

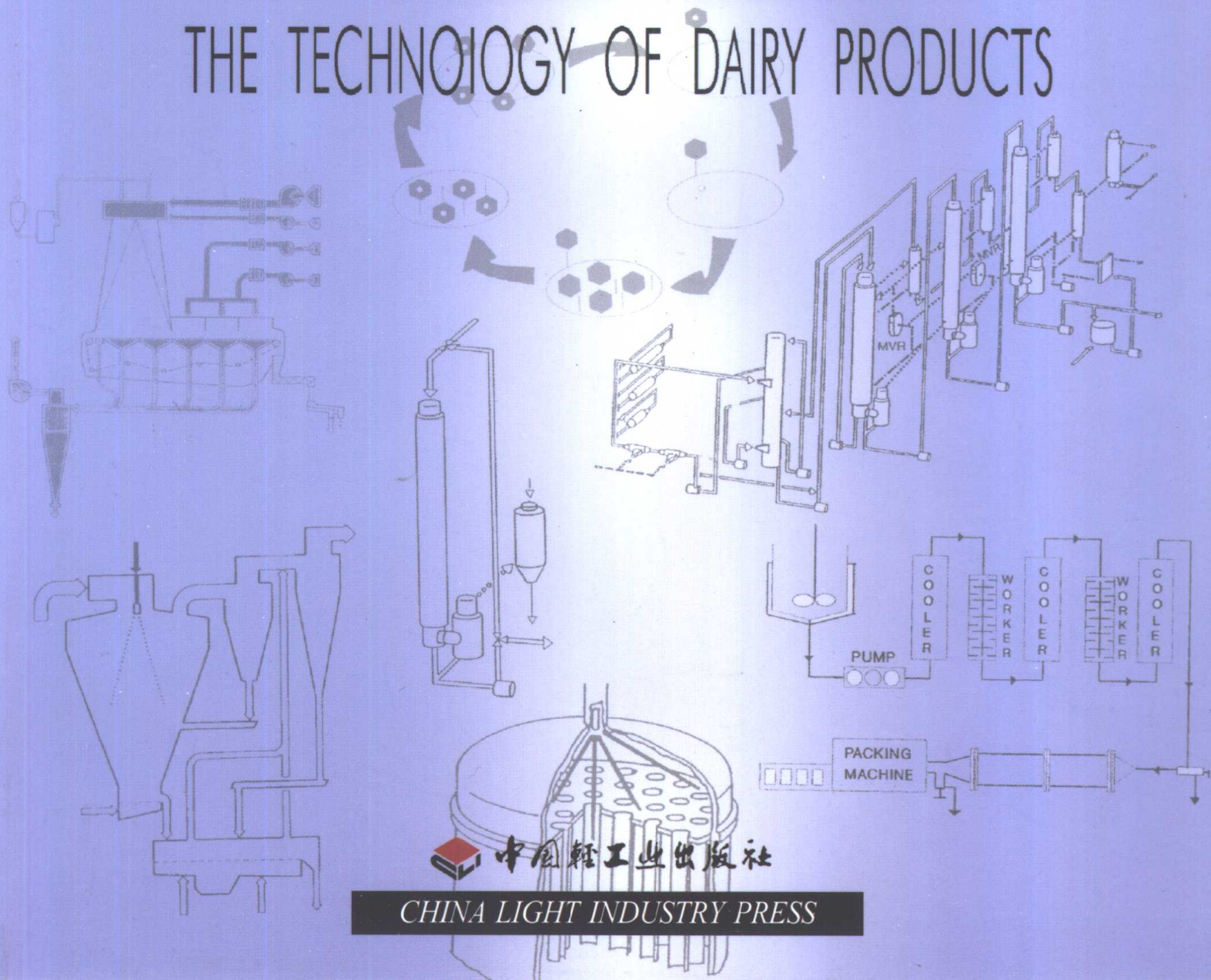
美国现代食品科技系列 13

乳制品生产技术

(第二版)

[英] Ralph Early 著 · 张国农 吕兵 卢蓉蓉 译

THE TECHNOLOGY OF DAIRY PRODUCTS



中国轻工业出版社

CHINA LIGHT INDUSTRY PRESS

美国现代食品科技系列 13

乳制品生产技术

(第二版)

〔英〕Ralph Early 著

张国农 吕兵 卢蓉蓉 译

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

乳制品生产技术(第二版)/(英)厄尔利著;张国农,吕兵,
卢蓉蓉译. —北京:中国轻工业出版社,2002.1
(美国现代食品科技系列 13)
ISBN 7-5019-3427-4

I. 乳… II. ①厄…②张…③吕…④卢…
III. 乳制品-食品加工 IV. TS252.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 071271 号

《乳制品生产技术》(第二版,Ralph Early)一书的中文版经英文版权所有者 ASPEN PUBLISHERS, INC., Gaithersburg, Maryland, USA 许可,由中国轻工业出版社出版发行。版权所有,翻印必究。

责任编辑:李亦兵 张 彦
策划编辑:李炳华 责任终审:滕炎福 封面设计:崔 云
版式设计:赵益东 责任校对:燕 杰 责任监印:胡 兵

*

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

联系电话:010—65241695

印 刷:北京印刷三厂

经 销:各地新华书店

版 次:2002年1月第1版 2002年1月第1次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:20

字 数:480千字 印数:1—4000

书 号:ISBN 7-5019-3427-4/TS·2060

定 价:42.00元

著作权合同登记 图字 01—2000—1818

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

译 者 序

随着人们生活水平的提高,膳食结构正在悄悄地发生着变化,正由过去的以植物蛋白为主,向动物蛋白、植物蛋白并重的方向发展。最为突出的是,近几年人们对乳制品的需求量日益增加,乳制品在我国人民日常生活的消费中已占有一定的位置,乳品工业的发展前景十分喜人。尽管如此,与世界发达国家相比,我国乳品的科研水平、工业生产技术和消费水平仍处于起步阶段,乳制品消费结构、品种结构等仍存在许多值得同行们思考和亟待解决的问题。

