

密级：

论文编号：

# 中国农业科学院 博士学位论文

代乳粉中添加大豆蛋白对犊牛生长发育的影响

**Effects of Supplementation of Soy Proteins in Milk Replacer on the  
Growth and Development of Calves**

博 士 研 究 生：高艳霞

指导教师：王加启 研究员

申请学位类别：农学博士

专 业：动物营养与饲料科学

研究方向：反刍动物营养

培养单位：中国农业科学院研究生院

中国农业科学院北京畜牧兽医研究所

提交日期 2006 年 11 月

Secrecy:

No.

**Chinese Academy of Agricultural Sciences**  
**Ph.D Dissertation**

**Effects of Supplementation of Soy Proteins in Milk Replacer on  
the Growth and Development of Calves**

Ph.D Candidate: Gao Yanxia

Advisor: Prof. Wang Jiaqi

Major: Animal Nutrition and Feed Sciences

Specialty: Ruminant Nutrition

Chinese Academy of Agricultural Sciences  
December 2006

# 独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国农业科学院或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：

时间：     年     月     日

## 关于论文使用授权的声明

本人完全了解中国农业科学院有关保留、使用学位论文的规定，即：中国农业科学院有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意中国农业科学院可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

**(保密的学位论文在解密后应遵守此协议)**

论文作者签名：

时间：     年     月     日

导师签名：

时间：     年     月     日

## 论文评阅人、答辩委员名单

论文题目	代乳粉中添加大豆蛋白对犊牛生长发育的影响				
论文作者	高艳霞	指导教师	王加启	培养单位	北京畜牧兽医研究所

	姓名	职称职务	导师类别	单位	专业
评阅人	计成	教授	博导	中国农业大学	动物营养
	李建国	教授	硕导	河北农业大学	动物营养
	吴克谦	研究员	硕导	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所	动物营养
答辩主席	侯先志	教授	博导	内蒙古农业大学	动物营养
答辩委员	李发弟	教授	博导	甘肃农业大学	动物营养
	吴克谦	研究员	硕导	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所	动物营养
	李保明	教授	博导	中国农业大学	农业生物环境与能源工程
	季海峰	研究员	硕导	北京市农林科学院畜牧兽医研究所	动物营养
	高秀华	研究员	博导	中国农业科学院饲料科学研究所	动物营养
	赵国琦	教授	硕导	扬州大学	动物营养
答辩时间与地址		2006.12.26 上午 9: 00 地址: 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所反刍动物营养研究室			
记录人员		刘光磊 博士			

# 摘 要

本研究采用三种不同加工处理大豆蛋白产品替代部分乳源性蛋白配合犊牛代乳粉，通过犊牛的体重、平均日增重、粗蛋白和粗脂肪消化率及小肠组织形态结构、主要消化酶活性等进行比较，评价不同加工处理大豆蛋白在犊牛代乳粉中的添加效果。并对效果较好的代乳粉进行后继试验，研究了该组犊牛断奶时瘤胃生长发育情况及在断奶后 2 周内对固体饲料的适应能力，为大豆蛋白在犊牛代乳粉中的应用提供科学试验数据和基础。

第一部分主要研究了不同加工处理大豆蛋白在代乳粉中添加对犊牛断奶前生长和发育的影响。试验用 24 头犊牛采用完全随机试验设计，牛奶（CK 组），全脂大豆粉（MR1）、脱脂大豆粉（MR2）和膨化大豆粉（MR3）为试验处理。试验结果表明：（1）断奶前犊牛代乳粉中添加大豆蛋白影响犊牛的生长，饲喂牛奶、MR1、MR2 和 MR3 的犊牛平均日增重分别为 0.39kg/d、0.26kg/d、0.18kg/d 和 0.26kg/d。添加脱脂大豆粉显著抑制了犊牛早期的生长（ $P<0.05$ ）；犊牛 20~25d 时，MR3 组氮沉积最高为 6.82g/d，极显著的高于 MR1 组（3.43g/d）和 MR2 组（3.16g/d）（ $P<0.01$ ）；40~45 日龄时，MR1 和 MR3 组平均日沉积氮分别为 10.84g/d、10.60g/d，显著高于 MR2 组（6.98g/d）（ $P<0.05$ ）。（2）代乳粉中添加不同加工处理大豆蛋白使小肠中胰蛋白酶、糜蛋白酶的活性降低（ $P<0.05$ ），并对小肠形态结构有不利影响，其中 MR2 组小肠粘膜损伤严重，出现绒毛萎缩和明显的隐窝增生，而添加膨化大豆和全脂大豆粉对犊牛日增重的影响和对照组无差异，对消化酶的活性和肠道形态结构的损伤较轻，能够替代代乳粉中一部分乳源性蛋白。

第二部分研究了代乳粉中添加膨化大豆对犊牛断奶后固体饲料的适应能力。48 只犊牛采用完全随机设计，以饲喂牛奶和代乳粉为处理，限制采食开食料，于 55 日龄突然断奶。研究表明：（1）断奶对犊牛产生了一定的应激，干物质采食量下降，瘤胃内挥发性脂肪酸浓度降低，血液中皮质醇和急性蛋白含量伴随断奶迅速升高（ $P<0.05$ ）。（2）55d 饲喂含有膨化大豆代乳粉犊牛的瘤胃粘膜乳头长、密集、颜色较深，瘤胃壁厚，网胃的蜂窝结构已经形成，而饲喂牛奶组犊牛瘤胃组织颜色较浅、粘膜乳头密度较饲喂代乳粉的稀疏，且网胃的蜂窝结构刚建立雏形。（3）断奶前，犊牛瘤胃中乙酸浓度和对照组犊牛相近（ $P>0.05$ ），而丙酸和丁酸及总挥发性脂肪酸的浓度均比对照组犊牛高（ $P<0.05$ ）。

本研究结果表明：（1）在断奶前犊牛日粮中加入不同加工处理大豆蛋白，均对犊牛的生长性能有一定的影响，降低了小肠胰蛋白酶和糜蛋白酶的活性，并对犊牛的小肠形态结构造成了不同程度的损伤。（2）断奶前，膨化处理大豆粉组犊牛の日增重和全脂大豆粉组相近，显著高于脱脂豆粉组。一定比例的膨化和加热大豆粉替代乳源蛋白饲喂犊牛，对犊牛早期生长性能无显著影响，因此，加热和膨化处理的大豆粉适宜在犊牛代乳粉中添加。（3）断奶前犊牛日粮中加入大豆蛋白在一定的程度上降低了犊牛的生长性能，但同时也促进了犊牛瘤网胃的发育，在断奶中对固体饲料表现出较好的适应性，降低了断奶对犊牛的损伤，加速了犊牛的培育。因此，膨化大豆能够替代一定比例的乳蛋白在代乳粉中添加。

**关键词** 犊牛 代乳粉 大豆蛋白 消化酶 小肠形态结构

## Abstract

Experiments were conducted to study the effects of supplementation of three soy protein (heated full-fat soybean flour, defatted soybean flour and extruded soybean flour) in milk replacers on the growth and development of calves.

The first part was mainly conducted to study the effects of three different processed soy proteins on the growth and development of pre-ruminant calves. 24 Holstein male calves were randomly allotted to four groups randomly. Calves in the 4 treatments were fed milk (CK) or milk replacer supplemented with heated full-fat soybean flour (MR1), defatted soybean flour (MR2) and extruded soybean flour (MR3). After 6w's feeding, 4 calves from each group were slaughtered to collect samples. The results indicated that supplementation of soybean with different processing methods had the negative effects on growth and intestinal morphology of the pre-ruminant calves and decreased the intestinal trypsin and chymotrypsin activities. The average daily weight gain were 0.39kg/d, 0.26kg/d, 0.18kg/d and 0.26kg/d in CK, MR1, MR2 and MR3 group, respectively. The nitrogen retention rate of 20~25d calves with MR3 was 6.82g/d, significantly higher than that in MR1 and MR2(3.43g/d and 3.16g/d, respectively) ( $P < 0.01$ ) ; whereas, 40~45d calves had the higher nitrogen retention rate in MR1 group (10.84g/d) and MR3group (10.60g/d) ,respect to 40~45d calves in MR2 (6.98g/d) ( $P < 0.05$ ) . Intestinal villus were damaged severely in calves fed MR2 supplemented with defatted soy protein, accompanying with villous shrank and recess (C) hyperplasia. The average daily weight gains of calves were similar fed within MR1 and MR3, whereas lower than that of control group fed milk in CK. The results indicated that milk protein in milk replacer could be proportionally replaced by supplementing heated full-fat soybean flour and extruded soybean flour based on the damage to the digestive enzyme activities and the intestinal morphology.

The second part evaluated the adaption ability of calves fed milk replacer after weaning. 48 Holstein male calves were assigned to two treatments randomly fed milk or milk replacer and weaned at 55d of birth abruptly. Starter feed were supplied restricted. The results indicated that : (1) Weaning stress decreased DMI and ruminal volatile fatty acids concentration, but plasma cortiol and acute-protein concentration increased rapidly ( $P < 0.05$ ) at the weaning day. (2) Ruminal mucosa color was darker and papilla length and density were better in calves in MR group than that in CK group. Honeycomb structures of reticulum were founded in 55-day calves in MR group, but it was unobvious in CK group. (3) Ruminal acetate concentrations were similar in both groups ( $P > 0.05$ ) , but the ruminal concentrations of propionic acid , butyric acid and TVFA were significantly higher in 55d calves in all MR group than that in CK group ( $P < 0.05$ )

The results indicated that: (1) Adding different processed soy protein in milk replacer had the negative effects for pre-weaning calves, as for decreased the activities of trypsin and chymotrypsin and induced damage of intestinal morphology. (2) Calves fed with milk replacers containing heated full-fat soy protein and extruded soy protein flour had the similar growth performance, significantly higher than that containing defatted soy protein. Therefore, heated soy protein and extruded soy protein could substitute part of milk protein in milk replacer and had fewer negative effects on the growth performance

of pre-weaning calves. (3) Although adding soy protein had the negative effects on the growth performance of pre-weaning calves, soy protein could enhance the development of pre-stomach and DMI in the weaning period, decrease weaning stress, fasten the calf breed. Thus, extruded soy protein could substitute part of milk protein in milk replacer.

Key word: calf    milk replacer    soy protein    morphology    digestive enzyme

# 目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究目的和意义	1
1.2 国内外研究进展	1
1.2.1 新生犊牛消化系统的发育规律	1
1.2.2 应激对犊牛的影响	5
1.2.3 犊牛代乳粉的研究进展	6
1.3 存在的问题和对策	10
1.4 试验内容与试验方案	10
1.4.1 试验内容	10
1.4.2 试验路线	11
第二章 代乳粉中添加不同加工处理大豆粉对犊牛断奶前生长发育的影响	12
2.1 材料与方法	12
2.1.1 试验动物及饲养管理	12
2.1.2 试验设计	13
2.1.3 样品的采集	14
2.1.4 样品分析方法	15
2.1.5 数据分析和统计	15
2.2 结果	15
2.2.1 饲喂不同加工处理大豆蛋白粉对犊牛生长与健康的影响	15
2.2.2 饲喂不同加工处理大豆蛋白粉对犊牛消化代谢的影响	18
2.2.3 饲喂不同加工处理大豆蛋白粉对犊牛小肠发育的影响	24
2.2.4 经济效益	26
2.3 分析与讨论	26
2.3.1 不同加工处理大豆蛋白对犊牛生长和健康的影响	26
2.3.2 不同加工处理大豆粉对犊牛消化代谢的影响	29
2.3.3 不同加工处理大豆粉对犊牛消化道发育的影响	33
2.3.4 饲喂代乳粉饲养犊牛经济效益分析	34
2.4 小结	35
第三章 饲喂代乳粉犊牛对断奶后固体日粮的适应性研究	36
3.1 材料和方法	36
3.1.1 犊牛的饲养和管理	36
3.1.2 样品的采集和测定	36
3.1.3 试验数据的处理和统计分析	37
3.2 结果与分析	37
3.2.1 犊牛干物质采食量的变化	37



3.2.2 瘤胃发酵参数 .....	38
3.2.3 瘤网胃的发育 .....	38
3.2.4 血液中代谢物浓度的变化 .....	41
3.2.5 血浆中胰岛素和皮质醇和急性蛋白含量的变化 .....	41
3.2.6 血清免疫球蛋白含量的变化 .....	42
3.3 分析与讨论 .....	42
3.3.1 采食量的变化 .....	42
3.3.2 瘤胃形态结构和功能的发育 .....	42
3.3.3 瘤胃内环境参数的变化 .....	43
3.3.4 犍牛血液中应激敏感激素含量的变化 .....	44
3.3.5 犍牛血液中代谢物浓度的变化 .....	45
3.4 小结 .....	46
第四章 总体结论、创新点及有待进一步研究的问题 .....	47
4.1 本研究总体结论 .....	47
4.2 本研究创新点 .....	47
4.3 有待进一步研究的问题 .....	47
附录 小肠组织结构切片 .....	48
参考文献 .....	51
致 谢 .....	62
作者简历 .....	63

# 表 目 录

表 1-1	牛胃各室组织重所占的百分率 (%)	2
表 1-2	反刍前犊牛对各种脂肪和脂肪酸的消化率 (%)	7
表 2-1	代乳品组成和养分含量	13
表 2-2	犊牛体重的生长	16
表 2-3	犊牛日增重的比较	17
表 2-4	试验犊牛体尺的变化 (cm)	17
表 2-5	犊牛腹泻指数	18
表 2-6	不同日粮犊牛对不同处理大豆粉代乳品养分的消化率	18
表 2-7	20~25 日龄犊牛饲喂不同代乳粉氮平衡状况	19
表 2-8	40~45 日龄犊牛饲喂不同代乳粉氮平衡状况	20
表 2-9	犊牛血液生化指标	21
表 2-10	犊牛血清免疫球蛋白浓度	23
表 2-11	小肠各段消化酶活性的变化	24
表 2-12	犊牛的小肠组织形态结构	25
表 2-13	经济效益	26
表 3-1	干物质采食量	37
表 3-2	挥发性脂肪酸	38
表 3-3	血液中代谢物浓度	41
表 3-4	血浆中胰岛素、皮质醇及急性蛋白含量	41
表 3-5	血清中免疫球蛋白含量	42

# 图目录

图 1-1	本论文研究技术路线.....	11
图 2-1	犊牛体重的增长.....	16
图 2-2	犊牛日增重的变化.....	16
图 2-3	干物质、粗脂肪和粗蛋白表观消化率.....	19
图 2-4	犊牛血液生化指标的变化趋势.....	22
图 3-1	采食量的变化.....	37
图 3-2	瘤胃挥发性脂肪酸变化趋势.....	39
图 3-3	犊牛网胃的比较（55 日龄） .....	39
图 3-4	犊牛瘤胃的比较（55 日龄） .....	40
图 3-5	瘤胃组织切片.....	40

# 缩略语

英文缩写	英文全称	中文名称
ADF	Acid Detergent Fibre	酸性洗涤纤维
ADG	Average daily weight gain	平均日增重
Alb	Albumin	白蛋白
BW	Body Weight	体重
CP	Crude Protein	粗蛋白
DM	Dry matter	干物质
DMI	Dry Matter Intake	干物质摄入量
GLU	Glucose	葡萄糖
Lys	Lysine	赖氨酸
Met	Methonine	蛋氨酸
MR	Milk replacer	代乳品
NRC	National Research Council	美国国家研究委员会
BUN	blood urea nitrogen	血液尿素氮
TFA	Total fatty acid	总脂肪酸
TG	Triglycerin	甘油三酯
TP	Total protein	总蛋白
TVFA	Total Volatility Fat Acids	总挥发性脂肪酸
VFA	Valiate fatty acid	挥发性脂肪酸

## 第一章 绪论

### 1.1 研究目的和意义

随着农业结构的调整,奶业正成为我国畜牧业中发展最快的产业之一。加强犊牛的培育是奶业持续健康发展的重点之一。

犊牛出生后 2-3 周瘤胃功能尚未建立,其消化和代谢与非反刍动物在许多方面相似,以牛乳这种营养完全的液体为食物维持初生犊牛的生长,犊牛从出生到断奶采食干饲料,需要经历液体饲喂、液体-固体过渡阶段和反刍阶段三种不同的生理消化过程(Davis, 1981),由最初从牛奶获得营养到瘤胃功能的建立、微生物的发酵过程,经历了巨大的生理和代谢转变(Toullec, 1989),此时犊牛的消化系统尚未发育完全,是关键时期,为了保证新生犊牛消化系统的发育和生长,与消化液的分泌和酶的活性有关的发育非常迅速(Davis, 1998; Toullec, 1989),因此,由碳水化合物、蛋白质和脂肪组成的具有高消化率的液体饲料的饲喂成为反刍动物研究的热点。

尤其是疯牛病的爆发后,欧洲等国家也相继制订了一定的措施,2001 年 3 月 1 日我国农业部也发布了《禁止在反刍动物饲料中添加和使用动物性饲料的通知》,这些饲料包括肉骨粉、骨粉、血粉、血浆粉、动物下脚料、动物脂肪、干血浆及其它血液制品、羽毛粉、鱼粉、鸡杂碎粉、蹄粉等。因此,寻找植物源性饲料代替动物性饲料成为近年来反刍动物营养研究的热点之一。

本论文旨在对犊牛早期营养——代乳品替代牛奶饲喂犊牛对其早期的生长发育影响进行研究,采用不同加工处理大豆蛋白配合营养全价的代乳粉进行犊牛饲喂,综合评价三种不同加工处理大豆粉在代乳粉中添加对断奶前犊牛生长发育的影响,及犊牛断奶前饲料中加入植物源性的大豆蛋白对瘤胃发育得影响和对断奶后固体饲料的适应能力。为配制适合犊牛早期生长发育的全价液体饲料原料的开发提供科学理论依据。

### 1.2 国内外研究进展

#### 1.2.1 新生犊牛消化系统的发育规律

反刍动物的消化器官包括消化道与消化腺体。消化道主要包括口腔、瘤胃、网胃、瓣胃,皱胃和肠道。犊牛消化系统的发育始于胚胎的早期。胃的组成(瘤胃、网胃、瓣胃和皱胃),在妊娠的 56 天已具雏形。新生犊牛皱胃在胃室中占有最大的比例,1 日龄时占胃总重量的 56%,并且皱胃具有消化功能,犊牛对营养物质的消化同单胃动物相似,主要靠皱胃和小肠实现对营养物质的消化吸收。随着日龄的增长,犊牛对植物性饲料的采食量逐渐增加,瘤胃、网胃和瓣胃的容积和比例迅速增大,当达到 6~12 月龄时,各胃室的比例组成接近成年反刍动物,皱胃仅占整个胃容积的 8%左右,而瘤胃约占 80%(刘敏雄, 1971)。

##### 1.2.1.1 新生犊牛消化道的发育

##### 1.2.1.1.1 前胃容积与结构的发育

犊牛刚出生时,皱胃是犊牛胃室中最大的胃室,占胃总重的 56%,并且只有皱胃有消化功能,此时犊牛的饲料主要以奶料(液体饲料)为主。随着日龄的增长,犊牛对植物性饲料的采食量逐渐

增加,瘤胃、网胃和瓣胃的容积迅速增大,到 6-12 月龄时,各胃室的容积比例以达到成年反刍动物的水平(刘敏雄, 1971),皱胃占整个胃容积的 8%~11%左右,而瘤胃约占 60%~80%。

表1-1 牛胃各室组织重所占的百分率(%)  
Table1-1 The ratio of tissue weight of bovine stomach

日龄 Age	瘤网胃 reticulo-rumen	瓣胃 omasum	皱胃 abomasum	日龄 Age	瘤网胃 reticulo-rumen	瓣胃 omasum	皱胃 abomasum
1d	34	10	56	74d	66	11	23
14d	40	15	45	100d	70	18	12
28d	55	11	34	成年动物 Adult	64	25	11

#### 1.2.1.1.2 瘤胃乳头的发育

瘤胃乳头是其粘膜上皮的小突起,该突起可增加瘤胃壁吸收营养物质的表面积,一个瘤胃壁上约有 25 万个瘤胃乳头,使粘膜表面积扩大 6~7 倍。用低奶量法饲养的犊牛组瘤胃乳头比高奶量组长 1.23mm,6 月龄时长 8mm,增加了 34 倍。且高奶量组牛的瘤胃乳头为白色,而低奶量组为灰白色。

#### 1.2.1.2 新生犊牛动物消化酶系的发育

##### 1.2.1.2.1 脂酶

犊牛体内的脂酶包括酯酶、胰脂酶、共脂肪酶和磷脂酶,存在于唾液和胰液中。在唾液腺分泌的酯酶的作用下,脂质和脂肪的消化在口腔中开始,这种作用一直持续到皱胃(Edwards-Webb 和 Thompson, 1977, 1978; Toothill 和 Thompson, 1977; Toothill et al., 1976)。皱胃不分泌消化脂肪的酶类(Toothill 等, 1975),在抵达小肠之前,脂肪是容易被消化的,但是,尚未见到有关犊牛对乳脂或其它代用脂肪的消化产生问题的报道。

##### 1.2.1.2.2 碳水化合物酶

乳糖是初乳和常乳中含量较高的营养物质,能够为犊牛早期的生长提供能量。犊牛出生时,在小肠中就存在乳糖酶,对乳糖进行分解,随着犊牛的生长,乳糖酶的活性逐渐降低。麦芽糖酶在犊牛出生时活性较低,不能利用淀粉作为能量来源,出生后消化淀粉的能力发育较早,能够在出生后几周内迅速增加,到 2 周龄时其活性已达很高水平。有研究报道犊牛在生后 1~3 周龄消化淀粉的能力增加了 6 倍,可较好地利用淀粉。犊牛或成年牛的小肠内均没有蔗糖酶活性,在料或奶中添加蔗糖,容易引起腹泻。

##### 1.2.1.2.3 蛋白酶

犊牛在皱胃中凝乳酶和酸分泌作用下使牛奶结成大块并延缓乳蛋白和乳脂肪进入小肠,提高营养物质的消化。但胃蛋白酶的产生较慢,两周龄以后逐步增加,用植物蛋白或微生物蛋白取代乳蛋白进行饲喂,养分排除速度加快,降低消化率。犊牛对酪蛋白消化率为 95%,而对大豆蛋白的消化率较低,约为 70%~90%。凝乳酶能延缓酪蛋白通过皱胃,而对其它来源的蛋白质无凝集作用,因此使用全部或部分蛋白来自植物或鱼蛋白配合的代乳粉饲喂犊牛,可以通过缩短饲喂间隔,增加饲喂次数,提高对营养物质的消化率,满足犊牛的营养需要。

#### 1.2.1.3 影响新生犊牛消化系统发育的因素

新生犊牛消化道形态结构的发育及消化酶的分泌与活性也受到动物的种类、年龄和体重(受

环境的影响)、日粮组成、神经内分泌及其他因素(包括消化道部位、外源酶制剂等)的影响(Stobo 等, 1966a, 1966b)。

#### 1.2.1.3.1 日龄对消化系统发育的影响

随着犊牛年龄的增长对于饲料的采食量逐渐增加, 消化系统中肠道的结构和功能逐渐发育成熟。新生幼畜的肠管占整个消化道的比例和单胃动物的接近, 约 70%~80%, 大大高于成年反刍动物(30%~50%), 随着日龄的增长和日粮的改变, 小肠所占比例逐渐下降, 大肠的比例基本保持不变, 前胃的比例却大大上升。

动物的年龄可影响消化道消化酶的分泌与活性, 有大量研究表明, 小肠胰蛋白酶、糜蛋白酶和淀粉酶活性均随年龄的变化而变化。胰脂肪酶的活性在出生时较低, 随日龄的增大而升高。Huber 等(1968)研究发现, 新生犊牛的胰酶浓度很低, 随日龄的增加, 胰蛋白酶的活性逐渐增加, 1 月龄后基本维持稳定。Gorrill 等(1986)和 Godden (1973)研究表明, 牛胰蛋白酶和糜蛋白酶活性随日龄的增长而增高, 4~5 月龄犊牛的胰腺组织中胰蛋白酶和糜蛋白酶的日分泌量显著高于 2 月龄未断奶犊牛(Godden, 1973; Gorrill 等, 1986)。而在 Ternouth 等(1976)研究的发现哺乳犊牛初生时胰腺胰液中就存在胰蛋白酶与糜蛋白酶, 随年龄增加活性变化不大。寇占英(1999)对犊牛主要消化酶发育规律研究中发现类似的规律, 犊牛小肠内容物中胰蛋白酶和糜蛋白酶在 0~1 日龄较低, 但随日龄的增长变化不大, 到 60 日龄时酶活性显著增高。小肠内容物及粘膜中淀粉酶活性在犊牛刚出生时很低, 随日龄增长显著增高, 7 日龄时, 小肠内容物中淀粉酶活性比刚出生时增长近 4 倍, 60 日龄则达到 40 倍。犊牛小肠内容物的脂肪酶活性在 0~45 日龄变化不大, 而 60 日龄时脂肪酶活性显著增高。李启鹏(2000)对比了初生至 60 日龄哺乳犊牛皱胃蛋白酶的活性变化, 认为初生犊牛皱胃内已存在较高水平的胃蛋白酶和凝乳酶, 至 7 日龄时, 酶的活性达到最大值; 7 日龄后, 凝乳酶的分泌水平逐渐下降, 而胃蛋白酶的分泌量变化不大。

#### 1.2.1.3.2 日粮对消化系统发育的影响

日粮结构、形态和状态对消化系统发育具有一定的影响。据 Roy 报道, 犊牛饲喂液体饲料至 219~270 日龄, 能够保持良好的生长, 但瘤胃的比例较小, 仅占整个胃肠道的 20.1%, 瓣胃占 3.4%, 皱胃占 7.7%, 肠占 68.8%。饲喂液体饲料延缓前胃的发育。此外, 饲喂牛奶的犊牛, 瘤胃乳头的发育和正常成年反刍动物的不同。许多研究也证实随着反刍动物采食固体饲料, 瘤网胃容积逐渐增长, 微生物不断的定植, 液体饲料经食管沟直接到达皱胃, 固体饲料的采食进入瘤胃中, 在不断定植的微生物的发酵下, 分解产生挥发性脂肪酸等营养物质, 促进瘤胃乳头的发育, 有益于功能性瘤胃的形成。挥发性脂肪酸能够促进瘤胃乳头的发育, 尤其是丙酸, 因此, 与饲喂粗饲料相比, 饲喂精饲料更能有效的促进瘤胃的早期发育。犊牛的瘤网胃于 8 周龄前相对生长最快, 大约 12 周龄时所占比例达到成年反刍动物。

日粮种类和各种营养成分含量对消化酶的分泌有重要作用。粗饲料能够促进小肠和大肠的发育, 促进消化酶的分泌。Guilloteau 等(1992)测定了犊牛从 12 周龄到 19 周龄饲喂大豆浓缩蛋白和脱脂乳后胰蛋白酶和糜蛋白酶的活性变化, 发现饲喂大豆浓缩蛋白组牛的胰蛋白酶和糜蛋白酶酶活性较饲喂脱脂乳组显著降低, 脂肪酶活性显著增加(Guilloteau 等, 1992)。在 Ternouth(1974)研究中采用大豆粉代替乳蛋白饲喂犊牛同样产生胰淀粉酶活性降低的结果, 而用鱼蛋白取代乳蛋白提高了脂肪酶分泌。阉牛日粮的淀粉含量由 20%增至 80%, 胰淀粉酶的活力增加 1.5~2.5 倍(Van Hellon 和 Wilson, 1978)。日粮的改变会影响到胰液中酶的活性, 增加碳水化合物和脂肪的采食量

能提高胰液中淀粉酶和脂肪酶的活性(Hulan 和 Bird, 1972)。张英杰(1999)研究了代表不同非结构性碳水化合物含量、蛋白水平和脂肪含量的七种日粮对肉牛胰脏和小肠内容物消化酶活性的影响,结果表明,肉牛小肠内容物和胰脏淀粉酶活性与日粮非结构性碳水化合物含量有关,均表现淀粉酶活性随日粮非结构性碳水化合物含量的增高而增高,当日粮非结构性碳水化合物含量超过 24.68% 时,肉牛小肠内容物和胰脏淀粉酶活性随日粮非结构性碳水化合物含量增加差异不显著( $P<0.05$ )。经回归分析,肉牛小肠各段内容物和胰脏中淀粉酶活性与日粮非结构性碳水化合物含量呈显著性曲线相关。肉牛小肠和胰脏胰蛋白酶和糜蛋白酶活性受日粮类型的影响,其活性随日粮蛋白含量的增加而升高,当日粮蛋白含量超过 11.16%时,肉牛小肠内容物和胰脏中胰蛋白酶和糜蛋白酶活性随日粮粗蛋白含量的增加变化不大( $P>0.05$ )。经回归分析,肉牛小肠内容物和胰脏中胰蛋白酶和糜蛋白酶活性与日粮中的粗蛋白含量呈显著曲线相关。日粮类型可影响肉牛小肠内容物和胰脏脂肪酶活性,其脂肪酶活性随日粮中粗脂肪含量的增高而增强,而且,其活性与日粮中粗脂肪含量呈显著线性相关。

此外,日粮也对营养物质的消化吸收具有影响。据研究报道,犊牛早开始进食固体饲料,对促进前胃的发育有利,微生物对固体饲料发酵产生的挥发性脂肪酸,尤其是丁酸和丙酸能够刺激瘤胃粘膜上皮(即瘤胃乳头)迅速生长(Sander, 1959)。犊牛生长到十三周龄时,前胃的比例已经接近成年牛。

开食料等固体饲料的化学组成和物理形式是非常重要的特性(Warner, 1991)。开食料应该是含有较多易发酵碳水化合物,同时提供足够的可消化纤维,以支持瘤胃发酵的正常进行(Brownlee, 1956; Flatt, 1958; Greenwood, 1997; Williams, 1992),可以提高犊牛平均日增重,增加犊牛的健康状况(Cozzi 等, 2002)。此外,无论是制粒、粉碎还是膨化形式,开食料应该具有一定的粒度对预防发育异常、瘤胃乳头角质化和饲料过细对乳头的影响都是非常重要的(Beharka, 1998; Greenwood, 1997; McGavin, 1976)。未成熟的瘤胃中,碳水化合物可以经微生物的发酵作用产生挥发性脂肪酸,尤其是丁酸对功能性瘤胃上皮组织的发育(Stobo 等, 1966a, 1966b)和促进瘤胃代谢功能的健全起着十分重要的作用(Coverdale 等, 2004; Sander, 1959) (Murdock 和 Wallenius, 1980; Wallenius 和 Murdock, 1977)。瘤网胃大小的改变,瘤胃隐窝代谢活性的改变(Manns 等, 1966),瘤胃内挥发性脂肪酸的浓度(Quigley 等, 1985),瘤胃微生物区系的定植(Bryant 等, 1958; Lengemann 和 Allen, 1959)和微生物氮占皱胃氮的比例(Quigley 等, 1985)等均有赖于干饲料的采食。在这一阶段,瘤胃及其微生物区系还没有发育成熟(Anderson, 1987),纤维素在瘤胃中的消化程度还很有限(Williams, 1992)。因此,长的干草在促进瘤胃功能的发育方面没有精料有效,并且会限制幼龄犊牛的代谢能摄入(Stobo, 1966a)。直到断奶后才能给犊牛饲喂长的干草(Quigley, 1996a; Quigley, 1996b)。

