery.

(2) Effects of isoacids on serum antioxidant indicators in perinatal cows: At 10 days before delivery, the glutathione peroxidase content in the control group was significantly lower than that in group I ($P<0.05$); At 10 days prenatal, glutathione peroxidase content in group I was significantly increased compared with control group ($P<0.05$), and at 21 days postpartum, the glutathione peroxidase content in group II was significantly higher than that in the control group ($P<0.05$); On the day of delivery, At 10 days before delivery, the glutathione peroxidase content in the control group was significantly lower than that in group I ($P<0.05$), and at 10 days after delivery, the malondialdehyde concentration in group II was significantly lower than that in the control group ($P<0.05$); On the day of delivery, the total antioxidant capacity concentration in group I was significantly higher than that in the control group ($P<0.05$), and 10 days after delivery, the total antioxidant capacity group II had a concentration that was substantially greater than the control group ($P<0.05$).

(3) Effects of isoacids on serum immune indicators in perinatal cows: On postpartum day 10, the serum immunoglobulin A (IgA) content in control group was significantly lower than that in group II ($P<0.05$); At 10 days before delivery, The serum immunoglobulin G (IgG) content in control group was significantly lower than that in groups I and II ($P<0.05$), and on the day of delivery, Serum IgG content of the control group was significantly different from that of group II ($P<0.05$); day of delivery, the content of

immunoglobulin M (IgM) in group II was significantly different from that in the control group ($P<0.05$); On postpartum day 10, the content of immunoglobulin M (IgM) in group I was significantly different from that in the control group ($P<0.05$).

Conclusions: The supplementation of isoacids in perinatal diets can improve the apparent digestibility of nutrients in diets, reduce the concentration of ammonia nitrogen in the rumen environment, increase the contents of microbial protein, isoacids and total volatile fatty acids in the rumen, milk yield and milk fat percentage, and enhance the antioxidant and immune capacity of dairy cows. Overall, The optimal amount of isoacids added in this experimental study is 60mL/d each cow.

Key words: Isoacids; Perinatal cows; Rumen fermentation parameters; Milk composition; Serum biochemical index

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
缩略词.....	VIII
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究目的与意义.....	1
1.2 国内外研究进展.....	2
1.2.1 奶牛围产期的定义.....	2
1.2.2 奶牛围产期的代谢疾病.....	2
1.2.3 常见的有机酸酸化剂种类.....	5
1.2.4 酸化剂在动物生产上的应用.....	5
1.2.5 异位酸的研究进展.....	6
1.3 研究内容与技术路线.....	9
1.3.1 研究内容.....	9
1.3.2 研究技术路线.....	10
第 2 章 试验研究.....	11
试验一 异位酸对围产期奶牛生产性能的影响.....	11
2.1 材料与方法.....	11
2.1.1 试验时间与地点.....	11
2.1.2 试验动物的选择与试验设计.....	11
2.1.3 试验日粮及饲养管理.....	12
2.1.4 样品的采集与测定.....	13
2.2 数据处理与统计分析.....	14
2.3 结果与分析.....	14
2.3.1 异位酸对围产期奶牛 DMI 的影响.....	14
2.3.2 异位酸对围产期奶牛表观消化率的影响.....	14
2.3.3 异位酸对围产期奶牛瘤胃发酵参数的影响.....	15
2.3.4 异位酸对围产期奶牛产奶量和乳成分的影响.....	15
2.4 讨论.....	16
2.4.1 异位酸对围产期奶牛 DMI 和表观消化率的影响.....	16
2.4.2 异位酸对围产期奶牛瘤胃发酵参数的影响.....	17

2.4.3 异位酸对围产期奶牛产奶量和乳成分的影响	17
2.5 小结	18
试验二 异位酸对围产期奶牛血清生化、抗氧化及免疫指标的影响	19
2.6 材料与方法	19
2.6.1 试验时间与地点	19
2.6.2 试验动物的选择与试验设计	19
2.6.3 试验日粮及饲养管理	19
2.6.4 样品的采集与测定	19
2.7 数据处理与统计分析	20
2.8 结果与分析	20
2.8.1 异位酸对围产期奶牛血清生化指标的影响	20
2.8.2 异位酸对围产期奶牛血清抗氧化指标的影响	22
2.8.3 异位酸对围产期奶牛血清免疫指标的影响	23
2.9 讨论	24
2.9.1 异位酸对围产期奶牛血清生化指标的影响	24
2.9.2 异位酸对围产期奶牛抗氧化能力的影响	25
2.9.3 异位酸对围产期奶牛免疫能力的影响	26
2.10 小结	26
第3章 总结与创新点	27
3.1 总结	27
3.2 创新点	27
参考文献	28
致谢	35
作者简介	36

缩略词

Abbreviation

英文缩写	英文全称	中文全称
ADF	Acid detergent fibre	酸性洗涤纤维
ALB	Albumin	白蛋白
BCAA	Branched amino acid	支链氨基酸
BCFA	Branched-chain fatty acid	支链脂肪酸
BUN	Blood urea nitrogen	血液尿素氮
CP	Crude protein	粗蛋白
DMI	Dry matter intake	干物质采食量
GLB	globulin	球蛋白
GLU	Glucose	葡萄糖
GSH-Px	Glutathione peroxidase	谷胱甘肽过氧化物酶
IgA	Immunoglobulin A	免疫球蛋白 A
IgG	Immunoglobulin G	免疫球蛋白 G
IgM	Immunoglobulin M	免疫球蛋白 M
MDA	Malondialdehyde	丙二醛
MCP	Microbial Protein	微生物蛋白
NDF	Neutral detergent fibre	中性洗涤纤维
NEB	Negative energy balance	能量负平衡
NEFA	Non-esterified fatty acids	非酯化脂肪酸
NH ₃ -N	Ammoniacal nitrogen	氨态氮
T-AOC	Total antioxidant capacity	总抗氧化能力
TC	Total cholesterol	总胆固醇
TG	Triglyceride	甘油三酯
TVFA	Total volatile fatty acids	总挥发性脂肪酸
VFA	Volatile fatty acid	挥发性脂肪酸

第1章 绪论

1.1 研究目的与意义

围产期是奶牛整个生产泌乳期中最关键的时期。其特征是：在围产前期，奶牛因将要分娩会出现食欲下降，干物质采食量下降的情况；在分娩时，会造成机体的营养和能量大量损失；在围产后期，由于奶牛启动泌乳功能，会导致机体的机能需要很长一段时间才能恢复。同时，由于饲料组成发生变化，会导致其干物质采食量增长缓慢，奶牛不能够从外部获得充足的能量，供其机体所利用。这些不利特点可能导致奶牛出现能量负平衡（NEB）、氧化应激、免疫抑制、酮病等营养代谢病。主要表现为：奶牛对饲料中营养成分的吸收能力下降，瘤胃发酵功能下降，奶牛的产奶量下降，乳品质下降，影响奶牛的脂肪代谢、抗氧化及免疫性能等。

随着我国全面禁“抗”时代的到来，在饲料限产、减量结束后，养殖业迫切需要具有更好的绿色、环保、无毒等优势的新型抗生素替代品。近年来，随着研究的不断深入，许多新的抗生素替代品被开发出来，应用于养殖业的实际生产。在实际的应用中，发现了一些新型添加剂，如合生元、微生物制剂、酶制剂、免疫增强剂、中草药方剂、酸化剂等。生产实践证明这些新型的添加剂都有良好的促进生长发育与繁殖效果。

酸化剂是种无毒和无残留的酸性物质，是一种环保型绿色添加剂。酸化剂的种类类型有很多，包括单一型、复合型和微囊包被型酸化剂^[1]。其生物作用：可以代替抗生素防止细菌的感染，促进生长；日粮中加入该物质，能提高草料的适口性，提高采食量，降低饲料系统的酸性和 pH 值；通过对动物体内新陈代谢的直接参与，促进小肠对营养素的消化和吸收，增加对饲料中营养素的利用，提供抗应激能源，增强免疫力和抵抗力。由于其优良的性能，在畜禽和水产养殖业中具有广阔的发展前景。

异位酸作为一种有机酸酸化剂具有来源广、安全性高等特点，是良好的瘤胃营养调控剂。其可直接作用于反刍动物瘤胃，能促进纤维降解菌的生长，提高消化率；促进乙酸的生成，增加总挥发性脂肪酸（TVFA）浓度，提高产奶量和乳脂率；促进瘤胃微生物对氨态氮（NH₃-N）和非蛋白氮的利用，同时具有良好的增重效果。目前国内关于异位酸在反刍动物生产上的研究较少，异位酸对围产期奶牛的相关研究几乎空白，因此，开展异位酸在奶牛生产上尤其是围产时期的应用研究十分必要。本试验通过在围产期奶牛基础日粮中添加 30mL/d 和 60mL/d 的异位酸，研究异位酸对围产期奶牛营养物质表观消化率、瘤胃发酵参数、泌乳性能、血清生化、抗氧化及免疫指标的影响，探究在奶

牛围产时期添加使用异位酸是否能提高其生产性能、抗氧化及免疫能力，为在围产期奶牛生产实践中推广应用异位酸酸化剂提供可靠的数据支撑与理论基础。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 奶牛围产期的定义

奶牛围产期又叫“过渡期”，一般是从奶牛产前 21 天（干奶的晚期）到产后 21 天（泌乳的初期），这也是奶牛整个泌乳期中最重要的一个阶段^[2]。奶牛围产期疾病属多因子病，既有生理变化、遗传方面的因素，又有饲养管理及环境卫生等原因^[3]。对于围产期的饲养管理来说，其质量的高低将会对犊牛的顺利出生、母牛的健康以及产后产奶效率和繁殖能力产生重大影响。饲养管理会直接影响奶牛的健康、产量、怀孕率和使用寿命。

1.2.2 奶牛围产期的代谢疾病

围产期的奶牛机体发生强烈的适应性变化，这与产犊后干物质摄入的显著增加和饮食组成的变化有关。奶牛在过渡期易发生代谢紊乱和瘤胃功能受损，对奶牛的生产性能产生不利影响。正处于围产期的奶牛机体对营养物质需求急剧增加，但胎儿生长迅速，体积不断增大，导致奶牛瘤胃空间受挤压变小，并受到基础日粮结构改变的影响，导致此阶段奶牛生理代谢功能下降严重^[4]。分娩前奶牛干物质采食量（DMI）减少，无法从日粮中获取足够的能量，影响胎儿分娩；分娩后饲料组成发生变化，导致奶牛 DMI 增加缓慢。泌乳的启动会引起脂肪酸和氨基酸的大量调动在哺乳早期用于乳汁生产，可能会使机体的能量、可代谢蛋白质和氨基酸出现负平衡状态，导致产后许多代谢紊乱和降低生产性能。这些生理变化导致奶牛无法满足正常的营养需求而引起 NEB、酮病、瘤胃代谢障碍、氧化应激、免疫抑制等疾病。研究发现，30%-50%的母牛在围产期会出现一种或一种以上的疾病^[5]，严重时会导致母牛产奶量下降，乳成分发生变化，还会影响母牛的生殖能力，导致母牛的繁殖能力下降，造成母牛的使用寿命缩短，影响生产效率。

1.2.2.1 能量负平衡

NEB 在奶牛围产期极易发生，分娩时能量和营养摄入的变化以及环境变化被认为是 NEB 的主要决定因素^[6]。但 NEB 对产奶量是否有不利影响目前尚未清楚。在泌乳早期，营养供应与产奶量之间的关系似乎是相反的，产奶量向峰值增加，而营养摄入量 and 能量平衡同时下降到最低点，特别是在产后期间，由于分娩和生产后奶牛身体的各项激素

出现大幅度改变, 内分泌情况出现显著变化。Mari 等^[7]试验表明, 孕酮作为维持妊娠的主要控制因素, 在围产前期由母体不断产生, 其含量在出生前 4 天不断减少, 直到分娩产犊后降到最低点, 分娩后随着机体的恢复但仍会继续下降并保持在极低水平, 使卵泡发育受阻, 卵巢出现静止状态, 导致繁殖性能降低。围产期奶牛出现 NEB 时, 神经内分泌因子的含量会发生明显变化^[8]。过量的体脂动员会大幅度增加奶牛机体游离脂肪酸 (NEFA) 的含量, NEFA 是奶牛酮病和脂肪肝等代谢疾病的主要致病因素^[9], 这些代谢病会导致群发、影响产奶量、继发其它代谢疾病。Zerbe^[10]、Mann^[11]研究表明, 围产期奶牛产生 NEB, 会导致血液中的 NEFA 和 β -羟丁酸浓度增加, 从而减弱嗜中性粒细胞的趋化能力和吞噬能力^[12]。若产犊前 7d 机体血清中 NEFA 浓度 $>0.4\text{mmol/L}$ 时, 会增加产后奶牛出现真胃变位和胎衣不下等风险。严重的 NEB 会导致胰高血糖素升高, 胰岛素突然降低, 导致下丘脑 G 受体兴奋, 进而对肾上腺素的分泌产生促进作用, 而肾上腺素分泌增多协同胰岛素分泌减少则会导致肝糖原与脂肪的分解^[13]。奶牛机体能量需求和营养摄入不平衡会导致各种代谢紊乱, 会出现酮症 (临床或亚临床)、瘤胃酸中毒 (亚急性或急性)、炎症和免疫功能紊乱等疾病。

