

现代乳品科学与技术丛书

奶牛乳腺发育与 泌乳生物学

MAMMARY GLAND DEVELOPMENT AND
LACTATION BIOLOGY OF DAIRY COW

李庆章 等 编著



科学出版社

现代乳品科学与技术丛书

奶牛乳腺发育与泌乳生物学

**Mammary Gland Development and
Lactation Biology of Dairy Cow**

李庆章 等 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是一部关于奶牛乳腺发育与泌乳生物学的专著,主要内容有:奶牛乳腺发育的解剖学与组织学,奶牛泌乳生物学,激素对奶牛乳腺发育、泌乳及退化的作用,细胞因子对奶牛乳腺发育、泌乳及退化的影响,奶牛乳腺的物质代谢和能量代谢,奶牛肝代谢与奶牛泌乳的关系,天然生物功能物质对奶牛泌乳的作用,奶牛乳腺发育、泌乳及退化相关重要功能基因及其表达调控,奶牛乳腺生物工程学与乳腺生物反应器,奶牛乳房免疫学与乳房疾病学,奶牛乳腺研究的主要技术。

本书的读者对象为动物科学与生产学、动物营养学、基础兽医学、发育生物学等研究工作者和有关研究领域的硕士研究生、博士研究生、高年级本科生等,可为广大泌乳生物学与乳腺功能调控研究工作者,特别是以奶牛作为实验用动物的反刍乳用动物乳腺发育与泌乳研究提供系统、完整的重要参考资料,为广大动物科技和动物医学工作者提供一部奶牛乳腺发育与泌乳重要基础理论和主要研究技术参考书,亦可作为基础医学、营养学、妇产科学相关学科有关研究领域广大研究工作者、研究生和本科生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

奶牛乳腺发育与泌乳生物学 = Mammary Gland Development and Lactation Biology of Dairy Cow/李庆章等编著. —北京:科学出版社,2014.1
(现代乳品科学与技术丛书)
ISBN 978-7-03-039149-0

I. ①奶… II. ①李… III. ①乳牛-乳腺-发育②乳牛-泌乳 IV. ①S823.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第273148号

责任编辑:李秀伟 侯彩霞 王 静/责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬/封面设计:美光制版

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2014年1月第一次印刷 印张:38 1/2 插页:16

字数:900 000

定价:258.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《奶牛乳腺发育与泌乳生物学》编委会名单

主 编：李庆章 博士 教 授

副主编：高学军 博士 教 授

赵 锋 博士 副研究员

曲 波 博士 副研究员

编 者：（以姓氏笔画为序）

王春梅 博士 教 授

曲 波 博士 副研究员

李庆章 博士 教 授

张 娜 博士 助理研究员

张 莉 博士 副教授

张建涛 博士 副教授

林 叶 博士 副教授

赵 锋 博士 副研究员

侯晓明 博士 副教授

姜毓君 博士 教 授

高学军 博士 教 授

崔英俊 博士 副教授

丛书序

乳，为所有雌性哺乳类动物乳腺组织所分泌的液体食品，为其幼仔的生长和发育提供必需的营养需要和重要的活性物质，如免疫物质、生长因子、酶等。在人类驯养的动物中，牛、马、羊、驼等生产的乳被人类作为重要的动物性食品而利用，并在悠久的历史过程中形成了种类繁多、风味各异的乳制品。它们丰富了人类的膳食来源，改善了人类的膳食结构，甚至形成了独特的膳食文化。

“国以民为本，民以食为天”。伴随着我国国民经济的前进步伐，在 20 世纪 90 年代后期，我国乳业得到空前发展。进入 21 世纪，我国乳业更是日新月异，2005 年奶牛存栏数已经达到 1280 万头，乳类的总产量已经超过 2860 万 t，总产值超过 862 亿元人民币。消毒乳和乳饮料、酸奶和酸奶饮料、乳粉等传统乳制品的生产迅速增加，干酪、保健乳制品的市场正在开发之中，人均占有量已经超过了 20kg。我国的乳业正处于快速成长期，一批大中型乳品生产企业迅速发展，并在国内形成了自己的知名品牌。

东北农业大学地处我国乳业生产中心地带——黑龙江省，是我国乳品科学事业的发祥地，也是我国乳品科学研究人才培养数量最多的高等学府，为我国乳业的发展作出了杰出贡献。经过 58 年的建设，现在拥有乳品科学和技术研究的两个平台：国家乳品工程技术研究中心、乳品科学教育部重点实验室，以及一大批优秀的人才。“博观而约取，厚积而薄发”，经过多年的历史积淀，科学研究人员已经积累了大量宝贵的研究资料和学术资源。为了充分展现东北农业大学在乳品科学领域的学术地位和学术成就，更好地培养乳品科学领域的高层次创新型人才，保证优质、安全、可口的乳制品生产，促进我国乳业的全面、协调、可持续发展，在科学出版社的大力支持下，我们组织优秀的乳品科学研究人员集结编写（译）了《现代乳品科学与技术丛书》。这部丛书首次最系统、最完整地汇集了现代乳品科学领域的理论与技术，为从事乳品科学研究和投身乳品生产实践的科学技术人员提供了必要的参考书，并为乳品科学研究领域的莘莘学子构建起最新颖、最完善的知识框架。编写（译）工作的整体完成，将是东北农业大学食品科学和乳品科学发展史上的一个重要里程碑。