消化系统酶的合成和分泌是受迷走神经和内分泌激素调控的。动物采食可通过神经反射途径产生兴奋,经迷走神经和交感神经调节胰腺的分泌活动,刺激迷走神经可增加胰液的分泌量,刺激交感神经可减少胰液的分泌。Debas 等(1975)报道,切断狗的迷走神经,可使基础分泌下降约 75%。Zabielski 等(1990)研究表明,阻断犊牛的迷走神经可导致胰液分泌量及胰蛋白酶活性显著降低。鹅皮下注射阿托品,阻断副交感神经 M 型胆碱受体,使胰液分泌速率显著下降,胰液中蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活力及单位时间内各种酶的总活性亦下降(艾晓杰等, 1999)。

此外有研究表明,消化液的合成和分泌同时也受到胃肠激素的调控作用。进入十二指肠及空肠的食糜可刺激肠粘膜产生两种激素,促胰液素和促胰酶素(胆囊收缩素)。它们是机体内促进



胰液分泌的主要体液性因素,有些物质可通过对它们的调控作用来影响消化道内源酶的活性,如促胰液素和促胰酶素(胆囊收缩素)均受到生长抑素(SS)的调控。胃食糜的酸性刺激十二指肠及空肠粘膜产生促胰液素,促胰液素通过血液循环到达胰腺,主要作用于胰腺小导管的上皮细胞,促使胰腺分泌大量含碳酸氢钠丰富而含消化酶较少的胰液。而胃食糜的分解产物,如蛋白胨、脂肪酸等,能刺激小肠近端粘膜产生促胰酶素(胆囊收缩素),经由血液传递至胰腺后,促进胰腺腺泡细胞分泌含碳酸氢钠较少,而含消化酶较多的胰液。Pierzynowski 等(1991)研究证实,给犊牛注射胆囊收缩素后,胰液蛋白外流量和胰液中蛋白酶量显著增加。

各种应激和其他因素也会对消化系统产生一定的影响。工厂化养殖要求施行早期断奶。幼畜早期断奶后,从吮食母乳转向采食理化性状、气味味道及营养价值不同的干饲料,由于其消化道消化酶系统尚未发育完善,不能适应这种食物的剧变产生的应激反应,常常引起胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶等消化酶活性的降低并导致消化功能紊乱出现腹泻(Owsley 等, 1986)。此外,在气温过高、断奶等条件下,幼畜体内消化酶的分泌也出现变化。

综上所述,犊牛出生后的一段时间内,消化系统的结构和功能尚处在发育过程中,受到多种因素的影响,在犊牛培育过程中,需要结合犊牛自身的消化生理特点,提供营养物质,增强胃肠道的功能,满足犊牛的营养需要,为犊牛的后期发育提供基础。

## 1.2.2 应激对犊牛的影响

### 1.2.2.1 应激对犊牛消化系统的影响

在对犊牛的断奶研究中发现,采食量是反映动物健康状态的一个重要的指标(McCracken, 1995)。犊牛断奶,伴随饲料形态和饲喂环境、温度及摄食方式等的改变对犊牛造成应激,使采食量降低,犊牛机体用于维持需要的能量增加与采食量的降低之间形成矛盾(Gentry, 1997; Moon, 1997),并伴随有小肠粘膜绒毛膜萎缩现象(McCracken, 1995),影响犊牛断奶后健康情况。

此外,研究表明母仔的隔离、母乳的限量饲喂、饲料形态和环境的变更等都要对犊牛的行为和生理造成应激(Lay, 1998; Lefcourt 和 Elsasser, 1995)。犊牛在断奶时,饲料形式和组成的改变对犊牛造成一定的应激反应主要表现在:暂时性的内分泌反应;胃肠道能量和蛋白质代谢可能会改变;采食和生长速度将会受到影响;消化功能和瘤胃的功能将会降低;动物的免疫系统可能会受到挑战(Loerch, 1999)。Lefcourt 和 Elsasser (1995)报道,对犊牛实行断奶时,母仔分开会造成一定的应激,犊牛外周血液中儿茶酚胺和肾上腺激素的浓度增高。与逐步断奶的肉用犊牛相比,突然断奶犊牛体内嗜中性细胞与淋巴细胞的比值升高(Church, 1999)。

### 1.2.2.2 应激对犊牛内分泌和免疫系统的影响

应激对于犊牛的生存,可能会引起疾病的易感性增强(Eskandari 和 Sternberg, 2002),但是对于应激-免疫系统的活化有重要的作用。在犊牛和母牛分开、饲养环境的改变、饲料形态或思维方式等发生改变时,对犊牛产生一定的应激反应,首先,视丘-垂体-肾上腺轴活化,促使肾上腺皮质分泌类固醇类激素和皮质酮,在犊牛感受到应激时,在短短的几分钟内,皮质酮浓度迅速的升高,并可以持续数小时。类固醇是一种有效的肾上腺糖皮质激素。动物机体从感染状态或组织损伤的恢复阶段,在免疫反应的初期出现免疫抑制效应。其次,引起垂体-肾上腺轴的激活(Minton, 1994),交感神经和肾上腺髓质层释放促肾上腺皮质激素、肾上腺素和去甲肾上腺素,体内的白细

胞携带 $\beta$ -肾上腺受体,此时与肾上腺素或去甲肾上腺素结合。在有关动物的应激机理研究中,有关免疫功能中的神经递质的生理作用的研究报道很少。主要由于他们在血液中微量存在并且半衰期很短、容易受到取样操作的影响(Minton, 1994)。有研究对动物发生应激时,循环系统中嗜中性细胞和淋巴细胞数量的变化,T和B淋巴细胞分化的减弱以及由于体内和体外应激激素的变化造成的白细胞表面的结合位点与大分子抗原的结合能力的改变等情况进行了综述(Burton, 1995; Hickey, 2003)。

#### 1.2.2.3 应激对血液生化的影响

犊牛出现应激,血液中的某些成分会发生一系列的变化,可以作为检测应激的指标(Friend, 1991, 1980; Stevens, 1980)。但有的学者却认为不能过分的依赖于血液组分的变化作为检测应激的指标(Moberg, 1987; Phillips, 1989; Rushen, 1986),不是所有的应激都会导致血液组分的改变。许多研究也采用了行为学的方法,通过观测正常行为与应激造成的不正常的行为的变化对动物遭受的应激进行评定(Kerr, 1987; Le Neindre, 1989; Stevens, 1980; Veissier, 1989b, 1989a)。在Smith (2003)研究中使用行为的变化和嗜中性细胞与淋巴细胞的比例作为检测应激的指标。有研究者对不同方式进行母仔分离下犊牛的行为(Veissier, 1990),血浆敏感蛋白浓度(Phillips, 1989),嗜中性细胞与淋巴细胞的比值(N:L)(Church, 1999)进行了研究发现,母仔分离对犊牛是一种应激反应。应激反应伴随着免疫功能的衰减(Blecha, 1984; Sevi, 2001)和动物对疾病的易感性增加(Burton, 1995)。在MacKenzie等发现突然断奶对犊牛的体液免疫没有影响。但在慢性应激中,细胞免疫(Hickey, 2003)而非体液(Fisher, 1997)免疫能力衰退。Pollock等(1991)的研究也表明,细胞免疫而不是体液免疫系统可以作为5月龄内犊牛处于生理应激状态的指示指标(Pollock, 1991)。目前,在研究牛应激的模型中,大多采用肾上腺激素作为指示指标。也有研究发现犊牛血浆皮质醇浓度和嗜中性细胞与淋巴细胞比值降低,白细胞的浓度、体外测定干扰素对促细胞分裂素及关键血清蛋白的影响,在断奶应激时出现极显著的变化(Hickey等, 2003)。

### 1.2.3 犊牛代乳粉的研究进展

新生犊牛对能量和蛋白质的质量要求较高,因此,可选用能量含量较高的玉米粉、油脂和葡萄糖等作为能量来源。选用豆粉、鱼粉、酵母粉和脱脂奶粉等作为蛋白质来源。同时犊牛对维生素、微量元素、氨基酸也有一定需求,在国内的代乳品产品中常按照犊牛营养标准添加。为了预防拉稀,在代乳品中添加杆菌肽锌和瘤胃素等抗生素与益生素等物质。

#### 1.2.3.1 代乳品中的能量来源

除了牛奶之外,奶酪的生产可以为幼龄犊牛提供乳糖、碳水化合物。由于以新生犊牛体内缺少一定的消化酶,不能利用淀粉、一些糖类(如蔗糖和食用糖)和一些来源的脂肪。但犊牛可以消化饱和脂肪,如乳脂,椰子脂肪,猪油和牛脂,而对不饱和脂肪如玉米油和大豆油的消化能力很低。因此,代乳粉中犊牛能量的主要来源是乳糖和容易消化的脂肪。犊牛的代谢速度,能量利用速度,在出生后两周内至关重要。寒冷的天气和其它环境因素带来的应激增加犊牛对能量的需求。

表1-2 反刍前犊牛对各种脂肪和脂肪酸的消化率 (%)  
Table1-2 The digestibility of fats and fatty acids for preruminant calves

脂肪酸 Fatty acid	乳脂 Milk fat	牛油 Tallow oil	花生油 Peanut oil	椰油 Coconut oil	棕榈油 Palm oil	猪油 Lard oil
<C10:0	100.0	-	-	100.0	-	-
C10:0	100.0	--	-	99.1	-	-
C12:0	98.9	-	-	97.1	-	-
C14:0	97.7	94.0	-	93.8	93.2	97.6
C16:0	96.0	85.9	89.7	90.8	91.8	95.2
C18:0	95.6	81.4	81.3	85.3	89.4	90.6
C18:1	98.8	97.0	95.7	96.0	98.6	98.2
C18:2	100.0	100.0	97.9	98.5	99.6	99.4
C20:0	-	-	81.7	-	-	-
C20:1	-	-	87.9	-	-	-
C22:0	-	--	85.1	-	-	-
C24:0	-	-	67.1	-	-	-
总脂肪酸 TFA	97.5	90.3	93.4	95.5	95.1	96.1

源自: (Toullec 和 Mathieu, 1969)

在出生两周内, 犊牛消化淀粉能力很低, 此后随着淀粉酶的分泌增加, 消化能力逐渐增强, 可以适当提高代乳品中淀粉或碳水化合物含量。瘤胃发育和微生物生长状况决定了犊牛消化含有淀粉和碳水化合物复合物的时间, 瘤胃内微生物可以将能量来源转变为微生物蛋白。

### 1.2.3.2 代乳品中的蛋白质

对于犊牛代乳品的研究起始于十九世纪五十年代, 最初利用过剩的奶粉替代牛奶以节约液态乳供零售用。目前商品代乳粉成分包括乳加工副产品, 乳清、乳清蛋白浓缩物、干燥的脱脂乳和酪蛋白。此外蛋白质来源还包括大豆, 小麦和土豆蛋白浓缩物等, 其中的脂肪和蛋白质通常比全乳中低。

脱脂乳和黄油由于价格昂贵, 通常不用于代乳品中。代乳品中蛋白质的主要来源是乳清, 容易被犊牛消化吸收。目前, 代乳粉产品的质量不一, 价格较低的代乳品通常含有植物蛋白, 对犊牛的健康和生产性能的发挥有不良影响。通常在代乳品含有 50%以上的脱脂乳, 蛋白质含量大于 20% (22~24%), 脂肪含量最低为 10%。如果用于小牛肉生产或外界的环境温度过低, 可以增加脂肪的含量。犊牛在 4~6 周断奶, 可以有效的利用植物蛋白。在 4 个月后, 瘤胃发育完全, 瘤胃较大的容量会降低饲料外流的速度, 由于建立了微生物群体, 可以利用非蛋白氮 (例如尿素)。

许多研究者研究了非乳蛋白替代物, 在代乳品中补充全乳蛋白比非乳蛋白的效果好(Dawson, 1988; Otterby, 1981; Seegraber, 1986)。在猪饲料中血浆蛋白已经广泛的应用于代乳品中(Ermer, 1992; Gatnau, 1992; Kats 和 Nelssen, 1992)。一些试验估计蛋白质的含量和来源对新生犊牛具有重要的影响。一般用于饲喂 4~6 周龄断奶牛犊的商品代乳粉, 蛋白水平为 18%~24%, 其中乳蛋白的约占 10%~20%, 其余采用为一种或多种非乳蛋白进行替代。

非乳蛋白质来源包括: 大豆粉, 改性大豆粉, 大豆浓缩蛋白, 大豆分离蛋白, 小麦分离蛋白, 土豆蛋白, 鱼粉, 动物血浆, 血红细胞。此外, 猪和牛的血浆蛋白也可以作为代乳品中蛋白质的来源(Morrill 等, 1995)。

#### 1.2.3.2.1 乳蛋白

十九世纪 60~70 年代世界脱脂乳蛋白过剩, 欧洲和美国政府给用脱脂乳蛋白生产代乳粉的厂家以补贴, 脱脂乳蛋白是犊牛代乳粉的主要乳蛋白, 80 年代中期以后情况有了变化, 世界脱脂乳过剩量减少价格比乳清蛋白浓缩物还高。在美国采用超滤装置除去乳糖和其它可溶物获得乳清蛋白浓缩物用作代乳粉中的主要乳蛋白来源。研究表明, 未引起热变性的乳清蛋白浓缩物完全可替代犊牛代乳品中的脱脂乳蛋白。

#### 1.3.2.2.2 非乳蛋白

动物性和植物性非乳蛋白差异很大。植物蛋白源包括大豆(分离蛋白、浓缩蛋白、大豆粉以及改性大豆粉)、小麦(改性小麦蛋白)、土豆、豌豆和菜豆; 动物蛋白源有血液、血浆、肉和鱼(Ericksoll, 1989; Mir, 1991)。其中有经济价值的主要来自大豆、小麦以及动物血浆。除改性小麦蛋白外, 非乳蛋白源的消化率一般比脱脂乳粉低。

大豆蛋白 大量食用大豆蛋白代替乳蛋白显然是与廉价有关。但大豆中含有许多抗营养因子, 不钝化用于犊牛, 易引起腹泻和生长不良等。大豆中主要的抗营养因子包括胰蛋白酶抑制素、抗原蛋白、大豆球蛋白与  $\beta$ -伴大豆球蛋白(Dawson 等, 1988)。此外, 大豆中酚类化合物对犊牛生长也有不利影响, 并且含有碳水化合物包括木苏糖、蜜三糖和蔗糖。适当加工是降低抗营养因子对犊牛负面影响的关键。在代乳粉中常用的大豆产品包括大豆粉和大豆浓缩蛋白, 大豆粉是脱脂豆片经磨碎的产品, 而豆片在磨碎前或经加热减少抗营养因子, 或经乙醇洗涤除去抗原蛋白(改性大豆粉)。大豆蛋白浓缩物是由脱脂粕用乙醇水除去可溶性碳水化合物后生产的, 而大豆分离蛋白是提取蛋白经酸沉淀, 碱再溶解而生产的, 饲喂全乳蛋白与蛋白的 50%来自大豆浓缩蛋白的代乳粉实验表明, 乳牛性能以平均日增重表示: 在 1~14 天期间, 全乳蛋白组为 0.181kg, 而喂大豆浓缩蛋白的为 0.122kg; 在 1~18 天期间, 相应为 0.372kg 和 0.322kg; 而在 1~142 天期间分别为 0.422kg 和 0.395kg, 这表明, 在前 14 天犊牛很可能要受到非乳蛋白的损害, 犊牛生产性能下降, 究竟是由于抗营养因子干扰代谢功能, 还是由于蛋白质或氨基酸消化率较低之故很难确定。有研究证实随着三种大豆蛋白含量的增加(大豆粉、大豆蛋白浓缩物 SPC 和大豆蛋白分离物)犊牛的增重降低。当 SPC 和 SPI 的含量在蛋白质中占 15%~20%时, 对增重无影响, 超过此水平将会降低增重。

红细胞蛋白是犊牛代乳品中蛋白质的一个重要来源, 可以来自猪血或牛血。红细胞蛋白含有均衡的去氨基酸和高铁, 对犊牛没有抗原性。在犊牛的饲料中可以添加到 5%~15%。

血浆蛋白容易消化, 氨基酸组成比较平衡, 是免疫球蛋白的一个重要来源, 对小肠的发育具有重要的作用, 蛋氨酸的含量差异较大, 需要补充。Jones(1992)报道, 犊牛出生几天内, 饲喂血浆蛋白的犊牛与对照组相比, 体内白细胞的数量降低。在研究中出现了类似的结果, 但是除了白细胞的数量之外, 其它血液组分不受影响, 不能说明饲喂血浆蛋白带来的其它益处(Morrill, 1995)。

鸡蛋蛋白在代乳品中的应用已有好几年, 然而鸡蛋蛋白作为蛋白质的来源不如大豆蛋白应用的广泛。每克大豆蛋白的价格比鸡蛋蛋白低, 由于含有抗营养因子, 在大量添加时容易降低营养物质的吸收, 影响犊牛的生长, 限制了大豆蛋白在代乳粉中的使用。

#### 1.2.3.3 代乳品中维生素的添加

犊牛需要许多种维生素, 包括维生素 K 和维生素 B 族: 硫胺素、核黄素、烟酸、胆碱、生物素、维生素 B6、尼克酸、B12 和泛酸。犊牛具有瘤胃的发酵功能后, 瘤胃微生物可以产生这些维生素。因此, 在瘤胃功能建立前, 需要外源补充这些维生素。此外, 初乳中含有一定的 A、D 和 E, 但这些维生素在出生时缺乏, 需要另外补充, 尤其是全乳或代乳品以及补充谷物饲料饲喂

时, 需要额外补充这些维生素。犊牛的组织可以合成维生素 C, 因此不需要在日粮中添加。

犊牛和其它动物一样需要矿物元素营养。在出生的数周内, 乳和代乳品中需要提供足够数量的矿物元素。初乳和乳中矿物元素的含量很少甚至缺乏, 尤其是在矿物元素缺乏的地区, 需要在犊牛开食料或代乳粉中补充一定水平的矿物元素满足犊牛生长发育的需要。在使用乳制品配合犊牛的代乳品时, 其中的铁、铜、锌、碘、锰和硒的含量较低, 需要在配合饲料时用矿物元素添加补充(Radostits, 1970)。Cunningham 等(1996)发现, 饲喂含有 2460ppm 锰的饲料 84 天, 犊牛的采食量降低, 体重较低。

#### 1.2.3.4 代乳品中抗生素、益生素的添加

在代乳品中添加抗生素能有效的提高犊牛生长速度和饲料转化效率, 并且能够降低犊牛下痢的发病率和严重程度(Davis, 1998; Morrill, 1977; Morrill, 1995)。有研究发现添加抗生素比不添加犊牛的生产性能要高, 尤其是对运输中的犊牛(Morrill, 1977; Tomkins, 1991)。但也有研究表明在代乳品中添加益生菌和抗生素, 犊牛的生产性能和血液组分之间差异不显著(Morrill, 1995)。目前, 土霉素, 四环素和新霉素等在代乳品中广泛添加(Heinrichs, 1995), 主要用于增重和减少呼吸系统疾病的发生。也有在代乳粉中添加沙里菌素和葵氧喹酯, 用于控制犊牛球虫病的发生的报道(Eicher-Pruiett, 1992; Heinrichs, 1990; Hoblet, 1989; Quigley, 1997)。犊牛瘤胃的发育较晚, 开食料的采食随着瘤胃的发育逐渐提高, 因此在犊牛开食料中添加药物时特别注意, 球虫感染时间往往先于开食料采食量达到一定程度所需要的时间(Quigley, 1997), 只有动物具有足够采食量时才能保证获得有效的浓度。总之, 断奶前犊牛自身免疫功能尚未健全对多种病原体都易感, 在饲料中添加一定剂量的抗生素可以对犊牛带来好处, 可以增加增重速度, 增加饲料采食量, 增强嗜菌细胞的效率, 降低腹泻的发生率、犊牛的死亡率和对蛋白质的需求(Morrill, 1977; Morrill, 1995)。Amabile-Cuevas (1995)。相反, 过度的添加抗生素也会增大抗生素控制细菌性疾病的有效性。目前为止, 代乳品中添加抗生素仍不能有效的控制原虫和滤过性毒菌引起的腹泻(Olson, 1998)。

益生菌通常认为是“在饲料中添加的一种活的微生物, 通过加强寄主的肠道微生物平衡起重要的作用”(Fuller, 1989)。为了减少抗生素在动物饲料中的应用, 许多绿色添加剂开始在代乳品中添加, 其中包括益生菌, 大蒜素和寡糖等。在断奶前犊牛的代乳品中添加双歧杆菌属和嗜酸性乳酸杆菌, 体增重增加, 腹泻的发生率降低(Abe, 1995)。在代乳粉中添加细菌类活菌制剂产品, 能够增进犊牛健康和提高生产性能(Abe, 1995; Cruywagen 等, 1996; Higginbotham, 1993; Jenny, 1991; Morrill, 1995)。并且在犊牛开食料中添加真菌培养物或酵母培养物也取得了良好的效果。

#### 1.2.3.5 水和电解质的平衡

水占犊牛体重的 70%~75%, 对营养物质的吸收有重要作用, 通常被忽视。除了随代乳粉摄入水外, 给犊牛提供新鲜饮水对其获得最佳生长速度和保证干饲料的采食是完全必要的(Kertz, 1984; Leaver, 1972)。此外, 水还作为营养物质的溶剂, 作为体液调节剂和渗透压调节剂发挥重要作用(Davis, 1998)。反刍功能建立前, 犊牛容易发生消化道代谢紊乱, 体内水平衡尤为重要, 尤其是发生腹泻时, 犊牛失水达到体重的 10%~12%时, 会带走大量的电解质, 包括钾、钠、氯(Lewis, 1978; Phillips, 1985)。大多数与腹泻相关的死亡都是由于水和电解质损失造成的, 而不是直接由传染源引起的(Booth, 1987)。在由腹泻引起的死亡中, 电解质紊乱比脱水本身的影响更重要(Walker, 1998)。

#### 1.2.3.6 其它活性物质的补充

初乳中含有许多的生物活性物质如免疫球蛋白、乳铁蛋白等(Joslin 等, 2002), 对犊牛的健康和生长起重要的作用。在出生后的 0~48h 内, 大分子物质可以经过小肠腔进入血液中, 这一具有穿透能力的时间很短(Smith, 1957), 随后这种能力迅速的降低。

### 1.3 存在的问题和对策

犊牛早期断奶是指哺乳期用 30~50 天, 其喂奶量(鲜奶)在 90~150kg (或相当同样奶的干物质质量的人工乳) 范围内。犊牛的平均日增重 (ADG) 与开食料的食入量呈高度的正相关, 采食开食料的数量对犊牛从出生到 6 周龄的生长性能产生重要的影响(Lammers, 1998)。由于牛奶用于商品销售价格较高, 犊牛牛奶的采食量显著的降低, 影响了犊牛初期的生长性能和后继生产性能的发挥, 因此开发研制代乳品, 营养全面、容易消化吸收的代乳饲料代替部分牛奶喂犊牛, 既可促进前胃发育, 又能节约大量犊牛用奶, 降低饲养成本。

目前, 在美国大多数奶牛场都使用代乳品(Heinrichs, 1995)。而国内脱脂奶粉逐年上升及低温超滤技术的发展使脱脂奶粉几乎完全被乳清粉替代(Dawson, 1988)。全乳蛋白代乳粉含有乳清浓缩蛋白, 干乳清和脱乳糖乳清等蛋白源。此外有许多代乳粉配方其中部分乳蛋白 (50%) 由价格便宜的原料替代, 这些原料包括大豆浓缩蛋白, 大豆蛋白提取物, 动物血浆或全血蛋白、鸡蛋的蛋黄和小麦面筋粉(Dawson, 1988)。对代乳品价格影响最大的是蛋白质, 因此寻找植物源性蛋白组分替代乳源性蛋白组分的研究成为了近年来研究的热点之一。

大豆蛋白是在饲料中应用最广的蛋白组分之一, 其氨基酸组成较为合理, 广泛用于多种饲料配方中。但其含有多种抗营养因子, 不同的加工处理方式对抗营养因子的消除和钝化效果不一, 目前市场上常见的不同加工处理的大豆粉能否在代乳粉中进行添加, 添加效果如何, 对肠道组织结构的影响如何, 是否会影响犊牛前胃的发育, 对后继生产性能具有影响等的研究报道较少, 因此本试验采用三种价格较低, 使用广泛的大豆蛋白产品——全脂大豆粉, 有机溶剂脱脂大豆粉和膨化大豆粉, 作为植物源性蛋白组分, 替代代乳粉中乳源性蛋白组分, 观察犊牛消化酶的分泌及胃肠道发育情况, 并对犊牛的发育状况和饲喂牛奶组进行比较, 在断奶后 2w 内, 两组犊牛对固体饲料的适应能力进行研究。

### 1.4 试验内容与试验方案

#### 1.4.1 试验内容

通过使用三种不同加工处理的大豆蛋白粉 (全脂大豆蛋白粉、有机溶剂脱脂蛋白粉、膨化大豆粉) 替代一定比例的乳源性蛋白组分, 对出生后 10d 的犊牛进行饲喂, 通过犊牛的生长发育、健康状况, 对营养物质的消化率以及消化系统的发育等有关方面对代乳品替代牛奶效果进行评价; 并以常规犊牛培育方式作为对照, 观察早期饲喂代乳品对犊牛饲料形态变更的适应能力, 通过瘤胃发酵及对固体饲料的适应能力等指标综合评价饲喂代乳粉对瘤胃发育的促进作用。

第一部分 不同加工处理大豆蛋白粉配合代乳粉替代牛奶饲喂犊牛对犊牛生长发育及免疫功能的影响进行比较, 优化代乳粉配方;

第二部分 以饲喂效果好的代乳粉为营养来源, 替代牛奶饲喂犊牛, 在 55d 进行断奶, 饲喂

TMR 日粮，观测饲喂代乳粉对犊牛瘤胃生长发育的影响，对饲料形态变更的适应能力。

1.4.2 试验路线

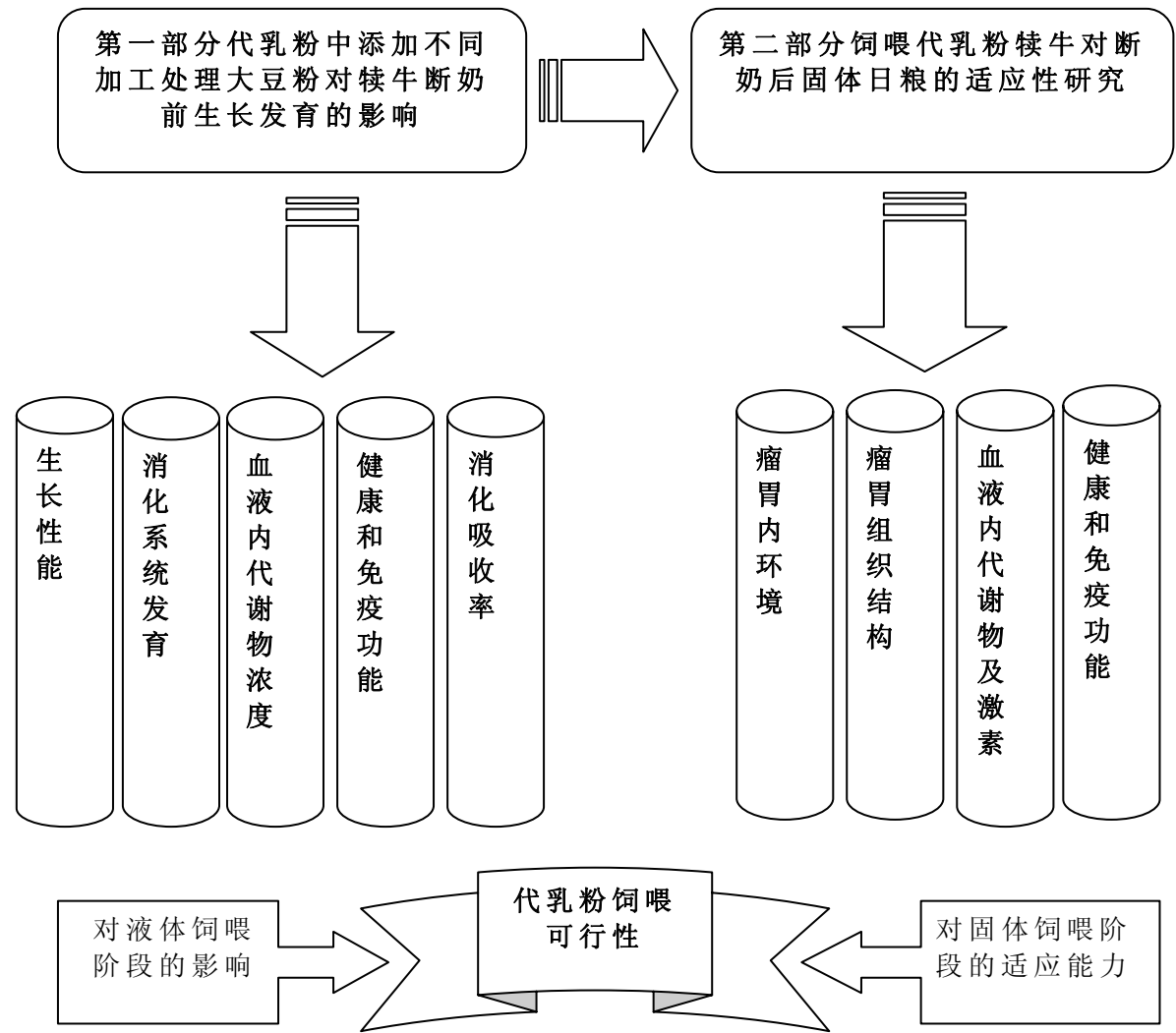


图1-1 本论文研究技术路线

## 第二章 代乳粉中添加不同加工处理大豆粉对犊牛断奶前生长发育的影响

在现代化奶牛生产过程中，为了降低疾病的传播，加速犊牛的早期培育工作，不少规模牧场为了降低犊牛培育费用，减少牛奶的饲喂量，限制了犊牛的早期生长发育，影响了后继生产性能的发挥。本试验采用代乳粉代替牛奶饲喂犊牛，研究代乳粉对犊牛的生长发育和健康状况的影响，为犊牛养分需要研究提供消化生理学基础。