1.2.2.2 脂肪动员加剧

在奶牛围产期间, 与分娩和泌乳有关的激素变化会对脂肪的分解产生直接的影响, 而高强度的能量需求又会加速脂肪的分解速率^[14-16]。在围产后期, 奶牛在饲料中获得的营养与能量不足以达到其泌乳量迅速增加的需要, 从而造成体脂动员速率迅速增加, 并诱发脂肪肝、酮病等一系列由于脂肪代谢异常而造成的营养代谢病^[16, 17]。围产期的肝脏炎症反应是脂肪动员的重要驱动力, 奶牛出现脂肪分解时会导致脂肪肝综合征的风险增高。肝脏中脂肪的明显堆积会阻碍新陈代谢并损害免疫反应。研究发现, 奶牛产后 12 周内的脂肪动员量可达 90 kg, 当脂肪动员量达到 3.2 kg/d 时, 甘油可提供奶牛葡萄糖 (GLU) 需求的 15%~20%^[18, 19]。此外, 已经发现脂肪肝会损害肝脏糖异生的活性, 降低血液中 GLU 并减少胰岛素分泌。脂质动员加剧, 会增加肝脏对脂肪酸的摄取率, 导致酮体的大量生成^[20]。酮病是奶牛在泌乳早期极易出现的临床疾病^[21], 其特征是低血糖和高酮血症, GLU 水平不足会导致血浆胰岛素下降。大量研究表明, 酮症使过渡期奶牛感染临床疾病的风险更高, 血酮和 NEFA 浓度显著升高以及低钙血症都能限制免疫细胞对致病信号的应答。脂肪分解产生的 NEFA 在肝脏被吸收后, 既可以被用作能源, 也可以将其转换成酮体, 并将其释放在血液中。酮体还可以成为其它组织的能源, 最终导致奶牛酮病。有研究表明, 奶牛在犊牛出生后 2 周, 血清 NEFA 水平超过 0.8 mmol/L 的经产奶牛被淘汰风险会增加 2~4 倍^[22]。酮病会严重降低泌乳时期和终生的泌乳量, 直接影响奶牛使用年限和养殖场经济效益。因此, 为了预防酮症和脂肪肝综合征, 有必要

避免奶牛在围产期过度消瘦，优化干物质摄入量，在不牺牲瘤胃功能的情况下增加饲料的能量密度。

1.2.2.3 瘤胃代谢障碍

泌乳牛和干奶牛日粮主要由粗饲料组成，且含有较高的中性洗涤纤维，在围产后期，随着精料比例的提高，其营养成分的变化会对奶牛瘤胃机能造成极大的影响。围产期奶牛由于妊娠、分娩及饲料转变等应激刺激，导致瘤胃中的菌群结构和数量出现较大变化^[23]，瘤胃内的乳酸主要被埃氏巨型球菌和反刍月形单胞菌等发酵产生挥发性脂肪酸^[24, 25]。围产期奶牛瘤胃的埃氏巨型球菌和反刍月形单胞菌相对丰度会显著降低，导致丙酸生成量减少，机体出现 NEB 状态，严重的会诱发酮病、脂肪肝等代谢性疾病^[25]。患酮病的奶牛血液中乳酸含量上升，VFA 总体水平降低^[26]。当分娩结束后，若以富含淀粉的精料饲喂，会导致奶牛瘤胃酸中毒。在干奶阶段，奶牛的瘤胃乳头变短，其有效吸收面积变小，瘤胃壁对养分的吸收能力变弱，从而影响了其对乳酸和 VFA 的吸收^[13]，过量的乳酸在瘤胃中聚集容易引起瘤胃酸中毒。在反刍动物养殖中，从饲养的角度来看，日粮中加入一定数量的精料，可以提高奶牛的产奶量，加快奶牛的生长速度，但这也会导致奶牛瘤胃酸中毒^[27]。刘国文^[28]等研究表明，在妊娠后期和泌乳初期及疾病状态下奶牛采食量下降，瘤胃内发酵菌的数量和比例发生变化，使丙酸生成减少，乙酸比例增加，瘤胃发酵类型向乙酸型转变。

1.2.2.4 氧化应激

氧化应激是当有机体在遭遇到有害刺激后，由于机体中氧化剂和抗氧化剂平衡失调，所生成的自由基超出了体内抗氧化剂的消除水平，而大量积聚。氧化应激是动物机体内氧化和抗氧化平衡失调。与妊娠晚期、分娩和哺乳期相关的代谢需求会增加活性氧的产生，ROS 可引发脂质过氧化，对组织造成细胞损伤。免疫细胞对氧化应激特别敏感，因为它们的细胞膜含有高浓度的多不饱和脂肪酸，非常容易过氧化，并且它们在受到刺激时产生大量的活性氧。不健康的奶牛对过氧化物酶的活性较低，是由于肝细胞中的脂肪动员和甘油三酯（TG）沉积导致肝损伤和功能障碍，血液中总胆固醇（TC）和高密度脂蛋白含量下降。严重的氧化应激对机体细胞、DNA、蛋白质及脂质等生物大分子造成严重破坏，对免疫细胞的增殖、分化和反应性产生影响^[29]，同时还会对炎症反应产生影响。围产期奶牛因经历怀孕、分娩到哺乳三个阶段，期间会发生严重的生理变化，极易出现机体 NEB 情况，易出现氧化应激状态，并诱发酮症、脂肪肝、胎衣不下等疾病。在围产期，患有临床型和亚临床型酮病的奶牛都出现了氧化应激反应，而且，奶牛血浆中 β -羟丁酸和 NEFA 浓度的升高和下降也与氧化应激的强弱呈现出正相关关系^[30]。对

新产牛来说,开始泌乳会导致机体营养供应不足,代谢消耗的能量过高,NEB就极易出现,从而引起体内氧化和抗氧化失衡。若抗氧化剂无法消除氧化剂,机体的免疫水平和对炎症的抵御能力会受到严重影响,导致对疾病的易感性提高。

1.2.2.5 免疫抑制

一般来说,奶牛在分娩时和分娩前三周获得的免疫保护机制减弱,免疫功能显著改变,尤其是在分娩期间,即分娩后三周左右奶牛在这段时间处于慢性应激状态。分娩应激导致奶牛分娩后产生大量肾上腺皮质激素和雌激素,引起食物摄入减少,矿物质和维生素吸收减少,身体代谢活动增加导致代谢产物过度活性氧化,最终奶牛免疫抑制,使奶牛容易引起子宫内膜炎、乳腺炎、肠炎等产后相关疾病^[31,32]。在产犊前后,奶牛的血液淋巴细胞对促有丝分裂剂刺激的反应性下降,B细胞产生的免疫球蛋白减少^[33],这都会造成奶牛的免疫力低下,从而提高了产后疾病的发生率^[34]。围产期奶牛血清免疫球蛋白G(IgG)和免疫球蛋白M(IgM)水平下降,IgG含量在奶牛分娩时降低,低含量的IgG与化脓性乳房炎的产生有密切关系^[35]。目前免疫抑制或免疫功能障碍具体机制还不明确,但与奶牛围产期能量代谢、内分泌调节和氧化应激有着密切联系^[36]。身体状况过差的奶牛在产犊时免疫功能会出现更大幅度的下降,这可能是氧化应激导致的,因此,在这段时间内,过渡期奶牛的营养对免疫力有很大的影响。免疫功能和炎症的测量可以预测奶牛的疾病发病率,这表明提高免疫功能和限制炎症的变化可能会改善奶牛的健康和生产力。奶牛在产犊后都会出现采食量和体况下降、子宫感染和炎症等情况,有必要对过渡期奶牛的免疫学进行进一步研究。

1.2.3 常见的有机酸酸化剂种类

酸化剂作为一种可以降低饲料在消化道中的pH值,能为动物提供最适消化道环境,已经在国内外得以广泛应用。目前在奶牛业饲料中常见的有机酸化剂甲酸、乙酸、丙酸、丁酸、山梨酸、延胡索酸、苹果酸、柠檬酸、异位酸等^[37]。在畜禽养殖和反刍动物生长发育阶段添加使用效果显著,但因大部分酸化剂有一定的毒性,导致应用和推广受阻。

1.2.4 酸化剂在动物生产上的应用

适量的酸可提高日粮适口性,增加动物的采食量,提高饲料利用率。但添加大剂量的酸,会降低适口性,影响采食,减缓增重速度^[38]。刘佑明^[39]通过在1-37日龄白羽肉鸡饲料中添加乳酸型和甲酸型复合酸化剂,结果表明,酸化剂并非对白羽肉鸡全部试验阶段的生产性有作用,反而在1~16日龄其生产性能有明显差异。但也有研究表明,酸

化剂对家禽的生产性能并无显著影响,殷继勋^[40]通过在 1~42 日龄肉鸡饲料中添加 1.5 kg/t 的混合酸化剂,结果显示,肉鸡日龄在 22~42d 期间平均日增重无明显差异,耗料增重比有下降的趋势,分析可能酸化剂产生了负面影响。牛华峰^[41]通过给犊牛饲喂以甲酸酸化的奶,结果表明,对犊牛的日常增重有显著影响,降低其腹泻率,延长对奶的抑菌作用,还可以显著提高犊牛的日常增重。Foley 等^[42]研究指出,在荷斯坦奶牛日粮中添加不同浓度的苹果酸可以显著提高 DMI。Sniffen 等^[43]通过对奶牛日粮中补饲 50g/d 苹果酸发现,可提高产奶量,但不影响乳成分,乳糖量较对照组有上升趋势,对营养物质表观消化率无显著差异。Liu 等^[44]通过日粮中补饲苹果酸,发现随着浓度的上升,瘤胃 pH、乙酸/丙酸比值、NH₃-N 浓度、乳酸浓度均有所下降,但 TVFA 浓度增加。

1.2.5 异位酸的研究进展

异戊酸、异丁酸、2-甲基丁酸和戊酸统称为异位酸^[45]。瘤胃中的异位酸是由蛋白降解后的支链氨基酸(缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸)经过氧化脱氨基得到的,异位酸还可以用于合成一些重要的氨基酸,如亮氨酸、缬氨酸等^[46,47],它们是反刍动物瘤胃的蛋白质生产必不可少的重要中间体。大量科学研究已经证实,在饲料中的异位酸可以增加奶牛的产奶量和改善乳成分、减缓夏季热应激带来的影响等。异位酸对瘤胃微生物的生长和繁殖是不可或缺的,还可以对瘤胃中的纤维素菌起到促进作用^[48],从而进一步促进机体对日粮中营养成分的吸收。但正常饲养条件下,瘤胃中产生的异位酸含量微乎其微^[49],瘤胃内形成的异位酸数量微乎其微,而饲料中加入的支链脂肪酸也有助于微生物蛋白质(MCP)形成。通过补充异位酸,可以提高体内必需氨基酸的含量,从而提高 MCP 的含量,从而强化反刍动物对蛋白质的需求^[45]。异位酸还可以促进体内氮循环,同时提高氨的利用率。因此在生产上将异位酸作为反刍动物瘤胃调控性饲料添加剂进行添加使用。异位酸是纤维分解菌的营养素,增加纤维分解菌的数量,增加反刍动物对纤维的消化,并促进了乙酸和 TVFA 的形成。乙酸是反刍动物脂肪和乳脂合成的前体,可提高反刍动物产奶量和乳脂系数^[50];也可促进 NH₃-N 的利用率,进而促进其蛋白质合成;异位酸可以促进机体利用非蛋白氮,提高反刍动物体内氮的滞留,增强机体的氮循环,提高反刍动物的增重性能^[51]。添加异位酸可以增加瘤胃中微生物的数量,改善纤维素的消化,增加食欲、GLU 浓度、产奶量,减缓负能量平衡^[52]。

