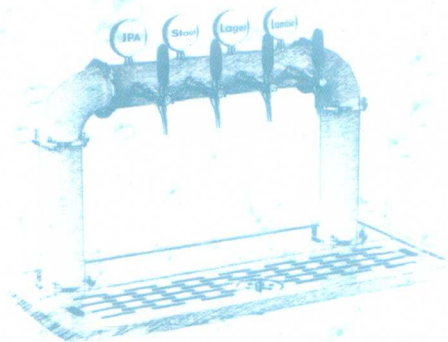


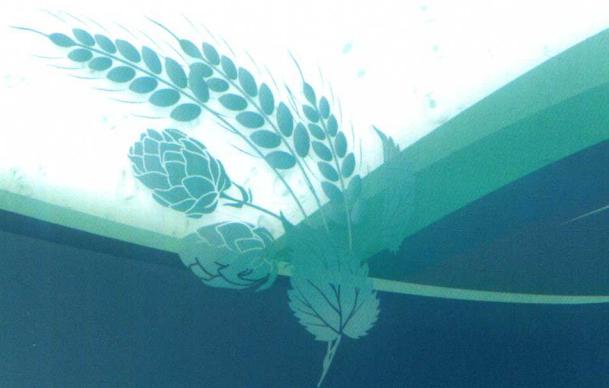
啤酒酿造 科技丛书



Craft Beer
Brewing Technology

精酿啤酒 酿造技术

聂 聪 著



非
外
借

 中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

精酿啤酒酿造技术

聂 聪 著



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

精酿啤酒酿造技术/聂聪著. —北京: 中国轻工业出版社, 2019. 5

ISBN 978-7-5184-2279-1

I. ①精… II. ①聂… III. ①啤酒酿造—基本知识
IV. ①TS262. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 051365 号

策划编辑: 江 娟

责任编辑: 江 娟 靳雅帅

责任终审: 唐是雯 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王超男

责任校对: 吴大鹏 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2019 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 720×1000 1/16 印张: 26. 5

字 数: 530 千字

书 号: ISBN 978-7-5184-2279-1 定价: 68. 00 元

邮购电话: 010-65241695

发行电话: 010-85119835 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

171653K1X101ZBW

前 言

啤酒是世界上销量最大的酒精饮料，具有悠久的历史，素有“液体面包”之称。特别是近年来，随着人们生活水平的不断提高，消费者对啤酒口味的要求越来越高，精酿啤酒的迅猛发展为消费者提供了种类繁多、口味迥异的啤酒。“精酿啤酒”翻译自英语的“Craft Beer”，其实，英文原意有手工酿造和原创啤酒之意。目前，我国将此类啤酒定义为“工坊啤酒”。为帮助啤酒酿造者和爱好者更好地理解啤酒的本质，本书介绍了啤酒的历史溯源、啤酒对人类历史发展的助推作用，以及酿酒原料对啤酒酿造和风味的影响，详细介绍了麦汁制备、啤酒发酵和风味形成机理及演变过程，特别对深受消费者喜爱的啤酒类型、特种啤酒酿造工艺做了全面的解读。

1978年齐鲁工业大学（前身为山东轻工业学院）开设了发酵工程本科专业，大量优秀毕业生已成为啤酒酿造行业的领军人物。1992年中国自主设计研发的第一条微型啤酒生产线在齐鲁工业大学建成，这对我国在中小型啤酒酿造方面的发展起到了积极的推动作用，我校成为中国精酿啤酒酿造技术和设备设计的发源地，影响了整个中国精酿啤酒行业的发展。

1997年7月11日受中德双方政府的委托，原山东轻工业学院与德国著名的杜门斯（DOEMENS）啤酒学院共同建立了中德啤酒技术中心（SBG）。该中心成立20多年来，致力于啤酒酿造技术的推广和新产品开发工作，为全国众多啤酒企业提供了技术支持和培训工作。我校已成功主办了11届“国际啤酒饮料技术研讨会”，每奇数年举办的研讨会汇集了来自世界各地的顶级啤酒专家，共同探讨啤酒酿造的最新技术和进展，这有力地推动了我国啤酒行业的技术进步。