大豆蛋白因其蛋白含量高，氨基酸组成合理，来源广价格低成为现代配方代乳粉主要的蛋白来源，其在代乳粉中应用地位也是不可替代的(Abdelgadir 和 Morrill, 1995; Akinyele 和 Harshbarger, 1983; Aschaffenburg 等, 1953; Dawson 等, 1988)。但大豆蛋白等植物蛋白含有多种抗营养因子如抗原蛋白、胰蛋白酶抑制因子等(Lalles 等, 1996a)，这些物质不但降低营养物质的消化，而且对消化道有一定的损伤。有研究表明代乳粉中添加大豆粉对犊牛产生肠道过敏反应，并降低生产性能(Drackley 等, 2006; Seegraber, 1986; Sissons 等, 1982)，可能与大豆中含有的多种抗营养因子有关，主要是大豆蛋白，尤其是大豆球蛋白和 $\beta$ -球蛋白(Sissons 等, 1982)及胰蛋白酶抑制剂、植物凝集素(Liener, 1994)、芬芳类复合物等(Gardner 等, 1990b)。对大豆进行不同方式的加工处理可以钝化或消除其中的抗营养因子。Gardner 等认为大豆和其他饲料中存在的芬芳类复合物是影响其采食性能的重要因素，通过有机溶剂浸提可以减少这些物质的含量，乙醇浸提的效果优于正己烷(Gardner 等, 1990b)。也有研究表明，在合适的温度下使用乙醇对大豆粉进行脱脂，能够钝化其中蛋白抗原的活性(Guilloteau 等, 1986)，并且胰蛋白酶和植物凝集素的活性可以通过加热的方式降低。因此，本研究选择三种不同加工处理方式的大豆蛋白代替部分的乳蛋白配合代乳粉对犊牛生长发育的影响。

### 2.1 材料与方法

#### 2.1.1 试验动物及饲养管理

对预产期接近的奶牛进行统一的饲养管理，选择新生犊牛 24 只，随机分成 4 组，每组 6 只，采用单笼饲养。犊牛出生后 2h 内饲喂初乳，连续饲喂 3 天，每日饲喂初乳三次，每次初乳饲喂量为犊牛出生体重的 4.5%。犊牛 7 日龄开始更换代乳粉，预试期 1 周，正试期为 6 周。试验期内犊牛牛舍每日清晨清扫一次，每周消毒一次。试验结束时，犊牛进行屠宰，测定犊牛胃肠道和内脏器官的发育情况。

日粮的供给：对照组牛奶的饲喂量为犊牛体重的 12%。试验组犊牛代乳粉饲喂量(干物质基础)均为犊牛体重的 1.25%。代乳粉的饲喂方法：将代乳粉用 70℃ 左右的水溶解，调整比例约为 1:7(代乳品:水)混匀，温度在 38℃ 左右时饲喂给犊牛。每日饲喂三次，分别在 8:00, 15:00 和 21:00。自 3 日龄开始，自由饮水。7 日龄开始，补充开食料，4 周龄开始补充羊草和苜蓿干草。



表2-1 代乳品组成和养分含量  
Table2-1 The composition and nutritive content of milk replacers

项目 Item	MR1	MR2	MR3
全脂奶粉,% Milk powder	21.50	20.30	23.50
乳清粉(低蛋白),% Whey (low protein)	33.00	34.90	28.30
浓缩蛋白,% Concentrate protein	7.80	7.80	8.20
全脂大豆粉,% Full fat soybean flour	30.30		
膨化大豆,% Expanded soybean			30.90
脱脂豆粉,% Defatted soy flour		22.60	
脂肪,% fat	5.00	11.00	5.80
1%预混料,% premix	1.00	1.00	1.00
磷酸氢钙,% Calcium phosphate dibasic	0.40	1.90	1.80
石粉,% Calcium carbonate	0.90	0.40	0.40
胆碱,% choline	0.10	0.10	0.10
合计,% sum	100.00	100.00	100.00
养分含量 Nutritive content			
干物质,% DM	95.89	95.57	95.11
粗蛋白, %DM CP	22.60	22.64	22.56
脂肪, %DM Fat	20.20	20.18	19.54
消化能, Mcal/kgDM DE,	4.038	3.683	3.83

注: 1%预混料中微量元素和维生素含量: 维生素A>200万 IU/kg; 维生素D>40万 IU/kg; 维生素E>10g/kg; Mn, 6000ppm; Zn, 6000 ppm; Cu, 1500 ppm; Fe, 15000 ppm; Se, 45 ppm; I, 75 ppm; Mg, 105 ppm; Co, 16.5 ppm; B1, 975 ppm; 核黄素, 975 ppm; 吡多醇, 975 ppm; 泛酸, 1950 ppm; 尼克酸, 2000 ppm; 生物素, 15 ppm; 叶酸, 75 ppm; VK3, 150 ppm 钴胺素, 10.5 ppm; 新霉素, 20000 ppm; 土霉素 10000 ppm; 甜味剂 2g/kg。每 1000kg 代乳粉中补充 2kg 氯化胆碱。

## 2.1.2 试验设计

试验采用单因素试验设计。

对照组(CK)为全脂鲜牛奶, MR1、MR2 和 MR3 组分别为采用全脂大豆粉、脱脂大豆粉和膨化大豆替代部分乳源性蛋白配合代乳粉。

全脂豆粉是通过清理、压碎后进行干热处理(135℃, 30 min), 将大豆进行微粉处理获得; 脱脂豆粉, 是将黄豆进行清理、压碎后, 用有机溶剂(正己烷, 70℃, )萃取除去大豆油, 蒸发有机溶剂后进行微粉处理获得。膨化大豆的处理, 将大豆清理、破碎后, 进行高温膨化(干法膨化, 140~150℃, 500r/min), 然后进一步粉碎获得。三种代乳粉的原料组成和营养物质含量见

表 2-1。

### 2.1.3 样品的采集

#### 2.1.3.1 生长性能和健康状况的纪录

在正试期开始及 2 周、4 周、6 周清晨空腹测定其体重和体尺，同时观察并记录犊牛的发病情况，如腹泻以及犊牛死亡率。

各阶段相对生长率=  $(W_2 - W_1) / W_1 \times 100\%$

测定体高，体斜长，胸围和腹围，检测犊牛的生长发育状况。

犊牛从开始至断奶，观察和记录犊牛腹泻发生情况，对病牛和死亡犊牛通过临床检查和尸体剖检，即时作出诊断。在试验期内，每种日粮饲喂情况下，犊牛的腹泻发生状况进行统计，计算犊牛平均腹泻发生率。

$R_i = \sum A_{ij} / B \div 6$

$R_i$  代表第  $i$  种营养下犊牛腹泻发生率；

$A_{ij}$  代表第  $i$  种营养下，第  $j$  个牛在饲养期内腹泻的天数；

$B$  代表试验期的天数；

6 为每种日粮饲喂犊牛的个数。

#### 2.1.3.2 消化代谢试验样品的采集和处理

分别在 20~25 日龄以及 40~45 日龄进行消化代谢试验。全天收集的粪样充分混匀后缩样，取 1/2 冻存(-20℃)，全天尿样混匀后取约 1/5~1/8 冻存待测，鲜粪尿样加 10%的稀硫酸以固氮。同时观察并记录犊牛的发病情况。

粪样解冻后 65℃烘 48h,充分回潮后测定初水份，并粉碎制风干样品用以检测干物质、粗蛋白、粗脂肪含量。尿样冻存待测。

#### 2.1.3.3 血液样品的采集和处理

在试验开始后 1 周、2 周、4 周、6 周的 10:30 采用颈静脉穿刺采集采血，10ml 血液样品放入有抗凝剂肝素的真空采血管中，10ml 到加有促凝剂的真空采血管中，轻轻混合，于 2500rpm 离心 15min，分离血清血浆后分装于-20℃冻存待测。

#### 2.1.3.4 屠宰样品的采集和处理

犊牛在饲喂 6 周后统一屠宰，屠宰时间是早晨饲喂后 2h。采用颈静脉放血的方法进行屠宰。屠宰后，立即打开腹腔，结扎幽门瓣、回肠与盲肠接合处，取出小肠。结扎十二指肠与皱胃连接处，剪断。除去肠系膜与小肠外部脂肪，将小肠自然平放在瓷盘中，瓷盘下用冰块降温，小肠按解剖特征分十二指肠、空肠、回肠(参考《家畜解剖学及组织胚胎学》第二版)：空肠等分为近端、中部、远端，结扎各段相交处，剪断并采集小肠内的食糜，分别取每段中部食糜约 40g 分装进 4 个 9ml 离心管中，用纱布袋装好迅速放入液氮中速冻备用。用于测定十二指肠、空肠近端、空肠中部以及远端食糜中主要消化酶的活性，包括胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶活性。

#### 2.1.3.5 肠道组织形态取样

犊牛屠宰后取不用位点小肠组织样(十二指肠、空肠前、中、远端)，组织的取样位点和程序参照《家畜解剖学及组织胚胎学》第二版。肠段的划分和组织取样部位如下：1) 十二指肠：十二指肠中间位置；2) 空肠：十二指肠和回肠间的部分，于空肠的各段约 1/2 处取组织样。组织样用

预冷的 0.9%NaCl 冲洗干净后,置于甲醛固定液中固定,以供组织形态学分析。测定小肠粘膜形态结构的变化,主要检测小肠粘膜厚度、隐窝深度、绒毛高度。

在试验中期,选择 20-25 日龄和 40~45 日龄犊牛进行消化代谢试验,采用全收粪收尿法测定犊牛对营养物质的消化率。试验前 3d 转入代谢笼饲养。

## 2.1.4 样品分析方法

### 2.1.4.1 常规养分测定方法

饲料中 CP (GB/T6432-1994)、灰分 (GB/T6438-1992)、水分 (GB/T6435-1986) 采用国家标准方法测定。脂肪含量测定采用索氏抽提法。

### 2.1.4.2 血液样品测定

血清中尿素氮、葡萄糖、甘油三酯、总蛋白、白蛋白及免疫球蛋白的含量使用中生北控生物技术有限公司的试剂盒,利用 Beckman 全自动生化分析仪进行测定。血浆胰岛素和生长激素的含量采用华英生物技术公司生产的放射免疫试剂盒进行测定。

### 2.1.4.3 消化酶活性测定

糜蛋白酶活性 (EC 3.4.21.1) 根据 Wirnt(1974a)方法以 BTEE (SigmaB6125) 为底物测定,糜蛋白酶活性单位定义为在 25℃, pH7.80 下每分钟释放 1  $\mu$ mol 苯甲酰-L-酪氨酸所具有的活性 (Wirnt, 1974a)。所有消化酶的活性单位均以 U/ml 肠液表示。吸光度用 BECKMAN(DU800)核酸分析仪测定。脂肪酶活性采用动力学方法,使用英国 Randox 公司的脂肪酶试剂盒 (LI188) 测定,脂肪酶活性单位定义为 37℃, pH8.90 下每分钟水解 1 微摩尔甘油三酯所具有的活性。胰蛋白酶 (EC 3.4.21.4) 活性根据 Wirnt(1974b)方法测定以 TAME (SigmaT4626) 为底物进行测定,胰蛋白酶活性单位定义为 25℃, pH8.10 下每分钟释放 1  $\mu$ mol 对-甲苯磺酰-L-精氨酸时所具有的活性 (Wirnt, 1974b)。

### 2.1.4.4 肠道粘膜组织形态测定

取经甲醛固定的组织样,制作切片,用苏木精-伊红染色。

## 2.1.5 数据分析和统计

试验中,血液中代谢物和激素含量,犊牛的体重和体尺参数,日增重的比较均采用 SAS 软件中的 GLM 模块进行统计分析,差异显著者采用 LSD 法进行多重比较。统计模型为:

$$Y = \mu + A_i + e_{ij}$$

A 代表日粮效应。

## 2.2 结果

### 2.2.1 饲喂不同加工处理大豆蛋白粉对犊牛生长与健康的影响

#### 2.2.1.1 犊牛体重的变化

表2-2 犊牛体重的变化  
Table2-2 Body weight of calves

组别 group	体 重(kg) body weight			
	0W	2 W	4W	6W
CK	38.9±2.7a	42.8±3.2 a	47.2±4.0 a	55.5±7.2 a
MR1	38.8±3.8 a	39.4±3.7 a	43.0±4.5 a	49.6±6.2 a
MR2	37.9±5.0 a	38.8±6.3 a	41.1±7.1 a	46.0±8.4 a
MR3	38.3±4.7 a	40.6±4.9 a	43.3±6.3 a	50.1±7.8 a

注：表内同列数据，标有不同小写字母者差异显著（ $P<0.05$ ），相同字母或无字母者间差异不显著（ $P>0.05$ ）；标有不同大写字母者差异极显著（ $P<0.01$ ），数据为平均值±标准误。

试验期间随着犊牛日龄的增长，各组犊牛的体重都在增加，体重变化情况见表 2-2 和图 2-1。

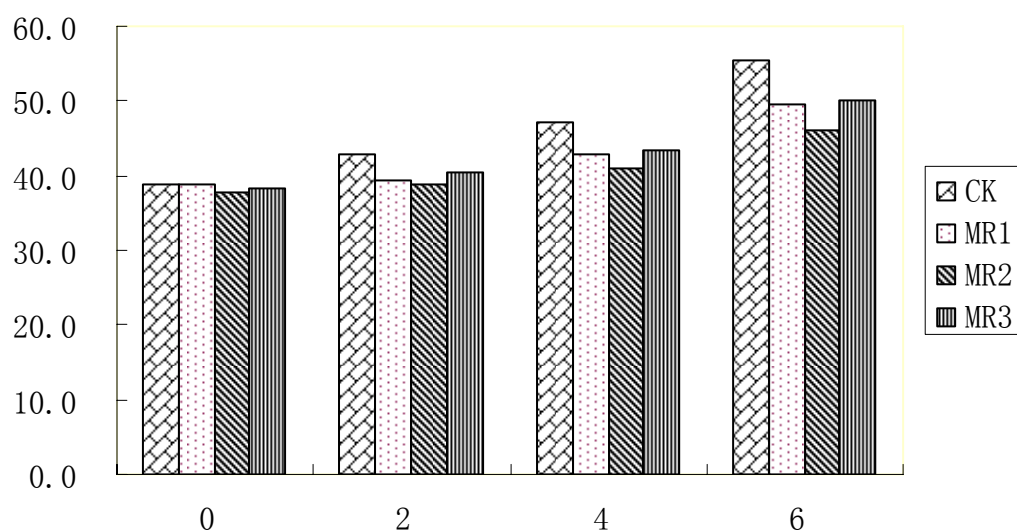


图2-1 犊牛体重的增长

### 2.2.1.2 犊牛日增重的变化

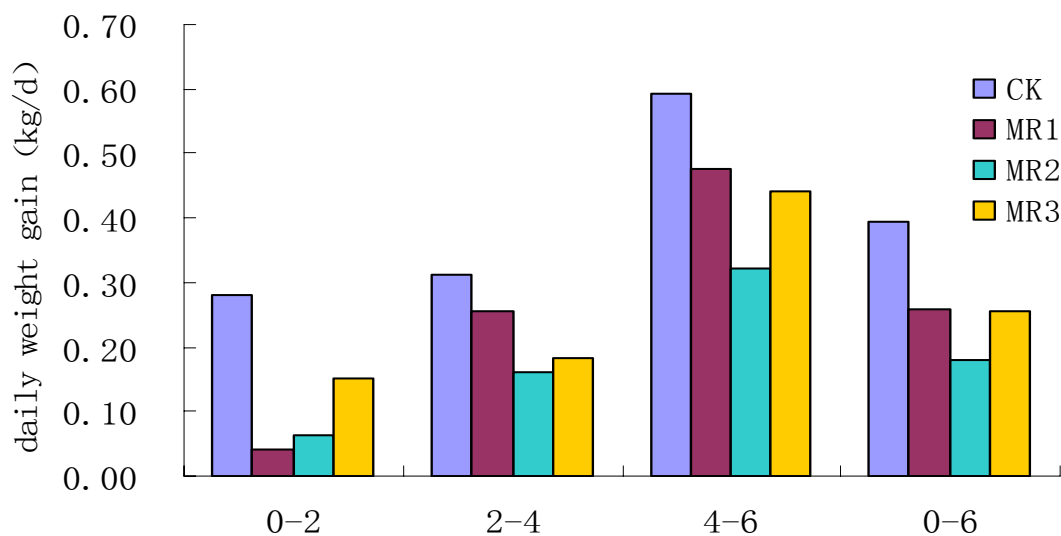


图2-2 犊牛日增重的变化

表2-3 犊牛日增重的比较  
Table2-3 Comparison of Average daily weight gain of calves

组别 group	日增重 (kg/d) average daily weight gain			
	0-2W	2-4W	4-6W	6W
CK	0.28±0.12Aa	0.31±0.10	0.59±0.16	0.39±0.11a
MR1	0.04±0.01Bc	0.25±0.06	0.48±0.14	0.26±0.10 a
MR2	0.06±0.01c	0.16±0.03	0.32±0.12	0.18±0.02b
MR3	0.15±0.09 b	0.18±0.04	0.44±0.10	0.26±0.09 a

注：表内同列数据标有不同小写字母者差异显著（ $P<0.05$ ），相同字母或无字母者间差异不显著（ $P>0.05$ ）；同列标有不同大写字母者差异极显著（ $P<0.01$ ），数据为平均值±标准误。

和饲喂牛奶相比，饲喂代乳粉对犊牛の日增重有一定的不良影响，各组犊牛在试验期的 0~2w、2~4w、4~6w の日增重情况参见表 2-3。

### 2.2.1.3 犊牛体尺的变化

表2-4 试验犊牛体尺的变化 (cm)  
Table2-4 Body measurement of calves

时间 time	组别 Groups	体高 Body Height	体斜长 Body Lengh	胸围 Heart girth	腹围 Abdominal perimeter
0W	CK	80.03±1.46	74.02±1.74	77.53±1.27	75.50±2.57
	MR1	81.77±1.46	74.50±1.74	79.97±1.27	78.80±2.57
	MR2	74.25±1.79	71.25±2.13	79.50±1.56	78.00±3.15
	MR3	75.00±1.60	72.70±1.90	80.80±1.39	79.80±2.81
	平均	78.23±1.01	73.31±0.90	79.38±0.69	77.94±1.32
2W	CK	82.00±1.72	75.75±1.47	81.50±1.97	81.33±1.56
	MR1	82.67±1.72	76.10±1.47	80.67±1.97	77.50±1.56
	MR2	78.13±2.11	74.63±1.81	78.63±2.43	79.75±1.91
	MR3	75.80±1.89	74.60±1.62	81.80±2.18	83.00±1.71
	平均	79.98±1.06	75.36±0.74	80.83±1.01	80.33±0.90
4W	CK	84.17±1.55 <sup>ab</sup>	78.75±1.84	84.43±1.67	87.67±2.76
	MR1	84.67±1.55 <sup>a</sup>	77.83±1.84	81.50±1.67	85.25±2.76
	MR2	78.88±1.89 <sup>b</sup>	74.75±2.25	82.75±2.04	85.25±3.38
	MR3	78.80±1.69 <sup>b<sup>c</sup></sup>	76.70±2.02	85.40±1.82	91.60±3.03
	平均	82.02±0.98	77.24±0.96	83.98±0.85	87.45±1.48
6W	CK	88.08±1.89	82.67±1.80	89.17±2.30	93.67±3.52
	MR1	86.08±1.89	82.63±1.80	87.83±2.30	93.00±3.52
	MR2	80.88±2.32	80.00±2.20	85.63±2.81	88.50±4.32
	MR3	82.20±2.07	81.70±1.97	88.80±2.52	97.20±3.86
	平均	84.74±1.13	81.67±0.92	88.02±1.17	93.33±1.85

注：表内同列数据，标有不同小写字母者差异显著（ $P<0.05$ ），相同字母或无字母者间差异不显著（ $P>0.05$ ）；同列标有不同大写字母者差异极显著（ $P<0.01$ ），数据为平均值±标准误。

试验不同阶段犊牛的体尺情况见表 2-4。从表 2-4 看出，不同试验阶段（相同日龄），犊牛的体斜长、胸围和腹围均无显著差异（ $P>0.05$ ）。随着日龄的增长，体内的组织器官在不断的生长和发育，犊牛的体高、体斜长、胸围和腹围都在逐渐的增加，在试验的 4w，对照组显著的高于

MR2 和 MR3 组, 但 MR1 组和 CK 组无显著的差异。到试验的 6w, 这种差异消失, 各组间体高差异不显著。各组犊牛的体高、体斜长、胸围和腹围在对照组均为最好, 在三种代乳粉组中, 犊牛的体尺变化以 MR3 组的最佳, 尽管在初期犊牛的体尺稍低于其他组, 但是在试验期间, 体尺指标的增长稍高于其他组。

#### 2.2.1.4 饲喂不同加工处理大豆蛋白对犊牛腹泻指数的影响

采用植物源性蛋白替代乳蛋白配合犊牛代乳粉饲喂犊牛, 在初期会出现腹泻现象, 经一定时间的适应后, 能够恢复。本试验中各组犊牛在生产中都出现不同程度上的腹泻, 在三种代乳品饲喂中 MR1 组犊牛腹泻指数最低, 其次是使用膨化大豆替代乳源蛋白的 MR3 组, 其犊牛腹泻率分别为 2.38% 和 3.17%。采用有机溶剂脱脂的脱脂大豆粉替代组效果最差, 犊牛的腹泻率达到 4.76%。

表2-5 犊牛腹泻指数  
Table2-5 Diarrhea index of calves

项目 Item	CK 组 Control group	MR1 组 MR1 group	MR2 组 MR2 group	MR3 组 MR3 group
腹泻指数 Diarrhea index	1.98 %	2.38%	4.76%	3.17%

## 2.2.2 饲喂不同加工处理大豆蛋白粉对犊牛消化代谢的影响

### 2.2.2.1 营养物质的消化率和氮平衡比较

表2-6 犊牛对不同处理大豆粉代乳品养分的消化率  
Table2-6 The digestibility of milk replacers for calves

项目 Item		组别 group		
		MR1	MR2	MR3
干物质消化 (%) Digestibility of DM	20~25d	81.20±4.78b	82.26±4.08	84.80±3.98a
	40~45d	85.62±3.33a	84.25±2.39a	82.26±1.65b
粗蛋白表观消化率 (%) Apparent digestibility of CP	20~25d	64.12±2.78A	54.88±3.67B	65.64±3.53A
	40~45d	67.52±3.57A	58.59±1.73B	69.03±2.52A
粗脂肪表观消化率 (%) Apparent digestibility of crude fat	20~25d	71.98±2.17b	73.84±1.57ab	75.79±2.38a
	40~45 d	85.27±3.7A	84.36±2.79A	77.21±2.48B

注: 表内同行数据, 右上角标有不同小写字母者差异显著 ( $P<0.05$ ), 相同字母或无字母者间差异不显著 ( $P>0.05$ ); 同行标有不同大写字母者差异极显著 ( $P<0.01$ ), 数据为平均值±标准差。

本试验中测定了犊牛在 20~25 日龄及 40~45 日龄犊牛对三种代乳粉养分的消化率, 结果参见表 2-6。研究结果表明, 随着犊牛增长, 犊牛对同一代乳粉养分的消化率提高。

犊牛在不同日龄对采用三种不同加工处理大豆蛋白配合的代乳粉不同消化率影响了体内氮平衡状况, 结果参见表 2-7 和表 2-8。

表2-7 20~25 日龄犊牛饲喂不同代乳粉氮平衡状况  
Table2-7 Nitrogen balance of milk placers for 20~25d calves

项目 item	组别 group		
	MR1	MR2	MR3
氮平衡 (g/d) Nitrogen balance			
食入氮 (g/d) Nitrogen intake	21.18±2.23	22.34±2.01	23.07±2.62
吸收氮 (g/d) Nitrogen absorbed	13.05±1.19b	12.20±1.03b	15.03±1.47a
粪排出氮 (g/d) Fecal nitrogen	7.12±0.89b	10.04±1.16 a	8.35±0.95b
尿排出氮 (g/d) Urine nitrogen	10.05±0.93a	8.72±0.77b	9.01±0.98
氮沉积 (g/d) Nitrogen retention	3.00±0.57B	3.48±0.69B	6.68±0.99A
氮/食入氮 % Nitrogen:nitrogen intake ratio			
吸收氮 Nitrogen absorbed	64.66±3.99A	54.98±2.71B	65.25±3.64A
尿排出氮 Urine nitrogen	49.80±2.13A	39.21±1.63B	37.46±1.09B
沉积氮 Nitrogen retention	14.86±1.84B	15.65±1.31B	27.79±2.81A
氮/吸收氮 % nitrogen:absorbable nitrogen ratio			
尿排出氮 Urine nitrogen	77.05±2.54Aa	71.47±2.25Ab	57.42±1.88B
沉积氮 Nitrogen retention	22.93±2.54Ab	28.53±2.25Aa	42.58±3.88B

注：表内同行数据，标有不同小写字母者差异显著 ( $P<0.05$ )，相同字母或无字母者间差异不显著 ( $P>0.05$ )；标有不同大写字母者差异极显著 ( $P<0.01$ )，数据表示为平均值±标准差。

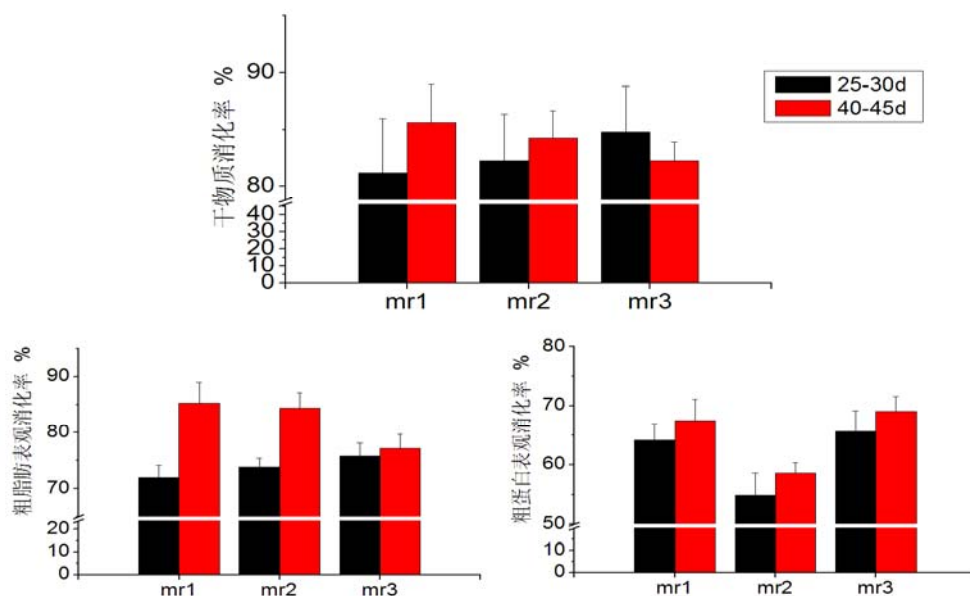


图2-3 干物质、粗脂肪和粗蛋白表观消化率

表2-8 40~45 日龄犊牛饲喂不同代乳粉氮平衡状况  
Table2-8 Nitrogen balances of milk replacers for 20~45d calves

项目 Item	组别 groups		
	MR1	MR2	MR3
氮平衡 (g/d) Nitrogen balance			
食入氮 (g/d) Nitrogen intake	23.37±2.23	25.04±2.01	27.02±2.62
吸收氮 (g/d) Nitrogen absorbed	15.78±1.23a	14.67±1.33a	18.65±2.01b
粪排出氮 (g/d) Fecal nitrogen	7.59±0.83b	10.37±0.98a	8.37±0.93b
尿排出氮 (g/d) Urine nitrogen	5.46±0.51b	6.54±0.68	7.97±0.96a
氮沉积 (g/d) Nitrogen retention	10.32±1.01a	8.13±0.93b	10.68±1.32a
氮/食入氮 % Nitrogen:nitrogen intake ratio			
吸收氮 Nitrogen absorbed	67.53±3.57 A	58.59±2.74B	69.04±3.03 A
尿排出氮 Urine nitrogen	23.35±1.48Bc	26.13±1.13b	29.49±1.93Aa
沉积氮 Nitrogen retention	44.18±2.43Aa	32.46±1.84Bc	39.54±1.89b
氮/吸收氮 % nitrogen:absorbable nitrogen ratio			
尿排出氮 Urine nitrogen	34.58±1.56B	44.60±2.61A	42.72±2.51A
沉积氮 Nitrogen retention	65.42±2.59A	55.40±1.71B	57.28±2.42B

注：表内同行数据标有不同小写字母者差异显著 ( $P<0.05$ )，相同字母或无字母者间差异不显著 ( $P>0.05$ )；标有不同大写字母者差异极显著 ( $P<0.01$ )，数据为平均值±标准差。

#### 2.2.2.2 饲喂不同加工处理大豆蛋白粉对犊牛血液指标影响

##### 2.2.2.2.1 血液生化指标的变化

本试验研究结果(表 2-9)表明，犊牛饲喂牛奶或含有不同加工处理大豆蛋白的代乳粉对血液中血糖浓度以及甘油三酯浓度无显著影响，但是对血液中甘油三酯和尿素氮的影响较大 ( $P<0.05$ )。在各测定时间点，对照组 (CK) 犊牛血液中甘油三酯浓度均高于其他各组。1w 时血清尿素氮含量 MR2 组、MR3 组显著高于其他两组 ( $P<0.05$ ) 在 6w 时对照组 (CK) 显著高于 MR2 组和 MR3 组 ( $P<0.05$ )。此外，血液中总蛋白含量在各试验组间内也发生了比较明显的变化，对照组 (CK) 在各周都极显著高于 MR2 组 ( $P<0.01$ )，在 4w、6w 时极显著高于 MR3 组 ( $P<0.01$ )，在 1w、2w 时显著高于 MR3 组 ( $P<0.05$ )；血清白蛋白浓度变化较小，在 4w 时，对照组 (CK)、MR3 组含量显著高于 MR1 组 ( $P<0.05$ )；在 6w 时，对照组 (CK) 显著高于 MR2 组 ( $P<0.05$ )，其余各处理组间无显著差异 ( $P>0.05$ )。



表2-9 各组犊牛血液生化指标  
Table2-9 Blood metabolites in calves with different diet

项目/组别 Item /group		时间 time			
		1w	2 w	4w	6w
血清葡萄糖 (mmol/l) Serum glucose	CK	4.85	3.65	4.39	3.92
	MR1	3.88	3.93	4.79	4.17
	MR2	4.42	4.11	5.65	4.72
	MR3	4.81	3.92	5.06	4.61
	平均	4.49	3.90	4.97	4.36
	SEM	0.21	0.21	0.27	0.30
血清甘油三酯 (mmol/l) Serum TG	CK	0.42	0.29a	0.24	0.20
	MR1	0.24	0.15	0.13	0.16
	MR2	0.20	0.12b	0.19	0.23
	MR3	0.49	0.14	0.13	0.20
	平均	0.34	0.17	0.17	0.20
	SEM	0.10	0.04	0.03	0.03
血清尿素氮 (mmol/l) Serum urea nitrogen	CK	2.65Cb	3.50b	4.00ab	4.70A
	MR1	3.49Aa	3.88ab	3.36b	3.51Bb
	MR2	2.83Cb	3.76b	3.78ab	3.23Bb
	MR3	3.30aB	5.15a	4.44a	3.30Bb
	平均	3.07	4.07	3.90	3.68
	SEM	0.08	0.35	0.23	0.24
血清总蛋白 (g/l) Serum TP	CK	51.14Aa	53.60Aa	60.64 Aa	66.04A
	MR1	50.24aB	50.27Bab	53.57 b	56.20B
	MR2	41.90Cb	44.84bC	50.71Bb	47.01C
	MR3	44.45bC	46.61bC	48.94Bb	45.21C
	平均	46.93	48.80	53.46	53.6
	SEM	1.10	1.07	1.24	1.79
血清白蛋白 (g/l) Serum Alb	CK	23.77	22.94	23.90aBb	24.70Aa
	MR1	22.64	22.47	21.87bC	22.70ab
	MR2	23.70	23.44	22.64ab	20.67Bb
	MR3	22.90	23.20	23.94Aa	21.54Bb
	平均	23.25	23.01	23.09	22.40
	SEM	0.41	0.51	0.36	0.53