有关全面反映当代乳品科学与技术的中文书籍相对较少,许多从事科研、教学的工作者,尤其是企业界的工程技术人员迫切需要内容新颖、实用性强的工业技术书籍。为此,受中国轻工业出版社的委托,我们欣然翻译了本书。

由资深讲师拉尔夫·厄尔利(Ralph Early)著的《乳制品生产技术》(The Technology of Dairy Products)(第二版),于1998年在英国出版发行。作者以深邃广阔的视野、精练严谨的笔触分12章进行介绍,既概述了加工技术的历史、现状,又展望了新产品、新工艺的发展趋向,引导读者深入研究的方向;既综述了各种乳制品的加工技术原理,又论述了加工过程、工艺参数对产品质量的影响;既强调产品的营养、安全、卫生,又介绍了产品的品质控制、检验方法等;最后还论述了工厂生产卫生规范。尤其是本书阐述了一般的乳品工艺书籍鲜见的、详实的、实践可操作性很强的内容,这对提高我国乳品的科研水平,推动我国乳制品工业生产技术的发展,增加产品的花式品种,提高产品质量,提高企业的员工素质和管理水平,意义重大。

因此,我们认为,原著堪称乳制品工业加工技术的一部力作,深信从事乳制品加工的研究、设计、教学、生产、质量检测、应用、设备制造及维修、生产管理、产品销售以及信息咨询等工作的读者都会从中受益匪浅。

本书分别由以下译者完成:吕兵第1章至第4章,张国农第5章至第8章,卢蓉蓉第9章至第12章。全书由张国农统一修改、校订。

本书在翻译过程中得到了江南大学(原无锡轻工大学)校、院各级领导的关心和支持,陶谦副教授等在译稿的修改中提出了大量宝贵的意见,使本书翻译得更加完善、准确,在此表示衷心的感谢。

鉴于译者水平所限,译不达意之处乃至错误恐在所难免。此外,由于时间仓促,语句润饰欠佳,诚望广大读者不吝指正、赐教。

译 者

第二版序

当今世界,乳与乳制品是人们膳食中的主要食品。在我们所食用的乳制品中,大量经加工的食品可追溯到很早以前,有些甚至有上百、上千年的历史。随着食品工业技术的发展,尤其是近半个世纪以来,许多新技术应用到传统乳制品中,同时各种各样新的乳制品也进入了市场。我们都知道,大多数超市都销售各种干酪、酸乳、黄油及涂抹食品、冰淇淋和含乳甜点等。当我们选购食品时,都关心其含热量的高低,因此,绝大多数乳品企业正朝着迎合消费者的方向发展,传统乳制品中脂肪含量高,而现在已降低了。

众所周知,我们所购买的乳制品,都是以牛乳为主要原料的,但当我们选购乳制品时,也许并不很清楚牛乳的基本成分有哪些。食品科学家和食品工程师长期以来对牛乳大为赞赏,是因为将牛乳添加到多种食品中具有很多优点,它是惟一的一种有着多种功能成分的原料,因此,食品工业的大多数行业都把牛乳作为基础成分使用在它们的许多产品的生产中。

本书旨在对零售乳制品或半成品的生产过程进行详细阐述,因本书的篇幅有限,同时,乳制品工业又是如此的复杂,所以我们不可能面面俱到,解决所有问题。但无论如何,我们希望通过此书,能使读者了解到主要乳制品的加工技术及加工过程对乳制品质量的影响,同时也希望本书能激发读者的求知欲,并能借助于其它有关乳品技术的书籍、杂志,对这一领域作更深入地研究。

本书适合于从事各种职业的读者阅读。作为乳品工厂的员工和相关人员,可从中更多地了解乳制品的生产工艺;同时,对于和乳品工业有关的人员,如超市消费者或食品制造商,都可以从中受益,学到一些食品专业知识;与乳品科学相关的学生及研究人员在阅读各章后,同样会受益匪浅。

致 谢

在此对所有曾给予技术帮助和提供有关信息、图片资料的人士表示深深的谢意,特别感谢德国 Kiel 联邦乳品研究中心的 W. Buchheim 博士、丹麦 Niro A/S, Gladsaxevej 305, DK-2860 Soeborg 的 Jens Krag 和 Vagn Westergaard、Niro Limited, 1-2 The Quadrant, Abingdon Science Park, Barton Lane, Abingdon, Oxfordshire, OX14 3YS 的 Peter Walker、英国 Tetra Pak, 1 Longwalk Road, Stockley Park, Uxbridge, Middlesex, UB11 1DL 的 Alan Stack 和 Bill Taylor, Plysu Dairy & Juice, Plysu Containers Limited, Jenna Way, Interchange Park, Newport Pagnell, Buckinghamshire, MK16 9PU 的 David Howlett 和 John Sharp。

Ralph Early

1997.6.22

目 录

1 液态乳与稀奶油	(1)
1.1 前言	(1)
1.2 牛乳的质量	(1)
1.3 加热对微生物的破坏	(5)
1.4 原料乳的预处理	(7)
1.5 牛乳和稀奶油的热处理	(8)
1.6 牛乳的加工	(13)
1.7 稀奶油的加工	(26)
2 发酵乳制品中的微生物	(36)
2.1 前言	(36)
2.2 乳酸菌的历史回顾	(36)
2.3 乳酸菌发酵剂的微生物学	(38)
2.4 次级菌群的微生物学	(41)
2.5 乳酸菌发酵剂的作用	(43)
2.6 次级菌群的功能	(47)
2.7 乳酸菌的筛选、生产和使用	(48)
2.8 微生物的缺陷和品质问题	(53)
2.9 结论	(55)
3 干酪	(59)
3.1 前言	(59)
3.2 原料	(64)
3.3 干酪风味和质构的形成	(69)
3.4 干酪的生产工艺	(74)
4 发酵乳和鲜干酪	(89)
4.1 前言	(89)
4.2 酸乳	(89)
4.3 酸乳的加工	(92)
4.4 灭菌酸乳的加工	(104)
4.5 酸牛乳酒和马奶酒	(105)