《精酿啤酒酿造技术》全面介绍了啤酒酿造发展历程和精酿啤酒酿造技术等内容。本书可作为啤酒酿造工程人员、精酿啤酒爱好者、酿酒工程及相关专业本科生的参考书。本书共分为十三部分：啤酒概述、酿造用水、麦芽及辅料、酒花、酵母、麦汁制备、啤酒发酵技术、啤酒过滤技术、酿造设备清洗技术、啤酒稳定性及风味演变、啤酒感官质量及评价、如何构建精酿啤酒工坊和附录。

在本书的编写过程中得到了德国杜门斯学院（DOEMENS）、德国术兹（kaspar-Schulz）、山东申东设备技术有限公司、弗曼迪斯（Fermentis）和拉曼

(Lallemand) 公司、比利时城堡麦芽公司等单位的大力支持；研究生关雪芹、郭彦伟、张洁和杨贵恒等在书稿整理中付出了辛勤的工作；感谢所有在本书编写中给予帮助的各位同仁。

由于编者水平有限，错误之处在所难免，恳请各位专家和读者给予指正为盼，以便在今后的再版工作中加以更正。

齐鲁工业大学（山东省科学院）

聂聪

于山东济南长清校区

2018年12月

目 录

第一章 啤酒概述	1
第一节 啤酒溯源	1
第二节 改变啤酒发展进程的重大事件	8
第三节 世界啤酒发展现状	15
第四节 啤酒生产工艺简介	31
第五节 啤酒类型	34
第六节 世界特色啤酒	39
第七节 美国酿造商协会啤酒分类指南	45
第八节 啤酒新产品开发与配方设计	59
第二章 酿造用水	72
第一节 水的质量要求	72
第二节 水处理原理及技术	78
第三节 典型酿造水处理工艺方案	83
第四节 水处理对啤酒酿造的影响	85
第三章 麦芽及辅料	88
第一节 大麦及麦芽制备	88
第二节 麦芽制备	90
第三节 麦芽的主要理化指标及意义	93
第四节 麦芽质量与啤酒质量的关系	95
第五节 特种麦芽	97
第六节 世界经典特种麦芽	104
第七节 酿造辅料和风味产品	111
第四章 酒花	117
第一节 酒花植物学特征和组成	118
第二节 世界酒花生产概况	123
第三节 酒花分类及常用酒花品种	127
第四节 酒花制品	150

第五节	酒花的贮存	156
第六节	酒花干投技术	157
第五章	酵母	160
第一节	酵母的类型及组成	160
第二节	酵母的繁殖和生长	164
第三节	啤酒酵母的分类	165
第四节	酵母的扩大培养	167
第五节	高活性干酵母的应用	181
第六章	麦汁制备	187
第一节	麦芽粉碎	187
第二节	糖化	198
第三节	糖化工艺技术条件及质量控制	211
第四节	麦汁过滤	220
第五节	麦汁煮沸	235
第六节	麦汁后处理	244
第七节	麦汁的冷却与充氧	249
第八节	糖化过程中的工艺计算	257
第七章	啤酒发酵技术	262
第一节	发酵过程中的主要物质变化	263
第二节	发酵过程的控制	267
第三节	影响发酵的因素	269
第四节	啤酒发酵度	271
第五节	现代啤酒发酵和后熟工艺	273
第六节	酵母的添加、回收	277
第八章	啤酒过滤技术	283
第一节	啤酒过滤概述	283
第二节	过滤材料和介质	287
第三节	啤酒过滤的方式及其操作	289
第四节	啤酒离心澄清技术	301
第五节	现代过滤技术	304