注：表内同列数据标有不同小写字母者差异显著（ $P < 0.05$ ），相同字母或无字母者间差异不显著（ $P > 0.05$ ）；同列标有不同大写字母者差异极显著（ $P < 0.01$ ），数据为平均值±标准误。

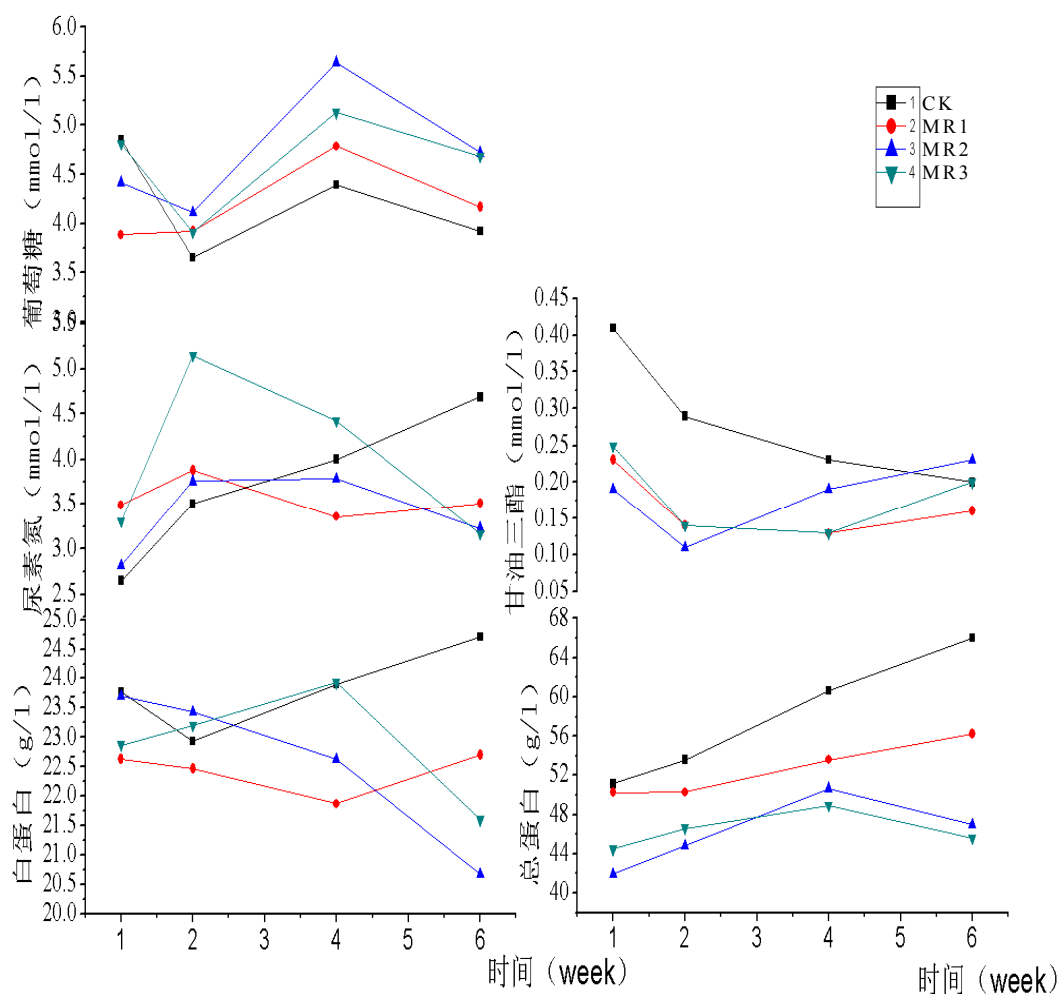


图2-4 犊牛血液生化指标的变化趋势

血液中免疫球蛋白含量多少在一定的程度上能够反映犊牛的免疫能力。本试验代乳粉中添加不同加工处理的大豆蛋白对犊牛血液中免疫球蛋白浓度有一定的影响，结果参见表 2-10。犊牛血清 IgA、IgG、IgM 浓度随日粮供给不同发生比较明显的变化。在试验第一周末，对照组饲喂牛奶的犊牛血清 IgG 浓度要显著高于饲喂代乳粉各组犊牛，到第 6 周末时，对照组 (CK) IgG 浓度仍显著高于个代乳粉组 ( $P < 0.05$ )。在 4 周时对照组 (CK) 血清 IgA 浓度仍显著高于各代乳粉饲喂组 ( $P < 0.05$ )，其中与 MR1 组、MR3 组有极显著差异 ( $P < 0.01$ )，MR2 组显著高于 MR1 组 ( $P < 0.05$ )，对照组 (CK) 在 6 周时也显著高于 MR1、MR2 组；在 4 周时对照组 (CK) IgM 浓度均显著高于其他组，极显著高于 MR3 组 ( $P < 0.01$ )，MR2 组 IgM 浓度也显著高于 MR1 组 ( $P < 0.05$ )，且 6 周时 MR2 组显著高于 MR1 组 ( $P < 0.05$ )，此结果表明犊牛饲喂含有大豆蛋白代乳粉对犊牛的免疫机能有一定影响，血液中免疫球蛋白的浓度降低，随着犊牛日龄的增加，自身免疫性机能逐渐建立，到 6 周龄时对照组与处理组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

#### 2.2.2.2.2 血清免疫球蛋白含量的变化

表2-10 犊牛血清免疫球蛋白浓度  
Table2-10 Serum immunoglobulin concentrations of calves

项目/组别		时间 (week)			
Item /group		1w	2w	4w	6w
IgG(mg/mL)	CK	15.55 <sup>A</sup>	13.67 <sup>A</sup>	13.05 <sup>A</sup>	13.73 <sup>A</sup>
	MR1	12.53 <sup>Bbc</sup>	10.77 <sup>C</sup>	10.22 <sup>Ba</sup>	9.33 <sup>Ca</sup>
	MR2	11.93 <sup>Cc</sup>	9.23 <sup>D</sup>	7.63 <sup>C</sup>	8.45 <sup>Cb</sup>
	MR3	12.95 <sup>Bb</sup>	12.50 <sup>B</sup>	10.33 <sup>Ba</sup>	10.55 <sup>B</sup>
	平均值	13.24	11.54	10.31	10.52
	SEM	0.30	0.37	0.41	0.43
IgA(mg/mL)	CK	0.38 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>	0.25 <sup>A</sup>	0.21
	MR1	0.20 <sup>b</sup>	0.18	0.16 <sup>B</sup>	0.14 <sup>b</sup>
	MR2	0.23	0.16 <sup>b</sup>	0.17 <sup>B</sup>	0.28 <sup>a</sup>
	MR3	0.26	0.18	0.13 <sup>B</sup>	0.19
	平均值	0.27	0.19	0.18	0.20
	SEM	0.04	0.02	0.01	0.02
IgM(mg/mL)	CK	0.18	0.19 <sup>a</sup>	0.17 <sup>A</sup>	0.14
	MR1	0.13	0.12 <sup>b</sup>	0.10 <sup>B</sup>	0.09 <sup>B</sup>
	MR2	0.17	0.11 <sup>b</sup>	0.11 <sup>B</sup>	0.18 <sup>Aa</sup>
	MR3	0.19	0.12 <sup>b</sup>	0.09 <sup>B</sup>	0.13 <sup>b</sup>
	平均值	0.17	0.13	0.12	0.14
	SEM	0.03	0.02	0.01	0.01

注：表内同列数据，标有不同小写字母者差异显著（ $P < 0.05$ ），相同字母或无字母者间差异不显著（ $P > 0.05$ ）；同列标有不同大写字母者差异极显著（ $P < 0.01$ ），数据为平均值。

### 2.2.2.3 肠道食糜消化酶活性

本试验中测定了牛奶和含有不同加工处理大豆蛋白代乳粉犊牛饲喂 6 周后消化道中十二指肠、空肠前端、空肠中部和空肠远端的胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶的活性，结果参见表 2-11。

**蛋白酶** 犊牛小肠内对蛋白质起重要消化作用的是胰蛋白酶和糜蛋白酶。

**胰蛋白酶** 本试验结果表明代乳粉中添加大豆蛋白降低小肠食糜中胰蛋白酶活性。饲喂牛奶组犊牛食糜胰蛋白酶活性在各位点均为最高，显著的高于各代乳粉处理组（ $P < 0.05$ ）。在三种代乳粉组中，MR3 在小肠各位点食糜中胰蛋白酶的活性最高，MR2 组活性在各段均为最低（ $P < 0.05$ ）。从小肠中的位点来看，在各组中小肠胰蛋白活性在小肠中的不同部位也有一定的差异，其中以十二指肠最低，空肠中部最高，空肠远端比中部略低。此结果表明空肠中部是胰蛋白酶发挥作用的主要部位，是营养物质消化吸收的主要场所。

**糜蛋白酶** 犊牛饲喂不同加工处理大豆粉小肠各段糜蛋白酶活性见表 2-11。本试验结果表明对照组（CK）的十二指肠、空肠前端和空肠中部糜蛋白酶的活性均高于三种代乳粉组（ $P < 0.05$ ），在空肠远端稍低于 MR3 组（ $P > 0.05$ ）。MR2 组在各部位最低，但各代乳粉组小肠中各位点的糜蛋白酶活性无显著差异（ $P > 0.05$ ），MR3 组小肠各部位的糜蛋白酶活性在三种代乳粉中较高。犊牛在空肠中部酶的活性最高，因此，空肠中部也是犊牛糜蛋白酶发挥作用的地方。

表2-11 小肠各段消化酶活性的变化  
Table2-11 The major digestive enzyme activities of digesta

项目 Item	组别 group	十二指肠 duodenum	空肠近端 Proximal segment of Jejunum	空肠中部 Central segment of jejunum	空肠远端 Far-end jejunum
胰蛋白酶 Trypsin (U/ml)	CK	5.37±0.5a	9.45±0.46a	12.74±0.56a	11.16±0.49a
	MR1	5.21±0.63ab	8.47±0.52b	9.68±0.63c	8.94±0.62c
	MR2	4.63±0.60b	5.66±1.05c	8.46±1.34c	8.28±1.12c
	MR3	5.37±0.56a	9.40±0.71a	10.91±0.94b	10.05±0.20b
糜蛋白酶 Chymotrypsin (U/ml)	CK	5.95±1.14a	7.65±0.56a	9.09±0.88a	5.47±0.80a
	MR1	4.53±0.93c	6.22±0.94b	7.85±1.09b	4.37±0.98bc
	MR2	4.21±0.74c	6.25±0.58b	7.98±0.83b	3.86±0.67c
	MR3	4.49±1.21b	6.42±0.80b	8.37±0.74ab	4.73±0.72abc
脂肪酶 Lipase (U/L)	CK	932.7±27.30a	1126.16±50.94a	1260.43±65.27a	1249.49±36.30a
	MR1	676.24±28.45b	836.85±25.68c	1005.31±38.73b	849.56±73.30c
	MR2	682.89±68.63b	989.36±62.22b	1228.09±16.25a	996.54±48.02b
	MR3	571.27±80.22c	770.33±53.99d	975.62±68.81c	781.06±76.63d

注：同列数据字母相同或无字母者表示差异不显著（ $P>0.05$ ）、不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），数据为平均值±标准差。

脂肪酶 犊牛饲喂不同处理大豆粉小肠各段脂肪酶活性变化较大，参见表 2-11。对照组（CK）在小肠各个部分脂肪酶活性均高于其它组，三个处理组中 MR3 组脂肪酶活性最低，MR2 组最高。在三种代乳粉中，十二指肠食糜脂肪酶活性，MR1、MR2 组极显著高于 MR3 组（ $P<0.01$ ）；在空肠近端 MR2 组极显著高于 MR1、MR3 组（ $P<0.01$ ）；空肠中部 MR2 组也极显著高于 MR1、MR3 组（ $P<0.01$ ）；空肠远端 MR2 组极显著高于 MR1、MR3 组（ $P<0.01$ ）。脂肪酶活性在小肠中各段的分布和糜蛋白酶和胰蛋白酶活性相似，主要分布在空肠中远端，且十二指肠活性最低，空肠中部最高，空肠远端比空肠中部有轻微下降。

### 2.2.3 饲喂不同加工处理大豆蛋白粉对犊牛小肠发育的影响

#### 十二指肠的组织形态

在代乳粉中添加不同加工处理的大豆粉，在连续饲喂 6 周后制作的肠道切片结果显示，对十二指肠形态结构仍具有影响，结果参见表 2-12。饲喂牛奶组小肠各段绒毛高度，隐窝深度及绒毛高度和隐窝深度的比值都优于饲喂代乳粉组。在三种含有不同加工处理大豆粉的代乳粉中，绒毛高度 MR1、MR3 组极显著高于 MR2 组（ $P<0.01$ ），分别比对照组下降 24.33%、28.39%和 46.78%。隐窝深度在各代乳粉组间差异不显著（ $P>0.05$ ）。绒毛高度和隐窝深度的比值在 MR1、MR3 组极显著高于 MR2 组（ $P<0.01$ ），MR1、MR2、MR3 组比对照组（CK）分别下降 7.69%、30.77%、10.77%；对照组（CK）粘膜厚度极显著高于各代乳粉组（ $P<0.01$ ），但饲喂添加不同加工处理大豆蛋白的代乳粉各组间差异不显著（ $P>0.05$ ）。

#### 空肠各段组织形态

饲喂含有不同加工处理大豆粉的代乳粉对犊牛空肠各段形态结构的影响参见表 2-12，和对照

组相比，各组对空肠组织形态结构的影响作用不一。

表2-12 犊牛的小肠组织形态结构  
Table2-12 Intestinal morphology of calves

	组别 Group	绒毛高度 (μm) Villis height	隐窝深度 (μm) Recess depth	绒毛高度/隐窝 深度 Villis height / Recess depth	粘膜厚度 (μm) Mucosa thickness
十二指肠 duodenum	CK	640.40±14.55a	329.40±25.27a	1.95±0.11a	1180.00±83.67a
	MR1	484.60±26.08c	268.60±17.47c	1.80±0.04b	879.80±28.94b
	MR2	340.80±22.69e	254.80±36.34c	1.35±0.12c	866.60±66.70b
	MR3	458.60±35.89c	264.60±34.33c	1.74±0.11b	872.80±38.11b
空肠近端 Proximal segment of Jejunum	CK	571.60±26.62a	329.40±25.27a	1.72±0.19a	984.40±73.85a
	MR1	357.20±24.57c	268.60±17.47c	1.57±0.27ab	1068.60±99.65a
	MR2	346.40±20.33c	254.80±36.34c	1.45±0.04b	1044.80±80.22a
	MR3	359.60±27.82c	264.60±34.33c	1.55±0.10ab	974.60±42.85a
空肠中部 Central segment of jejunum	CK	518.80±38.23a	317.80±22.15b	1.63±0.09a	994.80±119.26a
	MR1	460.40±57.49b	321.00±24.02b	1.43±0.08c	954.60±37.49a
	MR2	371.00±83.08c	263.60±48.07c	1.40±0.09c	996.60±5.64a
	MR3	509.80±27.56a	342.60±31.96a	1.49±0.08bc	957.40±22.96a
空肠远端 Far-end jejunum	CK	483.00±25.56a	320.20±36.51b	1.56±0.16a	1076.00±88.77a
	MR1	409.20±38.38b	267.20±33.25c	1.54±0.08a	970.60±97.85ab
	MR2	378.80±31.50d	360.80±32.79a	1.05±0.02b	943.80±42.94b
	MR3	420.60±11.89b	299.40±32.35b	1.42±0.15a	979.00±101.41ab

注：同列数据字母相同或无字母者表示差异不显著 ( $P>0.05$ )、不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )，数据为平均值±标准差。

空肠近端对照组 (CK) 绒毛高度、隐窝深度及绒毛高度和隐窝深度的比值均为最高，显著高于各代乳粉饲喂组 ( $P<0.05$ )，但三种补充不同加工处理大豆蛋白的各代乳粉组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。MR1、MR2、MR3 组绒毛高度与对照组 (CK) 相比分别下降 37.51%、39.40%、37.09%；MR1、MR2、MR3 组绒毛高度和隐窝深度的比值比对照组 (CK) 分别下降 8.72%、15.70%、9.88%。粘膜厚度各组间显著不差异 ( $P>0.05$ )。

空肠中部小肠粘膜的绒毛高度对照组 (CK)、MR3 组极显著高于 MR2 组 ( $P<0.01$ )，MR1、MR3 组显著高于 MR2 组 ( $P<0.05$ )，MR1、MR2、MR3 与对照组 (CK) 相比分别下降 11.26%、28.49%、1.73%；隐窝深度 MR3 组极显著高于 MR2 组 ( $P<0.01$ )，对照组 (CK)、MR1 组显著高于 MR2 组 ( $P<0.05$ )；绒毛高度与隐窝深度的比值对照组 (CK) 极显著高于 MR1、MR2 组 ( $P<0.01$ )，显著高于 MR3 组 ( $P<0.05$ )，MR1、MR2、MR3 组与对照组 (CK) 相比分别下降 12.27%、14.11%、

8.59%；粘膜厚度各处理组之间差异不显著( $P>0.05$ )。

空肠远端小肠形态结构在各处理组间变化比较明显。绒毛高度对照组(CK)极显著高于其他各试验组( $P<0.01$ )，MR3组显著高于MR2组( $P<0.05$ )，MR1、MR2、MR3组与对照组(CK)相比分别下降15.28%、21.57%、12.92%；隐窝深度MR2组显著高于试验组( $P<0.05$ )，对照组(CK)、MR2组显著高于MR1、MR3组( $P<0.05$ )；绒毛高度与隐窝深度的比值MR2组极显著低于其他各试验组( $P<0.01$ )，MR1、MR2、MR3组与对照组(CK)相比分别下降1.28%、32.69%、8.97%；粘膜厚度对照组(CK)显著高于MR2组( $P<0.05$ )，其它试验组间没有显著差异( $P>0.05$ )。

小肠各段组织形态结构图

利用数码相机和显微镜拍摄犊牛小肠各段的组织形态图参见附录。从各图中可以清楚地看到各组绒毛的形状、密度等。总的来看，对照组(CK)犊牛小肠各段粘膜上绒毛完整，绒毛长且密。代乳粉中添加不同加工处理大豆蛋白后，对小肠组织结构有一定损伤，但各组损伤程度不一。

MR1和MR3组的十二指肠粘膜绒毛较长，绒毛的完整性次于饲喂牛奶组，但MR2组犊牛的粘膜层绒毛却出现明显的损伤，绒毛稀疏而且出现明显的萎缩，形态异常，隐窝明显。在空肠前端，MR1和MR3组绒毛顶端有明显损伤，而且隐窝也明显增生，且MR2组损伤最明显，甚至出现脱落现象，隐窝深度也增加；空肠中部，MR1和MR3组小肠形态结构和对照组相似差异不明显，MR2组绒毛异常，绒毛较短而且隐窝异常增生；空肠远端MR1和MR3组小肠粘膜绒毛生长状况相似，和对照组犊牛相比顶端有轻微损伤，但MR2组绒毛形态最差，绒毛极短而且隐窝深度明显增加。

2.2.4 经济效益

表2-13 经济估算  
Table2-13 Economic estimation

	CK 组	MR1 组	MR2 组	MR3 组
开食料 (kg) Starter	10.64	10.99	8.43	8.73
牛奶或代乳粉 (kg) Milk or milk replacer	19.624	22.635	21.438	22.502
开食料费用 Cost of starter	17.03	17.59	13.48	13.96
牛奶或代乳粉费用 Cost milk or milk replacer	381.25	271.61	257.25	270.02
费用合计 Total cost	398.27	289.20	270.73	283.98

注：经济效益分析中代乳粉的价格按照每公斤12元，牛奶每公斤2元，开食料每公斤1.6元进行计算。

2.3 分析与讨论

2.3.1 不同加工处理大豆蛋白对犊牛生长和健康的影响

对照组(CK)犊牛饲喂牛奶生长快，三个含有不同加工处理粉组犊牛的生长速度顺序为MR3组>MR1组>MR2组，其中含有膨化大豆的犊牛生长速度最快。试验结果表明，在试验6周内，饲喂牛奶(CK)和饲喂代乳粉(MR1，MR2和MR3组)的犊牛体重差异不显著( $P>0.05$ )，但是

饲喂牛奶的犊牛在 2w、4w、6w 的平均体重均比饲喂含有不同加工处理大豆蛋白的代乳粉犊牛高，而在饲喂含有三种不同加工处理大豆粉的代乳粉各组中，犊牛的体重变化情况也有所不同，在初期 2w 内，MR3 组饲喂含有膨化大豆代乳粉犊牛的体重变化平均增长了 2.3kg，高于 MR1 组和 MR2 组的 0.6kg 和 0.9kg，在代乳粉中加入膨化大豆对犊牛生长无显著的不利影响 ( $P>0.05$ )，但饲喂含有脱脂大豆粉代乳粉的 MR2 组犊牛在试验期内 2w、4w、6w 的平均体重均为最低，犊牛的生长性能受到日粮中添加脱脂大豆粉的影响。因此，本试验中含有脱脂大豆粉的代乳粉(MR2)对犊牛生长性能的负影响最明显，其次是加热大豆组，生长效果最好的是膨化大豆组，整个试验期内全乳饲喂组日增重显著高于 MR2 组，与其它各组没有显著差异 ( $P>0.05$ )。对照组(CK)在试验期各周龄的日增重均高于其他各处理组，在 0~2w 显著高于 MR2 组 ( $P<0.05$ )，极显著高于 MR1 组 ( $P<0.01$ )。在整个试验期内，对照组(CK)犊牛平均日增重显著高于 MR2 组 ( $P<0.05$ )，与其他两组无显著差异 ( $P>0.05$ )。饲喂牛奶的犊牛在试验的前期、中期、后期及试验期内平均日增重(ADG)均高于饲喂不同代乳粉的犊牛，尤其是在试验初期 0~2w 内，其日增重显著高于 MR2 组( $P<0.05$ )，极显著高于 MR1 组( $P<0.01$ )。在 2~4w、4~6w，饲喂牛奶的犊牛日增重稍高于各代乳粉组，但差异不显著( $P>0.05$ )。MR2 组饲喂含有有机溶剂脱脂大豆粉代乳粉的犊牛的全期平均日增重显著低于对照组及 MR1 和 MR3 组犊牛 ( $P<0.05$ )，含有全脂大豆和膨化大豆代乳粉的 MR1 和 MR3 组犊牛的全期平均日增重和对照组饲喂牛奶相比，增重效果稍差，但差异不显著( $P>0.05$ )。因此，在脂肪和粗蛋白供给量相当的情况下，采用膨化大豆粉和全脂大豆粉替代一定比例的乳源性蛋白配合代乳粉的效果优于采用有机溶剂脱脂的脱脂大豆粉的效果。其原因可能是大豆经有机溶剂浸提油脂后，能够去除含有的芳香酚复合物，但是对热敏感的胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素等含量仍很高(Bondi 和 Alumot, 1987; 李德发等, 1993)，对犊牛的消化吸收以及肠道的损伤较大，在饲喂的前期出现了生长缓慢。

在本试验中未测定不同加工处理方式对大豆中各种抗营养因子的含量，全脂大豆粉是通过清理、压碎后进行干热处理 ( $135^{\circ}\text{C}$ , 30 min)，将大豆进行微粉处理过 100 目筛；脱脂豆粉，是将黄豆进行清理、压碎后，用有机溶剂（正己烷  $70^{\circ}\text{C}$ ）萃取后，去除有机溶剂后进行微粉处理，过 100 目筛获得。膨化大豆的处理，将大豆清理、破碎后，进行高温膨化（干法膨化， $140\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，主轴转速 500r/min），过 40 目筛获得。但现有研究表明大豆中含有多种抗营养因子，大豆中抗营养因子一部分对热和压力比较敏感，如胰蛋白酶抑制因子、大豆凝集素等，可以通过加热、蒸煮、烘烤、膨化等方法进行钝化，有机溶剂浸提也可以有效的去除一部分抗营养因子如芳香酚复合物，从而一定程度的提高了犊牛对大豆蛋白的消化利用(Lalles 等, 1996a)。利用成年奶牛对不同的热处理方法加工大豆对其化学组成，蛋白质降解率，氨基酸组成及胰蛋白酶抑制效应和脲酶活性的影响进行了测定， $150^{\circ}\text{C}$  25s 干法膨化， $95^{\circ}\text{C}$  30min 湿法膨化及  $105^{\circ}\text{C}$  焙烤 30min，及未处理的大豆，结果表明，加热处理并不能改变其化学结构，但是能够显著的降低胰蛋白酶抑制剂和脲酶的含量，降低蛋白降解率，干法膨化技术相对较好(Eweedah 等, 1997)。各种不同的处理方式对氨基酸的含量无显著的影响，但是瘤胃非降解氨基酸的质量降低。用乙醇处理可使大豆蛋白的结构改变，对降低大豆蛋白抗原活性有一定的效果。Sissons(1984, 1989)用 65%-70%的乙醇在  $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$  下处理后，大豆蛋白的抗原性可明显降低。侯水生(1992, 1996)等用偏重亚硫酸钠( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )处理生豆粕，可使胰蛋白酶抑制活性(TIA)下降 44.5%。用 80%乙醇浸提豆类，也可降低胃肠胀气因子导致的产气量。Gupta(1987)证实了 TI 活性与加热时间呈负相关。适度的加热也易于被动物体

内蛋白酶水解吸收。生大豆中脂氧合酶在常压下蒸汽加热 15min 即可破坏, 其他抗维生素也可加热达到消除的目的。C.L. Ouedraogo (1997) 采用不同的条件对大豆蛋白进行加工研究抗营养因子的免疫活性, 结果表明采用全脂大豆在 100℃加工 10 分钟, 抗胰蛋白酶活性、大豆球蛋白和  $\beta$ - 伴大豆球蛋白免疫活性分别是生大豆的 40%、17%、5%, 经过烘烤 30 分钟后, 三种抗营养因子的免疫活性分别为生大豆的 20%、6%、3%, 同时加热对蛋白质结构也有一定的影响, 在一定程度上有利于动物消化吸收。在生产中大豆蛋白加热过度会导致必需脂肪酸以及氨基酸的损失, 推荐全脂大豆粉较适宜的热加工处理条件是:常压处理 110℃60min 或 115℃40min、高压处理 105℃ (315lb/in<sup>2</sup>) 15min 以内为宜。

本试验研究表明经过膨化处理的大豆粉组犊牛生长效果要好于经过加热处理的大豆粉组。新生犊牛对植物源性养分的消化利用率较低, 一方面是植物蛋白本身的蛋白结构消化性很差, 另一方面植物蛋白含有多种抗营养因子如抗原蛋白、胰蛋白酶抑制因子等(Lalles 等, 1996a), 这些物质不但降低营养物质的消化率, 并对消化道有一定的损伤。此外植物蛋白会增加动物内源性氮和氨基酸的损失(主要包括动物自身以及菌体蛋白)(Bush 等, 1992; Leterme 和 Seve, 1998), 这也是导致消化性降低的一个重要因素。

此外, 代乳粉在皱胃中出现凝集对营养物质的消化代谢影响效果不一(Cruywagen, 1990; Jenkins 等, 1981; Petit 等, 1987), 有研究报道代乳粉中缺乏酪蛋白时, 不易形成凝块, 非酪蛋白的利用受到限制, 常导致腹泻, 生长速度慢, 影响全期的生长性能(Akinyele 和 Harshbarger, 1983), 但是也有研究认为凝集作用对新生动物的消化吸收功能影响并非必需的(Cruywagen, 1990; Petit 等, 1989)。饲喂含有大豆蛋白的代乳品, 小肠粘膜的形态结构异常会使对营养物质的消化吸收不充分, 因此犊牛生长性能较差(Seegraber, 1986)。大豆蛋白的过敏反应和抗胰蛋白酶因子会降低肠道内所必需的胰腺酶的浓度(Gardner 等, 1990a; Gorrill 等, 1986; Khorasani 等, 1989; Smith, 1957), 不适当的加工处理(Mir, 1991), 如高温下处理(Emmons 和 Lister, 1976)会改变蛋白质的质量, 会增加腹泻的发生率, 降低消化率, 造成营养物质缺乏, 降低生长速度。目前大量研究证明, 在适当条件下加工代乳品, 缺乏皱胃凝块的形成似乎对犊牛的生产性能影响不大或无影响(Cruywagen, 1990; Lammers 等, 1998; Petit 等, 1989)。当代乳品中含有大量的脂肪时(40%), 由于脂肪的凝集, 容易形成大的、坚硬的凝块, 对蛋白质进行包被, 会降低脂肪和蛋白质的释放, 促进在胃肠道内的消化(Jenkins 等, 1981)。犊牛代乳品中缺乏凝块, 可能是有害的, 但是犊牛对过度加热的乳源性蛋白消化率降低、皱胃滞留时间延长(Bondi 和 Alumot, 1987; Roy 等, 1970b)。这些热变性的蛋白很少能被小肠消化酶利用。不能消化的蛋白质或其他未消化成分, 进入小肠, 容易引起犊牛的感染和腹泻的发生。因此, 在最初的 3 周龄内, 犊牛体增重会降低 30%, 由于感染或发生营养性腹泻(Bondi 和 Alumot, 1987; Roy 等, 1970b)。高温加热的乳清粉会引起胃酸分泌的降低(是多种大肠杆菌的重要障碍物), 胰蛋白酶原和糜蛋白酶原分泌的降低(Williams 等, 1976), 降低胰腺的分泌速率(Roy 等, 1970a)。因此, 在实际生产中需要根据犊牛的生长和健康状况而不是其凝集能力作为判断代乳粉质量的依据。

有研究对犊牛小肠中日粮蛋白和内源蛋白组分进行了定量测定, 对照组犊牛饲喂以脱脂乳粉配合的代乳品, 对照组犊牛饲喂含有脱脂乳粉和大豆浓缩蛋白、部分水解大豆分离物或马铃薯蛋白浓缩物。采用连续灌注的方法, 将代乳品直接饲喂到皱胃中, 结果表明, 植物蛋白的表观消化率较低, 是由于提高了宿主和微生物内源蛋白的损失, 而并不是由于日粮蛋白的水解或其氨基酸