1.2.5.1 异位酸对反刍动物 DMI 和养分消化率的影响

动物机体的发育离不开采食量的增加和对日粮中营养物质养分的吸收利用。采食量越高的动物,其机体健康程度会更高。短链脂肪酸能促进反刍动物的生产,其饲喂效果与奶牛的哺乳期、年龄和饲养月份有关。异位酸最初被认为只作用于低质量的日粮,但

近年来的各种研究表明, 异位酸也作用于高质量的蛋白质日粮。张振威^[47]研究显示, 饲料中加入异丁酸显著提高日增重, 异丁酸组每千克增重消耗饲料显著低于对照组。高月平^[53]研究表明, 在低品质的玉米秆草日粮中加入异戊酸, 可显著增加西门塔尔牛日增重, 但其干物质的摄入量下降, 每千克增重消耗饲料下降, 但前期实验结果表明, 通过使用支链脂肪酸, 10月龄奶公牛对日粮中营养物质的消化吸收量明显提高, 而且对干物质采食率也呈提高的趋势, 日增重明显提升, 但饲养利用率却明显下降。断奶后犊牛按每千克体重每天补充 0.1~0.3 mg VFA, 结果显示, 营养物质消化量、每日增重和饲养效率均有效提高^[54]。其他研究也表明, 在绵羊的日粮中加入异丁酸后, 可以增加其 DMI, 同时还会降低饲料的转化率。在犊牛饲料中添加支链脂肪酸可线性增加平均日增重和饲料转化率, 对干物质摄入量没有影响, 但干物质 (DM)、有机物、粗蛋白 (CP)、中性洗涤纤维 (NDF) 和酸性洗涤纤维 (ADF) 的消化率^[55]随着支链脂肪酸 (BCFA) 的增加而线性增加。姜菲等^[56]通过对牦牛进行体外瘤胃发酵试验结果表明, 添加不同种类及浓度的异位酸对 DM、NDF、ADF 降解率无显著差异, 但添加 0.3% 的 2-甲基丁酸或 0.3% 的戊酸能有效改善牦牛瘤胃体外发酵参数。

1.2.5.2 异位酸对反刍动物瘤胃发酵的影响

瘤胃 BCFA 来源于饲料蛋白质降解, 是瘤胃纤维素分解细菌生长的必需营养素。瘤胃液中的 pH 是体现瘤胃内环境的主要指标之一, 其值范围为 5.5-7.5。研究表明, 日粮中添加不同水平的异位酸不会引起瘤胃 pH 值的变化, 但异位酸能提高反刍动物微生物的发酵速率和反刍动物中 VFA 的浓度^[57]。刘强等^[58]在西门塔尔牛瘤胃中发现, 异戊酸对乙酸、丁酸及 TVFA 浓度有明显的增加作用, 但丙酸的含量下降, 导致乙酸与丙酸的比值明显增大, 这一现象使瘤胃向乙酸型发酵转变。张贵花^[59]研究发现, 在断奶前和断奶后犊牛日粮中, 添加不同浓度的异戊酸, 犊牛瘤胃内的 TVFA 含量明显升高, 且能促进犊牛瘤胃内乙酸的生成。有研究显示, 添加异丁酸盐可改变瘤胃发酵模式, 使其产生乙酸盐, 改善消化, 添加支链脂肪酸可以降低瘤胃 pH 值和 NH₃-N 浓度, 但增加了 TVFA, 支链脂肪酸的补充增加了纤溶芽孢杆菌和琥珀原芽孢杆菌的种群^[60]。在基础日粮中加入异位酸可增加 OM 的消化率, 提高 NH₃-N 的利用率, 提高 MCP、乙酸、丙酸和 TVFA 的含量^[61]。邵广^[62]研究表明, 添加异位酸不影响瘤胃 pH 值, 但显著降低 NH₃-N 浓度, 减缓瘤胃蛋白降解速率, 提高 MCP 的合成速率。在泌乳奶牛日粮中进行蛋氨酸羟基类似物的补充可以改变瘤胃发酵, 但没有改变瘤胃细菌多样性和群落, 这表明蛋氨酸羟基类似物补充可能会增加瘤胃中微生物的数量, 增加瘤胃生物氢化能力, 但异酸的补充增加了其在瘤胃内的浓度, 改变了瘤胃细菌多样性和功能特征, 并增加了瘤胃中反-10 C18 异构体的浓度, 表明瘤胃内异酸可以影响细菌功能, 蛋氨酸羟基类似物和 IA 之间的相

互作用在瘤胃中并不显著，但发生了相互作用^[63]。

1.2.5.3 异位酸对反刍动物泌乳性能的影响

奶牛的泌乳量受到多种因素的影响，包括品种、年龄和胎次、饲养管理、环境、疾病等因素^[64]。有研究表明，在反刍动物日粮中添加异位酸能增加产奶量、乳脂率和饲料转化利用率^[65]。关于异位酸对奶牛产奶能力的影响，我国也早已进行了相关研究。乳脂含量及其脂肪酸组成是估计牛奶质量的重要指标^[66]。乳脂中的脂肪酸来自这两种来源中的任何一种，由乳腺中的乙酸和 β -羟基丁酸盐从头合成，或从饮食中吸收的脂肪酸被乳腺从循环中吸收，或身体脂肪储备动员^[67, 68]。王振权等^[69]通过对荷斯坦奶牛（ $n=50$ ）泌乳特性进行研究，发现异位酸可以促进奶牛的泌乳能力，并使乳脂、乳蛋白和乳汁中的干物质含量显著升高。Papras 等^[70]以荷斯坦奶牛（ $n=161$ ）为试验研究对象，探讨了异位酸对荷斯坦奶牛泌乳能力及和乳组成的影响，结果显示，复合异位酸显著增加奶牛在泌乳高峰的产奶量，并增加了哺乳期奶牛 305 天的产奶量。在哺乳中期的奶牛日粮添加了异丁酸之后，发现其产奶量和体重的变化都有所提高，但是乳组分的产量却有所降低^[71]。王加启等^[48]使用成年奶牛作为试验对象（ $n=35$ ），研究显示，通过在基础饲料中添加异位酸混合物，可以改善奶牛的 NEB 并延长奶牛的泌乳期，试验组的产奶量较对照组增加 15.4%。Copelin 等^[72]通过对乳脂抑制的泌乳奶牛日粮中添加异酸，结果表明，异酸在不改变产奶量的情况下增加了乳脂含量。在饲料中添加异位酸，特别是复合异位酸，可以显著提高奶牛的产奶量，提高乳中乳脂和乳蛋白的水平。

1.2.5.4 异位酸对反刍动物血液生化指标的影响

在临床生化指标中，血清总蛋白（TP）、尿素氮（UN）可以作为分析奶牛机体状况和营养水平的重要指标^[73]。在反刍动物中，GLU 是一种非常重要的能量来源，它可以对食物中的能量不足进行调节，在食物中的能量摄入不足的时候，它会调动 GLU 来提供能量，并提升机体的脂肪代谢速率^[74]。在奶牛的日粮中添加异丁酸会增加 GLU、生长激素、血清白蛋白（ALB）和 UN 的浓度，降低 TC 和游离脂肪酸的含量，但不会显著影响血浆中 TG 的浓度。有研究表明，血尿氮量与日粮尿氮量呈正相关关系^[75]。李明等^[76]试验证明，在高 NPN 日粮和中 NPN 日粮组中，异位酸显著减少了山羊血浆中 BUN 的浓度，在高 NPN 日粮组中，也明显降低了血浆中 NPN 含量。研究发现，异位酸可显著增强瘤胃微生物对尿素等非蛋白氮（NPN）的转换效率，并减少 UN 含量；此外，山羊血清中的肌配体、钙和无机磷的含量也有轻微的升高，但是没有明显的改变，结果表明，异位酸对血清中钙及无机磷的影响不大，这是由于异位酸只对蛋白质及能量代谢有一定的作用，但对无机物及矿物质的代谢无影响。Liu 等^[77]向泌乳牛饲料中加入

异丁酸,结果显示,机体 GLU 和生长激素含量上升,另外,血脂和血中 GLU 水平升高也可能促进泌乳牛的乳脂率上升。血液中 TP 含量的升高显示异位酸有助于 MCP 的合成,增加反刍动物中可利用蛋白质,促进动物生长发育,以及动物生产,如产奶量、乳脂、体重增加等。有研究发现^[78],支链氨基酸(BCAA)能明显降低大鼠体内的丙二醛(MDA)水平,保护了体内谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和超氧化物歧化酶(SOD)的酶活力。蒋与刚等^[79]发现创伤后大鼠体重下降明显,血浆 MDA 含量明显升高而 SOD 活性显著降低,而饲料中加入 BCAA 制剂组降低了创伤大鼠血浆 MDA 含量,升高抗氧化酶活性^[80]。

1.3 研究内容与技术路线

1.3.1 研究内容

本试验研究通过在围产期奶牛的基础日粮中添加不同水平的异位酸对奶牛生产性能、血清生化、抗氧化及免疫指标的影响,探讨在围产期奶牛日粮中添加异位酸是否能提高奶牛生产性能、增强机体的抗氧化及免疫能力,为在围产期奶牛日粮中合理添加异位酸酸化剂提供可靠的数据支撑与理论基础。

从以下两个试验内容进行研究:

试验一:异位酸对围产期奶牛生产性能的影响

- (1) 异位酸对围产期奶牛 DMI 的影响
- (2) 异位酸对围产期奶牛营养物质表观消化率的影响
- (3) 异位酸对围产期奶牛瘤胃发酵参数的影响
- (4) 异位酸对围产期奶牛产奶量和乳成分的影响

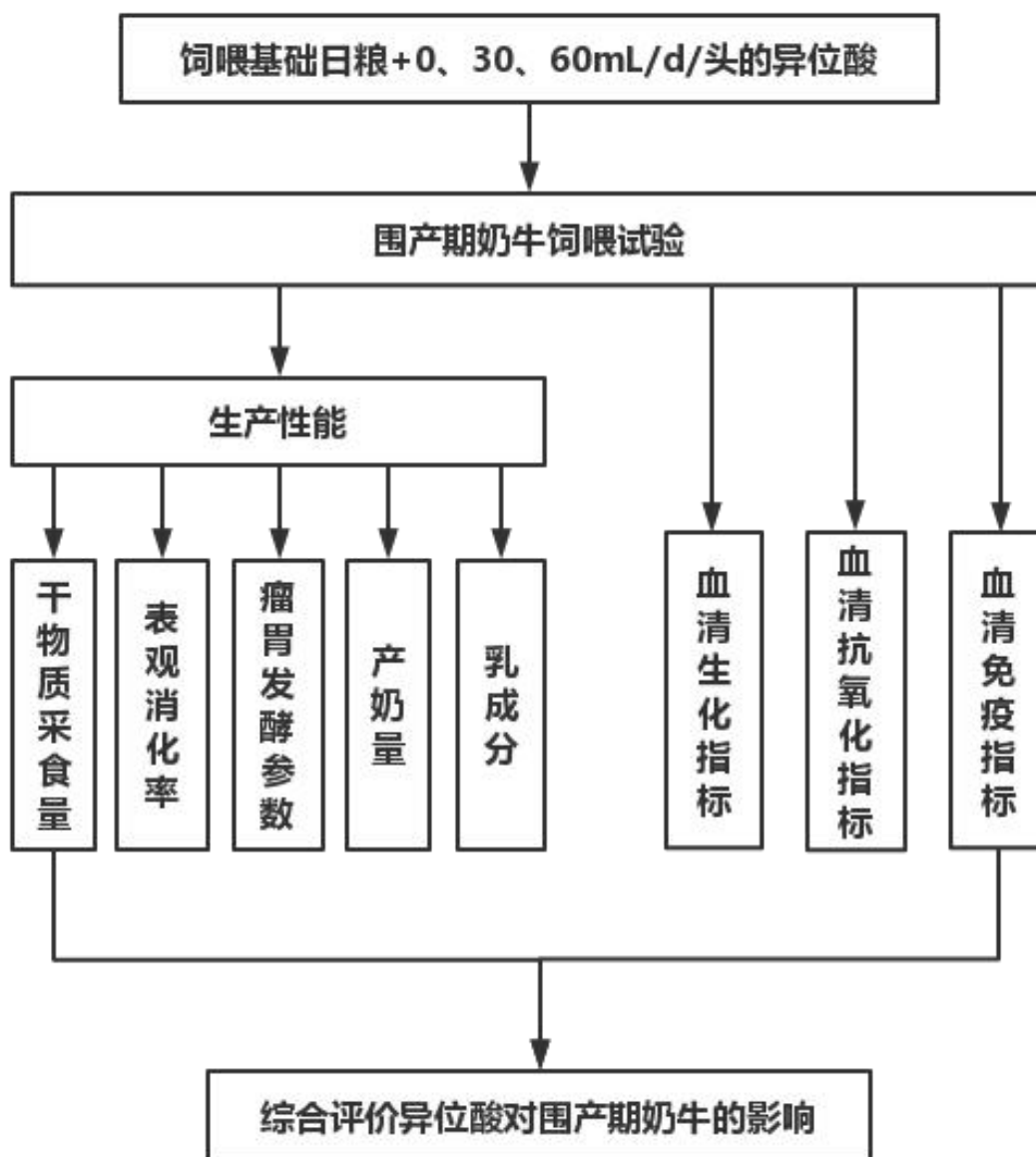
研究分析在围产期日粮中添加不同水平的异位酸对奶牛 DMI、营养物质表观消化率、瘤胃发酵参数、产奶量和乳成分的影响。