我国乳业生产方兴未艾，其未来的发展需要乳品科学研究工作的坚强支持。东北农业大学将汇聚国内外一流乳品科学人才，积极促进多学科交叉与融合，在大力开展高水平基础研究和应用研究的基础上努力实现乳品科学创新和乳品技术创新，为我国的乳品生产和乳业的未来发展提供理论指导和技术支持。《现代乳品科学与技术丛书》的正式出版，就是我们努力实现这一宏伟目标的具体表现。愿《现代乳品科学与技术丛书》的广大读者，通过自己的“博学、审问、慎思、明辨、笃行”，能够从中获得服务社会、造福人类的知识和技能，这才是系列丛书出版的真正目的。

李庆章 教授
东北农业大学校长
2006 年夏于哈尔滨

前言

在漫长的历史岁月中，牛奶是所有饮品中陪伴人类时间最长的一种饮品，其重要性仅次于水。据考古学家推测，早在 12 000 年前，人类就开始驯服野牛作为家畜。奶牛有“人类的养母”之称，其在奶业生产中的重要性不言而喻。基督教经典《圣经·旧约》中，牛奶一共被提及 47 次，被视为神之物（the gift of the God），书中称牛奶的利用大约从公元前 6000 年开始，这个时期恰恰与驯养家畜出现的时间相吻合。在圣经中有天堂是“有乳和蜜流淌的地方”（land flowing in milk and honey）的赞美词，当时把牛奶和蜂蜜视为贵重食物，用来形容构成“理想国”的美好愿望和幻想。古巴比伦在开发底格里斯河和幼发拉底河下游冲击盆地的过程中，苏美尔人（Sumerian）最先创造了人类社会的地域文明，那里是农业和畜牧业的发祥地，牛奶的利用历史也是最悠久的。公元前 3500 年，索不达米亚的苏美尔人把奶牛作为女神来赞美，同时饮用牛奶并加工乳制品。法老时代的埃及人在开发尼罗河下游河谷及三角洲丛林沼泽的过程中，继苏美尔文明之后创立了第二个古老的地域文明。在埃及第十一王朝卡维特女王（公元前 2000 年）的石棺侧面雕刻有从奶牛挤奶的情景，说明古埃及的乳文化、发酵乳历史也很悠久。印度河流域是瘤牛的最初驯养地，乳文化一直呈繁荣状态。佛教经典《大藏经·般若涅槃经》十四卷就记有：“善男子譬如从牛出乳，从乳出酪，从酪出生酥，从生酥出熟酥，从熟酥出醍醐，醍醐最上，若有服者，众病皆除，所有诸药悉入其中。”由此可知，古印度时代对牛奶的加工提炼已经达到很高的水平。

在我国，自有文字以来，古籍中屡有关于牛奶的记载。秦代关于牛奶的记述是比较早的，西汉文帝时已有关于加工奶酒的记录，《新唐书·地理志》记述各地向皇宫进贡的礼品中就有干酪。智慧的中医药学，早就发现了牛奶独特的营养价值。对于乳的药用记载可见于《神农本草经》（公元 1~2 世纪）、《名医别录》等祖国医药学经典。牛奶在《名医别录》中被列为上品，“补虚羸，止渴，下气”。《千金·食治》中称：“入生姜、葱白，止小儿吐乳。补劳。”《本草经疏》记载：“牛乳乃牛之血液所化，其味甘，其气微寒无毒。甘寒能养血脉，滋润五脏，故主补虚羸，止渴。”我国著名中医药学家李时珍，在他的名著《本草纲目》中评价牛奶：“牛乳，甘、微寒、补虚羸。”唐·顾况《华阳集·行路难》诗中有“岂知灌顶有醍醐，能使清凉头不热”之句，以及唐·白居易《白氏长庆集·嗟发落》中有“银瓶贮寒泉，当顶倾一勺，有如醍醐灌，坐受清凉乐”，不能不知。因而，“醍醐灌顶”之成语至今广为传诵，比喻灌输智慧、使人彻悟，或感到清凉舒适。由上可知，我国古代对乳及乳制品的利用多侧重于医疗保健和饮食方面，很少添加宗教的神秘色彩。

乳及乳制品几乎包含人类需要的全部营养成分，是理想的食物或饮品，被誉为“接近完善的食物”。奶业是国民经济的重要组成部分，发展奶业生产对优化产业结构、增加农牧民收入、提高生活质量、增强国民体质具有重要意义。乳腺是奶牛的生产器官，

可以将营养素转化为乳成分并形成乳汁,奶牛乳腺的健康发育和功能正常,是多产奶和产好奶的首要条件。从人类的营养需求和动物福利出发,如何最大化地提高奶牛乳产量和乳质量又不影响泌乳奶牛的身体健康、繁殖能力和生产寿命,一直是奶牛乳腺发育与泌乳生物学研究的重要科学使命。为了向广大乳腺发育与泌乳生物学研究工作者,特别是以奶牛作为实验用动物的研究者提供系统、完整的参考资料,为广大动物科技和动物医学工作者提供一部奶牛乳腺重要基础理论和主要研究技术的参考书,进一步推动我国奶牛乳腺发育与泌乳生物学研究的深入开展,乳品科学教育部重点实验室(东北农业大学)泌乳生物学与乳腺功能调控研究部和国家重点学科基础兽医学学科组织主要研究人员,密切结合自己的研究成果,认真查阅研究资料,在《乳腺发育与泌乳生物学》(2009)、《奶山羊乳腺发育与泌乳生物学》(2011)的基础上,又编纂了《现代乳品科学与技术丛书》之一《奶牛乳腺发育与泌乳生物学》,从而使泌乳模型动物小鼠、泌乳实验用动物奶山羊和奶牛的相关资料覆盖全面,更加方便研究工作者得心应手地参考利用。