第九章 酿酒设备清洗技术	310
第一节 清洗的基本原则	310
第二节 清洗剂 and 杀菌剂	313
第三节 CIP 清洗系统	317
第四节 实用清洗、杀菌技术	323
第十章 啤酒稳定性及风味演变	328
第一节 啤酒的稳定性	328
第二节 啤酒香气与风味的组成	336
第三节 啤酒口味缺陷及预防措施	344
第十一章 啤酒感官质量及评价	348
第一节 啤酒的感官质量	348
第二节 常用啤酒评酒术语	349
第三节 啤酒的香气及风味	351
第四节 国际评酒术语表	353
第五节 世界啤酒评比大赛	358
第十二章 如何构建精酿啤酒坊	362
第一节 构建精酿啤酒坊涉及的问题	362
第二节 精酿啤酒坊的设备组成	368
第三节 精酿啤酒坊售酒系统	384
第四节 开办啤酒坊和精酿啤酒厂需要办理的手续	391
附录	398
附录一 美国酒花香气特征一览表	398
附录二 美国苦型酒花特征一览表	401
附录三 新西兰酒花特征汇总表	403
附录四 欧洲酒花品种、成分和香气特征	405
附录五 安琪啤酒酿造酵母产品速查指南	411
附录六 啤酒中 CO ₂ 含量与压力及温度的关系	413
参考文献	414

第一章 啤酒概述

第一节 啤酒溯源

一、啤酒历史溯源

啤酒的历史源远流长，是世界上最古老的三种酿造酒（葡萄酒、啤酒、黄酒）之一。啤酒是继葡萄酒之后，最早出现在人类生活中的采用谷物酿造的酒精饮料。它不仅是历史的推动者，而且在一定程度上也改变了世界发展的进程。

啤酒起源于两河流域的美索不达米亚（Mesopotamia）平原（当今伊拉克境内），最先把啤酒带给人类的是当时生活在那里的苏美尔人的祖先。藏于法国巴黎卢浮宫博物馆第四展厅石雕厅的一块石雕可资证明（图 1-1），上面刻有苏美尔人酿制啤酒的场面，距今已有 5000 年。专家们以此推断，啤酒的酿造始于 7000~9000 年前。

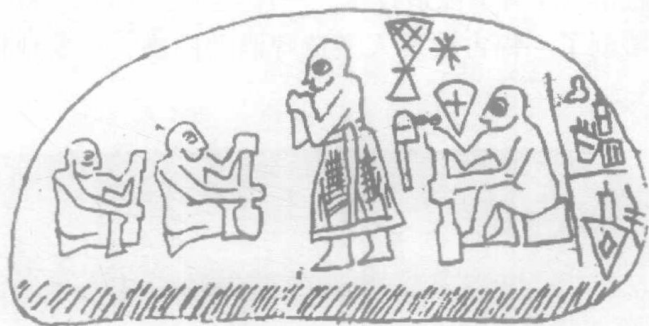


图 1-1 收藏于巴黎卢浮宫的记录苏美尔人酿酒的石雕

在古代，女人负责烹饪和酿酒，寺庙的女祭司也是酿酒师。当时所酿造的啤酒，由于采用自然发酵，并且未经过滤，所以其外观浑浊，口味与当今啤酒

相差较大。发酵后的酒精含量约为 6%（体积分数），含未发酵糖较多而呈甜味，但通常与香草、香料、水果或蜂蜜调配后混合发酵。据报道，苏美尔人当时可以酿造出 16 种以上不同口味的啤酒。苏美尔人通常使用芦苇吸管饮用啤酒（图 1-2）。据刻在石板上的楔形文字记载，苏美尔人的啤酒酿造方法是，先让大麦芽经发酵、烘烤后制成啤酒面包，再将啤酒面包加水捣碎，最后加入发酵物和蜂蜜使之发酵酿成啤酒。从出土的文物中我们还可以一窥苏美尔人的喝酒方法，他们先将酒倒入一个小罐子内，再将罐子放在矮桌或矮板凳上，然后人坐下来用麦秆吸取啤酒。



图 1-2 苏美尔人饮用啤酒的场景

楔形文字石板上还记载着一个啤酒与草药搭配的配方。1980 年，科学家从 1600 多年前埋葬在苏丹的努比亚木乃伊骨骼碎片上发现四环素类抗生素。人类学家推断，努比亚人精于酿造啤酒，他们用沾有可产生抗生素链霉菌的谷物掺入酿酒原料，使酿制的啤酒具有药性。