试验二:异位酸对围产期奶牛血清生化、抗氧化及免疫指标的影响

- (1) 异位酸对围产期奶牛血清生化指标的影响
- (2) 异位酸对围产期奶牛血清抗氧化指标的影响
- (3) 异位酸对围产期奶牛血清免疫指标的影响

研究分析在围产期日粮中添加不同水平的异位酸对奶牛血清生化指标、抗氧化和免疫能力的影响。

1.3.2 研究技术路线



第2章 试验研究

试验一 异位酸对围产期奶牛生产性能的影响

异位酸作为一种新型绿色饲料添加剂，在犊牛和奶牛的实际生产中得以应用，是良好的瘤胃调控添加剂。在日粮中添加异位酸可以提高奶牛的产奶量和乳品质、缓解夏季热应激、提高食欲等。目前国内主要通过体外发酵法研究异位酸对表观消化率和瘤胃发酵参数的影响，发现异位酸有良好的效果。异位酸是瘤胃纤维降解菌的营养因子，可以提高瘤胃中纤维降解菌的种群数量，并提高乙酸和 TVFA 的产量。异位酸可以促进微生物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的吸收和利用，提高瘤胃 MCP 的合成，促进机体对非蛋白氮利用，增加反刍动物体内氮的滞留，增加机体中的氮循环。异位酸能够改善奶牛的食欲，增加其采食量，同时还能改善其对日粮中营养物质的消化。Liu 等^[77]发现在泌乳牛日粮中添加异丁酸，相同的干物质摄入量下，奶牛的产奶量提高，乳脂含量下降，与单种异位酸比较，混合异位酸对提高产奶量的效果更好。因此，本部分试验通过在围产期奶牛日粮中添加不同水平的异位酸，探讨其对奶牛 DMI、营养物质表观消化率、瘤胃发酵参数、产奶量和乳成分的影响，以期在奶牛生产实践中应用异位酸提供可靠的试验数据和理论依据。

2.1 材料与方法

2.1.1 试验时间与地点

本试验于 2022 年 7 月-10 月在石河子市 148 团西锦牧业有限责任公司进行。

2.1.2 试验动物的选择与试验设计

选择 18 头健康、第 3 胎次的经产荷斯坦围产期奶牛，根据完全随机分组的方法分为 3 组，每组 6 个重复，每个重复 1 头奶牛。对照组每头奶牛每天只饲喂基础日粮；试验 I 组奶牛饲喂基础日粮+30mL/d/头的异位酸；试验 II 组奶牛饲喂基础日粮+60mL/d/头的异位酸。试验所用异位酸由异丁酸和异戊酸按 1: 1 比例混合而成（购于郑州杰克斯化工产品有限公司，纯度均 >99%），异位酸的添加量和比例参考张平等^[81]的方法。预饲期为 10d，正试期为 42d。

2.1.3 试验日粮及饲养管理

试验各组围产前期（产前 21 天-分娩）和围产后期（分娩-产后 21 天）饲喂同样的基础日粮，日粮组成及营养水平见表 2-1。每天等量饲喂 3 次（09：00、15：00 和 21：00），每次饲喂前将异位酸喷洒在部分精料中，混匀后饲喂，确保试验牛全部采食后，再进行正常饲喂。试验牛单槽饲养，全天自由饮水，其余饲养条件、环境及管理均按照奶牛场程序进行。

表 2-1 试验日粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2-1 Test Diet Composition and Nutrient Level (Dry matter Basis)

项目 Items	围产前期 Prepartum	围产后期 Postpartum
成分 Ingredients/% (DM basis)		
苜蓿 Alfalfa		7.12
青贮 Silage	51.50	63.02
燕麦草 Oat grass	25.75	
全棉籽 Whole cottonseed		3.56
精料 Concentrate feed	22.75	26.30
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels/% (DM basis)		
粗蛋白质 CP	28.59	25.83
中性洗涤纤维 NDF	56.51	36.07
酸性洗涤纤维 ADF	25.68	18.15
钙 Ca	1.66	1.9
磷 P	0.99	0.66
产奶净能 NEL (MJ/kg)	5.50	6.64

注：产奶净能为计算值，其余营养水平均为实测值。

Note: The net energy of milk production was calculated, and the other nutrient levels were measured.

2.1.4 样品的采集与测定

2.1.4.1 干物质采食量

正试验期间每隔 5 天连续两天记录采食量，晨饲前收集余料并称重，记录投料量和余料量，分别计算每组奶牛围产前期和围产后期的平均采食量，并结合实测全混合日粮 DM 含量，最后算出 DMI。

2.1.4.2 表观消化率

试验期最后三天每天早中晚通过直肠收集粪便，随机取样法收集日粮样品。日粮、剩料、粪便在 65℃ 下用鼓风干燥 48 h 后将其碾碎，以备检测，并参考张丽英^[82]所描述的方法对样品中的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）营养成分进行测定。以粪便和饲料中的酸不溶灰分（AIA）作为内源性指示剂^[83]，对表观消化率进行计算，计算公式：某营养成分表观消化率（%）= [1 - （饲料中 AIA 含量 × 粪便中该营养成分） / （粪便 AIA × 饲料中该营养成分）] × 100。

2.1.4.3 瘤胃液

在围产后期（产后 21d）晨饲前，对试验组所有奶牛采用瘤胃收集液导管装置采集约 100mL 瘤胃液，立即使用便携式 pH 计（力辰科技笔式酸度计）测定瘤胃液 pH 值。将瘤胃液用 4 层无菌棉纱布过滤后收集滤液，将其分装于 15mL 无菌离心管中，做好标记，置于 -20℃ 冰柜保存。氨态氮（NH₃-N）浓度采用冯宗慈^[84]比色法测定；微生物蛋白（MCP）所用试剂盒购自 TransGen Biotech Co，并配合全波长酶标仪（Multiskan GO，美国）测定，测定方法按照试剂盒说明书进行；利用顶空-气相色谱仪测定乙酸、丙酸和丁酸含量^[85]。

2.1.4.4 产奶量

在各组试验奶牛产后 9-10d 和产后 20-21d 连续 2 天记录早中晚三次产奶量，取 2 天的平均值记为一次产奶量。

2.1.4.5 奶样

分别于产后 10d 和 21d 在 6 点、13 点、21 点采集生奶样品。在采乳的过程中首先要对乳头进行消毒和清理，挤出前四把奶之后，对奶牛的四个乳头进行均匀的采集，按照 4: 3: 3 的比例进行混合。采集奶样 50mL 装于无菌样品管中，置于 -20℃ 的冰箱保存。

乳中乳糖率、乳脂率、乳蛋白率、尿素氮和总固形物含量：送往石河子花园乳业有限公司使用乳成分全项分析仪（FOSS 乳成分自动分析仪，丹麦 FOSS 公司）测定。

2.2 数据处理与统计分析

用 Excel 表格对试验数据进行初步整理后，使用 SPSS 23.0 软件分析数据，试验结果以平均值±标准差表示。组间差异性比较用单因素方差分析后用最小显著性差异法（LSD）对结果进行比对，以 $P < 0.05$ 表示显著性差异， $P > 0.05$ 表示不显著性差异。

2.3 结果与分析

2.3.1 异位酸对围产期奶牛 DMI 的影响

由表 2-2 可知，异位酸各组 DMI 在围产前期和后期均无显著性差异（ $P > 0.05$ ）。

表 2-2 异位酸对围产期奶牛 DMI 的影响

Table 2-2 Effects of isoacids on DMI in perinatal cows

项目	时间	对照组	I 组	II 组
Items	Time	Control group	Group I	Group II
干物质采食量 DMI (kg)	围产前期	13.97±0.71	14.49±0.51	14.66±0.77
	围产后期	15.93±0.61	16.20±0.70	16.70±0.96

注：同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）；肩标相同字母或无字母标注表示差异不显著（ $P > 0.05$ ）。下同。

Note: Different lowercase letters of shoulder tags in peer data indicate significant differences ($P < 0.05$); There was no significant difference ($P > 0.05$) when the shoulder label was the same letter or no letter ($P > 0.05$). The same as below.

2.3.2 异位酸对围产期奶牛表观消化率的影响

由表 2-3 可知，I 组和 II 组奶牛 DM、CP、NDF 和 ADF 的表观消化率均与对照组相比有显著性差异（ $P < 0.05$ ）。

表 2-3 异位酸对围产期奶牛表观消化率的影响

Table 2-3 Effects of isoacids on apparent digestibility in perinatal cows

项目 Items	对照组 Control group	I 组 Group I	II 组 Group II
干物质 DM (%)	66.29±0.99 ^b	67.49±0.96 ^a	69.89±0.84 ^a
粗蛋白质 CP (%)	71.43±0.91 ^b	73.66±1.06 ^a	74.06±1.19 ^a
中性洗涤纤维 NDF (%)	54.19±0.58 ^b	57.51±0.94 ^a	58.29±0.93 ^a
酸性洗涤纤维 ADF (%)	50.14±0.77 ^b	53.79±0.77 ^a	53.65±1.10 ^a

2.3.3 异位酸对围产期奶牛瘤胃发酵参数的影响

从表 2-4 中可知, I 组和 II 组 NH₃-N 含量均显著低于对照组 ($P<0.05$)。I 组和 II 组 MCP 含量均显著高于对照组 ($P<0.05$)。II 组乙酸和总挥发性脂肪酸含量均显著高于对照组 ($P<0.05$)。各试验组间的 pH 值、丙酸、丁酸含量无显著性差异 ($P>0.05$)。

表 2-4 异位酸对围产期奶牛瘤胃发酵参数的影响

Table 2-4 Effects of isoacids on rumen fermentation parameters in perinatal cows

项目 Items	对照组 Control group	I 组 Group I	II 组 Group II
pH	6.68±0.08	6.60±0.16	6.55±0.10
氨态氮 NH ₃ -N (mg/dL)	6.27±0.29 ^a	5.43±0.48 ^b	5.04±0.91 ^b
微生物蛋白 MCP (mg/dL)	36.66±1.26 ^b	40.36±2.50 ^a	42.88±2.45 ^a
乙酸 Acetate (mmol/L)	38.48±1.82 ^b	41.02±1.53 ^{ab}	42.22±1.51 ^a
丙酸 Propionate (mmol/L)	16.03±0.54	14.65±1.11	14.40±1.03
丁酸 Butyrate (mmol/L)	7.98±1.73	8.51±0.42	9.38±1.23
总挥发性脂肪酸 TVFA (mmol/L)	61.54±0.97 ^b	63.08±2.10 ^{ab}	64.87±1.10 ^a

2.3.4 异位酸对围产期奶牛产奶量和乳成分的影响

由表 2-5 可知, 在产后 10d 和 21d, I 组和 II 组产奶量和乳脂率均显著高于对照组 ($P<0.05$), 但 I 组和 II 组产奶量和乳脂率均无显著性差异 ($P>0.05$)。

表 2-5 异位酸对围产期奶牛产奶量和乳成分的影响

Table 2-5 Effects of isoacids on milk yield and milk composition in perinatal cows

项目	时间	对照组	I 组	II 组
Items	Time	Control group	Group I	Group II
产奶量	产后 10d	30.62±1.07 ^b	32.02±0.88 ^a	32.73±0.94 ^a
Milk yield (kg/d)	产后 21d	32.58±0.82 ^b	34.52±0.99 ^a	35.41±0.85 ^a
乳脂率	产后 10d	3.67±0.13 ^b	3.86±0.16 ^a	3.89±0.11 ^a
Milk fat (%)	产后 21d	3.78±0.12 ^b	4.01±0.22 ^a	4.03±0.14 ^a
乳蛋白率	产后 10d	3.06±0.11	3.14±0.16	3.11±0.05
Milk protein rate (%)	产后 21d	3.13±0.11	3.21±0.08	3.23±0.11
乳糖率	产后 10d	4.80±0.09	4.83±0.10	4.78±0.10
Milk lactose (%)	产后 21d	4.86±0.08	4.95±0.12	4.99±0.12
总固形物	产后 10d	13.41±1.46	13.54±0.76	14.06±0.95
Total solids (%)	产后 21d	13.73±1.29	14.37±1.11	14.87±1.46
尿素氮	产后 10d	13.98±0.48	13.45±0.76	13.87±0.50
MUN (mg/dL)	产后 21d	15.46±0.59	14.90±0.56	15.03±0.59