的吸收降低引起的(Montagne 等, 2001)。本试验中各处理组体重无显著的差异, 但是不同日龄平均体重都略低于全乳饲喂组, 日增重出现较明显的差异, 其中在饲喂前期比较明显的优于各处理组, 在 0-2 周龄之间显著高于 MR3 ( $P<0.05$ ), 极显著高于 MR1 组 ( $P<0.01$ )。随着犊牛日龄的增加, 日增重的差异越来越小, 可能是犊牛随着日龄的增加, 对植物源性成分逐渐适应, 体内消化酶的分泌能力能够适应日粮的类型, 消化机能逐渐增强, 对植物源性蛋白质的消化能力也逐渐提高, 因此在一定程度上也促进了犊牛对大豆蛋白消化吸收能力, 同时, 随着开食料的不断采食, 瘤胃逐渐的发育, 微生物不断的定植, 瘤胃发酵产生的挥发性脂肪酸和微生物蛋白等也为犊牛的生长提供一定的营养。

代乳品中的脂肪添加及加工工艺也是影响营养物质消化率的另一重要因素。脂肪的添加会影响代乳粉的凝集能力。当代乳品中包含有不同的植物性和动物性蛋白质, 由于缺乏牛奶中自然存在的酪蛋白, 抑制了代乳品的凝集作用(Otterby, 1981)。日粮中脂肪消化的数量(Mylrea, 1966), 脂肪的状态(Toullec, 1989)和加工的方法(Jenkins 等, 1981, 1986; Jenkins 等, 1985)对日粮的消化率的影响效果的报道也并不一致。对大豆蛋白与脱脂乳蛋白相比, 其生长性能较差的原因被认为是降低小肉牛的脂肪消化的作用。有研究将牛油和椰油混合, 加入脱脂牛奶中进行均质处理后在皱胃中形成柔软的凝块, 用于提高脂肪的消化率。饲喂含有加热大豆蛋白的小肉牛日增重和饲料转化效率比含有脱脂蛋白的代乳品的效果较差(Beynen 等, 1983; Nitsan 等, 1990)。低压分散脂肪是形成皱胃较大凝块的一种常用的均质化方法(Jenkins 等, 1981), 因此, 在生产中添加大量脂肪到低脂代乳粉中时, 通常采用低压分散技术, 促进凝块的形成。在代乳品加工产业中, 加工工艺的改进促进了犊牛对脂肪的消化率, 提高了生产性能, 并且增加饲喂后皱胃、十二指肠和空肠内甘油三酯和蛋白质的沉积(Jenkins 等, 1981)。本研究中 MR1 补充全脂大豆蛋白粉, MR2 中补充的是脱脂豆粉, MR3 补充的膨化豆粉。为了补足各组的粗脂肪水平, 本试验中采用了资料报道具有较高消化率的来自一定比例牛油、猪油和棕榈油的混合油, 在 MR2 中添加了量高, 故该组犊牛对脂肪的消化率高于大豆油含量高的 MR1 和 MR3 组。此外, 经过膨化的大豆粉, 可能由于其中含有的脂肪氧合酶的含量受加工的影响降低, 在代乳粉中添加后犊牛对该日粮的脂肪的消化率要高于含有加热处理的全脂大豆粉组 (MR1 组)。

尽管在植物源性蛋白中, 大豆蛋白的氨基酸组成较理想, 但也存在影响犊牛生长发育的限制性氨基酸。(Kanjapruhipong, 1998)在含有大豆蛋白的代乳粉中添加 Thr, Met 和 Lys, 犊牛の日增重, 氮沉积和回肠干物质、氮及氨基酸的消化率显著的高于未添加组。因此根据牛奶中氨基酸的组成, 在含有大豆蛋白的代乳粉中添加限制性 AA 能够显著的提高代乳粉蛋白质的质量和犊牛对代乳粉的利用效率。

## 2.3.2 不同加工处理大豆粉对犊牛消化代谢的影响

### 2.3.2.1 营养物质的消化率和氮沉积

本试验结果表明 20~25 日龄时, 犊牛对含膨化大豆的代乳粉干物质消化率最高, 达到 84.80%。并显著高于 MR1 组的 81.20% ( $P<0.05$ )。含有脱脂大豆粉的 MR2 组粗蛋白的表观消化率为 54.88%, 极显著低于 MR1 和 MR3 组的 64.12%和 65.14% ( $P<0.01$ ), 添加全脂大豆粉和膨化大豆粉的粗蛋白消化率接近 ( $P>0.05$ )。此期含有膨化大豆的 MR3 组粗脂肪的表观消化率显著高于含有全脂大豆粉的 MR1 组 ( $P<0.05$ ), 和含有脱脂大豆粉的 MR2 组差异不显著 ( $P>0.05$ )。

各组犊牛日食入氮量之间无显著差异；吸收氮 MR3 组显著高于其他两组 ( $P < 0.05$ )，MR1、MR2 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )；粪排出氮 MR2 显著高于其他两组 ( $P < 0.05$ )；尿排出氮 MR1 最高，显著高于 MR2 组 ( $P < 0.05$ )，与 MR3 组差异不显著 ( $P > 0.05$ )；日沉积氮 MR3 组极显著高于其他两组 ( $P < 0.01$ )，MR1、MR2 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )；不同处理组氮的分布也不一致，吸收氮占食入氮的百分比结果显示 MR1、MR3 组极显著高于 MR2 组 ( $P < 0.01$ )，二者之间没有显著差异 ( $P > 0.05$ )；尿中排出氮占食入氮百分比 MR1 极显著高于其他两组 ( $P < 0.01$ )，其他两组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )；沉积氮占整个食入氮试验组极显著高于其他两组 ( $P < 0.01$ )，其他两组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )；氮的利用效率各组之间的也有变化，尿排出氮占整个吸收氮的百分比 MR1、MR3 组极显著高于 MR2 ( $P < 0.01$ )，MR1 显著高于 MR2 组 ( $P < 0.05$ )；沉积氮占整个吸收氮的百分比 MR3 组极显著高于其他两组 ( $P < 0.01$ )，其他两组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

40~45 日龄时，犊牛对代乳粉的消化率提高，饲喂含加热大豆粉代乳品干物质消失率最高，显著高于 MR3 组 ( $P < 0.05$ )；MR1、MR3 组的粗蛋白表观消化率均极显著高于 MR2 组 ( $P < 0.01$ )，MR1、MR3 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )；粗脂肪的消化率 MR1、MR2 组间无差异 ( $P > 0.05$ )，均极显著高于 MR3 组 ( $P < 0.01$ )。在此阶段，犊牛对 MR3 代乳粉的蛋白质表观消化率较高，但对其脂肪的消化率为 77.21%，不及 MR1 和 MR2 组的 85.27% 和 84.36%。40~45 日龄犊牛饲喂不同代乳粉时体内氮平衡状况参见表 2-8。各组犊牛日食入氮间无显著差异；MR3 组吸收氮显著高于其他两组 ( $P < 0.05$ )；MR2 组粪排出氮高于其他两组 ( $P < 0.05$ )；MR1 组尿排出氮最高，显著高于 MR2 组 ( $P < 0.05$ )，与 MR3 组间相近 ( $P > 0.05$ )；日沉积氮 MR1 组显著高于其他两组 ( $P < 0.05$ )，MR1、MR3 组之间相近 ( $P > 0.05$ )；不同处理组氮的分布也不一致，通过计算各组犊牛吸收氮占食入氮的百分比，结果表明 MR1、MR3 组极显著高于 MR2 组 ( $P < 0.01$ )；尿中排出氮占食入氮的百分比以 MR3 组最高 ( $P < 0.01$ )，其次为 MR2 组，MR1 组最低 ( $P < 0.05$ )；MR1 和 MR3 组沉积氮占食入氮的百分比相近 ( $P > 0.05$ )，极显著高于 MR2 组 ( $P < 0.01$ )；犊牛对三种代乳粉的氮的利用效率也有差异，MR2 和 MR3 组尿排出氮占整个吸收氮的比率相近，显著低于 MR1 组 ( $P < 0.01$ )；MR1 组沉积氮占整个吸收氮的百分比极显著高于其他两组 ( $P < 0.01$ )。

本试验中犊牛在 40~45 日龄时对营养物质的表观消化率要明显高于 20~25 日龄，和 IO Akinyele (1983) 研究结果随着日龄的增长，犊牛对植物源性营养物质的消化利用率提高相一致。Akinyele 等采用荷斯坦犊牛对大豆蛋白的利用率进行了评估，研究发现当犊牛为 10~15 日龄时，饲喂 26%粗蛋白的代乳粉，乳蛋白、大豆浓缩蛋白和全脂大豆粉的干物质的消化率分别为 92.0%，70.0%，71.0%，蛋白质的消化率分别为 90.1%，56.6%，61.3%，脂肪的消化率分别为 88.9%，55.0%，53.2%。每日平均氮存留为 10.8g，-1.24g 和 -0.7 g。当犊牛为 30~35 日龄时，饲喂含有 30%粗蛋白的日粮，营养物质的消化率大幅提高，犊牛对乳蛋白、大豆浓缩蛋白和脱脂大豆粉代乳粉的干物质消化率分别为 87.5%，66.6%，47.9%，蛋白质消化率分别为 80.5%，57.2%，28.5%，脂肪消化率分别为 81.5%，55.9%，33.5%。每日的氮存留量分别为 10.8，2.9 和 -3.6 g，随着年龄的增长，犊牛对采用大豆为基础配合的代乳粉表现出更高的利用效率(Akinyele 和 Harshbarger, 1983)。

本试验中 20-25d 和 40-45d 犊牛对含有加热全脂大豆粉代乳粉的粗蛋白的表观消化率分别为 64.12% 和 67.52%，高于 Lalles 等 (1996) 报道的 59%。研究表明大豆中的抗营养因子主要分为

两类,一是热不稳定性物质如血球凝集素、胰蛋白酶抑制因子、促甲状腺肿大因子等(Dawson 等, 1988; Kakade 等, 1976; Khorasani 等, 1989; Lalles 等, 1996b), 还有一类是耐热性抗原成分(Mir, 1991)。试验中犊牛对脱脂大豆粉的表观消化率极显著低于其他两种加工处理的大豆蛋白, 原因可能是热处理以及膨化对大豆的营养特性有改善作用。犊牛在 20~25 日龄、40~45 日龄犊牛对大豆粉的消化率都较低。可能是由多种原因造成的, 首先犊牛自身的消化道发育不完全, 消化机能不完善, 对非乳源性物质的消化能力较差(Gardner 等, 1990b; Glimp, 1972; Guilloteau 等, 1986), 其次是大豆含有多种抗营养因子, 削弱了犊牛对营养物质的消化吸收。最早研究认为大豆蛋白因缺乏凝集特性, 快速穿过消化道而导致消化率降低(Sissons 等, 1982), 但是后来研究表明不具凝集特性的物质并不影响犊牛对其养分的消化吸收(Cruywagen, 1990)。Tukur 等利用大豆抗原作为犊牛营养消化吸收的主要物质, 研究表明大豆蛋白体外免疫抗原活性越高, 体内回肠食糜中大豆球蛋白以及  $\beta$ -伴大豆球蛋白含量越高, 日粮及大豆蛋白的表观消化率也越低。在研究中发现大豆蛋白中存在犊牛生长的限制性氨基酸, 其中蛋氨酸是第一限制性氨基酸(Ericksoll, 1989), 也有研究认为是赖氨酸。Montagne 等认为植物性蛋白质饲喂犊牛常常表现为低的表观消化率, 主要原因是由于动物本身以及细菌蛋白等内源性蛋白的损失, 而不是由于日粮蛋白水解下降以及氨基酸吸收的差异造成的(Montagne 等, 2001)。此外, 犊牛消化道对大豆蛋白抗原以及凝集素比较敏感, 常产生超敏反应, 对犊牛肠道的正常细胞增殖以及细胞分泌有不利影响, 这也是引起犊牛对养分消化率较低的原因。

#### 2.3.2.2 血液生化影响

因此给犊牛饲喂含有植物源性成分代乳粉时, 血液中蛋白质、脂肪等代谢产物及中间物的含量呈现一定的变化趋势。本试验研究结果表明血液中血糖和甘油三酯浓度各组之间也无显著差异 ( $P>0.05$ ), 但对照组 (CK) 甘油三酯浓度在前期有高于其它处理组的趋势, 可能是因为在前期犊牛对植物源性脂肪消化吸收率较低, 而乳源性脂肪易被犊牛消化吸收。有研究表明犊牛饲喂大豆蛋白代乳粉, 饲喂 2h 后血清中甘油三酯升高(Branco Pardal 等, 1995), 在本试验中未对犊牛血液中甘油三酯的浓度进行多时间点取样测定, 无法进行比较。血清尿素氮发生了比较明显的变化, 在 6 周时对照组 (CK) 显著高于 MR2、MR3 组, 而在 1 周时 MR1 组、MR3 组显著高于其他两组 ( $P<0.05$ ), 其中 MR1 组极显著高于 CK 组 ( $P<0.01$ ), 可能是由于饲喂大豆蛋白代乳粉缺乏凝集特性, 快速进入远端肠腔被降解消化(Sissons 和 Smith, 1982), 从而导致短时间内血液中尿素氮浓度增加, 而鲜乳由于凝乳酶的作用在皱胃中滞留时间较长, 犊牛消化吸收的主要部分是小肠, 饲喂 2h 后并无充分进入远端肠腔进行消化, 所以血液中直接反应是尿素氮浓度较低。随着犊牛日龄的增加, 凝乳酶活性逐渐减弱, 同时犊牛对蛋白的消化速率的提高, 从而提高血液中的尿素氮浓度, 到达 6w 时, 全乳饲喂组犊牛血清中尿素氮浓度高于各处理组, 与 MR2 组、MR3 组有显著差异 ( $P<0.05$ )。血清中总蛋白也发生了比较激烈的变化。总蛋白是白蛋白和球蛋白的总和, 当日粮中营养物质不平衡、适口性不好或消化不良, 犊牛采食量降低, 能量摄入不足, 则会引起犊牛总蛋白浓度下降。本试验设计的饲喂量仅是维持水平, 故对于饲喂大豆蛋白的犊牛来说, 由于消化吸收性较差, 能量和蛋白的摄入相对不足, 所以血液中总蛋白浓度下降。

#### 2.3.2.3 血液免疫球蛋白含量

血液中免疫球蛋白的含量在一定的程度上能够反应犊牛的免疫能力。Lalles 等研究认为大豆蛋白的消化率与大豆蛋白中大豆球蛋白以及伴大豆球蛋白的免疫活性成显著的负相关(Lalles 等,

1996a)。本试验中所有犊牛在出生后 24h 内都饲喂了充足的初乳, 获得了被动免疫功能, 在试验初期, 各组犊牛血液中免疫球蛋白的含量无显著差异 ( $P>0.05$ )。试验各组犊牛都随着日龄的增加, 血液中免疫球蛋白 IgA、IgG、IgM 浓度呈现逐渐下降的趋势。饲喂含有大豆蛋白的三组犊牛在饲喂代乳粉后血液中免疫球蛋白含量于饲喂后 1w 和 2w 都低于对照组犊牛, 大豆蛋白的饲喂降低了血液中免疫球蛋白的含量, 削弱了犊牛对疾病的抵抗能力。由于犊牛出生后, 自身没有抵抗疾病的能力, 需要在出生后 24 小时内立即从初乳中获得足量的免疫球蛋白经肠道进入血液, 来获得被动免疫, 随着日龄的增长这种被动免疫机制逐渐减弱, 大约在 4 周龄后自身免疫能力逐渐建立(Aschaffenburg 等, 1952, 1953; Davis, 1981; Ingram 等, 1958; Roy 等, 1955)。本试验中也发现了类似的规律, 在 4w 时测定, 犊牛血液中免疫球蛋白很低, 至 6w 时, 各组免疫球蛋白均升高。对照组犊牛饲喂牛奶, 尽管其中也含有少量的免疫球蛋白, 但是由于犊牛吸收完整免疫球蛋白的机制被逐渐封闭(Galyean 等, 1999), 也无法直接吸收进入血液参与免疫功能, 因此对血液中免疫球蛋白的含量影响甚微, 饲喂全乳犊牛血液中免疫球蛋白含量并无明显的优势。本试验中各代乳粉饲喂组犊牛日粮中含有植物源性蛋白组分, 消化吸收率较低, 并且其中的抗营养因子等对犊牛的胃肠道具有一定的损伤作用, 血液中的免疫球蛋白参与免疫反应, 不断的消耗, 自身的免疫功能尚未发育成熟不能产生足够的免疫球蛋白进行补充, 因此在 4w 时血清中 IgA、IgG、IgM 浓度发生比较明显的变化, 削弱了犊牛对疾病的抵抗能力。随着犊牛日龄的增长, 自身免疫机能不断的完善, 试验达到 6 周时, 饲喂全乳和各处理组间 IgG 浓度提高(Galyean 等, 1999), 但此时 MR2 组 IgA、IgM 浓度显著高于 MR1 组 ( $P<0.05$ ), 这可能与该代乳粉含有脱脂大豆蛋白有关, 虽然经过脱脂后去除部分抗营养因子, 如芳香酚复合物, 但是抗胰蛋白酶抑制剂和大豆凝集素等抗营养因子未消除, 不断的对犊牛产生刺激, 促使日趋完善的免疫系统产生更多的免疫球蛋白参与具有抗原活性的因子的作用。

#### 2.3.2.4 消化酶的活性

犊牛初生时瘤胃尚未发育完全, 随着固体食物的摄入, 瘤胃和网胃开始发育并迅速长大。皱胃基本不变, 瓣胃的发育相对缓慢。大约 12w 时才达到相对成年大小, 但 Blaxter 等研究认为 6~9 月龄时才达相对成年大小, 而牛的瓣胃一直发育至 36~38w。因此, 小肠是新生犊牛消化吸收营养物质的主要场所, 消化道中各种消化酶在犊牛消化过程起关键作用。本试验中, 饲喂含有不同加工处理大豆粉的代乳粉各组犊牛の日增重均低于牛奶饲喂组, 并且小肠的形态结构发生改变, 绒毛长度和隐窝深度和饲喂牛奶组有差异, 这和 Drackley 等 (2006) 给犊牛饲喂含有大豆浓缩蛋白的代乳粉, 引起犊牛の日增重降低, 小肠的形态结构改变等结果一致, 并且在该研究中, 补充谷氨酸, 并未增加犊牛の日增重, 各处理组绒毛长度和隐窝深度在十二指肠各组差异不显著; 空肠内绒毛的高度及隐窝的深度在牛奶饲喂组高于各大豆组; 回肠饲喂牛奶组绒毛高度高于大豆组, 但隐窝的深度更为明显, 绒毛长度: 隐窝深度比值在补充谷氨酸组比只有谷氨酸组要低, 此外血清尿素氮浓度在补充谷氨酸后较高, 表明谷氨酸部分的被水解, 在含有大豆浓缩蛋白的代乳粉中补充 1% 的谷氨酸并不能改善小肠的形态。

反刍前犊牛靠小肠上皮细胞和胰腺分泌的消化酶实现对营养物质的消化, 且犊牛小肠中蛋白酶及脂肪酶主要来自于胰腺分泌液(Montagne 等, 2003)。本试验中测得饲喂不同加工处理大豆蛋白对胰蛋白酶和糜蛋白酶的活性具有抑制作用, 酶的活性均低于饲喂牛奶组, 表明日粮对消化酶的分泌具有调节作用。Gornill 和 Thomas (1986) 指出, 饲喂高大豆蛋白日粮与饲喂乳蛋白相比,

胰液分泌量与酶活性显著降低, 同样在 Guilloteau 等 (1992) 研究中也发现补充大豆蛋白, 消化酶的活性降低, 与本试验结果一致。在 Liener (1994) 研究中当日粮中有未经处理或生的大豆粉时, 胰液中淀粉酶、脂肪酶和胰蛋白酶的相对活性降低。Zabielski 等研究认为影响胰腺分泌功能发育的主要因素是日粮类型 (液体或固体), 而日龄的影响次之。Nakai 等 (1992) 研究发现当日粮中采用生大豆粉替代加热大豆粉时, 小鼠胰腺分泌的胰蛋白酶、糜蛋白酶、酯酶和淀粉酶的数量显著增加, 认为 CCK 和胰蛋白酶对于胰腺外分泌功能具有负反馈作用。胃肠激素对胰腺的外分泌具有调控作用, 饲喂大豆产品会导致胃肠激素分泌的改变, 从而影响胰腺胰液的分泌以及蛋白酶的排出。Bannon 研究表明胆囊收缩素 (CCK) 通过反馈作用能够调节蛋白酶的分泌。Le Drean 等 (2000) 试验中发现犊牛出生后饲喂适口性差的日粮, 会在饲喂前引起神经路径中 CCK-A 受体的改变, 进而调节胰腺的分泌功能, 在饲喂后, CCK 和 CCK-A 受体都参与胰腺的响应。在一定的生理范围内, CCK 和胃泌素能够促进犊牛胰腺的外分泌功能, CCK-A 受体在 CCK 调节胰腺外分泌过程中起重要作用。本试验中脱脂大豆粉中含有的胰蛋白酶抑制剂也会引起胰腺外分泌功能减弱, 因此降低消化道中消化酶的活性。

犊牛的日粮和日龄是影响消化酶分泌的重要因素。犊牛对脂肪的消化吸收依赖于胰腺分泌的胰脂肪酶, 小肠不分泌脂肪酶, 同时肝脏分泌的胆汁量对脂肪的消化吸收也有很大影响。羔羊饲喂代乳粉时胰腺脂肪酶活性比饲喂鲜奶的高 (Gorrill 等, 1986)。McCormick 等用通过胰腺瘘管研究表明, 犊牛胰腺分泌量从 4 日龄到 100 日龄大约增加 6 倍, 到达 4 月龄时, 分泌量趋于稳定, 近似于成年, 但与代谢体重的关系基本恒定 (Walker 等, 1998), 胰液的分泌是食糜从皱胃到十二指肠的流动开始, 胰液的最大分泌量发生在饲喂后的 1-2h 内。饲喂后 2h 总酶量达到最高。本试验在饲喂 6w 后对犊牛进行屠宰, 测定消化液中的消化酶的活性, 只能说明经过一段试验饲喂后, 大豆蛋白对消化酶的分泌和活性及小肠形态结构的恢复情况, 间接的反应各加工处理下大豆粉对犊牛消化功能的影响。

本试验结果表明犊牛饲喂脱脂大豆粉时小肠中胰脂肪酶活性最高, 而膨化大豆粉组最低, 因此, 该组犊牛对脂肪的消化率低于 MR2 组, 其原因可能是本试验中所使用的膨化大豆粉粒度较大, 过 40 目筛, 其余两种代乳粉均为 100 目筛, 膨化大豆粉中较大颗粒中含有的脂肪不能充分和胆汁进行乳化作用, 和脂肪酶的接触面积较小造成的, 并且较大的颗粒增加了犊牛胃肠道的排空速度, 犊牛粪便中有大豆的颗粒存在, 影响了犊牛对脂肪的消化吸收, 因此对脂肪的消化利用率低。此外, 糜蛋白酶、胰蛋白酶和脂肪酶的活性在空肠部分高于十二指肠部分, 是营养物质的主要消化位点, 本试验获得相同结果 (寇占英, 1999)。

### 2.3.3 不同加工处理大豆粉对犊牛消化道发育的影响

在本试验中也发现经过膨化处理的大豆粉, 在代乳粉中添加, 该组犊牛的平均日增重、蛋白酶的活性、小肠形态结构的完整性等在三种代乳粉饲喂中最好。其原因可能是大豆经瞬间高温、干法挤压, 不但有效的降低了抗营养因子的含量, 同时也可能改善了大豆中的纤维结构, 其消化性增强, 该代乳粉犊牛的日常增重在三种代乳粉中最高, 高于脱脂大豆粉组。

幼龄犊牛瘤胃尚未发育完善, 小肠是犊牛营养物质消化吸收的主要部位。小肠组织形态结构正常与否是保证犊牛消化吸收功能的关键。小肠粘膜绒毛高度、隐窝深度、二者的比值是反映小

肠组织形态结构和功能最直接的指标。因此小肠粘膜绒毛越长,发育正常,分布均匀整齐,隐窝深度较浅,其小肠的分泌功能和吸收功能就较好,其中任一指标发生变化都会直接影响到小肠正常功能的发挥。小肠粘膜绒毛状况与消化酶的合成和分泌直接相关。如果日粮造成小肠粘膜绒毛萎缩或造成位于其刷状缘的酶损失,由于只有位于绒毛顶端的成熟的肠细胞才具有完全分泌相关酶的能力,因此,犊牛肠绒毛损伤通常伴随有多种酶活性降低的现象。隐窝是肠细胞开始生成的地方,向上迁移过程中逐渐分化成熟,到达绒毛顶端时分化为完全成熟的肠细胞,具有完全的分泌和吸收功能。隐窝增生一方面导致细胞迁移到肠绒毛顶端的时间延长,成熟肠细胞数量减少,从而降低小肠的功能,另一方面隐窝增生说明细胞的分裂数增加,大量的不成熟肠细胞生成又增加了犊牛腹泻的危险。绒毛高度和隐窝深度的比值是反映犊牛肠道组织形态结构最科学的指标。

目前大豆产品引起幼龄仔畜肠道损伤的详细机制还没有研究清楚。未经加工的大豆粉中抗营养因子过多,犊牛肠道产生严重的过敏反应。加热以及膨化处理可以去除一部分抗营养因子,从而减小其对肠道的损伤。有研究者认为大豆抗原是引起小肠组织形态结构损伤的主要物质。Sissons首次发现了小肠粘膜柱状细胞对大豆抗原敏感(Sissons 等, 1982)。本试验中以全乳饲喂的犊牛小肠各段形态结构为对照组,对三种不同加工处理的大豆粉饲喂犊牛产生的小肠组织形态结构的变化进行对比,研究发现犊牛饲喂全乳时小肠各段组织形态比较正常,饲喂不同处理的大豆粉时小肠的组织形态结构发生了不同程度的损伤,小肠各段绒毛高度显著降低( $P<0.05$ ),隐窝的绝对深度变化不大( $P>0.05$ ),但是绒毛高度与隐窝深度的比值受大豆粉饲喂的影响较大,显著的低于饲喂牛奶犊牛。这一结果和 Lalles 所获得的结果一致(Lalles 等, 1996a),其原因可能是各组中所代用的大豆粉虽然经过一定的加工处理,但存在一定数量的抗营养因子所致。Lalles 的研究发现大豆蛋白使小肠粘膜绒毛长度缩短到三分之一,其原因在于大豆蛋白的抗原性(Lalles 等, 1996a)。本试验中,脱脂大豆粉是经过有机溶剂浸提后进行粉碎处理的,未经过高温处理,该豆粉中的抗胰蛋白酶抑制剂和大豆凝集素等热敏感抗营养因子并未消除或钝化,因此对犊牛的肠道损伤最严重,并且该组犊牛小肠伴随绒毛明显萎缩甚至有轻微的脱落症状,隐窝增生现象。Sissons (1982) 研究报道犊牛对大豆蛋白中抗营养因子尤其是抗原蛋白敏感,常常会导致消化道的超敏反应,主要包括肠粘膜绒毛萎缩,同时还可能伴随有隐窝增生,吸收消化障碍,小肠排空加速,胃运动过强以及腹泻(Sissons 等, 1982), 和本试验结果一致。加热大豆粉和膨化大豆粉两组犊牛的绒毛较长,并且绒毛高度与隐窝深度的比值低,表明大豆中抗营养因子与其对肠道的损伤成正相关。Ouedraogo 将全脂大豆在  $100^{\circ}\text{C}$  加工 10min, 抗胰蛋白酶活性、大豆球蛋白和  $\beta$ -伴大豆球蛋白免疫活性分别是生大豆的 40%、17%、5%, 当对全脂大豆蛋白烘烤 30min 后, 三者抗胰蛋白酶活性、大豆球蛋白和  $\beta$ -伴大豆球蛋白免疫活性分别为生大豆的 20%、6%、3%。因此大豆蛋白对犊牛肠道都有损伤,实际生产中需在犊牛代乳粉中加入一些肠道保护剂,目前在单胃动物研究应用较多效果较好的是谷氨酰胺(张军民 等, 2003)。

#### 2.3.4 饲喂代乳粉饲养犊牛经济效益分析

本试验中有关经济效益分析按照牛奶的价格 2 元/公斤进行计算,在整个试验期内,CK、MR1、MR2、MR3 组饲喂牛奶或代乳粉的量分别为 190.624kg、22.635kg、21.438 公斤和 21.438kg。按照代乳粉的价格为 12 元/kg 进行计算,各组用于牛奶或代乳粉的费用分别为 381.248 元, 271.614 元,

257.25 元和 270.018 元。饲喂代乳粉培育犊牛的饲养成本要低于牛奶饲喂。每公斤犊牛代乳粉的价格为 12 元/kg, 每公斤代乳粉用水进行溶解后相当于 8kg 牛奶, 当牛奶的价格低于  $12/8=1.5$  元/公斤时, 饲喂代乳粉无效益。因此, 代乳粉的饲喂较适合规模牛场, 奶牛的饲养管理规范, 环境卫生条件好, 疾病防疫好的规模牛场, 牛奶质量高, 销售价格高。对于农户养殖, 牛奶的质量不佳, 价格受限时, 饲喂代乳粉无效益。

## 2.4 小结

2.4.1 代乳粉中添加全脂大豆粉、脱脂豆粉和膨化大豆粉对犊牛的生长有一定影响。在试验期内犊牛平均日增重分别为 0.26 kg/d、0.18kg/d、0.26kg/d, 低于牛奶饲喂的犊牛 (0.39kg/d)。

2.4.2 饲喂不同加工处理大豆蛋白对小肠形态结构造成损伤, 降低了食糜中胰蛋白酶和糜蛋白酶的活性。有机溶剂脱脂的豆粉对犊牛免疫损伤最严重, 对养分的消化率最低, 氮沉积差, 不宜在代乳粉中添加; 膨化大豆粉对犊牛肠道的损伤较轻, 食糜中蛋白酶活性也较高, 氮沉积较高, 适宜在代乳粉中添加。随着犊牛日龄的增加, 对不同加工处理大豆粉的消化率提高。

## 第三章 饲喂代乳粉犊牛对断奶后固体日粮的适应性研究

犊牛断奶受到断奶日龄、心理、环境和营养等影响,对断奶产生的应激反应极为明显,主要表现为厌食、生长延滞等现象(Veissier, 1989a),并且增加疾病的敏感性,延长育种过程,降低精选替补,增加备用犊牛购买费用(James 等, 1984),断奶应激的产生不仅影响了犊牛的健康,对后继生产性能亦有不良影响(Arthington 等, 2003; Arthington 和 Kalmbacher, 2003; Smith, 2003)。伴随断奶应激,犊牛血液中一些代谢物的含量及犊牛的免疫功能也产生一定的变化(Davis, 1998; Friend, 1991)。在现代化牧场中,为了减少死亡率损失和降低牛奶饲喂费用和劳动力投入,通过良好的培育促进干饲料的尽早采食,促进瘤胃发育,可以减缓断奶对断奶后期增重产生负面影响(Anderson 等, 1987; Quigley 等, 1991a)。