4.6	晒干羊奶凝块	(105)
4.7	夸克干酪和弗罗密吉弗莱斯	(105)
4.8	发酵稀奶油(酸性稀奶油、creme fraiche、creme frais)	(109)
4.9	未来发展	(111)
5	黄油与混合脂肪涂抹食品	(114)
5.1	前言	(114)
5.2	黄油	(115)
5.3	黄油的生产工艺	(118)
5.4	黄油的缺陷	(130)
6	浓缩乳脂产品	(143)
6.1	前言	(143)
6.2	乳脂的风味和特性	(144)
6.3	乳脂产品的加工工艺	(152)
6.4	乳脂产品及应用	(155)
6.5	结论	(160)
7	乳浓缩物和乳粉	(167)
7.1	前言	(167)
7.2	水分活度和食品保藏	(167)
7.3	浓缩乳	(169)
7.4	浓缩乳制品的生产	(174)
7.5	乳粉	(182)
8	冰淇淋和充气甜食	(217)
8.1	冰淇淋	(217)
8.2	充气食品	(231)
9	乳基甜点	(235)
9.1	前言	(235)
9.2	乳基甜点中应用的淀粉和亲水性胶体	(235)
9.3	乳基甜点的种类及原料	(241)
9.4	即食乳基甜点的制作工艺	(244)
9.5	工艺参数及其对甜点品质的影响	(247)
10	牛乳的化学组成和营养价值	(253)
10.1	前言	(253)

10.2	乳脂肪·····	(253)
10.3	乳蛋白质·····	(255)
10.4	乳糖·····	(258)
10.5	乳中的矿物质·····	(259)
10.6	微量成分及微量营养素·····	(261)
10.7	结论·····	(262)
11	乳制品生产中的实验室控制·····	(264)
11.1	前言·····	(264)
11.2	微生物学方面的实验室控制·····	(264)
11.3	实验室控制的化学因素·····	(274)
12	乳制品生产中的卫生·····	(289)
12.1	前言·····	(289)
12.2	相关的微生物·····	(290)
12.3	卫生要求的评价·····	(290)
12.4	HACCP 的应用实例 ·····	(292)
12.5	巴氏杀菌·····	(299)
12.6	工厂卫生·····	(300)
12.7	辅助设施·····	(303)
12.8	清洗·····	(305)
12.9	结论·····	(307)

1 液态乳与稀奶油

R. EARLY

1.1 前言

哺乳动物出生后最初食用的食物是乳,乳是营养最全面的天然食物,其中含有幼儿或幼畜生长所需的蛋白质、脂肪、碳水化合物和矿物质等。对新生的牛犊,如果每天喂奶,那么 50d 后体重会增加 1 倍;而对婴儿来说,100d 后其体重也可增加 1 倍(McGee, 1991)。在欧洲、北美、澳大利亚、新西兰和世界的其它一些地方,饮用液态乳对各种年龄层次的人来说,已成为一种固定的饮食文化,尤其是在英国,饮用液态乳已成为一种悠久的传统,这一点可以从其几十年“送奶上门”服务中得到证明。在众多的食品中,牛乳在我们饮食中的价值是无可非议的。作为饮料,液态乳有很重要的功能特性,在茶和咖啡中是作为增白剂,而在谷物早餐中则作为润滑剂。由于乳具有多种功能特性,使得它无论是在厨房烹饪,还是在大规模工业生产中都有着举足轻重的作用。在某些情况下,牛乳既可以作为一种液体辅料直接添加到食品中,而在另一些情况下,牛乳也可以经浓缩或分离得到所需功能性成分。乳中存在着可分离的乳脂肪,它可添加到许多食品和饮料中。本章将介绍液态乳和稀奶油的生产过程,其中重点讲述零售乳制品的生产工艺。

1.2 牛乳的质量

与生产其它乳制品一样,用于生产液态乳和稀奶油的原料乳的质量受牧场与挤奶状况有关的一系列因素的影响,有些因素取决于牧场管理和牛群管理,有些因素是通过良好的挤奶方法、有效的卫生措施和牛舍管理来控制的。

1.2.1 乳房炎

乳房炎是指乳腺由于受到伤害和被感染而引起的发炎。损伤可能是由于物理性伤害引起的,而感染则通常是病菌侵入所致。乳腺发炎时牛体内的白血球数量上升,这也使乳中的体细胞数量(SCC)增加,但牛体内产生的白血球对于抗组织损伤、抗感染非常重要。

细菌是引起乳房炎的主要原因,但酵母菌和藻类也能引起感染。细菌一般通过乳头侵入乳房,一旦有奶牛被感染,其它奶牛就会因为共用挤奶器而被传染。乳房炎一般分以下两种情况:

- 隐性乳房炎——虽然乳腺已受感染,但乳房和牛乳仍然是正常的;
- 临床性乳房炎——乳腺已明显感染,乳房肿胀了 1/4 左右,且牛乳中出现凝块。

引起乳房炎的细菌可分为两类:一类是具有突发破坏性的,它能导致临床性或隐性感染;另一类细菌所占的比例很少,它只导致隐性乳房炎。病原性金黄色葡萄球菌和无乳链球菌是导致乳房炎最常见的两种细菌。这两种菌是奶牛本身携带的,且在奶牛间可以通过接触传染,这种传染一般很缓慢,隐性感染症状一直持续到致病菌大量聚集。乳房炎通常是由于周围环境中的致病菌侵入所致,主要是大肠杆菌、柠檬酸菌属、肠细菌属、埃希氏杆菌属、克氏杆菌属等,其次是病原性革兰氏阴性葡萄球菌和棒状杆菌,它们只引起轻微的炎症,即乳中体细胞数上升为正常乳的2~3倍(Harmon, 1995)。