2.4 讨论

2.4.1 异位酸对围产期奶牛 DMI 和表观消化率的影响

异位酸有特殊气味，能刺激奶牛味蕾增强食欲、提高采食量、对饲料中纤维的消化率有促进作用。在 Soofi 等^[86]的研究中发现，异位酸可增加豆秆在体外干物质消失率。Papass 等^[70]将异丁酸、异戊酸、2-甲基丁酸及戊酸加入到 65%的干草日粮中，发现异位酸提高了奶牛对半纤维素及中性洗涤可溶物的消化性能。高爱琴^[87]的研究发现，异丁酸和异戊酸对饲料干物质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的消化率均有一定的促进作用。李红玉^[88]研究表明，日粮中添加 0.04g/kg^{DM}的异丁酸能显著提高玉米秸秆 DM、有机物、ADF 和 NDF 的降解率。在本试验中，异位酸组均能显著提高饲料中 DM、ADF 和 NDF 表观消化率，与前人研究结果相似，但本研究中 CP 表观消化率也显著升高，可能原因是异位酸组瘤胃中 NH₃-N 浓度显著降低，促进了机体对氨氮的利用率，使瘤胃内

环境中 MCP 生成量增加, 从而提高了机体营养物质蛋白利用率。

2.4.2 异位酸对围产期奶牛瘤胃发酵参数的影响

瘤胃是一个复杂厌氧发酵的环境, 微生物种类繁多。瘤胃发酵参数的基本指标主要包括 pH 值、MCP、NH₃-N 和 VFA, 通过这些指标可以综合反映瘤胃发酵情况。瘤胃中 pH 值的数值基本上是固定的, 瘤胃液正常的 pH 值一般维持在 5.5-7.5 之间, 一般不会出现大幅度变化, 偏酸或偏碱都不利于微生物的生长繁殖。若出现 pH 值过低, 会导致奶牛出现瘤胃酸中毒、消化率降低、采食量下降等不良影响。在本试验中, I、II 组与对照组的 pH 值无明显差异, 说明瘤胃发酵环境不会因为添加异位酸而改变, 对微生物生长繁殖的环境无明显影响, 与前人研究结果一致^[89]。

饲草中的氮素在瘤胃内被分解为 NH₃-N, 反映出饲草蛋白质的降解率和微生物对氨氮的利用率。NH₃-N 浓度可以反映出机体利用蛋白质的能力, 其浓度降低, 氨氮转化率变高, 适宜的浓度能确保瘤胃中微生物的正常生长繁殖, 利于 MCP 的合成^[90]。在本试验中, I 组和 II 组瘤胃中的 NH₃-N 浓度均显著低于对照组, I 组和 II 组瘤胃中的 MCP 含量与对照组相比均有显著性差异, 这与 Allison^[91]、姜菲^[56]等研究结果相似。说明日粮中添加异位酸的试验组奶牛机体能进一步促进对氮的利用, 显著降低 NH₃-N 浓度, 增加机体内氮源的沉积, 提高瘤胃内 MCP 的含量^[92, 93]。

VFA 是反刍动物能量的主要来源, 是反映饲料发酵水平的重要指标, 能够供给生命所需 70%~80% 的能量^[94]。照日格图等^[95]分别以苜蓿干草、香叶和玉米秸秆为底物加入异戊酸进行体外批量培养, 发现异戊酸可以提高培养基中乙酸、丙酸、丁酸和 TVFA 的浓度, 以及乙酸/丙酸的浓度。王仁杰^[61]通过体外瘤胃发酵试验发现, 饲料中添加异位酸有利于乙酸、丙酸和 TVFA 的合成, 精料比例越高, 添加异位酸的效果越好。Felix 等^[96]认为, 异位酸可以提高泌乳奶牛瘤胃液中的乙酸浓度。这与本研究结果相似, 异位酸对瘤胃发酵有促进作用, 能提高乙酸、TVFA 含量, 但各试验组间丙酸和丁酸浓度相比无显著性差异。瘤胃中乙酸含量的显著提高会导致瘤胃发酵类型趋于乙酸型发酵, 这种发酵类型有利于乳脂的合成, 从而提高奶牛的产奶量和乳中乳脂率。

2.4.3 异位酸对围产期奶牛产奶量和乳成分的影响

牧场的产奶量直接关系到养殖的经济效益, 还影响着整个奶产业制品的发展。产奶量的高低也成为评定泌乳奶牛价值高低的主要因素, 但奶牛的泌乳性能受许多其他因素影响, 如品种、年龄、个体大小、遗传等因素影响。随着抗生素的禁止使用以及疾病的频发, 越来越多的研究者在探寻无害、无残留、安全的可替代抗生素的饲料添加剂。异位酸可以增强反刍动物在瘤胃中的纤维分解, 促进采食量, 进而提高饲料的利用率, 使

饲料中有更多的能量被用来泌乳。国内学者也很早就进行过有关异位酸对泌乳奶牛产奶量影响的探讨。龙际飞^[57]采用配对试验设计以 51g/d 异位酸的荷斯坦奶牛 (n=40) 为对象, 对其泌乳性能进行相关研究, 对产奶量及乳成分进行检测, 发现异位酸使每头母牛的产奶量增加了 1.45 公斤。王振权等^[69]研究表明, 泌乳奶牛日粮中添加异位酸可以提高产奶量, 改善乳品质。张平等^[81]通过在荷斯坦奶牛日粮中加入不同水平的异位酸发现, 浓度越高的异位酸组可显著提高产奶量、乳脂率和乳蛋白率。这与本研究结果相似, 添加异位酸有助于提高产奶量并改善乳品质。本试验结果表明, 在围产期奶牛基础日粮中添加不同浓度的异位酸随着产后泌乳时间的增加, I 组和 II 组产奶量在产后 10d 和 21d 与对照组相比均有显著性差异, 产奶量持续增长。I 组和 II 组乳脂率在产后 10d 和 21d 均与对照组相比均有显著性差异, 乳脂率的提高有利于改善乳品质。异位酸能促进产奶量是因为其有特殊气味可刺激奶牛味蕾来提高食欲, 增进 DMI; 异位酸在瘤胃中被分解吸收, 增加了 VFA 浓度, 促进 MCP 的合成, 增加了氨氮的利用率, 为机体提供更多的能量来进行泌乳程序。

2.5 小结

(1) 在围产期日粮中添加异位酸可以提高奶牛的营养物质表观消化率、瘤胃中 MCP 含量、乙酸和 TVFA 浓度; 可降低瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度。增加奶牛产后 10d 和 21d 的产奶量和乳汁中乳脂率。

(2) 研究表明, 在围产期日粮中添加异位酸可提高奶牛的生产性能, 且对机体无不良影响。异位酸最适添加量为 60mL/d/头。

试验二 异位酸对围产期奶牛血清生化、抗氧化及免疫指标的影响

奶牛围产期定义为从产犊前3周到产犊后3周,在此期间奶牛经历从怀孕到分娩和哺乳、日粮的转变对奶牛的代谢造成了严重影响,会出现NEB、酮症、免疫应激等健康障碍。异位酸可以增加DMI,提高营养成分的消化利用率。异位酸是纤维分解菌的营养素,是瘤胃内环境的重要组成,但瘤胃内异位酸含量微乎其微,从外源添加异位酸能加快瘤胃降解菌的生长繁殖,增强机体对日粮的消化和吸收能力;提高氨基酸的合成;可促进非蛋白氮的利用和瘤胃氨氮的利用率,从而达到增重效果。奶牛在围产期时易因采食不足导致机体营养下降,分娩行为会消耗很大部分能量,机体无法从饲料中获得足够的能量时,机体就会出现NEB状态会引起脂肪动员加剧、氧化应激、免疫抑制等疾病。对围产期奶牛的NEB、酮病、氧化应激、免疫抑制等疾病可进行调控,通过促进采食和对营养物质的摄入来增加机体能量,保持奶牛健康。因此,本部分试验研究日粮中添加不同水平的异位酸对围产期奶牛血清生化、抗氧化及免疫指标的影响,探讨异位酸是否能提高围产期奶牛的抗氧化和免疫能力。

2.6 材料与方法

2.6.1 试验时间与地点

同试验一。

2.6.2 试验动物的选择与试验设计

同试验一。

2.6.3 试验日粮及饲养管理

同试验一。

2.6.4 样品的采集与测定

在产前第10d、分娩当天、产后第10d和产后第21d,于晨饲前经尾静脉采集血样15mL,4000r/min离心10min,使血清和血浆分离,用2mL无菌尖头吸管吸取血清,分装于3个1.5mL的尖底无菌离心管中,做好标记,放于-20℃冰箱储存。

2.6.4.1 血清生化指标

送石河子大学第一附属医院用全自动生化分析仪测定血清中葡萄糖（GLU）、甘油三酯（TG）、总胆固醇（TC）、球蛋白（GLB）、白蛋白（ALB）、尿素氮（UN）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）、低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）、丙氨酸转氨酶（ALT）和天冬氨酸转移酶（AST）含量。

2.6.4.2 血清抗氧化指标

测定奶牛血清中丙二醛（MDA）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、总抗氧化能力（T-AOC）和超氧化物歧化酶（SOD）含量，试剂盒购于北京盒子生工科技有限公司，样品处理和测定按照相关试剂盒说明书进行操作，用全波长酶标仪（美国 Thermo 公司）测定各指标含量。

2.6.4.3 血清免疫指标

血清中 IgG、IgM 和 IgA 含量：由上海酶联生物科技有限公司进行测定各指标含量。

2.7 数据处理与统计分析

同试验一。

2.8 结果与分析

2.8.1 异位酸对围产期奶牛血清生化指标的影响

由表 2-6 可知，分娩当天，II 组 ALB 含量显著高于 I 组和对照组（ $P < 0.05$ ）。在产前 10d，II 组 GLB 含量显著高于对照组（ $P < 0.05$ ），I 组比对照组上升 6.80%。在产后 10d，I 组 GLB 含量显著高于对照组（ $P < 0.05$ ），II 组比对照组上升 12.32%。在产前 10d，I 组和 II 组 UN 含量显著低于对照组（ $P < 0.05$ ）；在产后 21d，II 组 UN 含量显著低于对照组（ $P < 0.05$ ），I 组比对照组低 12.09%。在产后 21d，I 组和 II 组 GLU 含量均显著高于对照组（ $P < 0.05$ ）。分娩当天，I 组 TG 含量显著低于 II 组（ $P < 0.05$ ），与对照组无显著差异（ $P > 0.05$ ）。在产前 10d，I 组 ALT 含量显著高于对照组（ $P < 0.05$ ），II 组较对照组上升 11.42%。

表 2-6 异位酸对围产期奶牛血清生化指标的影响

Table 2-6 Effects of isoacids on serum biochemical indexes in perinatal cows

项目 Items	时间 Time	对照组 Control group	I 组 Group I	II 组 Group II
白蛋白 ALB (g/L)	产前 10d	37.58±1.52	36.84±0.52	36.92±1.11
	分娩当天	37.87±1.07 ^b	36.54±0.76 ^b	39.98±2.10 ^a
	产后 10d	34.50±0.72	36.00±0.92	35.97±0.74
	产后 21d	35.10±0.78	36.45±0.92	35.90±0.99
球蛋白 GLB (g/L)	产前 10d	32.04±2.76 ^b	34.22±0.58 ^{ab}	37.59±1.14 ^a
	分娩当天	26.35±2.53	30.73±3.86	30.60±3.28
	产后 10d	33.92±2.43 ^b	39.47±3.47 ^a	38.10±3.99 ^{ab}
	产后 21d	37.79±3.50	41.24±4.73	39.18±1.39
尿素氮 UN (mmol/L)	产前 10d	6.60±0.21 ^a	6.01±0.33 ^b	5.93±0.08 ^b
	分娩当天	5.24±0.40	4.86±0.26	5.09±0.32
	产后 10d	3.67±0.26	3.24±0.57	3.27±0.27
	产后 21d	4.22±0.62 ^a	3.71±0.30 ^{ab}	3.26±0.42 ^b
血糖 GLU (mmol/L)	产前 10d	3.60±0.10	3.42±0.13	3.50±0.25
	分娩当天	3.75±0.59	3.89±0.71	4.81±0.85
	产后 10d	2.88±0.20	3.04±0.23	2.78±0.15
	产后 21d	2.82±0.18 ^b	3.14±0.33 ^a	3.25±0.23 ^a
甘油三酯 TG (mmol/L)	产前 10d	0.22±0.04	0.21±0.02	0.22±0.05
	分娩当天	0.11±0.01 ^{ab}	0.10±0.01 ^b	0.12±0.01 ^a
	产后 10d	0.10±0.02	0.09±0.02	0.10±0.02
	产后 21d	0.12±0.01	0.10±0.02	0.10±0.01
总胆固醇 TC (mmol/L)	产前 10d	1.53±0.09	1.67±0.28	1.65±0.14
	分娩当天	1.23±0.13	1.48±0.23	1.39±0.17
	产后 10d	1.75±0.56	1.52±0.47	2.19±0.48
	产后 21d	2.84±0.53	3.09±0.63	2.31±0.35