本书的各位编著者所承担的编写任务分别是:第1章绪论由李庆章博士编写,第2章奶牛乳腺发育的解剖学与组织学由曲波博士编写,第3章奶牛泌乳生物学由赵锋博士编写,第4章激素对奶牛乳腺发育、泌乳及退化的作用由崔英俊博士编写,第5章细胞因子对奶牛乳腺发育、泌乳及退化的影响由林叶博士编写,第6章奶牛乳腺的物质代谢和能量代谢由张娜博士编写,第7章奶牛肝代谢与奶牛泌乳的关系由姜毓君博士编写,第8章天然生物功能物质对奶牛泌乳的作用由高学军博士编写,第9章奶牛乳腺发育、泌乳及退化相关重要功能基因及其表达调控由王春梅博士编写,第10章奶牛乳腺生物工程学与乳腺生物反应器由张莉博士编写,第11章奶牛乳房免疫学与乳房疾病学由张建涛博士编写,第12章奶牛乳腺研究的主要技术由侯晓明博士编写。全书由李庆章博士统稿,并由曲波博士、赵锋博士统一修改和整理。

本书付梓之际,特别感谢科学出版社李秀伟编辑,如果没有她的积极合作和缜密工作,很难在较短的时间内高质量地完成本书的编纂。本书的形成,也要特别感谢黄建国、陆黎敏、袁肖寒博士和李萌博士后及陈建晖、黄田英、冯丽丽、张岚、郭洪波、李慧铭、万中英、张宇翔、门晶、接晶、刘杰、李楠、刘畅、肖阳、张童非、孔庆洋、童津津、李冬辉硕士,是他们的科学实验和学位论文,使得本书内容更加充实。本书的编写,还要特别感谢国家重点基础研究发展计划(973计划)课题(2011CB100804)、国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA10Z1A4)和国家自然科学基金项目(30671538, 31072103)的资助,没有这些项目的依次接续支持,就不会有书中诸多的原始创新研究积累和原始创新知识成果形成。最后,感谢东北农业大学乳品科学教育部重点实验室主任基金对本书出版的特别资助。

编著者

2013年3月1日

目 录

丛书序

前言

1 绪论	1
1.1 导语	1
1.2 奶牛饲养的历史与文化	2
1.3 奶牛生产的概况和前景	6
1.4 奶牛乳腺发育与泌乳生物学的研究	11
小结	23
参考文献	24
2 奶牛乳腺发育的解剖学与组织学	31
2.1 概述	31
2.2 奶牛乳腺胚期发育的解剖学与组织学	31
2.3 奶牛乳腺胚后发育的解剖学与组织学	35
小结	68
参考文献	70
3 奶牛泌乳生物学	83
3.1 概述	83
3.2 奶牛泌乳过程及泌乳机制	85
3.3 神经和内分泌系统对奶牛泌乳的调节作用	96
3.4 牛奶的生物化学	110
小结	132
参考文献	134
4 激素对奶牛乳腺发育、泌乳及退化的作用	146
4.1 概述	146
4.2 主要激素对奶牛乳腺发育、泌乳及退化的作用	146
4.3 奶牛泌乳过程的人工诱导	173
小结	176
参考文献	177
5 细胞因子对奶牛乳腺发育、泌乳及退化的影响	185
5.1 概述	185
5.2 影响奶牛乳腺发育的细胞因子	185
5.3 影响奶牛乳腺泌乳的细胞因子	226
5.4 影响奶牛乳腺退化的细胞因子	233

小结·····	243
参考文献·····	244
6 奶牛乳腺的物质代谢和能量代谢 ·····	251
6.1 概述·····	251
6.2 奶牛乳腺的物质代谢及其调节·····	251
6.3 奶牛乳腺的能量代谢及其调节·····	285
小结·····	295
参考文献·····	296
7 奶牛肝代谢与奶牛泌乳的关系 ·····	315
7.1 概述·····	315
7.2 奶牛肝代谢及其调节·····	317
7.3 奶牛肝代谢调节对泌乳的影响·····	342
小结·····	357
参考文献·····	359
8 天然生物功能物质对奶牛泌乳的作用 ·····	366
8.1 概述·····	366
8.2 常用主要天然功能物质及其对奶牛调乳效应·····	367
8.3 调乳天然功能物质对奶牛的作用途径及机制·····	373
小结·····	386
参考文献·····	386
9 奶牛乳腺发育、泌乳及退化相关重要功能基因及其表达调控 ·····	390
9.1 概述·····	390
9.2 奶牛乳腺发育、泌乳及退化相关重要功能基因·····	393
9.3 奶牛乳腺重要功能基因表达调控及其机制·····	427
小结·····	443
参考文献·····	445
10 奶牛乳腺生物工程学与乳腺生物反应器 ·····	453
10.1 概述·····	453
10.2 奶牛乳腺干细胞与乳腺生物工程学·····	453
10.3 奶牛乳腺生物反应器与泌乳生物工程·····	483
小结·····	500
参考文献·····	501
11 奶牛乳房免疫学与乳房疾病学 ·····	506
11.1 概述·····	506
11.2 奶牛乳房免疫学·····	506
11.3 奶牛乳房疾病学·····	516
小结·····	551
参考文献·····	551