由大量致病菌引起的乳房炎会使乳中体细胞数上升为正常乳的许多倍,正常乳中体细胞的数量低于200 000个/mL,一般在100 000个/mL。乳房炎除了导致乳中体细胞数量的上升外,还会使奶牛的产乳量下降,此外,还会影响乳的成分。乳中非脂乳固形物的含量变化很少,但乳脂肪、酪蛋白和乳糖的含量通常会减少,因血液成分尤其是血清免疫球蛋白进入乳中,使得乳中乳清蛋白的含量增加。此外,随着钠离子、氯离子的增加和钾离子的减少,乳的电离情况也会发生变化,而钙离子则随着酪蛋白含量的减少而减少。因乳中的盐类平衡的改变,乳的pH会高于正常乳的pH(6.5~6.7)。

乳房炎对牛乳加工质量的影响有很多,如乳中解脂酶含量的增加,会使乳脂肪水解,导致乳中游离脂肪酸含量的增加,产生不良风味,这对乳脂类产品,如稀奶油、黄油和某些干酪的影响是很大的。另外,乳中蛋白质的水解与盐类平衡的变化会降低乳的热稳定性,在巴氏杀菌或高温处理中会使产品产生质量缺陷、设备产生结垢等,同时因乳中酪蛋白的减少也会影响干酪的产量和质量。

1.2.2 牛乳的卫生质量

原料乳的卫生质量受下列因素的影响:奶牛的健康状况、卫生条件、挤奶操作的规范和挤奶设备的卫生状况。从健康乳房挤出的牛乳的细菌总数可忽略不计,而来自患有乳房炎奶牛的牛乳的细菌总数可达数百万个/cm³。Harding(1995a)认为,临床性乳房炎乳可能会使贮罐中牛乳的细菌总数超过100 000个/cm³,而乳房清洗不当和乳头不干净奶牛所产的牛乳的细菌总数会增加100~500 000个/cm³,使贮罐中牛乳的细菌总数有可能超过100 000个/cm³。挤奶设备不干净会使贮罐中牛乳的细菌数增加到10 000~50 000个/cm³。由此可见,为了减少原料乳因乳房炎和乳头不洁而引起的细菌污染的机会,有效的牧场管理、保障奶牛的健康状况和良好的挤奶操作规程都是必要的。乳房炎乳可以在挤奶时根据乳中是否有凝块而及时判断、控制,被污染的牛乳不允许混入到正常乳中,被感染奶牛用过的挤奶器具必须彻底消毒,以免感染其它的健康奶牛。为减少乳的污染,必须对挤奶设备实行良好的卫生管理以降低牛乳被污染的可能性。设备的清洗消毒应采用CIP系统,且尽可能按Shapton等(1991)阐述的程序清洗。

在牧场,从已被污染的原料乳中会发现多种微生物。据Frazier和Westhoff(1988)研究,原料乳中含有的腐败菌包括:乳酸链球菌、大肠杆菌、嗜冷性革兰氏阴性杆菌和嗜热菌,如杆菌、短杆菌、肠道球菌和小球菌。乳中也发现了各种致病菌,包括沙门氏菌、弯曲杆菌、金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌、肠道耶尔氏鼠疫杆菌、致单核细胞李斯特菌。Roberts(1991)曾报道,原料乳中发现沙门氏菌和*Campylobacteriosis*; Doyle(1991)报道,

牛奶是 *enterohaemorrhagic*、大肠埃希氏杆菌 O157:H7 最好的生长源。各种热处理方法足以杀死牛乳中绝大部分的耐热性非芽孢致病菌,如结核杆菌和 *Coxiella burnetti*;巴氏杀菌及其它热处理方法将在后面讨论。刚挤出的牛乳的温度为 38℃ 左右,为抑制乳中污染菌的生长,降低腐败率,应在挤奶后 30min 内将乳温快速降至 4℃ (最理想的温度是 2℃) 冷藏。两种类型的集乳贮罐,即直接蒸发制冷式的集乳贮罐和贮冰式集乳贮罐已为人们所接受(Milk Marque,1995)。在直接蒸发制冷式的集乳贮罐中,制冷系统的蒸发器直接与贮罐接触而冷却牛乳;在贮冰式集乳贮罐中,蒸发器上有一个整体的冰水池,通过向贮奶罐外表面喷水来获得冷却效果(这种情况需配有冷水收集槽),或通过安置在贮奶罐四周夹套中的蒸发器产生的冰水与贮奶罐接触来获得冷却(这种情况冷却水在夹套内)。嗜温菌和嗜热菌在冷藏乳中不能生长,但适冷菌特别是嗜冷菌会在乳中缓慢生长,从而影响冷藏乳的质量和加工特性。Muir、Phillips 和 Dalglish(1979)研究表明,假单胞菌属是生存在冷藏乳中的主要微生物,除此之外还有黄杆菌属和产碱杆菌属。这些微生物代谢产生的脂肪酶会导致乳中游离脂肪酸增加,引起牛乳风味的变化;产生的蛋白酶会使乳蛋白质降解,从而降低乳的热稳定性。