(续表 2-6)

项目	时间	对照组	I 组	II 组
Items	Time	Control group	Group I	Group II
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C (mmol/L)	产前 10d	1.07±0.04	1.19±0.15	1.13±0.10
	分娩当天	0.92±0.12	1.01±0.17	1.06±0.12
	产后 10d	1.16±0.41	1.49±0.24	1.26±0.39
	产后 21d	1.59±0.35	1.95±0.24	1.71±0.29
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C (mmol/L)	产前 10d	0.41±0.04	0.52±0.14	0.54±0.09
	分娩当天	0.38±0.10	0.43±0.18	0.45±0.10
	产后 10d	0.44±0.12	0.53±0.11	0.54±0.18
	产后 21d	0.63±0.14	0.80±0.13	0.78±0.13
丙氨酸转氨酶 ALT (U/L)	产前 10d	19.00±3.63 ^b	23.33±3.72 ^a	21.17±2.79 ^{ab}
	分娩当天	20.17±4.12	21.33±4.08	18.83±3.37
	产后 10d	17.67±3.93	18.83±3.66	16.67±2.73
	产后 21d	18.80±1.30	20.72±3.94	18.40±3.44
天冬氨酸转移酶 AST (U/L)	产前 10d	59.63±2.92	62.83±2.64	60.83±1.68
	分娩当天	75.80±4.38	79.00±6.04	77.13±4.39
	产后 10d	82.75±8.22	81.75±12.18	94.75±14.64
	产后 21d	79.46±6.36	83.50±11.70	83.27±9.91

2.8.2 异位酸对围产期奶牛血清抗氧化指标的影响

由表 2-7 可知, 在产前 10d, I 组 GSH-Px 含量显著高于对照组 ($P<0.05$), II 组与对照组相比提高了 5.98%; 在产后 10d, II 组 GSH-Px 含量显著高于 I 组和对照组 ($P<0.05$), I 组和对照组之间无明显差异, 但 I 组 GSH-Px 含量较对照组上升 10.33%; 在产后 21d, II 组 GSH-Px 含量显著高于对照组 ($P<0.05$), I 组较对照组提高了 12.79%。在分娩当天, I 组和 II 组 MDA 含量均显著低于对照组 ($P<0.05$); 在产后 10d, II 组 MDA 含量显著低于对照组 ($P<0.05$), I 组较对照组降低 11.5%。在分娩当天, I 组 T-AOC 浓度显著高于对照组 ($P<0.05$); 在产后 10d, II 组 T-AOC 浓度显著高于对照组 ($P<0.05$), I 组与对照组相比提高了 5.2%。各试验组间 SOD 含量无显著差异 ($P>0.05$)。

表 2-7 异位酸对围产期奶牛血清抗氧化指标的影响

Table 2-7 Effects of isoacids on serum antioxidant indicators in perinatal cows

项目 Items	时间 Time	对照组 Control group	I 组 Group I	II 组 Group II
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px (ng/mL)	产前 10d	820.33 ± 63.07 ^b	882.04 ± 49.87 ^a	869.01 ± 54.47 ^{ab}
	分娩当天	610.89 ± 59.62	685.73 ± 10.81	683.92 ± 68.34
	产后 10d	697.46 ± 40.29 ^b	769.48 ± 62.50 ^b	862.25 ± 27.93 ^a
	产后 21d	829.11 ± 67.52 ^b	935.51 ± 44.20 ^{ab}	944.20 ± 51.95 ^a
丙二醛 MDA (nmol/mL)	产前 10d	2.94 ± 0.16	2.87 ± 0.12	2.83 ± 0.08
	分娩当天	2.80 ± 0.08 ^a	2.63 ± 0.05 ^b	2.59 ± 0.10 ^b
	产后 10d	2.60 ± 0.14 ^a	2.30 ± 0.20 ^{ab}	2.21 ± 0.21 ^b
	产后 21d	2.71 ± 0.26	2.40 ± 0.19	2.34 ± 0.10
总抗氧化能力 T-AOC (μmol/mL)	产前 10d	85.90 ± 1.05	87.45 ± 2.79	84.94 ± 0.92
	分娩当天	86.07 ± 2.60 ^b	93.75 ± 4.40 ^a	86.85 ± 3.63 ^{ab}
	产后 10d	79.04 ± 2.51 ^b	83.15 ± 6.84 ^{ab}	89.87 ± 1.42 ^a
	产后 21d	87.29 ± 3.01	91.43 ± 4.12	93.65 ± 5.12
超氧化物歧化酶 SOD (U/mL)	产前 10d	133.77 ± 6.08	143.65 ± 12.06	137.46 ± 10.27
	分娩当天	137.87 ± 3.72	147.86 ± 5.78	146.34 ± 7.38
	产后 10d	117.89 ± 11.77	115.46 ± 4.80	122.15 ± 6.99
	产后 21d	130.58 ± 8.26	134.25 ± 8.38	139.32 ± 10.23

2.8.3 异位酸对围产期奶牛血清免疫指标的影响

由表 2-8 可知, 在产后 10d, II 组血清 IgA 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$), I 组比对照组上升 5.44%。在产前 10d, I 组和 II 组血清 IgG 含量均显著高于对照组 ($P < 0.05$);

分娩当天, II组 IgG 含量显著高于对照组 ($P<0.05$), I组比对照组上升 17.65%。分娩当天, II组血清 IgM 含量显著高于 I组和对照组 ($P<0.05$), I组和对照组差异不显著 ($P>0.05$); 在产后 10d, I组 IgM 含量显著高于对照组 ($P<0.05$), II组较对照组上升 2.86%。

表 2-8 异位酸对围产期奶牛血清免疫指标的影响

Table 2-8 Effects of isoacids on serum immune indicators in perinatal cows

项目 Items	时间 Time	对照组 Control group	I 组 Group I	II 组 Group II
免疫球蛋白 A IgA ($\mu\text{g/mL}$)	产前 10d	1185.78 \pm 59.38	1249.07 \pm 61.29	1202.17 \pm 85.76
	分娩当天	1119.12 \pm 67.57	1155.83 \pm 54.46	1202.17 \pm 85.76
	产后 10d	1470.02 \pm 45.51 ^b	1550.19 \pm 22.99 ^{ab}	1562.49 \pm 49.19 ^a
	产后 21d	1461.41 \pm 70.08	1430.49 \pm 43.15	1542.57 \pm 62.83
免疫球蛋白 G IgG (mg/mL)	产前 10d	5.23 \pm 0.51 ^b	6.08 \pm 0.22 ^a	6.08 \pm 0.56 ^a
	分娩当天	3.74 \pm 0.26 ^b	4.40 \pm 0.37 ^{ab}	4.48 \pm 0.46 ^a
	产后 10d	5.29 \pm 0.79	5.75 \pm 0.44	5.26 \pm 0.69
	产后 21d	6.28 \pm 0.56	6.21 \pm 0.63	6.56 \pm 0.44
免疫球蛋白 M IgM ($\mu\text{g/mL}$)	产前 10d	1110.36 \pm 44.83	1143.08 \pm 37.63	1166.77 \pm 27.98
	分娩当天	424.63 \pm 14.02 ^b	426.08 \pm 20.67 ^b	462.05 \pm 15.21 ^a
	产后 10d	1152.53 \pm 12.06 ^b	1216.40 \pm 26.36 ^a	1185.88 \pm 29.02 ^{ab}
	产后 21d	1199.89 \pm 48.48	1227.51 \pm 53.24	1272.18 \pm 48.26

2.9 讨论

2.9.1 异位酸对围产期奶牛血清生化指标的影响

动物机体血清蛋白含量的高低能反映出其对蛋白质的吸收、消化和分解等代谢情况,其含量越高说明机体对饲料的利用率越高,更加促进机体的生长发育。在本试验中, I、II组奶牛的蛋白水平高于对照组, 饲料中添加异位酸能够增加瘤胃微生物对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的

吸收利用,促进机体对非蛋白氮的利用,提高反刍动物体内的氮留存^[97],被瘤胃壁吸收进入血液中,从而合成更多的蛋白质,提高血清蛋白水平。表明异位酸可增加反刍动物对非蛋白氮饲料的利用率^[98]。GLU是机体主要的能源物质,饲料中的能量物质越高,机体GLU含量也会越高,机体糖代谢就越旺盛。异位酸可以提高反刍动物血清GLU浓度^[98-100],这与本实验结果一致。本试验中,添加异位酸可显著提高奶牛产后21d内的血清GLU含量,为机体提供更多的能量来源,利于GLU向体脂的转化,增加脂肪的沉积。血清UN含量与饲料利用率成反比。血液中UN含量减少表明机体对蛋白质利用率升高,从而为其他部位的蛋白质沉积提供足够的氨基酸和其他原料。本试验中,I、II组血清中UN含量在产前10d显著低于对照组,II组在产后21d显著低于对照组。在整个围产期中,添加异位酸组的试验奶牛血清UN含量与对照组相比均下降,但无显著差异。这与李明等^[76]、张斌等^[101]、王仁杰^[80]的研究结果相似。

TG和TC是脂肪代谢的主要生成物,其含量与脂肪代谢程度成反比。I组血清TG含量在分娩当天显著低于II组,可能原因是I组奶牛在分娩当天机体能量供应不足,导致血清TG含量下降。本试验中,各组间TC、HDL-C和LDL-C含量均无明显差异,表明添加异位酸对动物机体无不良影响,机体代谢水平处于正常状态。AST和ALT是反映肝脏功能的重要相关指标^[102],在奶牛产前,肝脏处于代偿状态,肝脏功能受损时,会导致血液中AST和ALT浓度急剧上升。本试验中,I组血清ALT含量在产前10d显著高于对照组,可能原因是I组奶牛肝脏功能受到抑制,肝细胞受损导致线粒体损伤从而引起血清ALT含量显著升高。但总体来说,添加异位酸对围产期奶牛肝脏功能无显著影响。

2.9.2 异位酸对围产期奶牛抗氧化能力的影响

动物机体在正常情况下,氧化与抗氧化机能处于相对平衡状态,当动物受到体内或外界因素导致应激时,机体的这种动态平衡就会破坏,产生大量的自由基。机体为了维持氧化与抗氧化的相对平衡,通过提高相应抗氧化酶的活性从而提高T-AOC含量,清除体内多余的自由基。奶牛处于围产时期时,机体免疫功能急剧下降,围产期奶牛氧化应激的发生可能是由于围产期奶牛ROS产量急剧增加或抗氧化水平降低导致的生理失衡。围产期奶牛在氧化应激下可能导致氧化损伤、代谢紊乱、炎症和其他相关疾病,并危及奶牛的健康和生产性能。张慢^[103]研究表明,围产期奶牛T-AOC含量在夏、秋季节降低,高温高湿环境加剧了围产期奶牛的氧化应激。龙际飞^[57]在奶牛日粮中添加混合异位酸,发现异位酸对热应激有缓解作用,在泌乳奶牛日粮中添加混合异位酸,发现异位酸组奶牛采食量增加,有缓解高温应激的功能。所以异位酸缓解热应激的原因很可能是异位酸提高了反刍动物的抗氧化性能。冯蕾^[104]研究表明热应激会显著降低荷斯坦奶牛

血清中 SOD 和 GSH-Px 含量, 表明奶牛处于热应激情况下会对抗氧化能力产生不利影响。由于本试验是在 7-10 月进行, 夏季高温天气极易造成奶牛出现热应激状态, 此状态下奶牛的抗氧化能力下降严重。本试验结果表明, 异位酸组奶牛在产前 10d、产后 10d 和 21d 与对照组相比, 显著提高 GSH-Px 活性; 异位酸组在分娩当天和产后 10d 较对照组显著提高 T-AOC 含量、显著降低 MDA 浓度。李爱玲和高兰兴^[78]发现 BCAA 能使大鼠体内 MDA 浓度显著下降, 并提高体内 GSH-Px 活性和 SOD 浓度。说明在围产期奶牛日粮中添加异位酸可以显著提高奶牛机体的抗氧化相关因子浓度, 从而提高抗氧化能力, 缓解氧化应激、饲料转变的应激以及热应激。