12 奶牛乳腺研究的主要技术	561
12.1 概述.....	561
12.2 常用于乳腺研究的实验用奶牛.....	561
12.3 奶牛乳腺上皮细胞的体外培养与乳腺上皮细胞系的建立.....	566
12.4 奶牛乳腺外植体的培养.....	583
12.5 奶牛乳腺腺泡的构建与物质交换和生物合成机制研究.....	584
小结.....	598
参考文献.....	599

图版

1 绪 论

导语

奶牛饲养的历史与文化

国外奶牛饲养的历史与文化

国内奶牛饲养的历史与文化

奶牛生产的概况和前景

世界奶牛生产的概况和前景

我国奶牛生产的概况和前景

奶牛乳腺发育与泌乳生物学的研究

国际奶牛乳腺发育与泌乳生物学的研究

国内奶牛乳腺发育与泌乳生物学的研究

小结

参考文献

1.1 导语

在漫长的历史岁月中，牛奶是所有饮品中陪伴人类时间最长的一种饮品，其重要性仅次于水。奶及其制品长期以来与人们的生活密切相关，其营养价值早已被国内外所认识和利用。随着工艺的不断改进和技术的革新，奶业不断发展，牛奶及奶制品在人们饮食中占有着越来越重要的地位。

科学家认为，在 10 000 多年以前，人类社会开始从狩猎采集社会转变为定居的农业社会。人类从原始的穴居时代，以捕猎为主要手段猎取野生动物为食的旧石器时代后半期到新石器时代（公元前 7000 年到公元前 2500 年），就已经开始了野生动物的家畜化（domestication）。现在，一般认为在公元前 6000 年到公元前 1000 年家畜就已经建立。首先是犬，然后是羊，而牛是在南亚和欧洲家畜化的。现在的荷斯坦奶牛是从当时作为家畜牛的欧罗巴原牛（*Bos primigenius*）而来。从家畜的利用看，开始是肉用，后来随着农耕用于使役，以及作为宗教祭祀的牺牲。在自然条件下，野生哺乳动物所产的奶往往只够应付后代的哺育。早在有历史记载之前，人类就驯化了能够乳用的动物，并且通过选择提高其产奶量。牛是家畜中最重要物种，牛的驯化历史很长。据考古学家推测，早在 12 000 年前，人类就开始驯服野牛作为家畜，并把牛奶作为重要的食物来源。母牛有“人类的养母”之称，其在奶业生产中的重要性不言而喻。

家牛属于牛科（Family Bovidae）。按照林奈分类系统（Linnaean taxonomy），奶牛的祖先都属于动物界（Kingdom Animalia）脊索动物门（Phylum Chordata）哺乳动物纲（Class Mammalia）偶蹄目（Order Artiodactyla）牛科（Family Bovidae）牛属（Genus *Bos*）的普通牛种（Species *Bos taurus*）。

1.2 奶牛饲养的历史与文化

“cattle”这一词汇很可能来源于罗马词汇“chattle”，其意思是“财产”。因此，在古罗马帝国时期，一个人的财富经常由其所拥有牛的头数来度量。最早的钱币上印有公牛头像，也可佐证牛就意味着财富。罗马语中表示“钱”的“pecunia”（目前英语中还保留其形容词“pecuniary”，意为“金钱的”）（新英汉词典编写组，1985）来源于拉丁语的“pecus”，词意是“牛”。牛最早于新石器时代在亚洲和欧洲被驯化，现代牛是这些原始祖先牛的后代。

1.2.1 国外奶牛饲养的历史与文化

随着人类农业文明的进步，牛首先被驯化为役用动物。利用牛为人类提供牛奶还要追溯到人类文明史前时期，撒哈拉地区的史前绘画（大约公元前 8000 年）就曾记载了牛的历史。公元前 4000 年左右，古埃及人开始使用牛奶作为祭品，欧洲人也逐步开始掌握了用牛奶制作奶酪的技术。在靠近巴比伦的乌尔（Ur）神庙檐壁的镶嵌画就描绘了公元前 3500 年牛奶生产的场景，发现了迄今关于人类获取和饮用牛奶的最早历史记录。公元前 5 世纪，古希腊名医希波克拉底（Hippocrates）曾将牛奶推荐为药物。中世纪只有在放牧季节奶牛才能生产少量的牛奶。事实上，当时人们消费的液态奶中羊奶所占比例多于牛奶。即使到了 13 世纪，畜牧业虽然有了一定发展，但有文字记载 3 头牛 1 周之内也只能生产 3.5lb（1.0lb=0.4536kg）黄油，多数牛奶用于生产奶酪。1856 年，法国人路易斯·巴斯德（Louis Pasteur）在应葡萄酒商邀请解决葡萄酒变质问题时，发明了至今仍广为使用的巴氏消毒法：将液体加热到一定温度（葡萄酒是 50℃，牛奶是 72~75℃），既可以杀死其中的有害细菌，又能最大限度地保有其中的有益成分和味道。可以毫不夸张地说，没有巴斯德，绝不会有今天如此繁荣的全球乳品业市场，这种方法被重视营养的欧美各国沿用至今。目前，在欧美、日本、韩国等发达国家和地区的超市里是单一的巴氏杀菌奶。