牧场刚挤出的牛乳贮存于冷藏桶中,收奶方式是由大型的奶槽车来收集的。如果是当天使用的牛乳,贮存在 2~4℃ 的冷藏桶中就足够了,如果需保藏 2~3d,则最好在 0~2℃ 下贮存。虽然原料乳的主要污染源在牧场,但不洁或管理不善的奶槽车也会带来微生物污染问题,所以奶槽车一般应具备 CIP 清洗系统。通常对有橡胶密封圈和塑料管的地方应特别注意,因为其表面的老化和损坏可能会导致细菌的侵入。同样,罐内壁如有裂缝,因其裂缝处不易洗净,也容易造成腐败菌和致病菌残留。所以,经奶槽车冷藏运输 1d 的牛乳,在第 2 天的生产中,虽经巴氏杀菌,但仍有出现问题的可能性。

1.2.3 牛乳的掺假

牛乳的掺假可分为偶然的和人为的两种。这类情况在英国并不多见,但这并不等于说在其它一些农业不发达的国家就没有。而乳品厂要对此进行控制却很难,因为对牧场主来讲诱因是多样的。原料乳中掺假的方法很多,Harding(1995b)对此进行了详细的讨论,现概述如下:

- 掺水可能是因为事故或牧场管理不善造成的,如贮奶桶清洗后没有及时将水排尽,或者是乳品加工厂管理不善,也有可能是因为牧民故意掺水以增加乳的体积;
- 一些化学物质可能被意外掺到牧场奶罐的牛乳中,这类可能的掺假包括:清洗挤奶器具设备用的洗涤剂、消毒剂以及兽医用的药品也可能因疏忽而遗留在奶桶内外;
- 有些化学物质可能是故意加入的,如加碱是为了中和牛乳的发生酸度;通过加盐或糖增加乳的固形物含量和降低冰点来掩盖掺水;通过加入过氧化氢和福尔马林等防腐剂来掩盖乳的不良品质;
- 也可能通过加入脱脂奶粉和异种脂肪来掩盖掺水;但用欺骗手段来降低成本是不行的。

除加入外来物的掺假外,也有通过奶牛本身来掺杂的。如因管理不善,使初乳混入常乳中。奶牛产犊后 3d 内的乳为初乳,初乳不能混入常乳中,因为初乳中含有常乳 2 倍的

乳固形物和较高的免疫球蛋白,从而会增加牛乳热处理的难度。奶牛乳房受伤时,血液也可能混入牛乳中,从道德的角度看,这是让人难以接受的,且血液会引入较多的酶,从而影响牛乳的质量。以上两种情况的出现与否,完全取决于牧场工作人员素质的好坏。掺杂现象可能更多的是因为感染问题造成的,各种饲料包括甜菜、萝卜头、羽衣甘蓝和青草,如野大蒜会使牛乳感染而产生异味;在挤奶场内外使用了化学试剂也会引起感染,如来自杀虫剂、木材防腐剂、除臭剂等引起的酚类污染。如果奶牛使用过抗菌素,牛乳中残留抗菌素也会造成化学污染,从公共健康的观点来看,这显然是不负责任的行为,因为它可使人和动物体内对抗菌素产生抗药性的病菌数量增加。

1.2.4 牛乳成分和卫生质量评价

牛乳是乳制品工业最重要的原料,因此,原料乳的质量对加工工艺十分重要,来自牧场的牛乳应符合国家和乳品行业制定的卫生及成分质量标准。1995年英国的乳制品(卫生)规范规定:用于生产消毒乳和稀奶油类产品的原料乳在30℃时平板菌落计数应 $\leq 100\,000$ 个/mL,体细胞数应 $\leq 400\,000$ 个/mL。

原料乳在进厂前,一般需接受一系列的检验,以确定原料乳是否适合于加工,这些检验可以判断来自不同牧场的原料乳的质量,如发现问题,可具体找到某个牧场,这些检测试验包括:

- 抗菌素;
- 掺水;
- 乳脂肪;
- 非脂乳固形物(乳糖、蛋白质和灰分);
- 总固形物;
- 细菌总数。

因为牛乳的加工过程较快,因此,不是所有的检验都能按常规进行,尤其是细菌总数的测定。许多项目的检验均由牧场来完成,加工厂就依据各个牧场提供的检测数据来控制牛乳的质量。

用来检验乳中抗菌素的方法很多,如 Delvotest P[®] 法,即在64℃时培养嗜热脂肪芽孢杆菌2.5h以上,通过检测嗜热脂肪芽孢杆菌是否生长来判断,但因其持续时间太长,无法作为收乳时的检验方法。LacTek[®] Beta - Lactam 牛乳筛选试验和 DelvoExpress[®] 试验这类快速检测方法适用于原料乳到工厂后的快速测定。LacTek[®] Beta - Lactam 试验是由英国的乳品市场局和乳品贸易联合会的联合委员会(Bell 和 Scannella, 1994)推荐使用的。还有其它方法用以检测内酰胺抗菌素(Thorogood 和 Ray, 1984), Hawronskyj、Adams 和 Kyriakides(1993)认为,ATP 生物发光技术可用于抗菌素的检测。

Marshall(1992)阐述可用冰点测定仪快速测定牛乳是否掺水,虽然在英国牛乳中掺水现象很少,但意外的情况也有可能发生。牛乳冰点下降(FPD)的检测方法是由英国标准协会(BSI)(1988a)所提出的,且对结果的解释作了推荐(BSI, 1988b)。然而, Coveney(1993)曾建议,由于奶牛饲养和挤奶技术的原因,英国标准协会所提出的 FPD 结果的解释对牛群牛乳做了适当的修正。刚挤下来的牛乳总组分(乳脂肪、乳糖、蛋白质)的快速检

测是用每小时检测 180 个样品的双束红外分光光度计来完成的(Pomeranz 和 Meloan, 1994)。脂肪和非脂乳固形物检测的参考方法分别为 Gerber 法和比重计,通过这些检测的结果就可计算出总乳固形物的含量。