公元前 3000 年前后，随着两河流域和尼罗河流域的贸易往来，位于尼罗河下游的古埃及人也学会了啤酒酿造技术。一座建于公元前 2300 年前后的金字塔内墓室石壁上，雕刻了一幅古埃及人酿造啤酒的图画，形象地描绘了其酿造的全过程（图 1-3）。



图 1-3 公元前 2300 年左右，古埃及人用面包酿制啤酒的工艺过程

据有关报道，埃及吉萨金字塔花费了成千上万的劳动力，但他们的薪水不是金钱，而是定量的食物和啤酒。每人一天大概能获得 4L 啤酒，等级越高的监管者获得的食物和啤酒越多。

公元前 1300 年左右，埃及的啤酒作为国家管理下的优秀产业得到高度发展。拿破仑的埃及远征军在埃及发现的罗塞塔石碑上的象形文字表明，在公元前 196 年左右当地已盛行啤酒酒宴。

公元前 3000—公元前 2000 年，古代的巴比伦和埃及人用稷 (jì) 酿造出一种称作“Boza”的啤酒，而埃塞俄比亚人 (Ethiopian) 的小麦啤酒和土耳其人的非酒类玉米啤酒也被称作“Boza”。

古代埃及人也曾用高粱来酿造啤酒，称为“Bilbil”，其名字取自诗人 Ibulbul (著有《夜莺的母亲》)，因为这种啤酒能刺激饮用者放开歌喉。

二、世界上第一部有关啤酒酿造的法律

古巴比伦人统治了苏美尔地区后，继承了苏美尔人的酿酒文化。汉谟拉比是巴比伦王国第六代国王 (公元前 1792—公元前 1750 年)、政治家和统帅，曾征服美索不达米亚的大部分地区和亚述。他的统治时代是古巴比伦王国的全盛时代。古巴比伦国王汉谟拉比颁布的《汉谟拉比法典》(The Code of Hammurabi)，距今约有 3700 年，是迄今已知的古代第一部比较完整的法典 (图 1-4)。《汉谟拉比法典》原文刻在一段高 2.25m，上周长 1.65m，底部周长 1.90m 的黑色玄武岩石柱上，故又名“石柱法”。该石柱收藏于法国巴黎的卢浮宫中，石柱上端是汉谟拉比王站在太阳和正义之神沙马什的面前接受象征王权的权标浮雕，以象征君权神授，王权不可侵犯；下端是用阿卡德楔形文字刻写的法典铭文，共 282 条 3500 行 8000 字，其中第 108 条至第 111 条，就是有关酿造啤酒和出售啤酒的法律，违反这些法律，将被处以极刑。

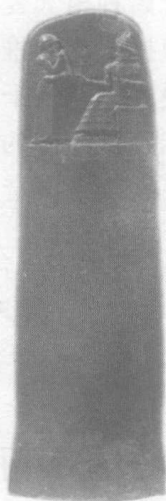


图 1-4 刻在石柱上的《汉谟拉比法典》

三、大麦种植助推了农业文明的发展

大麦栽培开始于大约公元前 8000 年，甚至能追溯到最后一个冰河世纪的末期。大麦是当时的种植谷物之一。根据考古学和古植物学的研究发现，中东地区的土耳其、以色列、叙利亚、伊拉克和伊朗的西部地区，被认为是大麦种植