基督教经典《圣经·旧约》中，称牛奶的利用大约从公元前 6000 年开始，将乳视为神之物（the gift of the God），这个时期恰恰与驯养家畜出现的时间相吻合。在《圣经·旧约》中，牛奶一共被提及 47 次。圣经中有天堂是“有乳和蜜流淌的地方”（land flowing in milk and honey）的赞美词，当时把牛奶和蜂蜜视为贵重食物，用来形容构成“理想国”的美好愿望和幻想。古巴比伦、古埃及、古印度、中国这四大文明古国，在公元前 3500 年到公元前 1000 年都各自创造了人类社会的地域文明，都是农业和畜牧业的发祥地，对乳的利用历史也都是最早的。古巴比伦在开发底格里斯河和幼发拉底河下游冲击盆地的过程中，苏美尔人（Sumeriam）最先创造了人类社会的地域文明，那里是农业和畜牧业的第一个发祥地，乳的利用历史也是最早的。公元前 3500 年，索不达米亚的苏美尔人把奶牛作为女神来赞美，同时饮用牛奶并加工乳制品。大英博物馆和美国宾夕法尼亚大学动物馆考古发现的大型石刻浮雕上，就记载了苏美尔人的牛舍、挤

奶、牛奶过滤和奶油加工的生动场面。人们食用的奶油 (butter cream) 和各种发酵乳制品,特别是干酪 (cheese) 和酸奶,就是继承的苏美尔文明 (Sumerian civilization)。至今,伊拉克、埃及、叙利亚、土耳其、黎巴嫩、以色列、沙特阿拉伯、约旦等国家仍在传承着古代苏美尔文明和巴比伦文化流传下来的乳制品 (金世琳, 2002a)。

法老时代的埃及人在开发尼罗河下游河谷及三角洲丛林沼泽的过程中,继苏美尔文明之后创立了第二个古老的地域文明。在推断为公元前 3500 年的埃及考古遗址壁画中,牛的描绘占绝对多数,其中有长角非洲牛,也有短角非洲牛。在埃及第十一王朝卡维特女王 (公元前 2000 年) 的石棺侧面雕刻有从奶牛挤奶的情景,说明古埃及的乳文化、发酵乳历史也很悠久 (金世琳, 2002a)。

印度河文明至少早在公元前 2500 年前就已经存在。印度河文明的支柱是灌溉农业,其蓄水、排水系统几乎可以与其后的罗马帝国媲美。印度河流域也是瘤牛的最初驯养地。从印度河文明衰落到释迦牟尼 (通称为佛陀) 的悟道成佛,可能经历了 1000 年之久。早在口头传诵的印度神话中有关于乳海和如意圣牛的记载:尊为“一切众生之父”的婆罗摩造“七海”(盐、糖、酒、乳浆、乳汁、乳酪和水),诸天神欲得长生不老的甘露,一同搅动乳海。结果使吉祥天女从乳海中献出如意圣牛、甘露等吉祥物,如意圣牛是能够产出人们意愿中任何东西的牛,而甘露是喝了能使人长生不老的饮料。从此神话中,可以看出当时印度人对牛和乳的热爱。直到现在,印度、巴基斯坦、尼泊尔、斯里兰卡、不丹、孟加拉等国这一地域文明中,乳文化仍呈繁荣状态 (金世琳, 2006b)。乳文化是乳与宗教结合发展起来的,长期以来乳文化与人类的社会活动关系紧密。从新石器时代就有了乳的饮用,而乳文化则步于其后。在人类的社会活动中,乳被蒙上了既神秘又神圣的色彩。乳与宗教结合后,才真正形成了乳文化。佛教经典《大藏经·般若涅槃经》十四卷就记有:“善男子譬如从牛出乳,从乳出酪,从酪出生酥,从生酥出熟酥,从熟酥出醍醐,醍醐最上,若有服者,众病皆除,所有诸药悉入其中。”由此可知,古印度时代对牛奶的加工提炼已经达到很高的水平。这里乳、酪、酥、醍醐一方面是指不同类型的乳制品,同时也喻为佛典的不同层次,认为大涅槃经的深奥精辟犹如乳中醍醐。此外,除了在精神领域把醍醐奉为妙不可言、至高无上的向往,还把醍醐视为百病皆除的灵丹妙药。中国、古巴比伦、古埃及和古印度四大文明古国对人类的文明进步发挥了极大作用,乳文化也由此产生 (金世琳, 2002c)。

科学家对古代陶器碎片的分析表明,6500 年前,生活在不列颠岛的人们就开始饲养产奶的动物并以乳品为重要食品。这是迄今发现的距今最久远的人类从事乳品业的证据。这表明,史前人类的食物种类可能比人们原先想象的更丰富,再一次体现了新石器时代人类社会的复杂性。由于人们可以确定,能够产奶的动物并不是首先在不列颠岛驯养的,因此不能根据这一发现认为不列颠岛是乳业的发源地。但这对探索乳业的起源有所帮助。英格兰遗产委员会和布里斯托尔大学的科学家在美国《国家科学院通报》上发表报道说,脂肪的化学成分是一样的,但动物产生乳汁的过程造成乳品脂肪与肉类脂肪中碳同位素的比例略有不同。他们对在英国 14 个考古遗址发现的 950 块古代陶器碎片进行了化学分析,寻找乳品脂肪和肉类脂肪的痕迹,发现最早的陶器碎片上都存在乳品的痕迹。这表明在公元前 4500 年左右,不列颠岛人就开始食用乳品 (王艳红, 2003)。