在英国决定原料乳卫生质量的标准方法是总平板计数(TPC)法,该法的主要缺点是慢且劳动强度大。最近几年,基于 ATP 生物发光技术的快速检测方法已应用于食品加工车间和设备的卫生状况的评价(Kyriakides, 1992),这类方法也可应用于原料乳卫生质量的快速评价(Sutherland 等, 1994)。

1.3 加热对微生物的破坏

1.3.1 微生物的耐热性

对于微生物的生长来讲,适宜的温度是必需的,但当温度超过其生长所需的温度时,它的生长速率便开始下降,直至停止。在某个温度持续一定的时间,微生物和内生孢子(芽孢)会被杀死,杀死某些微生物或其芽孢所需的温度和时间主要取决于微生物或芽孢的耐热性。和营养细胞相比,芽孢具有更强的耐热性。当然,其它因素,如受微生物外界环境的保护等对它会有影响,食物中的脂肪也会影响微生物的耐热性。微生物的耐热性用热力致死时间表示。热力致死时间指在某一给定温度、杀死一定量的处于一定条件下的微生物细胞(或芽孢)所需的时间。有很多方法可用来确定微生物的热力致死时间,Stumbo(1973)、Frazier 和 Westhoff(1988)及 Jay(1992)曾对此及其耐热性问题进行了讨论。加热杀菌时,要精确地确定杀死所有微生物的时间是不可能的,但可以确定在给定的温度下杀死 90% 的微生物细胞(或芽孢)所需的时间。杀死一个对数循环即 90% 的残存活菌所需时间(min)称为指数递降时间(Decimal reduction time),即 D 值。对于不同的热处理时间所得的残存活菌数在半对数坐标图上就可画出相应的热力致死速率曲线。了解温度与某一微生物生长关系是很重要的,根据某种微生物在不同温度下相应的 D 值就可在半对数坐标图上画出热力致死时间(TDT)曲线,从曲线的斜率可得 Z 值。 Z 值的定义是热力致死时间下降一个对数循环所需提高的温度($^{\circ}\text{C}$)。从某一微生物 TDT 曲线上可以选择在特定的条件下杀死该微生物的温度-时间关系组合。如果一种微生物(或芽孢)的 D 值和 Z 值已知,就可确定其耐热性。

通过确定某种微生物的耐热性就可以确定将该微生物从原始菌数减少到安全范围所需的杀菌率,也就确定了对应的热处理工艺。

1.3.2 影响微生物耐热性的因素

影响微生物耐热性的因素很多,杀死细菌的芽孢、酵母菌和霉菌的温度比杀死营养细胞要高得多。细菌营养细胞的耐热性受以下因素影响:

- 微生物种类(也影响芽孢);
- 微生物的最适和最高生长温度(温度越高意味着耐热性越强);
- 细胞内脂类物质的含量(脂类会增强耐热性);

- 菌落趋势(菌落细胞耐热性更强);
- 微生物所处生长期(处于对数生长期的细胞比衰退期的更耐热);
- 微生物生长环境的化学组成(脂肪类食品能保护微生物);
- 环境的 pH(pH 远离最适生长 pH 时,微生物的耐热性下降);
- 水分活度(A_w 的减少,耐热性下降)。

微生物的种类、最适和最高生长温度、细胞内脂类物质的含量等因素也影响芽孢的耐热性和芽孢的形成,一些致病菌的营养细胞对热很敏感,因此,在相对较低的温度下就能被杀死,而有些嗜热菌需在 80℃ 以上长时间加热才能被杀死;芽孢的耐热性远高于营养细胞的耐热性,有的芽孢在 100℃ 以上长时间加热才能被完全杀死。与细菌相比,酵母菌和霉菌的细胞及芽孢耐热性要差得多,酵母菌的营养细胞在 55℃ /10~12min 被杀死,但彻底杀死其营养细胞和芽孢需用巴氏杀菌(71.7℃ /15s);60~65℃ /5~10min 湿热杀菌足以杀死绝大部分的霉菌及其芽孢,但霉菌的芽孢抗干热能力很强,必须经 120℃ /20~30min 才能杀死;巴氏杀菌(71.7℃ /15s)往往足以杀死牛乳中的霉菌及其芽孢。

1.3.3 热力杀菌和灭菌的定量

Esty 和 Meyer 在 20 世纪 20 年代早期对细菌的耐热性和热力杀菌做了大量的研究(Hersom 和 Hulland,1980;Frazier 和 Westhoff,1988),该研究主要集中在肉毒梭状芽孢杆菌上,它是目前人类所知的耐热性最强的致病菌,它的存在对罐头工业有着极大的影响。罐头工业是 18 世纪、19 世纪之交法国的糖果商 Nicolas Appert 在 19 世纪发展起来的(Bishop,1978;Thorn,1986;Cowell,1995)。肉毒梭状芽孢杆菌是厌氧芽孢菌,它能产生很强的致命性毒素,根据毒素的血清特异性,已经发现了 7 种肉毒杆菌菌株,它们的毒素类型分别为:A、B、C、D、E、F、G,这些毒素在 80℃ /10min 可被破坏,而在食品中,其耐热性通常要强得多,肉毒梭状芽孢杆菌的芽孢非常耐热。一般认为,肉毒梭状芽孢杆菌在 pH <4.5 时不能生长,但实际上,即使在 pH4.0 时也能缓慢生长并产生毒素(Jay,1992)。肉毒梭状芽孢杆菌在低酸性食品中最成问题,罐藏肉制品、真空包装的腌肉制品和玻璃瓶装蔬菜都会涉及到“肉毒梭状芽孢杆菌中毒症”。在英国,引人注目的事件包括以榛子酸奶做配料的罐装榛子果泥中毒事件(O'Mahony 等,1990)。