的起源地（图 1-5）。

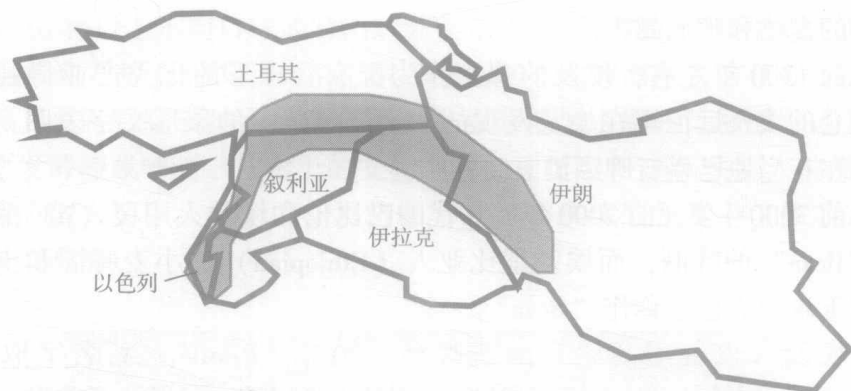


图 1-5 大麦种植起源地

1. 啤酒引发了农业革命

公元前 9000 年，人类文明在美索不达米亚平原孕育。最早的苏美尔人的祖先开始种植大麦等作物使其生活趋于稳定，而大麦很快就被发现可用于酿酒。根据史学家推测，当时人们把大麦放在陶制坛子里，下雨之后，大麦被雨水浸泡，雨水干后，大麦发芽，雨水再次落入罐子后，野生酵母将大麦在酶的作用下产生的糖转化为二氧化碳和酒精。猎人打猎回来之后，看到了冒泡的混合物，好奇地品尝后，对此赞不绝口。如何能更多地得到这种奇妙的神水，由此就产生了对大麦的需求，并导致一系列的新发明，促进了农耕文明的发展。

2. 啤酒带来了文字

人类历史上最早的文字是楔形文字（图 1-6）。啤酒一词最早由楔形文字记录下来，考古发现楔形文字里竟有 160 多个单词跟啤酒有关。史学家认为，当时人们为了记录最爱的啤酒以及其他日用品生产和分配的需要，才以符号的形式记录下来，最终演化成了文字。

大约公元前 2500 年前，居住在城邦中的苏美尔人就使用干燥炉烘焙 Bappir（Bappir 是苏美尔人的一种两次烘焙的大麦面包，主要用



图 1-6 楔形文字中有关啤酒的记录

于古代美索不达米亚地区的啤酒酿造), 考古学家发现的一个外形尺寸约为 2m×2m 的半拱形的用泥土建造的遗址, 被证明是用来干燥麦芽的烘干炉 (图 1-7)。



图 1-7 苏美尔人修建的麦芽烘干炉

四、啤酒在阿拉伯半岛的衰败

为什么啤酒的发源地阿拉伯半岛现在不产啤酒? 东罗马帝国时期, 公元 395 年, 埃及及两河流域的啤酒业仍然很发达。公元 639 年穆罕默德领导的阿拉伯部队迅速征服了美索不达米亚、叙利亚和巴勒斯坦。公元 642 年从拜占庭手中夺取了埃及, 公元 711 年横扫大西洋海岸, 取得了巨大的胜利, 最终皈依伊斯兰教, 其教义认为酒是邪恶之源, 一律禁酒, 啤酒在其发源地渐渐消失了。

五、啤酒由中东引入欧洲

大约公元前 48 年以后, 啤酒酿造技术从埃及传到了欧洲, 并落地生根, 得以快速发展; 公元 100 年在北欧出现 (应归功于罗马人); 公元 450 年撒克逊人入侵英格兰 (同样把啤酒带到了英格兰); 公元 1300 年啤酒成为英格兰的国饮。

当时的日耳曼人和凯尔特人 (亦称高卢人) 对欧洲啤酒的发展起了很大的促进作用。经过欧洲人不断地改进和发展, 啤酒已成为一种清新爽口、妙不可言的饮料, 并传播到世界的各个角落。但是, 长期以来, 由于人们相互保守秘密, 啤酒生产发展缓慢, 生产原料五花八门, 直到公元 8 世纪前后, 德国人把大麦和酒花固定为啤酒酿造原料, 啤酒酿造技术才实现了重大突破。公元 476 年西罗马帝国灭亡, 日耳曼等王国建立, 使欧洲进入漫长的中世纪

(公元 500—1500 年)。图 1-8 描绘了公元 1596 年欧洲一教堂中修士酿酒的场景。

啤酒从欧洲传入美洲和大洋洲，公元 1607 年啤酒从英格兰出口至美洲，公元 1773 年库克船长率先在澳洲酿造啤酒。

随着人类科技的进步，如 1830 年发现酶对大麦发芽的作用；1865 年法国巴斯德灭菌方法创立；1866 年发电机问世；1870 年冷冻机应用；1878 年丹麦科学家汉森（Hansen）对啤酒酵母进行纯粹培养和分类研究以及 19 世纪中叶加热方法和蒸汽机得到改进等，啤酒酿造逐步进入工业化。