1492年10月12日,当克里斯托弗·哥伦布(Christopher Columbus)首次到达美洲时,美洲大陆还没有奶牛。1493年第二次航行时,他带着4头小公牛和2头小母牛来到了西印度群岛。后来,在克罗纳多到墨西哥的探险旅程中,他将150头牛带到了美洲,这些牛成为美国西南地区长角牛(Longhorn)的祖先。1611年,第一批牛被引入到詹姆斯敦殖民地。1624年,普利茅斯殖民地由慈善(Charity)号船带来了3头小母牛和1头公牛。直到19世纪中叶,美国的牛奶生产还只限于家庭饲养的少量奶牛,一个农场用于提供新鲜牛奶的也只有1~2头。当时没有规定的牛奶健康指标或质量标准,常常有劣质牛奶出现,主要是牛奶掺水现象。为防止牛奶腐败,剩余的牛奶用于制作奶酪。19世纪中期是美国奶业发展的转折时期,牛奶储存和加工技术迅速发展。1852年,美国人吉尔·博登(Gall Borden)穿越大西洋旅行中亲身经历的一件事给了他灵感。当时,因为船上的奶牛晕船晕得太厉害,无法分泌奶汁,一名婴儿因此丧生。博登于是开始思索:有什么办法能够延长牛奶的保质期呢?后来,他想出了浓缩奶的办法。1856年,他获得了生产炼乳的专利许可。高温脱脂保质法会将牛奶中的营养成分几乎破坏殆尽,1905年前后,医学界曾发出警告,谴责这种牛奶提高了儿童软骨病的发病率。19世纪后半叶,美国政府认识到了农业科学研究的重要性,提供资金成立农业学院(《赠地法案》, *The Land Grant Act*)和资助农业研究建立农业实验站(《哈奇法案》, *The Hatch Act*),极大地推动了农业包括畜牧业的发展。20世纪初,食品质量受到公众的特别重视。国会通过了监测食品品质和食品加工的法案,各种用以提高牛奶安全性、适口性和营养价值的新技术得到快速发展。1949年,科学家发明了牛的精液冷冻方法,促使人工授精技术快速发展,美国奶业发生了革命性变化。此后发展的大量奶业技术提高了奶牛的产奶量、提高了奶及奶产品加工和奶产品质量控制的水平。这些技术包括牛奶调味装置、用计算机储存生产记录并更加准确预测奶牛的遗传素质、新的牛奶储存容器、乳脂电子检测方法、胚胎移植及生物技术的应用等,从而形成了完整的牛奶科学生产体系和质量保障体系。美国奶业依靠优良的群体品质、规模化的饲养模式,使其无论是在单产水平上还是在产奶总量上都位于世界前列。

1.2.2 国内奶牛饲养的历史与文化

中国人自古就有养牛挤奶饮用的习惯。我国北方和西南地区的少数民族从黄牛、水牛、牦牛身上挤出奶汁供人饮用的历史就长达4000多年。我国饲养奶畜、食用乳和乳制品的历史悠久。在我国北方和南方少数民族地区,尤其匈奴、突厥、蒙、满、哈萨克等中国古代北方民族都曾过着“食畜肉,饮乳汁,衣皮革,被毡裘,住毡制帐幕”的游牧生活,牛奶和牛肉是他们赖以生存的重要食物来源。牛奶在这些游牧民族的传统生活中逐渐占据了重要地位,并形成了具有鲜明特色的草原乳文化(宝音朝克图,2007)。

根据人类发展史,我国新石器时代出现了仰韶文化,仰韶遗址中发现许多猪、马、牛的骨骼,说明家畜饲养此时在古代中国已经很发达。在我国,自有文字记载以来,古籍中屡有关于牛奶的记载。秦代关于牛奶的记述是比较早的,西汉文帝时已有关于加工

奶酒的纪录,《新唐书·地理志》记述各地向皇宫进贡的礼品中就有干酪。说起中国人饮用牛奶的历史,有许多人会援引司马迁的记述。司马迁曾经好奇地在《史记·匈奴列传》记录下了汉文帝时(公元前180年)变节汉使中行说的话:“匈奴之俗,人食畜肉,饮其汁,衣其皮;畜食草饮水,随时转移。”从这个曾经的汉使身上,可以了解到“非我族类”的一些情况。上述的“饮其汁”,后来被部分专家指认为喝奶,而另外也有人怀疑是喝血。1500年前的《齐民要术》详细记载了用牛、羊乳制造干酪的方法。有学者指出此“酪”不是“奶酪”,而是一种奶油。而到了宋朝(公元960~1279年),政府的“机构设置”中有专门的牛羊司乳酪院,供造酥酪。尽管中国历史上多个朝代有喝奶或食用奶制品的记载,但无论如何,从中国本土牛的特质来看,喝奶至多是小范围的事情。过去几百年中存活的本土牛的奶产量也不高。