作为肉毒梭状芽孢杆菌的早期研究(是在 250°F,即 121.1℃ 下完成的)和罐头工业的实践经验的结论,罐头食品的加工必须建立“12D”的概念。事实上,食品原料中初始菌数为 10^{12} 个芽孢/g 或 cm^3 是不可能的,一般认为热处理使食品中含菌量从 10^{12} 个芽孢/g 或 cm^3 下降到 1 个芽孢/g 或 cm^3 就能充分保证食品的安全性。假定肉毒杆菌在 121.1℃ 杀菌,每听罐头中残留一个肉毒杆菌,D 值为 0.21min,则达到 12D 的杀菌时间(t)为:

$$t = D_{121.1}(\log a - \log b)$$

式中 a ——杀菌前罐中的原始芽孢数

b ——杀菌后罐中的最终芽孢数

因此 $t = 0.21 \times (\log 1 - \log 10^{-12})$

$$= 0.21 \times 12$$

$$= 2.52(\text{min})$$

经 $121.1^{\circ}\text{C}/2.52\text{min}$ 的加热处理,足以保证肉毒梭状芽孢杆菌的残存率为 $1/10^{12}$,即每 10^{12} 听中只有 1 听可能有存活的杆菌芽孢。而事实上,用于加工的原料中不可能含有 10^{12} 个肉毒梭状芽孢杆菌,因此针对原料中相当低的原始芽孢菌数,可以认为 $12D$ 的杀菌强度是相当安全的。人类生活的环境不可能绝对无菌,但绝对无菌是可以实现的,而商业无菌的概念更流行。实践中, 2.52min 近似地用 3min , 121.1°C 杀菌 3min 的加工过程被称为 $F_0=3$,这一过程通常是指杀灭肉毒梭状芽孢杆菌的过程。

F 值的概念允许以杀菌过程作对照(即在某一致死温度下杀死一定数量细菌所需的加热时间), $F_0=1$ 表示 $121.1^{\circ}\text{C}/1\text{min}$ 。不同温度下的加热效果是可以累积的,所以 F_0 被定义为 121.1°C 下的热力致死时间。一般认为,温度高于 90°C 就具有致死作用,所以,总的致死性是由 90°C 以上的热处理致死性累积得到的,每分钟不同的致死效果(L)或者相对于参考温度 121.1°C 的实验温度(θ)的致死效果可由以下方程得到(微生物的 Z 值为 10°C):

$$L = 10^{[(\theta - 121.1)/Z]}$$

根据该方程可以列表算出整个杀菌过程的致死性,同样也可以确定其 F_0 值,假设灭菌过程的升温和降温是瞬时完成的,那么,通过灭菌时间 t 可以得到 F_0 :

$$F_0 = t \times L$$

所以,听装炼乳在 118°C 灭菌 7min ,相当于 $F_0=3.4\text{min}$,这表示灭菌后的炼乳是很安全的,换句话说,这一过程等同于 $121.1^{\circ}\text{C}/3.4\text{min}$ 的热处理效果。如果容器内灭菌过程牵涉到破坏肉毒杆菌芽孢,则要求 $12D$ 的灭菌强度,但并不是所有的食品灭菌都是在容器内的灭菌过程,不同的灭菌效果都是需要的。在液态乳加工中,用超高温瞬时灭菌(UHT)技术生产超高温制品,在 UHT 过程中是以嗜热脂肪芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌作为标志菌来制定灭菌公式的,一般认为, $9D$ 的灭菌效果就能保证产品的安全性和保存期。UHT 总的致死率可由以下方程计算得到,式中的加工保温时间(t)以秒计:

$$F_0 = 10^{[(\theta - 121.1)/Z]} t / 60$$

1.4 原料乳的预处理

1.4.1 原料乳的收集

在大多数乳品工业发达的国家,牛乳是用奶槽车从牧场中收集的。牛乳在牧场里用贮存能力达几千升的冷藏容器贮存,为了降低运输成本,实际多采用一次收集 $2\sim 3\text{d}$ 的原料乳的做法。IDF(1980)曾详细考虑了奶槽车的设计与制造,实际上它们是用圆筒形不锈钢牛乳贮藏容器或奶槽,根据奶槽车的尺寸来制作,容器要绝热以保证牛乳在运输途中处于适宜的冷藏温度,奶槽安装在车的底板上,由一个灵活的软管和一组阀门来装满或排空奶槽,同时配有 CIP 清洗设备,以保证符合要求的卫生条件。

在处理原料乳时应避免搅动和机械作用对脂肪球的破坏,因为这会影响产品的质量。搅动过程中的剪切力作用会破坏脂肪球,暴露的游离脂肪会受到牛乳水相中脂肪酶的作用,水解活性和原料乳中游离脂肪酸(FFA)的产生归根于固有的脂肪酶,热处理前,细菌

脂肪酶通常对脂肪的水解几乎没有作用。而从搅乳到散装运输和在低温下贮存的原料乳中发现,此时牛乳中主要的微生物菌群是适冷性革兰氏阴性细菌,假如条件适宜,革兰氏阴性细菌分泌甘油酯水解酶,它会增加游离脂肪酸的数量。因此用真空泵将牛乳从牧场的散装容器吸入奶槽车的输送方式可以减少对乳脂肪球的破坏,同时也避免了与机械泵送有关的卫生和成本问题。

1.4.2 原料乳的收集与贮存

原料乳送到加工厂时,由奶槽车泵入贮奶罐。贮奶罐的容量一般达几十万升,因此,真空输送是不可能的。一般用离心泵将牛乳泵入罐中,可以使脂肪球的破坏程度降到最低。为了避免搅动和产生泡沫,贮奶罐是从底部进料的,由于脂肪球的摩擦作用,一般不采用正位移泵。牛乳在泵入贮奶罐之前,首先通过粗滤以除去直径约为 0.5mm 或大于 0.5mm 的物理性杂质。而在牧场,牛乳一般是不过滤的。