2.9.3 异位酸对围产期奶牛免疫能力的影响

围产期是奶牛一个重要而又特殊的时期, 在此阶段奶牛的免疫系统变得错综复杂。奶牛处于分娩应激状态下会导致机体血清免疫球蛋白整体水平降低, 影响免疫功能。免疫球蛋白含量在一定程度上可以反映反刍动物的免疫能力, 主要包括 IgG、IgA 和 IgM, 其中 IgG 含量最高^[105]。封丽梅^[106]研究表明 56g/d 戊酸组血清中 IgG、IgA 和 IgM 含量高于对照组, 说明奶牛日粮中添加戊酸能提高机体的免疫功能。本试验结果表明, I 组和 II 组血清 IgG 含量在产前 10d 显著高于对照组, II 组血清 IgG 含量在分娩当天显著高于对照组, 异位酸组在围产后期较对照组有上升趋势; 异位酸组 IgA 含量在围产前期与对照组相比无明显差异, II 组 IgA 含量在产后 10d 与对照组相比显著提高, I 组 IgA 含量在产后 10d 与对照组无明显差异, 但相比之下提高了 5.44%; II 组 IgM 含量在分娩当天显著高于 I 组和对照组, I 组 IgM 含量在产后 10d 显著高于对照组, II 组较对照组提高了 2.86%。在奶牛围产期添加异位酸可以提高机体中血清免疫因子的含量, 可减缓因分娩应激导致的免疫能力下降, 可增强机体的抗病力。

2.10 小结

(1) 在围产期奶牛日粮中添加异位酸可以提高奶牛血清生化指标中 ALB 和 GLB 含量, 提高奶牛产后血液中 GLU 浓度, 降低 UN 浓度。提高血清抗氧化指标中 GSH-Px 活性和 T-AOC 含量, 降低 MDA 浓度。提高血清免疫指标中 IgG 和 IgM 含量。

(2) 研究表明, 在围产期日粮中添加异位酸可提高奶牛的抗氧化和免疫能力。异位酸最适添加量为 60mL/d/头。

第3章 总结与创新点

3.1 总结

(1) 在围产期日粮中添加异位酸可提高奶牛机体对营养物质的消化吸收能力；提高瘤胃中 MCP 含量、乙酸和 TVFA 浓度，降低 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度；能一定程度上提高机体对蛋白质的利用能力和氨氮的利用率；提高产奶量和乳汁中乳脂率。

(2) 在围产期日粮中添加异位酸可提高奶牛血清生化指标中 ALB 和 GLB 含量、奶牛产后血液中 GLU 浓度，降低 UN 浓度；提高奶牛血清抗氧化指标中 GSH-Px 活性和 T-AOC 含量，降低 MDA 浓度；提高奶牛血清免疫指标中 IgG 和 IgM 含量。能一定程度上提高围产期奶牛机体的抗氧化和免疫能力。

(3) 在围产期日粮中添加异位酸可提高奶牛的生产性能、抗氧化及免疫能力。且对奶牛机体无不良影响。综合分析，本试验的最佳试验组为试验 II 组，即异位酸最适添加量为 60mL/d/头。异位酸作为一种营养型添加剂可应用于奶牛生产中。

3.2 创新点

本研究系统探究了在围产期日粮中添加不同水平的异位酸对奶牛生产性能、血清生化、抗氧化及免疫指标的影响，为异位酸添加剂在奶牛高效生产中的应用提供了数据支撑和理论基础。

参考文献

- [1] 马秋月, 孙汝江, 肖发沂. 酸化剂在水产养殖业中的应用进展[J]. 湖北农业科学, 2020,59(09):5-9.
- [2] 苏华维, 曹志军, 李胜利. 围产期奶牛的代谢特点及其营养调控[J]. 中国畜牧杂志, 2011,47(16):44-48.
- [3] 白音塔拉. 不同季节产犊奶牛 305d 产奶量和泌乳曲线的解析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [4] 李星林. 过瘤胃乳酸菌对围产期奶牛生产性能和消化代谢的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- [5] Stephen L. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period[J]. Journal of Reproduction and Development, 2010, 56(S).
- [6] 王亚品, 赵一广, 蒋林树, 等. 围产期奶牛葡萄糖代谢及其失衡的营养调控[J]. 动物营养学报, 2020,32(12):5556-5565.
- [7] Mari H R, Mervi M, Gerhard S, et al. Endometrial expression of progesterone, estrogen, and oxytocin receptors and of 20α -hydroxysteroid dehydrogenase and cyclooxygenase II 2 and 5 days after ovulation in induced short and normal estrous cycles in dairy cows[J]. Theriogenology, 2014, 81(9).
- [8] 左之才. 不同能量水平对围产期奶牛生产性能、血液生化及内分泌因子影响的研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2004.
- [9] 姜明明. 饲养密度和免疫增强剂对围产期奶牛健康指标和生产性能的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [10] H. Z, N. S, W. L, et al. Altered functional and immunophenotypical properties of neutrophilic granulocytes in postpartum cows associated with fatty liver[J]. Theriogenology, 2000, 54(5).
- [11] S. M, F. A L Y, T. R O, et al. Dry period plane of energy: Effects on feed intake, energy balance, milk production, and composition in transition dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(5).
- [12] L. M S, G. M P, M. R D. Enhanced production of bovine tumor necrosis factor- α during the periparturient period[J]. Veterinary Immunology and Immunopathology, 1995, 49(3).
- [13] 李浩东. 甘露寡糖对围产期奶牛生产性能、瘤胃发酵及其初乳免疫的影响[D]. 河北农业大学, 2019.
- [14] Sordillo L M, Raphael W. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders. (Special Issue: Metabolic diseases of dairy

- cattle.][J]. The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice, 2013,29(2).
- [15] Lorraine M S, William R. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders[J]. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 2013, 29(2).
- [16] 殷丽, 康雷, 左福元, 等. 产前体况对围产期奶牛脂肪动员的影响[J]. 动物营养学报, 2019,31(01):70-77.
- [17] Hesam A S, Stephen J L, Ken E L, et al. Metabolic predictors of post-partum disease and culling risk in dairy cattle[J]. The Veterinary Journal, 2010, 188(2).
- [18] G. E C, G. N G, A. G V K, et al. Effects of peripartum propylene glycol supplementation on nitrogen metabolism, body composition, and gene expression for the major protein degradation pathways in skeletal muscle in dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2008, 91(9).
- [19] Doepel L, Lobley G E, Bernier J F, et al. Differences in splanchnic metabolism between late gestation and early lactation dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(7):3233-3243.
- [20] 夏成. 奶牛酮病、脂肪肝糖异生和脂肪动员的神经内分泌调控机制[D]. 吉林大学, 2005.
- [21] 尹衍峰, 焦万明, 付伟, 等. 奶牛酮病的研究进展[J]. 当代畜禽养殖业, 2022(06):49-51.
- [22] T. R, N. C, S. J L, et al. Erratum to “Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk” (J. Dairy Sci. 95:3057 - 3063)[J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(10).
- [23] Fernando S C, Purvis H T, Najjar F Z, et al. Rumen microbial population dynamics during adaptation to a high-grain diet.[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(22).
- [24] Hino T, Shimada K, Maruyama T. Substrate preference in a strain of *Megasphaera elsdenii*, a ruminal bacterium, and its implications in propionate production and growth competition.[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1994, 60(6).
- [25] 刘欣, 张瑞雪, 唐玉林, 等. 奶牛瘤胃微生物对围产期能量负平衡调控的研究进展[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2022(06):50-54.
- [26] P. H H, C. H H, K. J L, et al. Effect of ruminal administration of the lactate-utilizing strain *Megasphaera elsdenii* (Me) NCIMB 41125 on abrupt or gradual transition from forage to concentrate diets[J]. Animal Feed Science and Technology, 2010, 157(1-2).
- [27] 侯真珍. 反刍动物瘤胃酸中毒的病因及综合防治措施探讨[J]. 畜禽业, 2022,33(11):28-30.
- [28] 刘国文, 王哲. 围产期奶牛能量代谢障碍性疾病的研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2004(08):78-79.

- [29] 李澜, 杨佳琦, 刘耀权, 等. 氧化应激与奶牛常见疾病关系研究进展[J]. 动物医学进展, 2022,43(08):98-101.
- [30] Li Y, Ding H Y, Wang X C, et al. An association between the level of oxidative stress and the concentrations of NEFA and BHBA in the plasma of ketotic dairy cows.[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2016, 100(5).
- [31] 郭启勇, 柳国锁, 吴心华. 奶牛围产期能量负平衡的研究进展[J]. 中国奶牛, 2021(11):1-5.
- [32] 王建, 孙鹏, 卜登攀, 等. 围产期奶牛免疫抑制发生原因及其缓解的营养对策[J]. 动物营养学报, 2014,26(12):3579-3586.
- [33] Nonnecke B J, Kimura K, Goff J P, et al. Effects of the mammary gland on functional capacities of blood mononuclear leukocyte populations from periparturient cows.[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(7).
- [34] 管若激, 刘建新. 围生期奶牛易感疾病的原因及常见病患的早期监测[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019,45(05):519-525.
- [35] 刘艳芳, 马健, 马晨, 等. 围产期奶牛免疫功能的调控 [J]. 中国奶牛, 2018(01):39-42.
- [36] 崔志洁. 过瘤胃烟酸和过瘤胃胆碱对围产期奶牛生产性能和肝脏脂质代谢的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [37] 吴剑平, 商军. 高效液相色谱法同时对复合有机酸化剂中 7 种成分的含量测定[J]. 畜牧与饲料科学, 2009,30(09):65-69.
- [38] 梁静, 张文举, 王博. L-苹果酸的生理功能及其在反刍动物生产应用中的研究进展 [J]. 中国畜牧兽医, 2016,43(07):1916-1921.
- [39] 刘佑明, 植石全, 蓝文康, 等. 复合酸化剂对白羽肉鸡生长性能及血液生化指标的影响[J]. 中国家禽, 2019,41(02):24-27.
- [40] 殷继勋. 复合酸化剂对肉鸡生产性能、血清生化指标和肠道发育的影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [41] 牛华锋, 白军, 石小平. 饲喂酸化乳对犊牛生长发育及生产性能的影响[J]. 陕西农业科学, 2020,66(03):52-55.
- [42] P. A F, D. A K, D. K L, et al. Effect of dl -malic acid supplementation on feed intake, methane emissions, and performance of lactating dairy cows at pasture[J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(7).
- [43] C. J S, C. S B, M. P C, et al. Effects of malic acid on microbial efficiency and metabolism in continuous culture of rumen contents and on performance of mid-lactation dairy cows[J]. Animal Feed Science and Technology, 2005, 127(1).
- [44] Q. L, C. W, W. Z Y, et al. Effects of malic acid on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers[J]. Animal, 2009, 3(1).
- [45] 照日格图. 不同品质粗饲料日粮中添加异位酸对奶牛瘤胃发酵、血液指标和生产性能