图 1-8 1596 年纽伦堡酿酒师

六、中国啤酒历史溯源

我国是世界上用粮食原料酿酒历史最悠久的国家之一。中国科学技术大学张居中教授与美国宾夕法尼亚大学考古与人类学家帕特里克·麦克戈温（Patrick McGovern）教授合作，对我国贾湖遗址出土的陶器内壁上的沉积物进行化学分析，研究的结果刊载于美国《国家科学院院刊》上。美国《国家地理》及国内外媒体进行了广泛报道。

研究证实，沉积物中含有酒类挥发后的酒石酸，其成分有稻米、蜂蜜、山楂、葡萄，与现代草药所含某些化学成分相同，根据 C_{14} 同位素年代测定，其年代在公元前 7000—公元前 5800 年。实物证明，在新石器时代早期，贾湖先民已开始酿造发酵的饮料（图 1-9）。

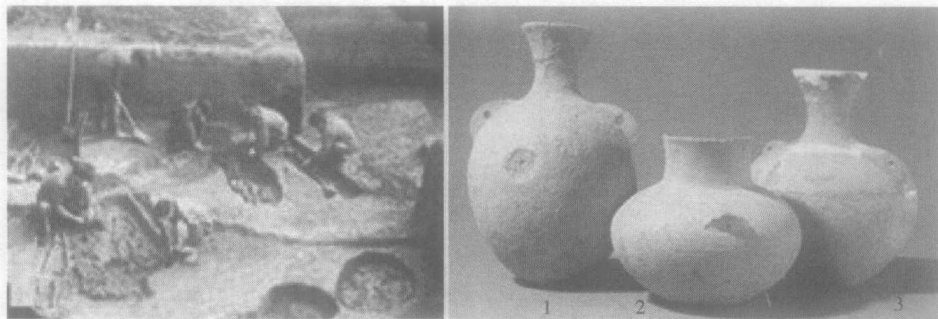


图 1-9 贾湖遗址考古现场和出土的陶坛子

1—C 型 II 式圆腹壶 (M252: 1) 2—B 型 II 式扁腹壶 (M482: 1) 3—C 型 III 式圆腹壶 (M253: 1)

专家认为：此前在伊朗发现的大约公元前 5400 年前的酒，被认为是世界上最早的“酒”。“贾湖酒”的发现，改写了这一记录，比国外发现的最早的酒要早 1000 多年，成为目前世界上发现最早与酒有关的实物资料。

2007 年 7 月 19 日，美国《国家地理》刊载文章称，美国特拉华州角鲨头 (Dogfish Head's) 啤酒厂首席酿酒师萨姆·加拉吉奥尼 (Sam Calagione) 与宾夕法尼亚大学考古学家麦克戈温教授，经过数月的研制，复制出考古界 1986 年在中国贾湖遗址发现的距今大约 9000 年就曾酿造出的一种酒类饮料，并将其命名为“贾湖城堡” (JIAHU CHATEAU) 品牌 (图 1-10)，全面推向市场。



图 1-10 美国角鲨头啤酒厂酿造的贾湖城堡啤酒

据史料记载，早在 5000 多年前，我们的祖先就已经能够酿造“醴酒”了 (图 1-11)，其所用的原料、发酵的方法、酿造的时间，与世界公认的苏美尔人所酿啤酒非常相似，如出一辙。明朝张岱《夜航船·卷十一·饮食篇》中“黄帝始作醴，夷狄作酒醪，杜康作秫酒，周公作酎、三重酒”的语句便是明证。



图 1-11 我国古代的酿酒作坊 (四川新都县出土的汉代画像砖拓片)

只不过由于这种“醴酒”糖分较高、酒精含量低、口味太淡、不利贮存、容易变酸变质，而被其他香醇可口的美酒所代替。由此可见，位于九曲黄河之滨的中国也是啤酒的一个重要发源地。