本章在前面试验的基础上,选择含有膨化大豆粉的代乳粉饲喂犊牛,以牛奶饲喂犊牛为对照,在 55 日龄对犊牛突然断奶饲喂 TMR 日粮,观察在断奶两周内,犊牛血液中代谢物和应激有关激素的变化情况及瘤胃挥发性脂肪酸的变化及瘤胃形态结构变化情况,观察含有膨化大豆的代乳粉对犊牛断奶后适应能力的影响。

### 3.1 材料和方法

#### 3.1.1 犊牛的饲养和管理

随机选择体重相近的新生黑白花公犊牛 48 只,饲喂初乳后,随机分为两组,对照组犊牛饲喂牛奶,试验组犊牛饲喂代乳粉。饲喂液体饲料阶段犊牛进行单笼饲养,每日犊牛牛奶的饲喂量为犊牛体重的 10%,代乳粉的喂量(DM)为体重的 1.25%。每日牛奶和代乳粉的喂量分成三份,分别在 7:30, 14:30 和 21:00 进行。7 日龄开始犊牛自由采食羊草,补充开食料(试验期间,实验组和对照组犊牛饲喂开食料量一致,实行限量饲喂的方式),自由饮水。当犊牛达到 55 日龄时,对试验犊牛进行断奶,饲喂玉米青贮和精料混合配制的 TMR 日粮。

#### 3.1.2 样品的采集和测定

##### 3.1.2.1 血液样品的采集

在犊牛断奶的第-1d(断奶前一天), 0d, 1d, 4d, 7d, 14d 晨饲后两小时,用真空采血管从犊牛的颈静脉采血,装入涂有抗凝剂肝素的试管内或添加促凝剂的试管中,在 3000rpm 离心 15 分钟,分离血清和血浆,分装于 eppendoff 管中, -30℃ 冰箱保存待用。血清样品采用贝克曼全自动生化分析仪测定葡萄糖,尿素氮,总蛋白,白蛋白,总胆固醇,甘油三酯,急性蛋白和免疫球蛋白的含量。血浆中胰岛素和皮质醇的含量采用北京华英生物技术公司研制的放射免疫试剂盒测定。

##### 3.1.2.2 瘤胃组织样品的采集和测定

每组选择 4 头犊牛在断奶(饲料变更)的第-1d(饲喂代乳粉或牛奶), 0d(饲喂 TMR 日粮), 1d, 4d, 7d, 14d 晨饲后两小时采用颈静脉放血的方法进行屠宰取样。犊牛宰后,立即打开腹腔,瘤胃内的食糜进行取样,分别取每段中部食糜约 10g 放入塑料袋中,迅速放入液氮中速冻。取食糜后的小肠和瘤胃用预冷的 0.9%NaCl 溶液冲洗三遍,将肠壁剪开,先用纱布轻轻吸附内膜的水



并称重。所有被速冻的样品立即移入-80℃冰柜保存备用。

肠道组织形态组织取样：取小肠分为十二指肠、空肠和回肠，在十二指肠、空肠前、中和远端中部取组织样，用生理盐水冲洗干净后，于 4%多聚甲醛固定液中固定，制作切片，用苏木精-伊红染色观测。

瘤胃组织样品的采集方法和部位参见文献报道( Lesmeister 等, 2004)，取瘤胃背囊头部位点组织，取经甲醛固定，制作切片，用苏木精-伊红染色观测。

3.1.2.4 瘤胃液样品的采集和测定

犊牛屠宰后，立即用三层纱布过滤瘤胃内容物获取瘤胃液分装冻存。使用 GC-4800A 气相色谱仪测定瘤胃液 VFA 浓度。

3. 1. 3 试验数据的处理和统计分析

采用 SAS9.0 统计软件的一般线性模型 GLM 程序进行方差分析，差异显著者采用 LSMENAS 程序对断奶前后各时间点血液指标的变化情况进行多重比较。采用 ttest 程序对同一时间，对照组和试验组犊牛测定指标进行分析。

3. 2 结果与分析

3. 2. 1 犊牛干物质采食量的变化

表3-1 犊牛干物质采食量 （kg）  
Table3-1 Dry matter intake of calves

项目 Item	液体 Liquid diet	日粮 diet						
		TMR Total mixed ration						
时间 time	-1	0	1	2	3	4	5	6
CK	1.52	0.672	0.75	0.867	0.88	0.88	0.92	0.96
MR	1.53	0.832	0.9	0.947	1	1	1.08	1.12
时间 time		7	8	9	10	11	12	13
CK		1	1	1.04	1.08	1.12	1.16	1.16
MR		1.28	1.28	1.28	1.32	1.4	1.4	1.44

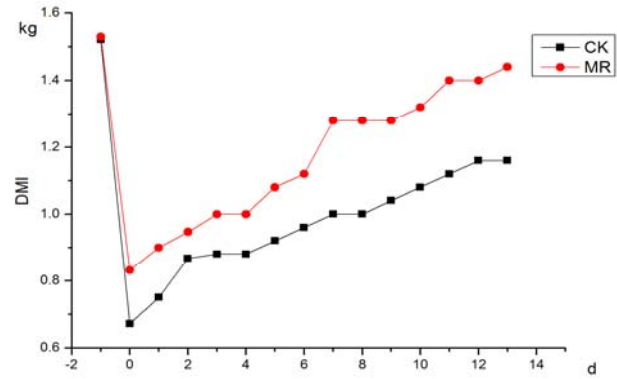


图 3-1 采食量的变化

本试验中犊牛在饲喂牛奶或代乳粉中，对营养物质采用限量饲喂，因此，犊牛对干物质的采食量无差异，在饲料变更当日，饲喂 TMR 日粮，两组犊牛的干物质采食量都突然降低，随后逐渐上升到 2w 时，干物质采食量基本恢复到正常水平。通过图 3-1 和表 3-1 可见，饲喂代乳粉犊牛对 TMR 日粮表现出较好的采食性，干物质采食量在变更后各天均较对照组高。饲喂代乳粉犊牛的干物质采食量仍趋于上升趋势，但饲喂牛奶的犊牛瘤胃发育较慢（图 3-4），采食量低于试验组饲喂代乳粉犊牛。

### 3.2.2 瘤胃发酵参数

表3-2断奶前后犊牛瘤胃挥发性脂肪酸浓度

Table3-2 Ruminal volatile fatty acids concentration of calves pre- and post-weaning

项目	时间						显著性分析	
Item	—1	0	1	4	7	14	SEM	p
乙酸（ $\mu\text{mol/ml}$ ）acetic acid								
CK	54.48A	57.81a	68.82a	68.79a	65.67A	68.27A	1.21	<0.01
MR	52.61B	44.29a	39.85a	50.67a	53.32B	45.53B	1.05	<0.01
丙酸（ $\mu\text{mol/ml}$ ）propionic acid								
CK	46.83B	34.71B	38.99a	46.09B	39.84B	44.94B	1.38	<0.01
MR	52.61A	44.29A	39.85a	50.67A	53.32A	45.53A	0.83	<0.01
丁酸（ $\mu\text{mol/ml}$ ）butyric acid								
CK	11.85A	10.49A	12.89b	16.68a	19.15a	22.38B	0.90	<0.01
MR	22.82A	12.93A	14.85a	14.13b	16.57b	16.40A	0.55	<0.01
总挥发酸（ $\mu\text{mol/ml}$ ），total VFA								
CK	120.08B	108.60B	125.71a	135.62a	130.58B	150.52A	2.75	<0.01
MR	163.78A	120.73A	129.48a	139.35a	151.40A	139.37B	2.32	<0.01

注：同列数据字母相同或无字母者表示差异不显著（ $P>0.05$ ）、不同表示差异显著（ $P<0.05$ ），数据为平均值±标准差。

瘤胃内挥发性脂肪酸的浓度参见表 3-2，随着犊牛的断奶，饲喂方式和饲养环境的改变，读牛瘤胃内挥发性脂肪酸的浓度在断奶后两周内变化显著（ $P<0.05$ ）。断奶前，犊牛瘤胃中乙酸浓度和对照组犊牛相近，而丙酸和丁酸及总挥发性脂肪酸的浓度均比对照组犊牛高。在断奶当日，试验组和对照组犊牛瘤胃中总挥发性脂肪酸的浓度多降低，在断奶后两周内逐渐恢复，但在断奶前和断奶后两周内，试验组犊牛瘤胃中挥发性脂肪酸的浓度均高于对照组犊牛。

### 3.2.3 瘤网胃的发育

#### 3.2.3.1 瘤网胃组织

饲喂一定时间后，犊牛瘤胃和网胃发育的状况见图 3-3 和图 3-4。饲喂牛奶的对照组犊牛瘤胃的颜色较浅，可见瘤胃乳头，乳头的长度较短，网胃的颜色为肉红色，网胃的网格结构已可见，

但是网格较浅。饲喂代乳粉犊牛瘤胃的发育状况比对照组犊牛好，瘤胃乳头较长、密集，瘤胃的颜色较深，并且有不少的皱褶出现，增加了瘤胃壁吸收挥发性脂肪酸等营养物质的面积，网胃的发育也较饲喂牛奶组好，网胃的颜色也较对照组犊牛深，蜂窝结构已经形成。

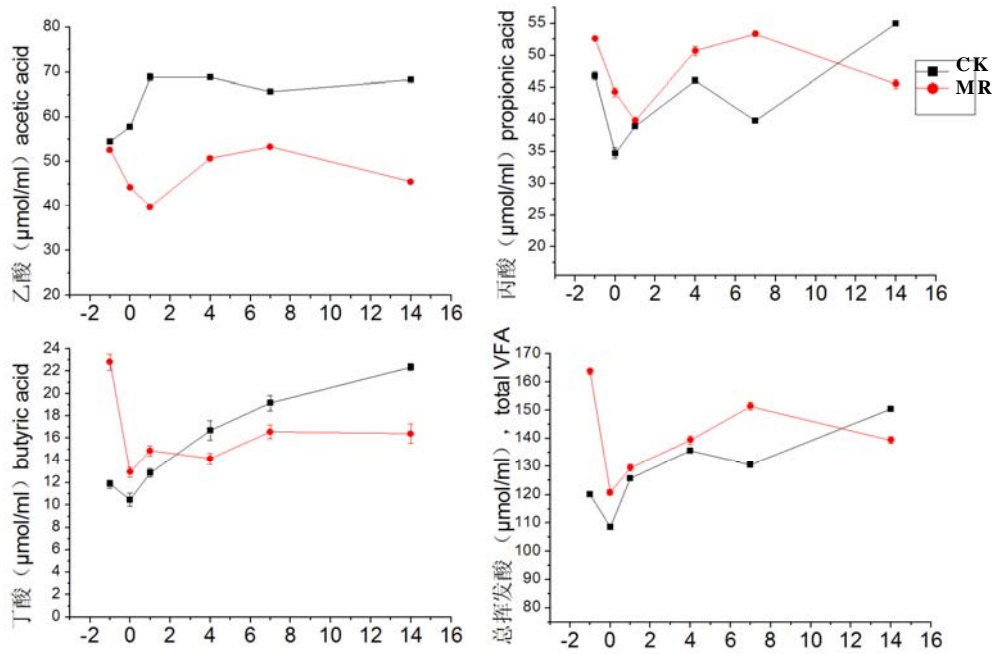


图 3-2 瘤胃挥发性脂肪酸变化趋势

3.2.3.2 瘤胃组织形态结构

采集 55 日龄分别饲喂牛奶和含有膨化大豆代乳粉犊牛瘤胃组织样品制作切片，观察断奶前饲喂代乳粉对犊牛瘤胃组织发育的影响，结果参见图 3-5。

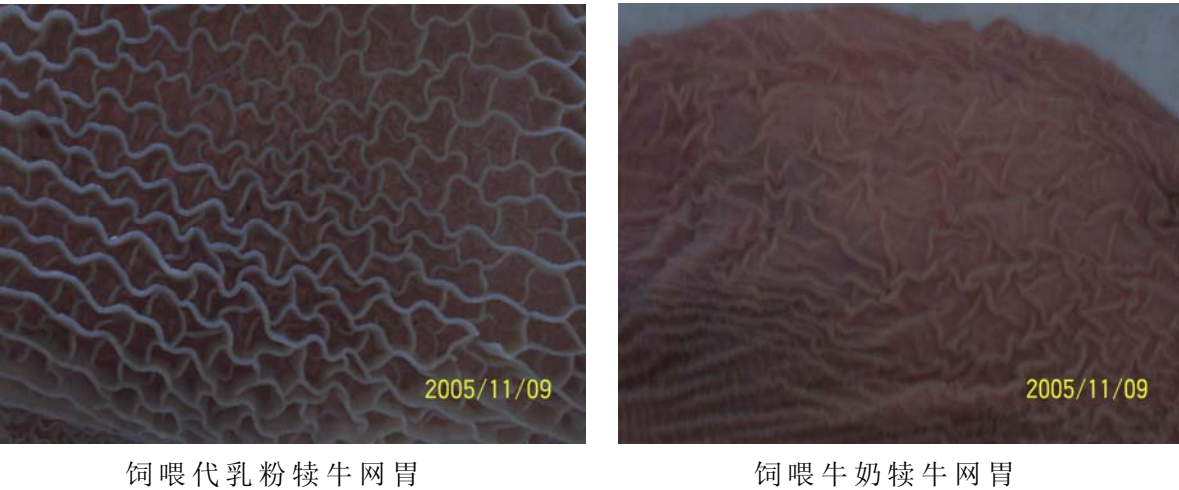


图 3-3 犊牛网胃的比较 (55 日龄)

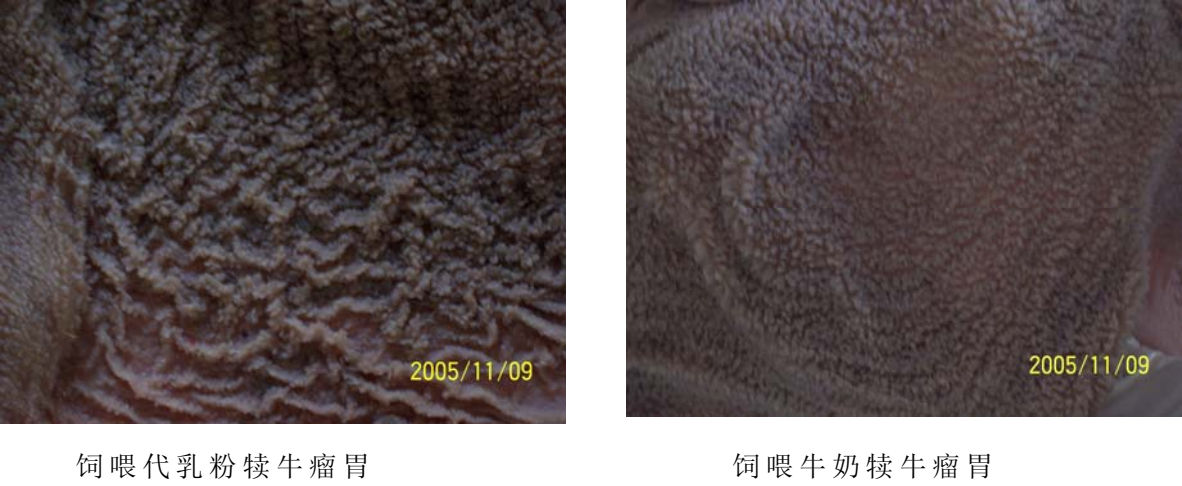


图 3-4 犊牛瘤胃的比较（55 日龄）

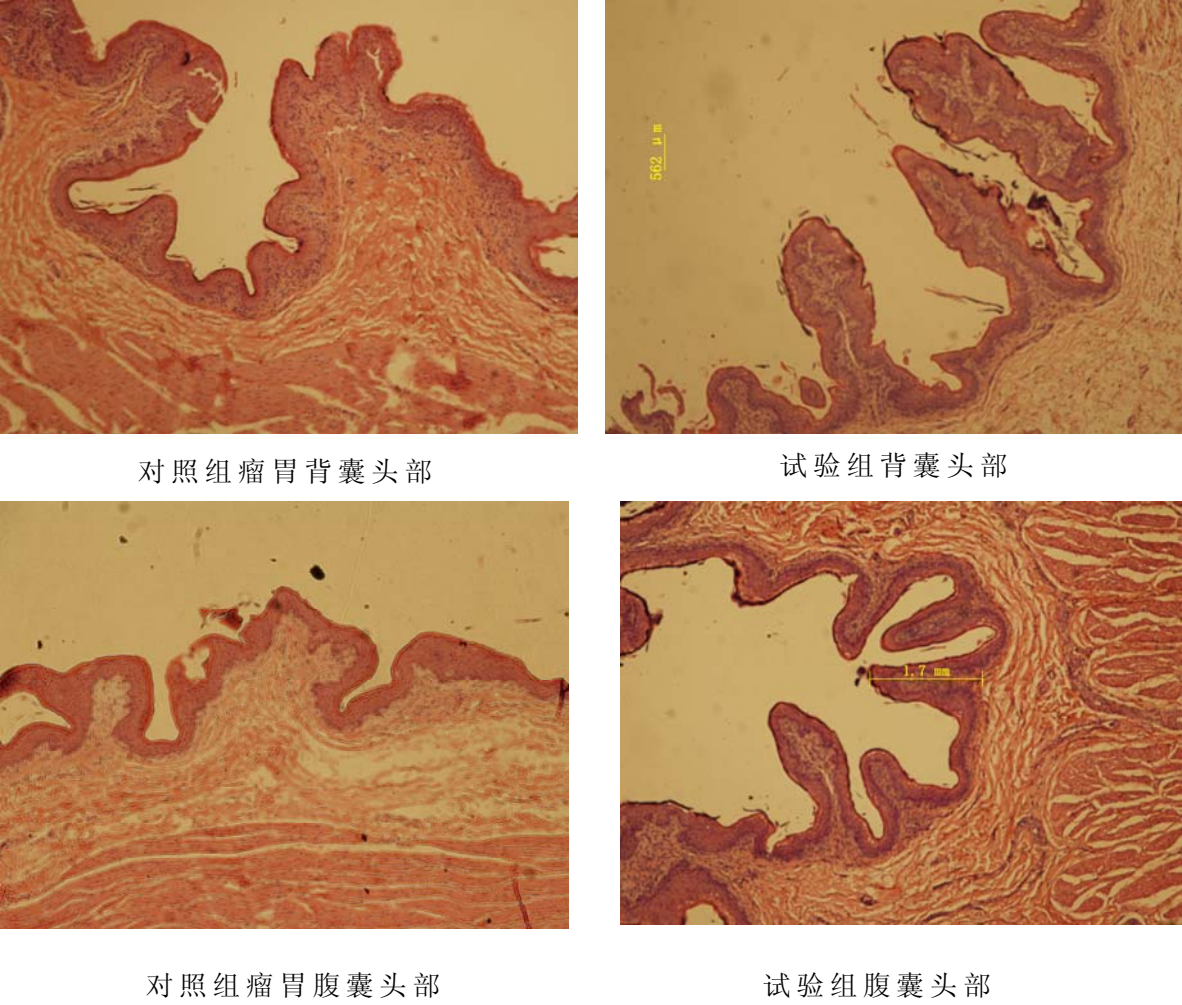


图 3-5 瘤胃组织切片（55d）

由上图切片可见，饲喂牛奶组瘤胃乳头成圆锥型，基部较宽，乳头较短。饲喂膨化大豆的代乳粉组犊牛瘤胃上皮突出，绒毛长度大，在同一个倍数观测下单位面积瘤胃乳头数较多。因此，饲喂含有膨化大豆的代乳粉对瘤胃发育状态好，对瘤胃发育有促进作用。

3. 2. 4 血液中代谢物浓度的变化

血液中代谢物浓度的变化情况和变化趋势参见表 3-3。本试验结果表明犊牛的饲料由液体状态（牛奶或代乳粉）饲喂转变为 TMR 日粮时，对犊牛产生一定的应激反应，伴随血液中代谢物的浓度发生一定的变化，随着对固体饲料形态的逐渐适应，血液中代谢物的浓度大多在 7~14d 时逐渐恢复正常。

表3-3血液中代谢物浓度

Table3-3 Blood metabolites concentration of calves

项目 item	液体饲喂 Liquid diet	TMR 饲喂 Total mixed ration					显著性 significance	
	-1	0	1	4	7	14	SEM	P
葡萄糖 Glucose (mmol/L)								
CK	5.42a	4.54a	4.14a	4.24a	4.06a	4.82a	0.13	<0.01
MR	5.72a	5.28a	4.38a	4.05a	4.05a	5.05a	0.18	<0.01
胆固醇 Cholesterol (mmol/L)								
CK	2.87B	3.05b	3.50a	2.82b	2.59b	2.29a	0.10	<0.01
MR	3.83A	3.77a	4.10a	3.68a	3.27a	2.77a	0.42	<0.05
甘油三酯 Triglyceride (mmol/L)								
CK	0.233a	0.233a	0.276a	0.235a	0.198a	0.188b	0.10	<0.05
MR	0.226a	0.231a	0.213a	0.187b	0.208a	0.303a	0.11	<0.05

注：同列数据字母相同或无字母者表示差异不显著（P>0.05）、不同表示差异显著（P<0.05），数据为平均值±标准差。

3. 2. 5 血浆中胰岛素和皮质醇和急性蛋白含量的变化

表3-4血浆中胰岛素、皮质醇及急性蛋白含量

Table3-4 Concentration of plasma insulin, cortisol and acute-protein

项目 Item	液体饲喂 Liquid diet	TMR 饲喂 Total mixed ration					显著性 significance	
	-1	0	1	4	7	14	SEM	P
胰岛素 Insulin (IU/L)								
CK	24.180	23.118	22.234	21.852	22.210	21.112	0.813	0.940
MR	25.053	22.794	23.042	23.447	22.549	21.250	0.668	0.741
皮质醇 cortisol (ng/ml)								
CK	22.355B	53.249A	38.020a	34.851A	10.741B	25.399A	2.793	<0.01
MR	25.200A	20.916B	38.714 a	22.453B	29.427A	20.803B	1.321	<0.01
急性蛋白 Acute-protein (g/L)								
CK	3.440a	4.044a	4.576b	4.282b	3.549b	3.205b	0.136	0.028
MR	4.001a	4.336a	5.658a	5.682a	5.461a	4.029a	0.179	<0.01

注：表内同列数据，标有不同小写字母者差异显著（P<0.05），相同字母或无字母者间差异不显著（P>0.05）；同列标有不同大写字母者差异极显著（P<0.01），



血浆皮质醇浓度在犊牛断奶后迅速升高，试验组升高最快，试验组犊牛在断奶后第一天升高到峰值，在断奶后第 4d，血浆中皮质醇的浓度降低到断奶前水平，到断奶后 14d 皮质醇的浓度已稳定。血液中急性反应蛋白随断奶应激的产生发生了比较明显的变化，对照组犊牛断奶当日血浆中急性蛋白含量迅速上升，试验组犊牛在断奶当天有上升的趋势，在断奶后第 4d 达到峰值，至断奶后第 14d，急性蛋白浓度稳定到断奶前水平。在断奶后第 1d 血液中急性蛋白浓度显著高于对照组。

3.2.6 血清免疫球蛋白含量的变化

表3-5血清中免疫球蛋白含量

Table3-5 Serum Immunoglobulin Concentration

项目 Item	液体饲喂 Liquid diet -1	TMR 饲喂 Total mixed ration					显著性 significance	
		0	1	4	7	14	SEM	P
IgG (mg/100mL)								
CK	0.102	0.100	0.128	0.104	0.116	0.086	0.008	0.730
MR	0.088	0.094	0.120	0.098	0.088	0.110	0.032	0.269
IgA (mg/100mL)								
CK	0.198	0.203	0.242	0.212	0.234	0.175	0.012	0.701
MR	0.192	0.184	0.218	0.210	0.200	0.213	0.007	0.649
IgM (mg/100mL)								
CK	0.139	0.132	0.159	0.145	0.158	0.123	0.008	0.785
MR	0.130	0.129	0.148	0.141	0.146	0.140	0.006	0.882

对照组犊牛在饲料变更的-1, 0, 1, 4, 7, 14d 血清中 IgG、IgA 和 IgM 的含量与试验组犊牛无差异 ( $P>0.05$ )，并且犊牛血清免疫球蛋白不受饲料变更的影响 ( $P>0.05$ )。

3.3 分析与讨论

3.3.1 采食量的变化

本试验中对照组和试验组犊牛在断奶前分别饲喂牛奶和含有膨化大豆的代乳粉。开食料进行限制饲喂，饲喂量一致，因此，在断奶前两组犊牛的干物质采食量相近。当在犊牛 55 日龄时采用全混合日粮 (TMR) 替代牛奶或代乳粉饲喂犊牛，在断奶当日，两组犊牛的干物质采食量均急剧下降，表现出厌食现象。在 Veissier (1989a) 的研究中也发现犊牛断奶受到断奶日龄、心理、环境和营养等影响，对断奶产生的应激反应极为明显，主要表现为厌食、生长延滞等现象。但断奶前饲喂代乳粉组犊牛干物质的采食量回升较对照组快，在断奶后 2w，干物质采食量接近断奶前的水平，而饲喂牛奶组犊牛干物质采食量在断奶后两周内各测定时间点均低于试验组犊牛。

3.3.2 瘤胃形态结构和功能的发育

新生犊牛和单胃动物的区别在于其胃肠道形态结构上具有瘤胃、网胃和皱胃。但是，瘤网胃和皱胃尚处于未发育状态，对营养物质的消化方式和单胃动物相似(Longenbach 和 Heinrichs, 1998)，需要借助食管沟的作用 Church, 1988)，将牛奶等液体饲料直接输送到皱胃内，开始消化，

且消化吸收效率很高(Davis, 1998)。犊牛在完全断奶前,需要具有一定体积和发酵功能的瘤网胃组织,才能完成对断奶后干饲料和饲草供给营养方式的适应,从中获取养分进行利用,因此,断奶前犊牛瘤胃细胞的生长及非功能性瘤胃组织的成熟,瘤胃容积的发育和功能的建立对新生犊牛至关重要。本试验中饲喂牛奶的犊牛前胃发育较差,网胃和瘤胃上皮的颜色都较试验组犊牛浅,网胃的蜂窝结构尚未形成,而试验组犊牛网胃已形成典型的蜂窝状结构,为瘤胃内微生物对固体饲料的发酵提供了“空间”。通常研究认为饲喂牛奶或代乳粉对犊牛前胃发育的贡献不大(Heinrichs, 2005),但本试验中饲喂含有膨化大豆代乳粉犊牛前胃发育优于饲喂牛奶,可能是膨化大豆的颗粒较大,在代乳品饲喂过程中虽有大部分溶解在水中,但也有少量的较大颗粒沉淀,在犊牛通过食管沟完成对液体部分的进食后,采食的大颗粒部分能够直接进入瘤胃,为犊牛瘤胃内微生物的定植和厌氧环境的形成提供了一定的底物,利于前胃的发育。

### 3.3.3 瘤胃内环境参数的变化

由反刍前向反刍动物的转变,瘤胃吸收表面积(乳头)的生长和发育对吸收和利用微生物消化终产物必需的(Warner, 1962),尤其是瘤胃内的挥发性脂肪酸。挥发性脂肪酸的存在和吸收能够促进瘤胃上皮的发育(Baldwin 和 McLeod, 2000)。但是,瘤胃上皮生酮作用,能够反映代谢状态,但与挥发性脂肪酸无关。多数研究者认为固体饲料的消化,瘤胃发酵终产物能够有效地促进瘤胃上皮的发育(Greenwood, 1997)。通过连续灌注挥发性脂肪酸能够维持乳头的生长、大小和功能(Warner, 1962),但各种挥发性脂肪酸的促进效果不一,丁酸是最有效的促进剂,其次为丙酸(Baldwin 和 McLeod, 2000)。因此,牛奶、精料或干草等营养物质都能在一定的程度上促进瘤胃上皮的生长,贡献率不同。当瘤胃乳头密度一致时,瘤胃乳头的长度和宽度是影响吸收面积最明显的因素。有研究表明发育中瘤胃乳头的密度受到日粮和日龄两个因素的影响(Lesmeister 等, 2004)。但有关日粮处理对犊牛瘤胃密度具有显著影响的报道很少。随着犊牛日龄的增长,瘤胃容积在逐渐的增大。Lesmeister 等(2004)报道通过对瘤胃组织的取样程序能够检测到日粮处理对乳头长度和宽度及瘤胃壁厚度的影响。此外,McGavin 与 Morril(1976)和 Lesmeister 等(2004)报道了瘤胃乳头测定的差异,证明瘤胃内乳头的生长状况是不一致的。

在饲料变更前,犊牛瘤胃中乙酸、丙酸和丁酸的浓度在各时间点的变化情况见图 3-2。在试验期内,各处理组三种主要挥发性脂肪酸的变化趋势基本一致。在饲料变更的当天,出现显著的降低,随着对新饲料形态、饲养环境等的适应,瘤胃内微生物逐渐趋于平衡,对饲料的发酵降解能力逐渐提高,至断奶后两周,达到高峰。在成年反刍动物体内,挥发性脂肪酸能够为反刍动物提供所需要能量的 60%~75%。犊牛饲喂含有膨化大豆代乳粉,瘤胃液中丁酸、丙酸和总挥发性脂肪酸的浓度均高于对照组,和 Abdelgadir 等(1996)在 0.5~8w 犊牛饲料中补充大豆蛋白,瘤胃中氨氮、丁酸和总挥发性脂肪酸及血浆尿素氮的浓度要高于对照组的结果一致。Anderson 等(1987)使用安装有瘤胃瘘管的犊牛进行试验研究日粮、断奶日粮对瘤胃代谢发育的影响,结果表明,断奶早的犊牛瘤胃内 pH 较低,挥发性脂肪酸的浓度高。断奶对瘤胃中氨氮和乳酸的浓度的影响不显著。瘤胃内挥发性脂肪酸和氨氮的浓度伴随饲料采食的增加而增加,和本试验中犊牛采食量降低,瘤胃内挥发性脂肪酸浓度降低的研究结果相一致。本试验中未测定瘤胃内微生物的数量,早期断奶犊牛比传统断奶犊牛瘤胃挥发性脂肪酸的含量高,其中乳酸的浓度显著的高于对照组。随

着犊牛日龄的增加,采食固体饲料的增加加促了瘤胃的发育,好氧微生物的数量随着犊牛日龄的增加而下降,链球菌和特种菌群微生物随犊牛的增长而降低,而淀粉分解菌、蛋白分解菌、乳酸利用菌,纤维素菌和甲烷细菌的数量呈直线上升,提高了犊牛对营养物质的消化能力。犊牛在 4~6 周龄时,细菌的数量和代谢活性变化最为显著(Anderson 等, 1987)。

固体饲料和液体饲料不同,能够直接进入瘤网胃内进行消化。固体饲料的采食能够促进瘤胃内微生物的定植,发酵产生的终产物——挥发性脂肪酸,又能促进瘤胃组织的发育。饲料的化学组成和微生物消化产物对瘤胃上皮的发育影响很大。固体饲料中的多种化学组分能够影响瘤胃上皮的生长,与饲草相比,精料和含有酪蛋白、淀粉、纤维素和矿物质的日粮能够提高瘤胃发育速度。向瘤胃中灌注纯的钠盐,丁酸钠对瘤胃上皮发育作用最大,其次为丙酸钠;乙酸钠和葡萄糖的影响最小。此外,研究发现认为瘤胃上皮能够迅速的吸收挥发性脂肪酸——丁酸和丙酸。精料的化学组成对微生物的数量具有一定的影响,会提高丁酸和丙酸浓度,降低乙酸的浓度。在犊牛瘤胃中灌注乳酸,丁酸和丙酸等能够提高微生物的产量,降低瘤胃 pH 值。