英国的有关法规(Anon,1995a)对加工之前的原料乳的贮存提出了专门的要求:

- 未经冷藏的原料乳收购后必须生产基地立即加工(当牧场的大的制冷系统出故障时会出现这种情况);
- 如果收购的原料乳的温度在 6℃ 以下必须在 36h 内加工;
- 如果收购的原料乳的温度在 4℃ 或更低一些必须在 48h 内加工。

1.5 牛乳和稀奶油的热处理

在牛乳全部以原料乳的形式直接消费时期,关于原料乳牵涉到的健康危害已得到证实。Drummond 和 Wilbraham(1939)报道的 19 世纪英国发生的牛结核病主要是由于牛乳未经热处理;Dalrymple - Champneys(1960)报道的 20 世纪布鲁氏病的发生主要来源于未经热处理的原料乳和乳制品;19 世纪法国化学家 Louis Pasteur 通过对葡萄酒和啤酒的发酵、感染和变质的研究,提出了热处理牛乳用以预防由牛乳传染的疾病。这一类的热处理方法就是著名的巴氏杀菌法。虽然这一方法在 19 世纪 80 年代初只用于婴儿乳中(Cronshaw,1947),直到 1922 年英国立法中才定义了牛乳巴氏杀菌的确切条件,由此巴氏杀菌被广泛应用于乳品工业中。与牛乳有关的食物中毒事件一次又一次地不断发生,有些可追溯到原料乳直接消费时期,另外一些是由不正确的巴氏杀菌或乳在巴氏杀菌后被原料乳二次污染引起的。Barrett(1989)阐述了有关由牛乳传染的疾病的问题。虽然牛乳最初的热处理工艺只涉及到食品的安全性,但现今的工艺已将其扩展到产品的品质、产品的保存期、风味和色泽等方面。

1.5.1 初次杀菌

初次杀菌是用于延长牛乳贮藏期的一种热处理方法,它通常在巴氏杀菌或更严格的热处理工艺之前进行。英国法规(Anon,1995a)规定如下:

- 用于初次杀菌的原料乳贮存时间应不超过 36h, 30℃ 时的平板计数不超过 300 000 个/mL;

- 牛乳的热处理条件为 57~68℃, 保持 15s;
- 经热处理后的牛乳其磷酸酶试验应呈阳性;
- 如果初次杀菌乳是用于生产巴氏杀菌乳、超高温灭菌乳或二次灭菌乳的, 则 30℃ 时的平板计数应在 100 000 个/mL 以下。

初次杀菌可以减少原料乳的细菌总数, 若将牛乳冷却并保存在 0~1℃, 贮存时间可以延长到 7d 而其品质保持不变。为了延迟需氧菌芽孢的形成, 经初次杀菌的牛乳在进一步热处理之前, 保持在低温条件下非常重要。但是初次杀菌有利于芽孢萌发成营养细胞, 在随后的热处理将破坏营养细胞, 对细菌的芽孢则必须采用更大的杀菌强度, 否则, 芽孢还会出现。

除了在工厂收奶采用初次杀菌以延长贮藏期外, 这种工艺还可用来降低从牧场到工厂远距离运输牛乳的变质率。如果牧场远离加工厂而分散在乡村周围, 可在中间收奶站对来自牧场的牛乳进行初次杀菌处理, 然后再送往工厂。初次杀菌的设备与巴氏杀菌设备类似, 这将在以后讨论。

1.5.2 巴氏杀菌

巴氏杀菌是液态乳和稀奶油生产中最常用的热处理方法。国际乳品联合会 (IDF) (SDT, 1983:P.99) 将巴氏杀菌定义如下:

适合于一种制品的加工过程, 目的是通过热处理尽可能地将来自于牛乳中的病原性微生物的危害降到最低, 同时保证制品中化学、物理和感官的变化最小。

IDF (SDT, 1983:P.99) 给出的巴氏杀菌产品的定义如下:

一种已经过巴氏杀菌的产品, 如果零售, 应在将污染降低到最小程度的条件下及时冷却、及时包装, 这种产品在热处理后一定要立即进行磷酸酶试验, 且呈阴性。

巴氏杀菌在牛乳和稀奶油生产中的主要目的是减少微生物和可能出现在原料乳中的致病菌对健康的危害。巴氏杀菌不可能杀死所有的致病菌, 它只可能将致病菌的数量降低到一定的、对消费者不会造成危害的水平; 巴氏杀菌能杀灭大部分耐热性的非芽孢致病菌、*Coxiella burnetti* 和结核杆菌。虽然在英国的原料乳中结核菌和普鲁氏菌的危害目前已相当低, 因为动物试验结果显示, 来自于牛群的这类疾病已根除, 但耐热的非芽孢菌如链球菌属和乳酸菌属能在巴氏杀菌后存活, 还有嗜热的芽孢杆菌属和梭状芽孢杆菌属, 它们中有些是致病菌且关系到食品生产。

1.5.2.1 牛乳的巴氏杀菌

在连续式巴氏杀菌系统应用以前, 牛乳是采用间歇式热处理的, 也就是保持式巴氏杀菌系统。1923 年的牛乳 (特别指明) 法规中要求, 保持式巴氏杀菌应确保热处理温度在 62.8~65.6℃ 之间, 杀菌时间不少于 30min, 即低温长时间巴氏杀菌 (LTLT)。这种保持式巴氏杀菌的热处理条件足以杀灭结核杆菌, 对牛乳的感官特性的影响也很小, 且对牛乳的乳脂线影响很小, 因为所有的巴氏杀菌乳不均质, 因此脂肪上浮是消费者最关心的产品质量问题。

在英国, 直到 20 世纪 40 年代, 随着立法的改变, 出现了更现代的热处理方法, 连续巴氏杀菌工艺才被采用。连续式加工方法是现代规范, 英国法规 (Anon, 1995a) 要求巴氏