- 的影响及其机理研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [46] 沈冰蕾, 苗树君, 王长远. 支链脂肪酸对反刍动物消化代谢和生产性能的影响[J]. 草食家畜, 2003(03):50-52.
- [47] 张振威, 王聪, 刘强, 等. 异丁酸对西门塔尔牛增重、日粮养分消化和甲烷排放的影响[J]. 草业学报, 2014,23(01):346-352.
- [48] 王加启, 冯京海, 米军祥, 等. 奶牛异位酸型添加剂的研究和应用[J]. 中国奶牛, 1994(05):21-23.
- [49] 梁婷婷, 佟立涛, 耿栋辉, 等. 大豆蛋白和豌豆蛋白对体外发酵特性及合成微生物蛋白的影响[J]. 中国食品学报, 2019,19(12):44-52.
- [50] 刘可园, 王晓帆, 丁雪, 等. 乳脂奇数和支链脂肪酸含量与瘤胃液挥发性脂肪酸含量的关系[J]. 动物营养学报, 2016,28(01):235-243.
- [51] 张振威, 朱明霞, 王长法. 异位酸影响反刍动物瘤胃代谢和生产性能的研究进展[J]. 动物营养学报, 2022,34(03):1408-1415.
- [52] 苏安伟, 梁明振, 牛金涛, 等. 影响泌乳期高产奶牛产奶量的饲料因素[J]. 河南畜牧兽医, 2005(12):32-33.
- [53] 高月平, 张振威, 王聪, 等. 异戊酸对西门塔尔牛增重、日粮养分消化和甲烷排放的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2013,33(04):284-289.
- [54] 刘晏榕, 刘强, 王聪, 等. 异位酸与叶酸对犊牛生长性能、氮平衡和血液指标的影响[J]. 饲料工业, 2019,40(17):52-55.
- [55] 伍佰鑫, 张翠永, 李晟, 等. 模拟瘤胃对肉牛日粮中适宜蛋白质含量的研究[J]. 中国牛业科学, 2017,43(05):21-24.
- [56] 姜菲, 赖琦, 高彦华, 等. 添加异丁酸、2-甲基丁酸和戊酸对牦牛瘤胃体外发酵参数和养分降解率的影响[J]. 动物营养学报, 2022,34(09):5915-5930.
- [57] 龙际飞. 奶牛异位酸型添加剂的研究[D]. 武汉工业学院, 2008.
- [58] 刘强, 黄应祥, 王聪, 等. 异戊酸对西门塔尔牛瘤胃发酵及尿嘌呤衍生物的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2007(02):155-160.
- [59] 张贵花. 异戊酸对断奶前后犊牛瘤胃发育的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.
- [60] Q. L, C. W, C. X P, et al. Effects of isovalerate supplementation on microbial status and rumen enzyme profile in steers fed on corn stover based diet[J]. Livestock Science, 2014, 161.
- [61] 王仁杰, 薛白, 阎天海, 等. 不同精粗比饲料中添加异位酸对体外瘤胃发酵的影响[J]. 动物营养学报, 2012,24(06):1181-1188.
- [62] 邵广. 不同种类异位酸及水平对奶牛瘤胃发酵的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2009.
- [63] Lee C, Copelin J E, Park T, et al. Effects of diet fermentability and supplementation of 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid and isoacids on milk fat depression: 2. Ruminant

- fermentation, fatty acid, and bacterial community structure[J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 104(2).
- [64] 张雨. 影响奶牛泌乳性能的原因分析及提高措施[J]. *现代畜牧科技*, 2020(04):38-43.
- [65] 李胜利, 黄文明, 张书义, 等. 中国 60 年奶牛营养与饲料研究进展及饲养工艺的改进[J]. *中国奶牛*, 2009(S1):30-42.
- [66] Bernard L, Leroux C, Chilliard Y. Expression and nutritional regulation of lipogenic genes in the ruminant lactating mammary gland.[J]. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2008, 606.
- [67] L. M, B. A C. Transcriptional regulation of lipid synthesis in bovine mammary epithelial cells by sterol regulatory element binding protein-1[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(7).
- [68] 张伟. 奶山羊 FABP3 和 FABP4 基因的多态性与乳脂肪酸成分的关联分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [69] 王振权, 邹隆树, 张善藻, 等. 异位酸饲料添加剂对奶牛产奶的作用[J]. *广西农学院学报*, 1989(03):67-72.
- [70] Papas A M, Ames S R, Cook R M, et al. Production responses of dairy cows fed diets supplemented with ammonium salts of iso C-4 and C-5 acids[J]. *Journal of Dairy Science*, 1984, 67(2).
- [71] Liu Q, Wang C, Huang Y, et al. Effects of isobutyrate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and digestibility in steers[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2008, 62(5).
- [72] Copelin J E, Firkins J L, Socha M T, et al. Effects of diet fermentability and supplementation of 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid and isoacids on milk fat depression: 1. Production, milk fatty acid profile, and nutrient digestibility[J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 104(2).
- [73] 肖杰, 孙攀峰, 李鹏伟, 等. 复合饲料添加剂对荷斯坦奶牛生产性能及血清生化指标的影响[J]. *中国饲料*, 2021(06):50-53.
- [74] Petit H V. Digestion, milk production, milk composition, and blood composition of dairy cows fed whole flaxseed[J]. *Journal of Dairy Science*, 2002, 85(6).
- [75] 方希修, 岳常彦, 刘海霞, 等. 不同尿素水平对青山羊血清尿素氮的影响[J]. *中国草食动物*, 2001(02):10-12.
- [76] 李明, 孙桂荣, 王艳玲, 等. 不同非蛋白氮日粮下异位酸对山羊血液生化指标的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2005(03):270-273.
- [77] Q. L, C. W, W. Z Y, et al. Effects of isobutyrate on rumen fermentation, lactation performance and plasma characteristics in dairy cows[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2009, 154(1-2).
- [78] 李爱玲, 高兰兴. 支链氨基酸对心肌缺血大鼠体内抗氧化系统的影响[J]. *氨基酸和*

- 生物资源, 1998(04):9-12.
- [79] 蒋与刚, 郭长江, 马秀玲, 等. 新型氨基酸制剂对创伤大鼠自由基代谢及免疫功能的影响[J]. 肠外与肠内营养, 2002(04):201-204.
- [80] 王仁杰. 异位酸对南江黄羊体外瘤胃发酵、生产性能及血液指标的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2012.
- [81] 张平, 王聪, 郭刚, 等. 异位酸对泌乳牛产奶性能和饲料消化率的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2019(08):43-46.
- [82] 张丽英. 新饲料成分可通过新方法进行测定[J]. 当代畜禽养殖业, 2007(02):20-21.
- [83] 张晨, 李静, 王云鹏, 等. 全收粪法与不同内源指示剂法测定山羊饲料中养分消化率的比较[J]. 动物营养学报, 2020,32(07):3274-3281.
- [84] 冯宗慈, 高民. 通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J]. 畜牧与饲料科学, 2010,31(1):37.
- [85] Kristensen N B. Quantification of whole blood short-chain fatty acids by gas chromatographic determination of plasma 2-chloroethyl derivatives and correction for dilution space in erythrocytes[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science, 2000, 50(4).
- [86] Soofi R, Fahey G C, Berger L L, et al. Effect of branched chain volatile fatty acids, trypticase, urea, and starch on in vitro dry matter disappearance of soybean stover[J]. Journal of Dairy Science, 1982,65(9).
- [87] 高爱琴. 异戊酸对断奶前后犊牛生长性能、生长轴激素受体 mRNA 表达和血清指标的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.
- [88] 李红玉, 刘强, 黄应祥, 等. 异丁酸对西门塔尔牛瘤胃营养物质降解的影响[J]. 饲料与畜牧, 2006(02):32-34.
- [89] 刘永嘉, 王聪, 刘强, 等. 日粮补充异丁酸对犊牛生长性能、瘤胃发酵和纤维分解菌群的影响[J]. 草业学报, 2019,28(07):151-158.
- [90] 张吉鹏, 李龙瑞, 吴文旋, 等. 稻草补饲苜蓿对山羊瘤胃发酵的组合效应[J]. 草业科学, 2014,31(02):313-320.
- [91] J A M. Biosynthesis of amino acids by ruminal microorganisms[J]. Journal of Animal Science, 1969, 29(5).
- [92] Hume I D. Synthesis of microbial protein in the rumen. II. A response to higher volatile fatty acids[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1970, 21(2).
- [93] A. C K, H. P A. Effect of isocarbon-4 and isocarbon-5 volatile fatty acids on microbial protein synthesis and dry matter digestibility in vitro[J]. Journal of Dairy Science, 1985, 68(10).
- [94] Mertens D R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function[J]. Journal of Animal Science, 1987, 64(5).
- [95] 照日格图, 敖长金, 卢德勋, 等. 奶牛不同品质的粗饲料日粮中添加不同浓度的异

- 戊酸对其培养液 VFA 和 BCP 产量的影响研究[J]. 饲料广角, 2008(17):32-37.
- [96] Felix A, Cook R M, Huber J T. Effect of Feeding Isoacids with Urea on Growth and Nutrient Utilization by Lactating Cows[J]. Journal of Dairy Science, 1980, 63(11).
- [97] Felix A, Cook R M, Huber J T. Effect of feeding isoacids with urea on growth and nutrient utilization by lactating cows[J]. Journal of Dairy Science, 1980, 63(11):1943-1946.
- [98] Felix A, Cook R M, Huber J T. Isoacids and urea as a protein supplement for lactating cows fed corn silage[J]. Journal of Dairy Science, 1980, 63(7).
- [99] Robert M. Cook, 孙安权. 泌乳母牛新营养添加剂—异位酸[J]. 国外畜牧科技, 1986(04):20-22.
- [100] Bird A R. Response of SD on blood glucose to ruminant animal[J]. Nutrition, 1994(2):23-25.
- [101] 张斌, 刘强, 杨文柱, 等. 异丁酸钠对奶牛泌乳性能和血液指标的影响[J]. 饲料工业, 2010,31(07):32-36.
- [102] Putman A K, Brown J L, Gandy J C, et al. Changes in biomarkers of nutrient metabolism, inflammation, and oxidative stress in dairy cows during the transition into the early dry period[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(10).
- [103] 张慢. 四季温热变化对围产期奶牛生理生化指标的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [104] 冯蕾. 热应激对不同阶段荷斯坦奶牛瘤胃微生物区系和血液生理指标的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [105] 史晨迪, 赵晓雅, 田沛知, 等. 羔羊断奶应激期饲喂方式对其生长性能和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2022,34(06):3799-3813.
- [106] 封丽梅. 戊酸对瘤胃上皮细胞基因表达、瘤胃发酵及血液代谢的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2022.

致谢

论文停留在致谢，人生还需继续书写。行文至此，我与石河子大学的故事始于 2021 年秋，终于 2023 年盛夏。在石河子大学动物科技学院求学 2 年，留下的是青春和沉甸甸的收获。即使疫情占据了大半时光，但在这里仍留有許多美好的回忆。在这里，我见过白雪纷飞的三月，体验过有趣、刺激的滑雪。此刻心中感慨万千，无法用只言片语表达。

有师如斯，与有容焉。首先感谢我的论文指导老师张文举教授，您以渊博的知识、认真的态度以及耐心的指导给了我很大的帮助。从论文的选题、开题再到撰写，这其中我有过迷茫、遇到很多不懂的问题，都是您每次给予帮助提出宝贵的修改意见，让我受益匪浅，我的论文才得以如期完成。同时，我还要感谢我的校外导师吴妍妍师姐，谢谢她在我做试验过程中给予我的帮助与指导。山水一程，三生有幸。很幸运能遇见咱实验室的每位师哥师姐、同门们，感谢牛玉杰和孙浩彬师哥，以及王银玲和薛玉洋师姐对我试验的指导与帮助；薛瑞鑫、卫玥、陆玉敏、黑梦琴、马小雪、李源和姜亚鑫同学对我学习和生活上的帮助与关怀，感谢各位老师和同学对我的照顾与包容，感谢你们对我的认可和信任，感谢你们在我最难过和最失落的时候，感谢你们陪我度过最美好的两年研究生时光。在此，祝愿我的老师们、同门们和朋友们平安顺遂、前程似锦。

感谢我的父母对我无微不至的照顾以及无条件的支持。感谢普通的自己一路平凡而又不断前行，我永远相信越努力越幸运。行千里，致广大。


作者简介

龙锐，男，汉族，生于1998年11月，籍贯重庆市。2021年6月毕业于塔里木大学动物科学学院动物医学专业，获农学学士学位。2021年9月起就读于石河子大学动物科技学院畜牧专业攻读农业硕士学位，研究方向为动物营养与饲料科学。

在学期间主要参与的研究项目

新疆生产建设兵团重大科技项目《乳肉牛融合发展绿色养殖技术集成与示范》
(2021AA004)

石河子大学硕士研究生学位论文 导师评阅表

研究生姓名	龙锐	学制	两年
专业	畜牧	研究方向	动物营养与饲料科学
<p>学术评语:</p> <p>本论文试验通过在围产期奶牛基础日粮中添加异位酸,研究异位酸对围产期奶牛生产性能、血清生化、抗氧化及免疫指标的影响,确定最佳添加量。结果表明:围产期奶牛日粮中添加 60mL/d/头的异位酸可提高奶牛的生产性能、抗氧化及免疫能力。该研究为异位酸在奶牛日粮中的应用提供了技术与数据支撑。</p> <p>本文选题对于围产期奶牛养殖生产具有很重要的现实意义。该论文是在对所研究课题的相关知识进行查阅总结之后进行的相关研究,研究目的明确、实施方案合理、方法正确、论文格式规范、结构合理、结果可信。论文达到硕士论文水平。</p> <p style="text-align: right; margin-right: 100px;">指导教师签字: </p> <p style="text-align: right; margin-right: 100px;">2023 年 5 月 5 日</p>			