智慧的中医学,也早就发现了牛奶独特的营养价值。对于乳的药用品载可见于《神农本草经》(公元1~2世纪)、《名医别录》等祖国医药学经典。牛的解读和药用,在《神农本草经》中列为中品,即兼有保健和医疗效果。牛奶在《名医别录》中被称为上品,“补羸虚,止渴下气”。《千金·食疗》中称:“人生姜、葱白,止小儿吐乳,补劳。”《饮膳正要》载“牛奶煎草拔法”,贞观年唐太宗患病疾,术士进此方得愈。《本草经疏》记载:“牛乳乃牛之血液所化,其味甘,其气微寒,无毒。味甘能养血府,滋润五脏,故主补虚羸,止渴。”我国著名中医泰斗李时珍,在他的名著《本草纲目》中评价牛奶:“牛乳,甘、微寒、补虚羸”。李时珍视乳汁为灵丹妙药,还在《本草纲目》中把乳汁编为“仙家酒”:“仙家酒,仙家酒,两个葫芦盛一斗。五行酿出真醍醐,不离人间处处有。丹田若是干涸时,咽下重楼润枯朽。清晨能饮一升余,返老还童天地久。”认为常饮乳汁能健康长寿。关于酪、酥、醍醐的论述也有多处,此处不一一列举。唐·顾况《华阳集·行路难》诗中有“岂知灌顶有醍醐,能使清凉头不热”之句,以及唐·白居易《白氏长庆集·嗟发落》中有:“银瓶贮寒浆,当头倾一勺,有如醍醐灌,坐受清凉乐”,不能不知。因而,成语“醍醐灌顶”至今广为传诵,比喻灌输智慧、使人彻悟,或感到清凉舒适。由上可知,我国古代对乳及乳制品的利用多侧重于医疗保健和饮食方面,并且很少添加宗教的神秘色彩(金世琳,2002d)。

乳品不仅是民间的食品和药品,也是军旅食品。《蒙牛内幕》引论中曾诗意般地写道:“十三世纪,当成吉思汗的剽悍铁骑掠过多瑙河畔的时候,欧洲人惊呼:‘黄祸来了!’但是他们并不知道,孕育这些‘黄祸’超人体能的,正是草原上的牛和羊。传说蒙古军西征时,以‘三快’——行军快、作战快、后勤保障快闻名,前面是快马、长刀、利箭,后面是成群的牛和羊,战士们饿了吃肉,渴了饮奶。”意大利人马可·波罗(Marco Polo)在其著名的游记中,有过元代蒙古骑兵食用马奶食品的记述。不同的是,蒙古大将慧元对它进行了巧妙的干燥处理,做成了便于携带的粉末状奶制品。因为骑兵打仗有时不得不连续赶路作战而无时间做饭,士兵们就在马背上将一个皮袋里的水倒向另一个装有“糊状奶粉”的皮袋里,随着马的跑动,片刻之后就能喝了充饥。这种作法能有效地节省时间。但是马可·波罗也明确地说,这仅仅限于大汗皇帝的亲兵部队在执行重要任务时才能享用。可见,在长期的历史发展中,乳和乳制品不但作为食品、药品,还作为军需物资被广泛应用。

由于牛奶饮用范围小，以至于在漫长的历史中，曾经在我国传统“乳文化”的内涵中分化出上、下两极。上一极的小范围内确认喝奶是长生之途。如北魏的《北史·魏志·王琚传》曰：“长饮牛乳，色如处子，卒年九十。”但由于没有现在这样快捷有效的传媒，因此在民间尤其是人口密集的南方，喝牛奶的根基几乎不存在。当元朝部队跨马驰回自己的亚洲腹地大草原，蒙古民族的饮食习惯在中原也就逐步淡出了。美国人类学家尤金·N·安德森（E. N. Anderson）曾经指出：“明代复兴的汉族主义增强了对奶制品的排斥（心理）。”源于文化背景认同引发的情感扰动了对奶的判断，而且延续了许多年。这种扰动，体现在中国人的食谱中——牛奶出现在普通中国人的食谱之中，其实不过是几十年时间。尽管最早出现在我国的奶牛，传说在400多年前就由欧洲早期传教士和殖民者在东南亚引种杂交后流入云南边境，但国内最早的牧牛场1644年才在北京西华山建立。作为我国商品性的奶业，也只是从19世纪由国外带入专用品种奶牛才开始起步的，前后不过百年历史，基础薄弱，起点很低（谭向勇等，2007）。