### 3.3.4 犊牛血液中应激敏感激素含量的变化

应激在生物学领域应用非常广泛,但是没有很明确的定义。与其他疾病不同,应激没有特定的症状或病理变化。当应激反应危机动物福利时,此时应激就是“恶性应激”。目前关于动物应激的测定主要采用内分泌、行为、植物性神经以及免疫方面的各种指标的变化来衡量应激反应。但是没有一种手段能准确无误地对动物的应激判定。胰岛素是促进合成代谢的激素,在调节机体糖代谢、脂肪代谢和蛋白质代谢方面都有重要作用,它是维持血糖在正常水平的主要激素之一。胰岛素一方面能促进血液中的葡萄糖进入肝、肌肉脂肪等组织细胞,并在细胞内合成糖原或转变成其他营养物质贮存起来;另一方面又能促进葡萄糖氧化分解释放能量,供机体利用。由于胰岛素既能增加血糖的去路,又能减少血糖的来源,其最明显的效应是降低血糖。本试验中,犊牛在饲料变更当日,血液中胰岛素的含量出现急剧下降的状况( $P<0.01$ ),对照组和试验组犊牛表现出一致的规律,到 2w 时,血液中胰岛素的含量仍在降低,但试验组和对照组犊牛在各时期下降差异不大( $P>0.05$ )。

应激反应引起的生理变化包括自主神经活动改变如交感神经活动增强和神经内分泌活动改变,如下丘脑等多个内分泌轴的激活。下丘脑—垂体—肾上腺皮质(HPA)轴激活及由此引起的皮质醇分泌的增加,是应激反应的重要特征。HPA 轴激活是机体对应激的最重要的适应性反应,皮质醇的分泌有利于机体动员能量和保持内环境的稳定。本试验中血浆皮质醇的变化情况参见表 3-4,对照组犊牛在断奶当日血浆中皮质醇浓度急剧上升( $P<0.01$ ),断奶当日达到峰值,随后逐渐的降低,到 14d 时,逐渐恢复到正常水平。饲喂代乳粉犊牛在饲料变更为 TMR 当日,血液中皮质醇浓度变化不大,在断奶后第 1d,迅速上升( $P<0.01$ ),随着对日粮的适应,在 2w 内,血浆皮质醇水平逐渐恢复正常( $P>0.05$ )。饲料变更,饲喂牛奶的犊牛体内血浆皮质醇浓度变化幅度比饲喂代乳粉的要大,因此,应激反应较强。

血浆急性蛋白含量变化情况参见表 3-4。试验组犊牛和对照组犊牛在饲料变更后,血液中急性蛋白的含量在断奶牛第 1d 都达到了峰值,随后逐渐下降,表现出相同的规律,在第 14d 恢复到断奶前的水平。可见,饲喂代乳粉犊牛在饲料变更前血液中急性蛋白的含量较对照组犊牛高,可能



是由于饲喂含有大豆蛋白代乳粉的缘故。

犊牛断奶过程中, 伴随饲料的形态、营养物质的来源和饲养环境的改变, 对犊牛造成了一定的应激反应, 引起血浆中皮质醇含量的升高, 加速蛋白质的分解作用, 增加氨基酸作为糖原异生的原料(Ray, 1968)和循环系统中的葡萄糖(Baird 和 Heitzman, 1970)。应激通常是对扰乱机体正常生理功能作出的反应, 内分泌激素的变化曾被认为是衡量应激反应的合适指标(Rushen, 1986)。本试验中断奶应激使断奶后犊牛血浆醛固酮含量呈升高趋势, 但未达到显著水平, 和 Zavy 等(1992)对不同基因型肉犊牛进行断奶应激研究结果一致。血清急性蛋白, 血清葡萄糖含量及血浆胰岛素含量伴随犊牛断奶, 呈现了急剧变化的现象, 显示犊牛体内生理机能和代谢状况发生了改变, 断奶对犊牛造成了一定的应激反应(Quigley 等, 1991b)。应激对于犊牛的生存, 以及应激-免疫系统的活化有重要的作用, 可能会引起疾病的易感性增强(Eskandari 和 Sternberg, 2002)。首先, 视丘-垂体-肾上腺轴活化, 导致肾上腺皮质分泌类固醇类激素和皮质酮, 当感受到应激, 在短短的几分钟内, 皮质酮浓度的升高, 可以持续数小时。类固醇是一种有效的肾上腺糖皮质激素。动物体内调节生理应激的第二种方法是垂体肾上腺轴的激活(Minton, 1994)。从交感神经和肾上腺髓质层释放促肾上腺皮质激素, 肾上腺素和去甲肾上腺素, 当感觉到威胁或受到惊吓才会激活垂体肾上腺轴。体内的白细胞携带  $\beta$ -肾上腺受体与肾上腺素或去甲肾上腺素结合。

瘤胃生物对复杂碳水化合物的微生物发酵终产物和对过瘤胃微生物蛋白的消化, 为成年反刍动物提供了部分营养, 满足其生长和生产的需要。但是, 在断奶前, 犊牛依靠采食液体牛奶生存, 和单胃动物的消化系统的消化过程相似。在犊牛出生后两个月内需要完成几个主要的适应过程, 首先, 动物要适应子宫外生活, 建立能够从饲料中获得所需要的养分, 替代母体血液供应的功能性消化系统。从反刍前到功能性反刍动物的转变是动物对消化生理的最大适应活动之一。由于断奶对所有种类的生产动物造成的经济损失是存在的。

### 3.3.5 犊牛血液中代谢物浓度的变化

血清尿素氮是反映机体氮代谢的一个重要指标。通常, 机体血清代谢库中血清尿素氮浓度较稳定, 它一般受进食氮的影响较大, 同时也受机体内源氮分泌的影响。瘤胃氨氮可通过瘤胃壁进入血液运至肝脏而合成尿素, 尤其在瘤胃内氨氮过高时情况更是如此, 故血中血清尿素氮浓度也可反映瘤胃内氮利用状况。此外, 体内限制性氨基酸不足或氨基酸不平衡会使体内血清尿素浓度提高, 血清中尿素绝大多数是在肝脏中经鸟氨酸循环从氨基酸中脱下的氮生成的。因此, 血清尿素氮浓度也可反映动物蛋白质合成代谢的水平, 可作为动物蛋白质沉积和限制性氨基酸研究的一个指标。在动物氮平衡的情况下, 血液中的尿素 90%通过尿排出体外。

血清尿素过高, 会使氮通过尿损失, 降低饲料中氮的利用率。本试验中饲料变更两周内, 血清尿素氮的含量发生显著的变化, 在饲料变更的同一时间, 饲喂代乳粉犊牛血清尿素氮处于较低值, 说明从尿中损失的氮较少, 而被利用的比例相对较大, 这是犊牛饲喂代乳粉, 促进瘤胃早期发育, 增强了对饲料变更的适应能力的结果。

本试验中未测定血液中挥发性脂肪酸的变化情况, 随着犊牛瘤胃功能逐渐的建立, 犊牛体内的能量供给方式也逐渐的发生变化。在断奶前, 犊牛饲喂牛奶或代乳粉, 脂肪和乳糖等物质经瘤胃和小肠的消化吸收, 通过血糖来为机体提供能量。随着瘤胃的逐渐发育, 瘤胃微生物对营养物

质的发酵产生的挥发性脂肪酸，经瘤胃上皮的乳头吸收后，进入血液，参与机体能量的供给这与 Anderson 等（1987）报道的结果一致。饲料中碳水化合物经瘤胃微生物（主要是细菌）发酵后产生乙酸、丙酸和丁酸等挥发性脂肪酸、气体（甲烷，二氧化碳等）以及热量。其中挥发性脂肪酸大约 75%直接在瘤网胃壁被吸收，约 20%在瓣胃和皱胃吸收，只有约 5%随食糜进入小肠。其中乙酸和丁酸一直被认为是乳脂合成的主要前体物质 (Powell, 1939; Smith 和 McCarthy, 1969)，而丙酸则主要用于生糖以供应能量，犊牛在出生后，外界微生物不断在瘤胃中定植，在开食料和干草供给的条件下，不断为微生物的生存提供必需的营养物质，微生物在瘤胃内的发酵产生挥发性脂肪酸等物质，刺激瘤胃粘膜层，加速瘤胃乳头的发育，促进挥发性脂肪酸的吸收。本试验中测定的瘤胃液中挥发性脂肪酸的浓度和成年母牛的相近，说明犊牛瘤胃内微生物代谢旺盛，为犊牛的生长提供了一定的营养物质。

因此，瘤胃的发育是对犊牛进行成功断奶及维持断奶后具有较高生长速度的关键。添加了膨化大豆的代乳粉对犊牛瘤胃的发育起到了一定的促进作用。

### 3.4 小结

3.4.1 饲喂含有膨化大豆的代乳粉对瘤胃发育具有促进作用，瘤胃乳头长、密，颜色较深。

3.4.2 断奶对犊牛产生了一定的应激，血液中皮质醇和急性蛋白含量伴随断奶应激出现规律性的变化。饲喂含有膨化大豆代乳粉的犊牛对断奶的应激较小，能够更好的适应固体饲料。

## 第四章 总体结论、创新点及有待进一步研究的问题

### 4.1 本研究总体结论

4.1.1 在断奶前犊牛日粮中加入不同加工处理大豆蛋白，均对犊牛的生长性能有一定的影响，其原因在于代乳粉中加入的不同加工处理大豆蛋白降低了胰蛋白酶和糜蛋白酶的活性，并对犊牛的小肠形态结构造成了不同程度的损伤造成的。

4.1.2 断奶前，膨化处理大豆粉组犊牛的日增重和全脂大豆粉组相近，显著高于脱脂豆粉组。一定比例的膨化和加热大豆粉替代乳源蛋白饲喂犊牛，对犊牛早期生长性能无显著影响，其原因在于加热和膨化处理能够更有效的降低大豆蛋白中的抗营养因子含量，降低对犊牛肠道的损伤。

4.1.3 断奶前饲喂含有膨化大豆的代乳粉的犊牛对断奶应激的反应小，其原因在于植物源性大豆蛋白的饲喂促进了瘤胃的早期发育。

4.1.4 断奶前犊牛日粮中加入大豆蛋白在一定的程度上降低了犊牛的生长性能，但是在犊牛断奶过程中，对固体饲料的采食表现出较好的适应性，降低了断奶对犊牛的损伤，加速了犊牛的培育。

### 4.2 本研究创新点

4.2.1 通过代乳粉中添加膨化大豆对犊牛断奶前后的生长发育的影响进行整体研究，对大豆蛋白在犊牛代乳粉中应用效果进行评价，是本论文在研究思路上的创新。

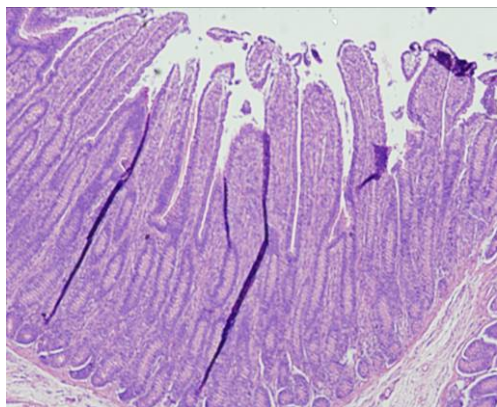
4.2.2 通过犊牛胃肠道组织的形态结构改变和酶活性的变化分析不同加工处理大豆蛋白在代乳粉中对犊牛生长影响机理，是本论文在研究方法上的创新。

### 4.3 有待进一步研究的问题

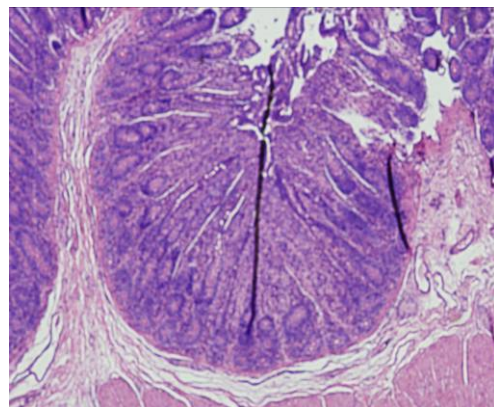
4.3.1 本试验中未测定不同加工处理对大豆中抗营养因子含量的影响

4.3.2 去除大豆粉中抗营养因子的新途径。

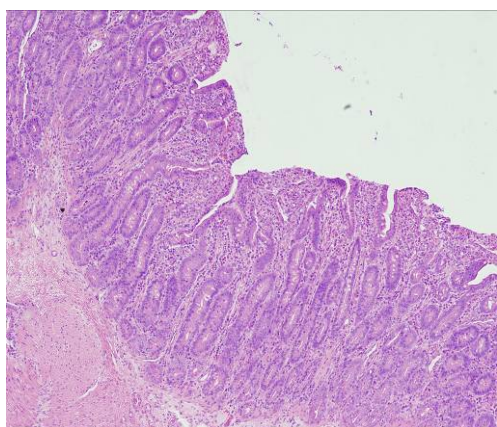
## 附录 小肠组织结构切片



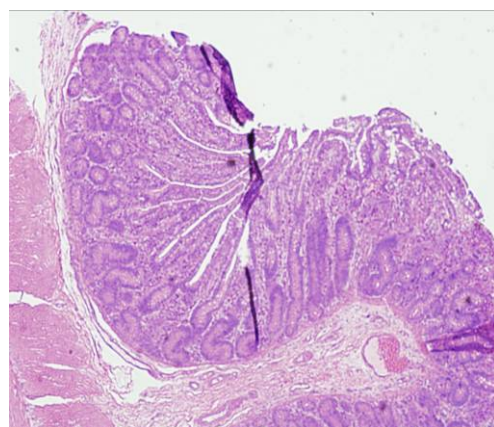
CK (十二指肠)



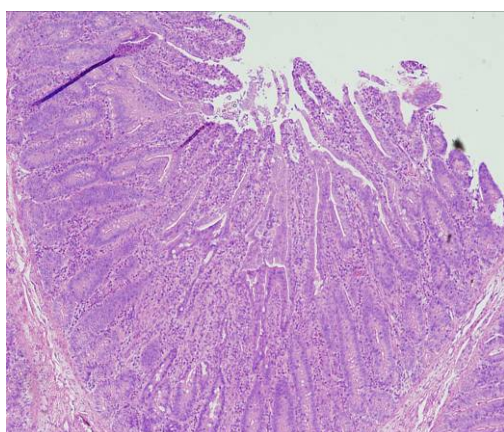
MR1 组 (十二指肠)



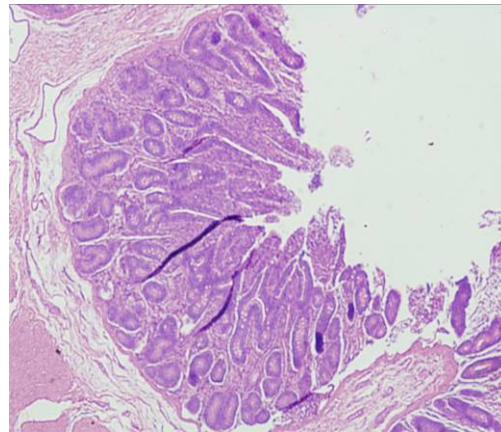
MR2 组 (十二指肠)



MR3 组 (十二指肠)

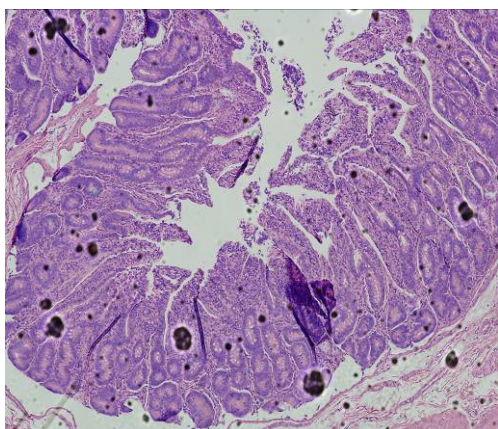


CK 组 (空肠近端)

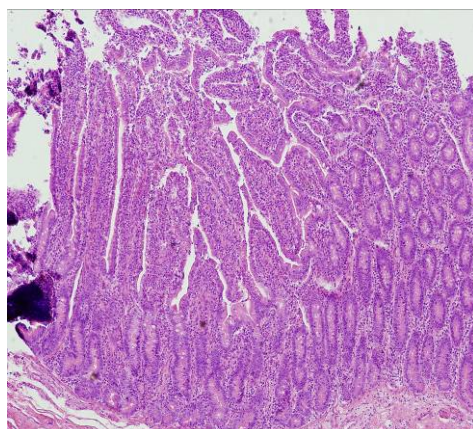


MR1 组 (空肠近端)

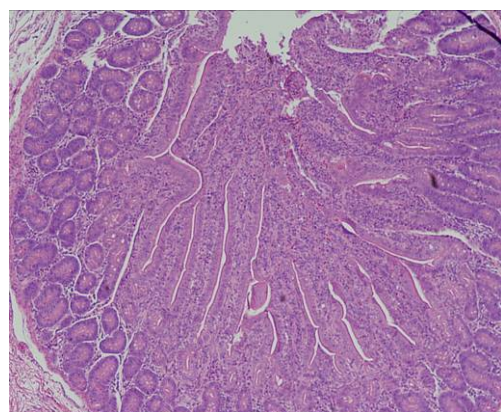




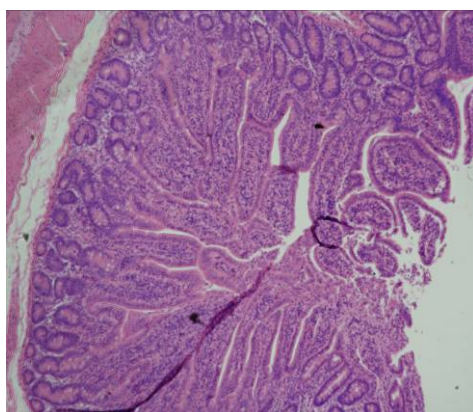
MR2 组（空肠近端）



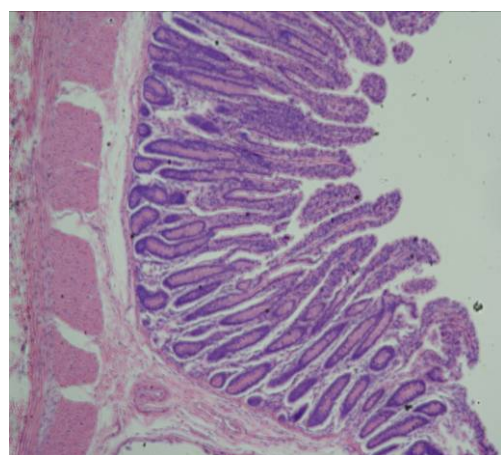
MR3 组（空肠近端）



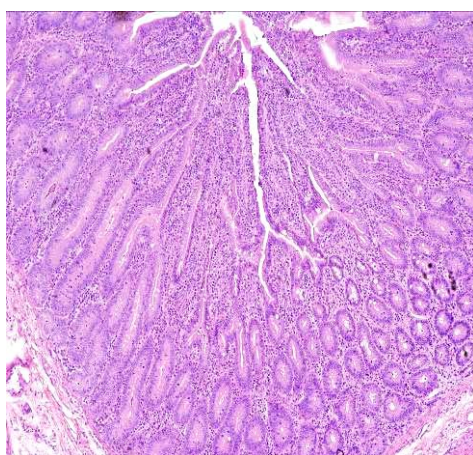
CK 组（空肠中部）



MR1 组（空肠中部）

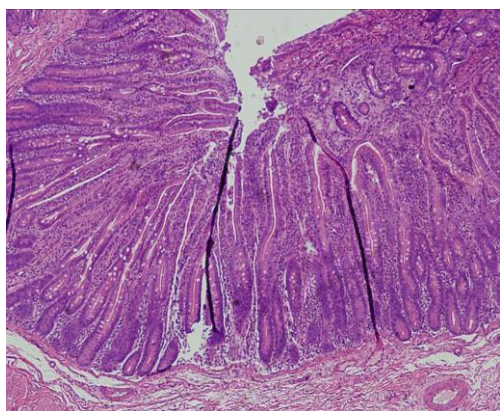


MR2 组（空肠中部）

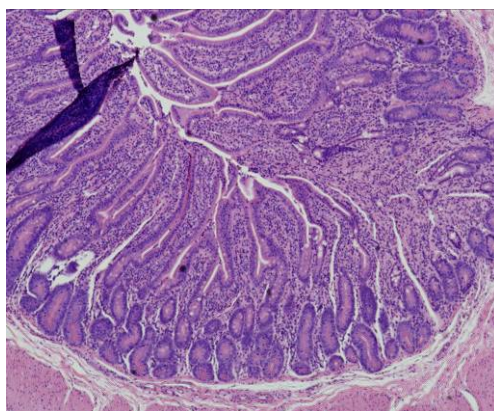


MR3 组（空肠中部）

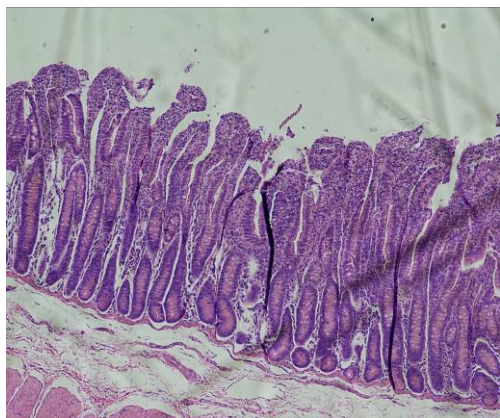




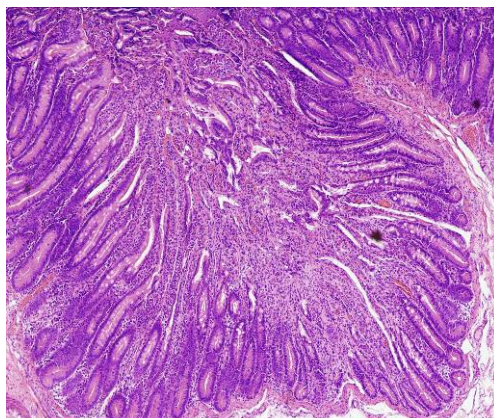
CK 组（空肠远端）



MR1 组（空肠远端）



MR2 组（空肠远端）



MR3 组（空肠远端）

## 参考文献

1. 寇占英.哺乳犊牛消化道主要消化酶发育规律的研究[D].北京:中国农业大学,1999
2. 李德发, J. L. Nelsson, G. L. Allee, S. G. R., 和杨胜. 1993. 不同温度膨化的全脂大豆对仔猪氮平衡和氨基酸消化率的影响. 中国畜牧杂志 29: 6~8.
3. 李启鹏. 哺乳犊牛胃中主要消化酶发育规律研究[m], 北京:中国农业大学,2000.
4. 刘敏雄. 1971. 反刍动物消化生理学. 中国农业大学出版社, 北京.
5. 张军民, 高振川, and 王连娣等. 2003. 谷氨酰胺对饲喂生大豆仔猪小肠结构和功能的影响. 畜牧兽医学报 34: 356-361.
6. Abdelgadir, I. E., and J. L. Morrill. Effect of processing sorghum grain on dairy calf performance. J Dairy Sci 1995. 78: 2040-2046.
7. Abdelgadir, I. E., J. L. Morrill, and J. J. Higgins. Effect of roasted soybeans and corn on performance and ruminal and blood metabolites of dairy calves. J Dairy Sci 1996.79: 465-474.
8. Abe, F., N. Ishibashi, and S. Shimamura. Effect of administration of bifidobacteria and lactic acid bacteria to newborn calves and piglets. J. Dairy Sci. 1995.78: 2838-2846.
9. Akinyele, I. O., and K. E. Harshbarger. Performance of young calves fed soybean protein replacers. J Dairy Sci 1983.66: 825-832.
10. Anderson, K. L., T. G. Nagaraja, and J. L. Morrill. Ruminal metabolic development in calves weaned conventionally or early. J. Dairy Sci. 1987b.70: 1000– 1005.
11. Anderson, K. L., T. G. Nagaraja, J. L. Morrill, T. B. Avery, S. J. Galitzer, and J. E. Boyer. Ruminal microbial development in conventionally or early weaned calves. J. Anim. Sci. 1987.64: 1215– 1226.
12. Arthington, J. D., S. D. Eichert, W. E. Kunkle, and F. G. Martin. Effect of transportation and commingling on the acute-phase protein response, growth, and feed intake of newly weaned beef calves. J Anim Sci 2003.81: 1120-1125.
13. Arthington, J. D., and R. S. Kalmbacher. Effect of early weaning on the performance of three-year-old, first-calf beef heifers and calves reared in the subtropics. J Anim Sci 2003.81: 1136-1141.
14. Aschaffenburg, R. et al. The nutritive value of colostrum for the calf. Viii. The performance of friesland and shorthorn calves deprived of colostrum. J Comp Pathol 1952.62: 80-82.
15. Aschaffenburg, R. et al. The nutritive value of colostrum for the calf. 9. The effect of soya-bean lecithin on the vitamin a absorption and on the growth rate of calves given small quantities of separated colostrum. Br J Nutr 1953.7: 275-285.
16. Baird, G. D., and R. V. Heitzman. Gluconeogenesis in the cow. The effects of glucocorticoid on hepatic intermediary metabolism. Biochem.J 1970.116: 865.
17. Baldwin, R. L. t., and K. R. McLeod. Effects of diet forage:Concentrate ratio and metabolizable energy intake on isolated rumen epithelial cell metabolism in vitro. J Anim Sci

2000. 78: 771-783.
18. Beharka, A. A., T. G. Nagaraja, J. L. Morrill, G. A. Kennedy, and R. D. Klemm. Effects of form of the diet on anatomical, microbial, and fermentative development of the rumen of neonatal calves. *J. Dairy Sci.* 1998.81: 1946–1955.
  19. Beynen, A. C., E. N. Winnubst, and C. E. West. The effect of replacement of dietary soybean protein by casein on the fecal excretion of neutral steroids in rabbits. *Z Tierphysiol Tierernahr Futtermittelkd* 1983.49: 43-49.
  20. Blecha, F., S. L. Boyles, and J. G. Riley. Shipping suppresses lymphocyte blastogenic responses in angus and braham x angus feeder calves. *J. Anim. Sci.* 1984.59: 576-583.
  21. Bondi, A., and E. Alumot.. Anti-nutritive factors in animal feedstuffs and their effects on livestock. *Prog Food Nutr Sci* .1987.11: 115-151.
  22. Booth, A. J., and J. M. Naylor. Correction of metabolic acidosis in diarrheal calves by oral administration of electrolyte solutions with or without bicarbonate. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1987.191: 62–68.
  23. Branco Pardal, P., J. P. Lalles, F. Andre, E. Delval, and R. Toullec. Assessment of gastrointestinal permeability to small marker probes in the preruminant calf. *Reprod Nutr Dev* 1995.35: 189-200.
  24. Brownlee, A. The development of rumen papillae in cattle fed on different diets. *Br. Vet. J* 1956.112: 369-375.
  25. Bryant, M. P., N. Small, C. Bouma, and I. Robinson. Studies on the composition of the ruminal flora and fauna of young calves. *J. Dairy Sci.* 1958.41: 1744.
  26. Burton, J. L., M. E. Kehrli, Jr., S. Kapil, and R. L. Horst. Regulation of l-selectin and cd18 on bovine neutrophils by glucocorticoids: Effects of cortisol and dexamethasone. *J. Leuk. Biol.* 1995.57: 317-325.
  27. Bush, R. S., R. Toullec, I. Caugant, and P. Guilloteau. Effects of raw pea flour on nutrient digestibility and immune responses in the preruminant calf. *J Dairy Sci* .1992.75: 3539-3552.
  28. Church, D. C. The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition. Prentice-hall, inc. Englewood cliffs, new jersey. 1988.
  29. Church, J. S., and R. J. Hudson. Comparison of the stress of abrupt and interval weaning of farmed wapiti calves (*cervus elaphus*). *Small Ruminant Res.* 1999. 32: 119-124.
  30. Coverdale, J. A., H. D. Tyler, J. D. Quigley, 3rd, and J. A. Brumm. Effect of various levels of forage and form of diet on rumen development and growth in calves. *J Dairy Sci.* 2004.87: 2554-2562.
  31. Cozzi, G. et al. The provision of solid feeds to veal calves: I. Growth performance, forestomach development, and carcass and meat quality. *J Anim Sci* .2002.80: 357-366.
  32. Cruywagen, C. W. Effect of curd forming of colostrum on absorption of immunoglobulin g in newborn calves. *J Dairy Sci* .1990.73: 3287-3290.
  33. Cruywagen, C. W., I. Jordaan, and L. Venter. Effect of *lactobacillus acidophilus*



- supplementation of milk replacer on preweaning performance of calves. *J Dairy Sci* .1996. 79: 483-486.
34. Cunningham, G. N., M. B. Wise, and E. R. Barrick. Effect of high dietary levels of manganese on the performance and blood constituents of calves. *J. anim. Sci.* 1996.25: 532.
35. D., S. J., A. D. McGilliard, M. Richard, and N. L. Jacobson. Functional development of rumen mucosa ji. Metabolic activity. *J. Dairy Sci.* 1963.46: 530.
36. Davis, C. L., and J. H. Clark. Ruminant digestion and metabolism. *Dev. Ind. Microbiol.* 1981.22: 247-259.
37. Davis, C. L. a. J. K. D. The development, nutrition, and management of the young calf. Iowa State University Press, ames, Iowa. 1998.
38. Dawson, D. P., J. L. Momll, P. G., Reddy, H. C. Minocha, and H. A. Ramsey. Soy protein concentrate and heated soy flours as protein sources in milk replacer for preruminant calves. *J. Dairy Sci.* 1988.71: 1301.
39. Dawson, D. P., J. L. Morrill, P. G. Reddy, H. C. Minocha, and H. A. Ramsey. Soy protein concentrate and heated soy flours as protein sources in milk replacer for preruminant calves. *J Dairy Sci* .1988.71: 1301-1309.
40. Drackley, J. K., R. M. Blome, K. S. Bartlett, and K. L. Bailey. Supplementation of 1% l-glutamine to milk replacer does not overcome the growth depression in calves caused by soy protein concentrate. *J Dairy Sci* .2006.89: 1688-1693.
41. Edwards-Webb, J. D., and S. Y. Thompson. Studies on lipid digestion in the preruminant calf. 2. A comparison of the products of lipolysis of milk fat by salivary and pancreatic lipases in vitro. *Br J Nutr* 3.1977.7: 431-440.
42. Edwards-Webb, J. D., and S. Y. Thompson. Studies on lipid digestion in the preruminant calf. The action of salivary lipase on milk fat in the abomasum. *Br J Nutr* .1978.40: 125-131.
43. Eicher-Pruiett, S. D., J. L. Morrill, T. G. Nagaraja, J. J. Higgins, N. V. Anderson, and P. G. Reddy. Response of young dairy calves with lasalocid delivery varied in feed sources. *J. Dairy Sci.* 1992.75: 857-862.
44. Ericksoll, P. S., D. J. Schauff, and M. R. Murphy. Diet digestibility and growth of holstein calves fed acidified milk replacers containing soy protein concentrate. *J. Dairy Sci.* 1989.72: 1528.
45. Ermer, P. M., P. S. Miller, A. J. Lewis, and M. A. Giesemann. The preference of weanling pigs for diets containing either dried skimmed milk or spraydried porcine plasma. *J. Anim. Sci* 1992.7: 60.
46. Eskandari, F., and E. M. Sternberg. Neural-immune interactions in health and disease. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2002. 966: 20 - 27.
47. Eweedah, N., J. Gundel, and T. Matrai. Protein degradability, amino acid composition, trypsin inhibitor and urease activity of raw and heat-treated fullfat soybean. *Arch Tierernahr* .1997.50: 361-367.