直到 19 世纪，以工业化方法生产的现代啤酒酿造技术才又从西方传到了中国，并逐渐繁衍起来，一批啤酒厂应运而生，著名的啤酒厂如下。

(1) 1900 年，俄国人在哈尔滨建立了中国最早的啤酒厂——乌卢布列夫斯基啤酒厂（哈尔滨啤酒厂前身）；

(2) 1903 年，英德合资在青岛开办了英德酿酒有限公司（青岛啤酒厂前身）；

(3) 1904 年，在哈尔滨出现了第一家中国人开办的啤酒厂——东北三省啤酒厂；

(4) 1912 年，捷克人在上海开办了斯堪的纳维亚啤酒厂（上海啤酒厂前身）；

(5) 1914 年，中国人在北京建立了双合盛啤酒厂（五星啤酒厂前身）；

(6) 1920 年，山东烟台几个资本家集资建成了醴泉啤酒厂（烟台啤酒厂前身）；

(7) 1935 年，广州建成五羊啤酒厂（广州啤酒厂前身）。

新中国成立前夕，不论是外国人开办的啤酒厂还是中国人自己经营的啤酒厂，总数不过十几家，产量不大，品种很少，当时全国啤酒总产量仅有 7000 千升。

新中国成立后，随着经济的逐步发展和人民生活水平的提高，啤酒工业取得了一定进展，1958 年产量超过 5 万千升，1967 年超过 10 万千升，1979 年超过 50 万千升，但人均啤酒消费量仍很少，啤酒工业的整体水平仍处在不发达状态，供需矛盾十分突出。2002 年，我国成为世界上啤酒产量最大的国家，达到 2386.83 万千升。2013 年创啤酒产量的历史新高，达到 5016 万千升。近几年由于消费者口味的变化，加之进口啤酒数量的增加和精酿啤酒的发展，啤酒总体销量出现下滑，2017 年啤酒总产量下降到了 4402 万千升，由于高端啤酒的销量上升，啤酒的销售额呈现上升趋势。

第二节 改变啤酒发展进程的重大事件

一、改变啤酒风味的使者——酒花

古代欧洲最先用炒焦的豆子作香料，后来用生姜、苦艾和龙胆根等来调味。酒花和蔷薇等在过去是作为一种观赏和庭院装饰植物种植的，人们并不知道其中的奥妙。公元 448 年，斯洛伐克人用来款待拜占庭国王使节的啤酒就添加了

酒花。公元624年西班牙塞维利亚城的啤酒坊开始使用酒花酿造啤酒。公元8世纪德国修道士酿酒师发现了酒花的妙用。真正的啤酒起始于采用酒花作为其主要的苦味和香味添加剂，正是酒花所赋予啤酒这种特有的苦味和香味，才使得啤酒变得爽口怡人。

二、啤酒在中世纪作为干净的饮用水

欧洲中世纪期间，城市发展导致污水横行，黑死病等疾病疯狂杀人。那时候还没有微生物的概念，人们也不知道水必须烧开才能喝（至今欧洲人都喜欢直接喝自来水，因为他们自信水质达标）。供水政策主要是在1350年黑死病高潮时才成为一项重要议题。因为水源总是被污染，经常会引起各种疾病。不习惯饮用开水的欧洲人找到了最好的解决办法：喝啤酒。几乎人人只从啤酒和食物中获取水分，所以啤酒在当时就成为了人们的首选。这幅1856年的绘画描述了星期日清晨顾客等待酒馆开门的情景（图1-12）。在饮用水不太安全且人口过度拥挤的城市里，喝啤酒比喝水更好。



图1-12 中世纪星期日清晨顾客等待酒馆开门的情景

三、《啤酒纯酿法》

1516年4月23日巴伐利亚公爵威廉四世在德国慕尼黑北部城市英戈尔施塔特（Ingolstadt）召开三级议会（Assembly of estates），他宣布“我们希望在我们的城镇、集市和乡村销售的啤酒中，除了大麦、酒花、水以外，没有其他任何添加成分”。而会议主题是讨论财政税收问题，有关啤酒酿造的文字仅有一小段记录（图1-13）。