从4000多年前的营养补品，到如今的庞大牛奶产业，走进千家万户的牛奶，背后经历了一段怎样波澜壮阔的发展之路？现在跟随“牛奶编年史”一起来了解中国现代奶业走过了怎样一段“由少到多”、“由弱变强”的历史时期。①萌芽时期（新中国成立前夕）：1949年前夕，全国的奶牛养殖总量约为12万头，约4000人才拥有1头奶牛，人均牛奶还不足1kg。②计划经济时代（新中国成立后~1978年）：计划经济时代的产品主要有较为单一的鲜奶、炼乳、全脂奶粉等，由于该时期物资较为匮乏，消费者对质量的要求不高，大部分鲜奶产品回家后还要再次煮沸后才能饮用。③大发展时期（1978~1995年）：这是中国奶业的第一个大发展时期，奶牛数量、奶产量和产品质量得到大大提高，冷链物流系统已粗具规模，饮用鲜奶已成为潮流，国家乳业法规、标准不断建立，消费者饮奶难的问题已经成了过去时。④市场高速发展期（1995~2008年）：这一时期，中国奶业的发展非常迅速，各类乳品加工技术的提高、大量精良国产化设备的普及、各种包装材料的出现、各类新产品等如雨后春笋般出现，但是当时的牛奶产业不设准入门槛，造成了重复建设和产能严重过剩，由于奶源等生产原料供应存在缺口，一些企业只能不计较奶质标准和收奶成本，疯狂地加入奶源争夺战中，出现了过度竞争和争抢奶源的现象，最终导致和引发了三聚氰胺事件的发生。⑤引导规范时期（2008~2011年）：乳品重大安全事件发生之后的几年，是对之前高速发展期的制度建设滞后的补课，这几年，国家先后出台160多项乳业安全法规标准，现在无论是从业人员的素质和能力、牛奶的生产标准、产品的可靠性和可追溯性、政府监管的有效性，还是消费者的饮用安全性，都有了大大的提高。随着中国奶业“由弱变强”、“由少到多”的发展，到达消费者手中的牛奶也经历着一场次的改头换面，科学技术的发展进步，使奶及奶制品向着多样化、功能化、实用化的方向发展。如今，乳及乳制品在我国也已经成为营养食品的代表，为越来越多的人带来健康的生活品质（刘希良和张和平，2002）。

1.3 奶牛生产的概况和前景

北纬40°~50°，是全球公认的牧草生长黄金纬度区，具有空气清新、土壤湿润、日

照充足、水源纯净、草质肥沃等特点，被称为“黄金奶源带”。世界奶业主要分布在北美五大湖周围地区、西欧、中欧，以及澳大利亚、新西兰等地，多为温带海洋性气候。

1.3.1 世界奶牛生产的概况和前景

从发达国家的奶业经济发展趋势上看，奶业生产的规模化是一种不可阻挡的历史潮流。在这一历史发展的进程中，美国、加拿大选择了大农场的发展道路，而欧洲各国则选择了家庭农场的发展道路。虽然他们选择的发展道路不同，但都分别实现了现代奶业这一产业发展目标。

以美国大农场为代表的奶业走的是规模化发展之路。美国是一个畜牧经济强国，畜牧业产值在 1000 亿美元左右，占农业总产值的 60%；美国现有奶牛场 64 500 个，平均规模 140 头，成年母牛存栏 904 万头，年产奶总量在 8000 万 t 以上，平均单产达到 8.9t；美国存栏奶牛中，94%以上是纯种荷斯坦奶牛，4%为娟姗牛，其他有瑞士褐牛、爱尔夏牛、更赛牛、短角牛等品种。美国奶牛业主要分布在西南、中西北部和东北地区，这些地区处于北纬 40°~50°，种植业发达、牧草资源丰富，是奶牛饲养的最佳区域。美国奶牛业的饲养方式绝大多数为家庭牧场式，这些奶牛场拥有一定数量的土地，大面积种植青贮玉米和牧草，为牛群提供优质、充足的饲草饲料。尽管美国农业人口少，劳动力短缺，但这些奶牛场的机械化程度非常高，先进技术应用十分广泛，不但解决了劳动力短缺问题，还保证了规模化饲养（徐春阳，2007）。

美国的奶业发展具有突出的现代化特征。①规模化饲养与质量效益型奶业：美国奶业依靠优良的群体品质、规模化的饲养模式，使其无论单产水平还是产奶总量都位于世界前列。美国农业部提供的资料显示，1993~2003 年，奶牛头数减少了 5%（960 万头减至 910 万头），乳总产量增加了 13%（6800 万 t 增至 7710 万 t），单产提高了 19%（7076kg 增至 8437kg），平均饲养规模从 10 年前的 85 头提高到现在的 140 头。群体数量降低了，饲养规模却不断扩大，产奶量和平均单产不断增加，这是典型的质量效益型奶业特点，也是美国成为世界奶业强国的重要原因。②科学的育种繁殖体系：美国非常重视育种繁殖技术，这是提高牛群品质、提升生产性能的重要措施。多年来不断加大奶牛育种繁殖技术的科研投入，并将科研成果积极转化为生产力，建立起一整套先进的奶牛育种体系。一是犊牛出生后就进行编号登记，形成档案；二是在奶牛繁育方面采取人工授精技术；三是实施大规模规范化生产性能测定（DHI）；四是种公牛的后裔测定，每年世界参加后裔测定的公牛中有 1/4 来自美国，全球 6 家顶级的种公牛站中美国就有 4 家。这一整套的育种体系称为“AI 育种体系”，早在 20 世纪 50 年代便在美国进行广泛推广和应用。据统计，仅 1950~1980 年的 30 年间，通过采用 AI 育种体系，全美奶牛平均单产提高了 3000kg，平均每年达到了 100kg。随着以胚胎生物工程技术为核心的 MOET（multiple ovulation and embryo transfer，超数排卵和胚胎移植）核心群育种体系的应用与成熟，近 20 年间全美奶牛单产水平又提升了 3000kg。③现代化的饲养管理技术：在美国，奶牛多数采用舍饲，可谓“花园式”管理，生态化生产，为奶牛营造一个舒适、健康的生存环境。美国奶牛场的机械化程度非常高，经营管理和饲养人员