48. Fisher, A. D., M. A. Crowe, P. O'Kiely, and W. J. Enright. Growth, behavior, adrenal and immune responses of finishing beef heifers housed on slatted floors at 1.5, 2.0, 2.5 or 3.0 m<sup>2</sup> space allowance. *Livest. Prod. Sci.* 1997.51: 245-254.
49. Flatt, W. G., R. G. Warner, and J. K. Loosli. Influence of purified materials on the development of the ruminant stomach. *J. Dairy Sci.* 1958. 41: 1593-1600.
50. Friend, T. H. Stress. What is it and how can it be quantified? *Inst. J. Study Anim. Prob.* 1980.1: 366.
51. Friend, T. H. Behavioral aspects of stress. *J Dairy Sci* .1991. 74: 292-303.
52. Fuller, R. Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.* 1989.66: 365-378.
53. Galyean, M. L., L. J. Perino, and G. C. Duff. Interaction of cattle health/immunity and nutrition. *J Anim Sci* .1999.77: 1120-1134.
54. Gardner, I. A., J. P. Reynolds, C. A. Risco, and D. W. Hird. Patterns of uterine prolapse in dairy cows and prognosis after treatment. *J Am Vet Med Assoc* .1990a. 197: 1021-1024.
55. Gardner, R. W., M. G. Shupe, W. Brimhall, and D. J. Weber. Causes of adverse responses to soybean milk replacers in young calves. *J Dairy Sci* .1990b.73: 1312-1317.
56. Gatnau, R., and D. R. Zimmerman. Determination of optimum levels of inclusion of spray-dried porcine plasma (sdpp) in diets for weanling pigs fed in practical conditions. *J. Anim. Sci.* 1992.70(Suppl. 1): 60(Abstr.).
57. Gentry, J. L., J. W. G. M. Swinkels, M. D. Lindemann, and J. W. Schrama. Effect of hemoglobin and immunization status on energy metabolism of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 1997.75: 1032-1040.
58. Glimp, H. A. Effect of diet composition on performance of lambs reared from birth on milk replacer. *J Anim Sci.* 1972.34: 1085-1088.
59. Godden, J. M. The importance of lipolytic enzymes in milk fed and minating calves. *Aust.J.Biol.Sci.* 1973.26: 1189~1199.
60. Gorrill, A. D., and J. W. Thomas. Body weight changes, pancreas size and enzyme activity, and proteolytic enzyme activity and protein digestion in intestinal contents from calves fed soybean and milk protein diets. *J Nutr* .1967.92: 215-223.
61. Gorrill, A. D. L., D. J. chingoethe, and J. W. Thomas. Proteolytic activities and in vitro enzyme activity, and proteolytic enzyme activity and protein digestion in intestinal contents of ruminants at different ages. *Nutr.*: 1986.342~348.
62. Greenwood, R. H., J. L. Morrill, E. C. Titgemeyer, and G. A. Kennedy. A new method of measuring diet abrasion and its effect on the development of the forestomach. *J. dairy Sci.* 1997.80: 2534-2541.
63. Guilloteau, P. et al. Plasma and tissue levels of digestive regulatory peptides during postnatal development and weaning in the calf. *Reprod Nutr Dev* .1992.32: 285-296.
64. Guilloteau, P. et al. Digestion of milk, fish and soya-bean protein in the preruminant calf: Flow of digesta, apparent digestibility at the end of the ileum and amino acid composition of ileal

- digesta. *Br J Nutr* .1986.55: 571-592.
65. Heinrichs, A. J. Milk replacers for dairy calves -- part ii compend. *Contin. Educ. Prac. Vet.* 1995.17: 433– 438.
66. Heinrichs, A. J., L. A. Swartz, T. R. Drake, and P. A. Travis. Influence of decoquinate fed to neonatal dairy calves on early and conventional weaning systems. *J. Dairy Sci.* 1990. 73: 1851-1856.
67. Heinrichs, J. Rumen development in the dairy calf, advances in dairy technology. 2005.
68. Hickey, M. C., B. Earley, and A. D. Fisher. The effect of floor type and space allowance on the welfare of finishing steers. *Ir. J. Agric. Food Res.* 2003. 42: 89-100.
69. Hickey, M. C., M. Drennan, and B. Earley. The effect of abrupt weaning of suckler calves on the plasma concentrations of cortisol, catecholamines, leukocytes, acute-phase proteins and in vitro interferon-gamma production. *J Anim Sci* .2003.81: 2847-2855.
70. Higginbotham, G. E., and D. L. Bath. Evaluation of lactobacillus fermentation cultures in calf feeding systems. *J. Dairy Sci.* 1993.76: 615-620.
71. Hoblet, K. H., T. P. Charles, and R. P. Howard. Evaluation of lasalocid and decoquinate against coccidiosis resulting from natural exposure in weaned dairy calves. *Am. J. Vet. Res.* 1989. 50: 1060-1064.
72. Huber, J. T. Development of the digestive and metabolic apparatus of the calf. *J Dairy Sci* 1969.52: 1303-1315.
73. Hulan, H. W., and F. H. Bird. Effect of fat level in isonitrogenous diets on composition of avian pancreatic juice. *J. Nutrition* .1972.102: 459.
74. Ingram, P. L., K. W. Shillam, G. M. Hawkins, and J. H. Roy. The nutritive value of colostrum for the calf. 14. Further studies on the effect of antibiotics on the performance of colostrum-deprived calves. *Br J Nutr* .1958.12: 203-215.
75. James, R. E., M. L. McGilliard, and D. A. Hartman. Calf mortality in virginia dairy herd improvement herds. *J Dairy Sci* .1984.67: 908-911.
76. Jenkins, K. J., J. K. Kramer, and D. B. Emmons. Digestion of fat in calves fed milk replacers prepared by homogenization of low-pressure dispersion. *J Dairy Sci* .1981.64: 1965-1971.
77. Jenkins, K. J., J. K. Kramer, and D. B. Emmons. Effect of lipids in milk replacers on calf performance and lipids in blood plasma, liver, and perirenal fat. *J Dairy Sci* .1986.69: 447-459.
78. Jenkins, K. J., J. K. Kramer, F. D. Sauer, and D. B. Emmons. Influence of triglycerides and free fatty acids in milk replacers on calf performance, blood plasma, and adipose lipids. *J Dairy Sci* .1985. 68: 669-680.
79. Jenny, B. F., H. J. Vandijk, and J. A. Collins. Performance and fecal flora of calves fed a bacillus subtilis concentrate. *J. Dairy Sci.* 1991.74: 1968~1973.
80. Joslin, R. S. et al. Lactoferrin supplementation to dairy calves. *J Dairy Sci* .2002.85: 1237-1242.
81. Kakade, M. L. et al. Failure of soybean trypsin inhibitor to exert deleterious effects in calves. *J*

- Dairy Sci .1976.59: 1484-1489.
82. Kanjanapruthipong, J. Supplementation of milk replacers containing soy protein with threonine, methionine, and lysine in the diets of calves. J Dairy Sci .1998.81: 2912-2915.
83. Kats, L. J., M. D. Tokach, R. D. Goodband, and J. L., and Nelssen. Influence of protein source fed to the early-weaned pig during phase i (d 0-9) on the response to various protein sources fed during phase ii (d 9-28). J. Anim. Sci .1992.7(Suppl. 1): 60.(Abstr.).
84. Kerr, S. G. C., and D.G.M. Wood-Gush. A comparison of the early behavior of intensively and extensively reared calves. Anim. Prod. 1987. 45.
85. Kertz, A. F., L. F. Reutzel, and J.H. Mahoney. Ad libitum water intake by neonatal calves and its relationship to calf starter intake, weight gain, fecal score, and season. J. Dairy Sci. 1984.76: 2964~2969.
86. Khorasani, G. R., L. Ozimek, W. C. Sauer, and J. J. Kennelly. Substitution of milk protein with isolated soy protein in calf milk replacers. J Anim Sci .1989.67: 1634-1641.
87. Lalles, J. P., D. Dreau, F. Femenia, A. L. Parodi, and R. Toullec. Feeding heated soyabean flour increases the density of b and t lymphocytes in the small intestine of calves. Vet Immunol Immunopathol .1996a.52: 105-115.
88. Lalles, J. P., D. Dreau, H. Salmon, and R. Toullec. Identification of soyabean allergens and immune mechanisms of dietary sensitivities in preruminant calves. Res Vet Sci. 1996b.60: 111-116.
89. Lammers, B. P., A. J. Heinrichs, and A. Aydin. The effect if whey protein concentrate or dried skim milk in milk replacer on calf performance and blood metabolites. J. dairy Sci. 1998.81: 1940~1945.
90. Lay, J., D. C., T. H. Friend, R. D. Randel, C. L. Bowers, K. K. Grissom, D. A. Neuendorff, and O. C. Jenkins. Effects of restricted nursing on physiological and behavioral reactions of brahman calves to subsequent restraint and weaning. Appl. Anim. Behav. Sci. 1998.56: 109~119.
91. Le Drean, G. et al. Exogenous cck and gastrin stimulate pancreatic exocrine secretion via cck-a but also via cck-b/gastrin receptors in the calf. Pflugers Arch .1999.438: 86-93.
92. Le Drean, G. et al. Pancreatic secretory response to feeding in the calf: Cck-a receptors, but not cck-b/gastrin receptors are involved. Can J Physiol Pharmacol .2000.78: 813-819.
93. Le Neindre, P. Influence of cattle rearing conditions and breed on social relationships of mother and young. Appl. Anim. Behav. Sci. 1989. 23: 117.
94. Leaver, J. D., and N. H. Yarrow. Rearing of dairy cattle. 2. Weaning calves according to their concentrate intake. Anim. Prod. 1972. 14: 161~165.
95. Lefcourt, A. M., and T. H. Elsasser. Adrenal responses of angus x hereford cattle to the stress of weaning. J Anim Sci .1995.73: 2669-2676.
96. Lengemann, F. W., and N. N. Allen. Development of rumen function in the dairy calf. II. Effect of diet upon characteristics of the rumen flora and fauna of young calves. J. Dairy Sci.

- 1959.42: 1171.
97. Lesmeister, K. E., P. R. Tozer, and A. J. Heinrichs. Development and analysis of a rumen tissue sampling procedure. *J Dairy Sci* .2004.87: 1336-1344.
98. Leterme, P., and B. Seve. Trypsin inhibitors and endogenous amino acids. *J Nutr* .1998.128: 2526-2527.
99. Lewis, L. D., and R. W. Phillips. Pathophysiologic changes due to coronavirus-induced diarrhea in the calf. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1978. 173: 636~642.
100. Liener, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1994.34: 31-67.
101. Loerch, S. C., F. L. Fluharty. Physiological changes and digestive capabilities of newly received feedlot cattle. *J. anim. Sci.* 1999.77: 1113-1119.
102. Longenbach, J. I., and A. J. Heinrichs. A review of the importance and physiological role of curd formation in the abomasum of young calves. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 1998.73: 85-97.
103. Manns, J. G., J. M. Boda, and 67:377. The influence of age of lambs on the ketogenicity of butyrate and tolerance to exogenous glucose in vivo. *J. Agric. Sci.(Camb.)* .1966. 67: 377.
104. McCracken, B. A., H. R. Gaskins, P. J. Ruwe-Kaiser, K. C. Klasing, and D. E. Jewell. Diet-dependent and diet-independent metabolic responses underlie growth stasis of pigs at weaning. *J. Nutr.* 1995.125: 2838~2845.
105. McGavin, M. D., and J. L. Morrill. Scanning electron microscopy of ruminal papillae in calves fed various amounts and forms of roughage. *Am. J. Vet Res.* 1976.37: 497~508.
106. Minton, J. E. Function of the hypothalamus-pituitary-adrenal axis and the sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *J. Anim. Sci.* 1994. 72: 1891~1898.
107. Mir, P. S., J. H. Burton, and J. G. Buchanon-Smith. Nutritional performance of calves fed milk replacers containing processed soybean products. *Can. J. Anim. Sci.* 1991.71: 97.
108. Moberg, G. P. Problems in defining stress and distress in animals. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1987.10: 1207.
109. Montagne, L., I. Crevieu-Gabriel, R. Toullec, and J. P. Lalles. Influence of dietary protein level and source on the course of protein digestion along the small intestine of the veal calf. *J Dairy Sci* .2003.86: 934-943.
110. Montagne, L., R. Toullec, and J. P. Lalles. Intestinal digestion of dietary and endogenous proteins along the small intestine of calves fed soybean or potato. *J Anim Sci* .2001.79: 2719-2730.
111. Moon, H. K., I. K. Han, H. K. Parmentier, and J. W. Schrama. Effects of a cell mediated immune response on energy metabolism in weanling piglets. In: IK McCracken, E. F. Unsworth, and A. R. G. Wylie(ed.) *Proc. 14th Symp. Energy Metabolism of Farm Animals.* CAB International, Wallingford, UK.: 1997.143~146.
112. Morrill, J. L., A. D. Dayton, and R. Mickelsen. Cultured milk and antibiotics for young calves. *J. Dairy Sci.* 1977.60: 1105.

113. Morrill, J. L., J. M. Morrill, and A. M. Feyerherm. Plasma proteins and a probiotic as ingredients in milk replacer. *Journal of Dairy Science*.1995.78: 902~907.
114. Morrill, J. L., J. M. Morrill, A. M. Feyerherm, and J. F. Laster. Plasma proteins and a probiotic as ingredients in milk replacer. *J Dairy Sci* .1995.78: 902-907.
115. Murdock, F. R., and R. W. Wallenius. Fiber sources for complete calf starter rations. *J Dairy Sci* . 1980.63: 1869-1873.
116. Mylrea, P. J. Digestion in young calves fed whole milk ad lib. And its relationship to calf scours. *Res Vet Sci* .1966.7: 407-416.
117. Nakai, I., A. R. Deshmukh, I. E. Liener, and D. E. Sutherland. Effect of soybean flour on exocrine function in rat pancreas transplant with bladder drainage. *Pancreas* .1992.7: 334-338.
118. Nitsan, Z., A. Ben-Asher, I. Nir, and Z. Zoref. Utilization of raw or heat-treated starch fed in liquid diet to pre-ruminants. 1. Calves. *Reprod Nutr Dev*.1990. 30: 507-514.
119. Olson, E. J., W. B. Epperson, D. H. Zeman, R. Fayer, and M. B. Hildreth. Effects of an allicin-based product on cryptosporidiosis in neonatal calves. *J. Am. Vet. Med. Assoc*. 1998.212: 987~989.
120. Otterby, D. E., and J. G.,Linn. Advances in nutrition and management of calves and heifers. *J. Dairy Sci*. 1981. 64: 1365.
121. Owsley, W. F., D. E. Orr, and I. F. Tribble. Effect of age and diet on the development of the pancreatic and synthesis and secretion of pancreatic enzyme in the young pigs. *J Anim. Sci*. 1986.63: 497~504.
122. Petit, H. V., M. Ivan, and G. J. Brisson. Duodenal flow of digesta in preruminant calves fed clotting or nonclotting milk replacer. *J Dairy Sci* .1987.70: 2570-2576.
123. Petit, H. V., M. Ivan, and G. J. Brisson. Digestibility measured by fecal and ileal collection in preruminant calves fed a clotting or a nonclotting milk replacer. *J Dairy Sci* .1989.72: 123-128.
124. Phillips, R. W. Fluid therapy for diarrheic calves what, how, and how much? *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract*. 1985. 1: 541-562.
125. Phillips, W. A., P. E. Juniewicz, M. T. Zavy, and D. L. Von Tungeln. The effects of the stress of weaning and transport on white blood cell patterns and fibrinogen concentration of beef calves of different genotypes. *Can. J. Anim. Sci*. 1989.69: 333.
126. Pierzynowski, S. G., R. Zabielski, and W. Barej. Development of the exocrine rumination. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* .1991.65: 165~172.
127. Pollock, J. S., U. Forstermann, J. A. Mitchell, T. D. Warner, H. H. H. W. Schmidt, M. Nakane and F. Murad. Purification and characterization of particulate endothelium-derived relaxing factor synthase from cultured and native bovine aortic endothelial cells. *PNAS*.1991. 88: 10480 - 10484.
128. Powell, E. B. Some relations of roughage intake to the composition of milk. *J. Dairy Sci*. 1939.22: 453-461.
129. Quigley, I., J. D. a. Feeding prior to weaning. In calves, heifers, and dairy profitability.

- Facilities, Nutrition, and Health: 1996a.245-255.
130. Quigley, I., J. D., J. J. Drewry, L. M. Murray, and S. J. Ivey. Effects of lasalocid in milk replacer or calf starter on health and performance of calves challenged with eimeria species. *J. Dairy Sci.* 1997.80: 2972-2976.
131. Quigley, J. D., 3rd.. Influence of weaning method on growth, intake, and selected blood metabolites in jersey calves. *J Dairy Sci* .1996b 79: 2255-2260.
132. Quigley, J. D., 3rd, L. A. Caldwell, G. D. Sinks, and R. N. Heitmann. Changes in blood glucose, nonesterified fatty acids, and ketones in response to weaning and feed intake in young calves. *J Dairy Sci* .1991a.74: 250-257.
133. Quigley, J. D., 3rd, C. G. Schwab, and W. E. Hylton. Development of rumen function in calves: Nature of protein reaching the abomasum. *J Dairy Sci* .1985.68: 694-702.
134. Quigley, J. D., 3rd, Z. P. Smith, and R. N. Heitmann.. Changes in plasma volatile fatty acids in response to weaning and feed intake in young calves. *J Dairy Sci* .1991b 74: 258-263.
135. Radostits, O. M., and J. M. Bell. Nutrition of the preruminant calf with special reference to th digestion and absorption of nutrient:A review. *Can. J. Anim. Sci.* 1970.50: 405.
136. Ray, P. D. Adrenal glucocorticoids and gluconeogenesis.In k. W. Mckerns(ed.)functions of the adrenal cortex. Appleton Century Crafts,New York. 1968.2: 1137.
137. Roy, J. H., J. Palmer, K. W. Shillam, P. L. Ingram, and P. C. Wood. The nutritive value of colostrum for the calf. 10. The relationship between the period of time that a calfhous has been occupied and the incidence of scouring and mortality in young calves. *Br J Nutr* .1955.9: 11-20.
138. Roy, J. H., I. J. Stobo, and H. J. Gaston. The nutrition of the veal calf. 3. A comparison of liquid skim milk with a diet of reconstituted spray-dried skim-milk powder containing 20 per cent margarine fat. *Br J Nutr* .1970a.24: 459-475.
139. Roy, J. H., I. J. Stobo, H. J. Gaston, and J. C. Greatorex. The nutrition of the veal calf. 2. The effect of different levels of protein and fat in milk substitute diets. *Br J Nutr* .1970b.24: 441-457.
140. Rushen, J. Some problems with the physiological concept of "stress". *Aust Vet J.* 1986.63: 359-361.
141. Sander, E. G., R. G. Warner, H. N. Harrison, and J. K. Loosli. The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *J. Dairy Sci.* 1959. 42: 1600-1605.
142. Seegraber, F. J., and J. L. Momll. Effect of protein source in calf milk replacers on morphology and absorptive ability of small intestine. *J. Dairy Sci.* 1986.69: 460.
143. Sevi, A., L. Taibi, M. Albenzio, A. Muscio, S. Dell Aquila, and F. Napolitano. Behavioral, adrenal, immune and productive responses of lactating ewes to regrouping and relocation. *J. Anim. Sci.* 2001. 79: 642-652.
144. Sissons, J. W., and R. H. Smith. Effect of duodenal cannulation on abomasal emptying and

- secretion in the preruminant calf. *J Physiol.* 1982.322: 409-417.
145. Sissons, J. W., R. H. Smith, D. Hewitt, and A. Nyrup. Prediction of the suitability of soya-bean products for feeding to preruminant calves by an in-vitro immunochemical method. *Br J Nutr* 1982.47: 311-318.
146. Smith, D. H. F. a. V. R. Intestinal permeability to proteins in herbivore. *Am. J. Physiol.* 1957.191: 271.
147. Smith, D. L., D. L. Wiggers, L. L. Wilson, J.W.Comerford, et al. Postweaning behavior and growth performance of early and conventionally weaned beef calves. *Professional Animal Scientist*. Champaign: 2003.Feb 19: 23.
148. Smith, G. H., and S. McCarthy. Synthesis of milk fat from beta-hydroxybutyrate and acetate in mammary tissue in the cow. *Biochim Biophys Acta.* 1969.176: 664-666.
149. Stevens, D. B. Stress and its measurement in domestic animals: A review of behavioral and physiological studies under field and laboratory situations. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.* 1980.24: 179.
150. Stobo, I. J., J. H. Roy, and H. J. Gaston. Rumen development in the calf. 1. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on rumen development. *Br J Nutr* 1966a.20: 171-188.
151. Stobo, I. J., J. H. Roy, and H. J. Gaston. Rumen development in the calf. 2. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on digestive efficiency. *Br J Nutr* 1966b.20: 189-215.
152. Ternouth, J. H., J. H. Roy, I. J. Stobo, S. M. Shotton, and C. M. Gillies. Concurrent studies of the flow of digesta in the duodenum and of exocrine pancreatic secretion in calves. 5. The effect of giving milk once and twice daily, and of weaning. *Br J Nutr.* 1977.37: 237-249.
153. Tomkins, T., and E. H., Jaster. Preruminant calf nutrition. *Vet. Clin. North Am Food Anim. Pract.* 1991.7: 557.
154. Toothill, J., J. D. Edwards-Webb, and S. Y. Thompson. The absence of lipolytic activity in the abomasal (gastric) secretion of the preruminant calf. *Proc Nutr Soc.* 1975.34: 20A-21A.
155. Toothill, J., and S. Y. Thompson. Salivary and pancreatic lipases of the preruminant calf. *Proc Nutr Soc.* 1977. 36: 106A.
156. Toothill, J., S. Y. Thompson, and J. D. Edwards-Webb. Studies on lipid digestion in the preruminant calf. The source of lipolytic activity in the abomasum. *Br J Nutr.* 1976. 36: 439-447.
157. Toullec, R., and P. Guilloteau. Research into the digestive physiology of the milk-fed calf. In: *Nutrition and digestive physiology in monogastric farm animals*, edited by e. J. Van weerdon and j. Huisman. Wageningen, the cetherlands: Pudoc.: 1989.37-55.
158. Toullec, R., and C. M. Mathieu. Utilization of fats and their principal fatty acids by fattening pre-ruminant calves. Influence on body composition. *Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys.* 1969.9: 139~160.



159. Van Hellon, R. W., and T. A. Wilson. Bovine amylase, insulin and glucose response to high and low concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 1978.47: 445.
160. Veissier, I., and P. Le Neindre.. Weaning in calves: Its effect on social organization. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 1989a 24: 43.
161. Veissier, I., P. Le Neindre, and G. Trillat. The use of circadian behavior to measure adaptation of calves to changes in their environment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 1989b. 22: 1.
162. Veissier, I., P. Le Neindre, and J. P. Garel. Decrease in cow-calf attachment after weaning. *Behav. Proc.* 1990.21: 195-195.
163. Walker, P. G., P. D. Constable, D. E. Morin, J. K. Drackley, J. H. Foreman, and J. C. Thurmon. A reliable, practical, and economical protocol for inducing diarrhea and severe dehydration in the neonatal calf. *Can. J. Vet. Res.* 1998. 62: 205–213.
164. Wallenius, R. W., and F. R. Murdock. Protein for calves on a limited milk-early weaning system. *J Dairy Sci.* 1977.60: 1422-1427.
165. Warner, A. C. Some factors influencing the rumen microbial population. *J Gen Microbiol* 1962.28: 129-146.
166. Warner, R. G. Nutritional factors affecting the development of a functional ruminant - a historical perspective. *Proc. Cornell Nutr.Conf.:* 1991.1-12.
167. Williams, P. E. V., and A. J. Frost. Feeding the young ruminant. In neonatal survival and growth, edited by m. Varley, p. E. V. Williams, and t. L. J. Lawrence. Occasional Publ. No.: 1992.15, 109-118.
168. Williams, V. J., J. H. Roy, and C. M. Gillies. Milk-substitute diet composition and abomasal secretion in the calf. *Br J Nutr.* 1976.36: 317-335.
169. Wirnt, R. Chymotrypsin, measurements with n-benzoyl-l-tyrosin ethyl ester as substrate, in: H. U. Bergmeyer, methods of enzymatic analysis, weinheim:Verlag chemie, 1974a, 1009-1012.
170. Wirnt, R. Trypsin, measurement with  $\alpha$ -p-toluenesulfonyl-l-arginine methyl ester as substrate, in: H.U. Bergmeyer, methods of enzymatic analysis, weinheim:Verlag chemie, 1974b.1021-1024.
171. Zavy, M. T., P. E. Juniewicz, W. A. Phillips, and D. L. VonTungeln. Effect of initial restraint, weaning, and transport stress on baseline and acth-stimulated cortisol responses in beef calves of different genotypes. *Am J Vet Res.* 1992. 53: 551-557.

## 致 谢

在论文完成之际，衷心感谢各位老师、朋友和家人们对我的支持和帮助！

首先，向我的导师王加启研究员，表示最衷心的感谢和诚挚的祝福。三年来，王老师从试验的选题、论文设计、试验安排、结果分析以及论文的协作等各方面都进行了细致入微而又严格的指导，使得本论文顺利完成。三年来，导师无论在生活中还是在工作中都给予了我无微不至的关心，提供机会参与实验室各种科研项目，不仅开拓了视野，而且从中得到了锻炼和提高。王导师敏锐的科研思维、有条不紊的高效工作、拼搏进取的奋斗精神时刻激励和感染着我，并将伴随我以后的人生事业。

在论文设计和开题过程中得到了桂荣研究员、贾志海教授、闵于明教授、计成教授和吴克谦研究员和高振川研究员的指导。于建国研究员在样品分析方面拥有渊博的知识和丰富的经验，为试验的完成提供了大量的技术指导。科研处刘素琴老师在论文开题、答辩及日常管理方面提供了大力支持。研究生院的于子荣老师、温洋老师和杨建玲老师在三年的学习期间为我们的学习和工作提供关心和帮助。在动物试验开展过程中得到了北京市奶牛中心延庆奶牛基地张胜利主任、张晓霞主任、黄奕主任、朱新民硕士、吴广安场长、邬纯宏场长及各位工作人员的支持和帮助；感谢饲料所刁其玉研究员、王吉峰博士和李辉博士在消化代谢试验中提供的帮助和支持；攻读学位期间，得到了“十五”国家奶业科技重大专项“奶牛现代集约饲养关键技术与产业化开发（2002BA518A02）”课题组的领导和专家、中国农业科学院北京畜牧兽医研究所反刍动物营养研究室全体职工和研究生以及许多热心朋友的帮助和支持，在此对以上各位老师、同学和朋友表示诚挚的敬意和衷心的感谢。

感谢在论文的完成过程中，实验室全体成员给予的支持和帮助。论文设计和执行中多次和魏宏阳博士、黄庆生助研、卜登攀博士、李树聪博士、杨红建博士、赵青余博士、邓先德博士、朱文涛博士、张民博士、李大刚博士、郭玉琴博士生就试验中疑难问题进行讨论，他们提供了大量的帮助和建议。尤其感谢研究小组叶纪梅硕士、张祥硕士生为试验的顺利完成付出艰辛和努力，没有他们的合作和努力，很难保证试验的顺利完成。感谢付宝华老师、王治国硕士生、张瑞超硕士、曹荣硕士生、董燕青师傅、崔莉莉硕士和华中农大唐文花老师在样品采集方法和采集过程中给予的帮助和支持。感谢杨舒黎博士生、刘光磊博士生、王林枫博士在生活 and 论文写作中提供的大量帮助。此外周凌云助研、杨勤、曹艳平、吕中旺、陈治国、郭刚、石宗丽等人为试验顺利进行和论文的答辩评审方面提供优质的服务和支撑。

三年的博士生活紧张、充实而又忙碌，期间凝集了难忘的师生情、研究室兄弟姐妹们的手足情和同窗好友浓浓的友情。感谢我的同窗好友赵峰博士、张广民博士、谢明博士生、黄金秀博士生、黄艳玲博士生、贺云霞博士、苏宏华博士、张新建博士等给予的帮助和支持。

论文的完成离不开我爱人刘振宇先生的支持和帮助，感谢我的父母、弟弟、弟妹和公婆对我的帮助和鼓励！

感谢所有给予我帮助的人，我在他们的帮助下一步步取得进步和成就，我也将为更多人提供真诚的帮助，让友爱之情传播！

## 作者简历

姓 名：高艳霞

性 别：女

出生籍贯：河北省石家庄地区藁城市

学 历：研究生

教育简历：

1996.09—2000.07 河北农业大学动物科技学院畜牧专业学习，获得学士学位

2000.09—2003.07 推荐免试在河北农业大学动物科技学院动物营养与饲料科学专业学习，获得硕士学位

2003.09 至今 中国农业科学院研究生院攻读博士学位

发表论著情况：

参编，《饲料添加剂应用技术问答》，中国农业出版社，2002。

参编，《奶牛饲养与繁殖技术指南》，中国农业大学出版社，2003。

参编，《肉羊标准化生产技术》，中国农业大学出版社，2003。

参编，《现代奶牛养殖科学》，中国农业出版社，2005

高艳霞，叶纪梅，张祥，王加启，断奶应激对犊牛血液中代谢物和激素的影响，中国畜牧兽医，2006，9卷，33期，

高艳霞，王加启，新生犊牛消化功能的发育及影响因素，中国奶牛，2006年，8卷，3-5。

张祥，王加启，高艳霞，叶纪梅，唐艳红，不同饲养方式对荷斯坦犊牛的影响，饲料工业，2006年27卷3期，46-47

叶纪梅，高艳霞，张祥，王加启，赵国琦，不同处理大豆粉在犊牛代乳粉中的应用效果比较，中国畜牧兽医，2006年33卷11期，3-6