


# 粮食加工 新 技术

——中日食品新技术研讨会论文集

LIANGSHI JIAGONG XINJISHU

ZHONGRI shipin xinjishu yantaohui lunwenji

李里特 主编  
*Li lite Zhubian*

 中国轻工业出版社

# 粮食加工新技术

中日食品新技术研讨会论文集

李里特 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

粮食加工新技术; 中日食品新技术研讨会论文集/李  
里特主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2001.1 (2001. 8 重印)  
ISBN7-5019-2915-7

I. 粮… II. 李… III. 粮食加工-文集 IV. TS21-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37040 号

责任编辑: 沈力匀

策划编辑: 沈力匀 责任终审: 滕炎福 封面设计: 崔云

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: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001年1月第1版 2001年8月第2次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 26

字 数: 600千字 印数: 601—1600

书 号: ISBN 7-5019-2915-7/TS·1767 定价: 78.00元

• 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 •

## 编写委员会

主任：李里特

副主任：辰巳英三

委员：（排序不分先后）

薛文通 董仁杰 赵朝辉

韩东海 江正强 卢山

刘海杰 杨红荣

## 前 言

改革开放以来，我国的农业经济发展迅速，农产品的品质和产量逐年提高，尤其是主要粮食资源的产量跃居世界第一。在中国以实际行动回答了“谁来养活中国”的问题之后，怎样更好地养活中国和世界，已提上了历史日程。作为产后加工增值的食品综合开发和利用技术越来越引起世人的广泛的关注，无论是发达国家还是发展中国家，都在积极探索、学习、引用国外先进经验与技术，并结合各自的实际，研究开发适合本国国情的先进技术。为了促进中日食品界的科技文化交流，中国农业大学和日本农林水产省国际农林水产业研究中心于2000年3月在北京召开以主要粮食资源加工利用技术为主题的中日食品新技术研讨会。

征文通知发出后，得到国内外科研单位、大专院校、企业科技人员的热烈响应，同时得到中国食品科技界老前辈的大力支持。会议收到150余篇论文，经请有关专家审阅、筛选，本论文集只汇集刊出其中有代表性的综述论文和研究报告。

本论文集涉及国内外有关主要粮食加工和利用方面的最新技术、科研成果和食品工业的发展动态。论文具有一定的深度和广度，是教学与科研的理想参考书。在审稿和文集编辑过程中，为求得文集全书的统一及编排方便，我们对其中一些论文进行了修改。但由于时间仓促，未经作者校阅，敬请谅解。

由于编者水平有限，时间仓促，缺点和错误在所难免，敬请论文作者和广大读者批评指正。

中国农业大学食品学院

日本农林水产省  
国际农林水产业研究中心



# 目 录

## 综述论文

食品加工与传统主食品工业化	李里特(3)
当今物理法杀菌新技术	野口明德(7)
弦国粮油工业的发展现状和趋势	刘兴信(11)
加入世界贸易组织将促进中国农业与食品产业深化改革加快发展	李士靖(17)
仔国大豆食品工业现状与展望——实证分析与产业概述	蒋建平(18)
日本农业与食品产业的协作条件	齐藤修(21)
中国食品工业的产业化展望	辰巳英三(30)
21 世纪食品工业发展趋势	沈再春(32)
蛋白质凝胶光学性质的研究进展	李里特等(39)
酶在农产品深加工方面的应用研究进展	陆兆新(47)
传统主食馒头的工业化生产技术	朱克庆(52)
小杂粮食品的开发研究	郝林等(56)
抗氧化剂的抗氧化活性的测定方法及其评价	翁新楚等(60)
冷冻米饭	朱卫中(66)
淀粉基生物降解塑料的研究进展	何小维等(73)
国内外谷物产品加工的现状与发展	陈明(79)
超临界 CO <sub>2</sub> 萃取生物材料有效成分特性研究	张宏康(88)
日本农村地区的食品加工与市场营销	安玉发(93)
臭氧的特性及其应用	沈群等(97)
大豆多肽的功能和生产	严栋林等(100)
利用黑豆研制富含微量活性元素的功能性食品	汝医等(107)
高压对食品组分的影响	张宏康等(110)
木低聚糖的研究进展	石波等(115)
天然果蔬保鲜剂研究进展	高海生(118)
2-羟丙基- $\beta$ -环糊精及其在药剂学中的应用	陈敏等(125)
试论粮食加工业及其产业化发展	屈宝香(129)
开发玉米淀粉深加工 利用新技术开拓玉米转化增值新途径	马涛等(133)

小杂粮食品资源的开发利用·····	柴岩(138)
新型功能食品因子——谷胱甘肽·····	李爽等(141)
适应国际市场需要 提高蔬菜业档次水平·····	刘一等(146)
绿色食品发展理论与实践的研究·····	李显军等(150)
山西杂粮面食的工业化生产·····	常泓(154)
AA级绿色食品出口基地建设初探·····	李显军等(158)
膳食纤维的功能及开发前景·····	樊成亮(160)
扩大粮食外延 开发食物新资源——发展有中国特色的大农业·····	崔松进等(164)

## 研究论文

关于马铃薯全粉质地评价的研究·····	周明东等(171)
食品组织结构的分析评价方法及其品质的控制研究·····	森友彦(177)
大豆品种对豆腐凝胶影响·····	刘志胜等(186)
新型生物防腐剂——乳酸菌素理化性质的研究·····	王昌禄等(193)
豆渣的电流体力学干燥·····	李里特等(196)
豆腐皮的电渗透脱水·····	李修渠等(202)
速食干豆腐的研究·····	韩东海等(208)
酱油酿造中有害微生物的污染及特性的研究·····	曹小红等(211)
大豆休闲膨化食品的研究·····	张慧敏等(218)
豆腐蠕变特性的研究·····	程永强等(223)
大豆 11S 和芝麻 13SGlobulin 的混合体系中高分子的生成·····	朱丹等(227)
大豆冰淇淋生产技术的研究·····	江正强等(234)
醇变性大豆蛋白在物理改性条件下的溶解性能·····	华欲飞等(239)
大豆蛋白酶解苦味的研究·····	钱方等(242)
我国大豆异黄酮资源的合理评价与利用·····	江和源等(248)
方便鲜米粉品质改善的研究·····	李里特等(250)
板栗粉的加工工艺及营养和感官品质变化研究·····	生吉萍等(255)
谷朊粉对国产小麦面粉品质性状的改良效果研究·····	孙辉等(258)
膨化玉米早餐粉冲调性的研究·····	李冀新等(265)
食品表面静电涂敷的试验研究·····	袁洪印等(268)
不同工艺条件与咸辣椒质量关系的数学模型及咸辣椒软罐头保存条件的研究·····	谭兴和等(272)
高压电场中冻肉解冻温度分布实验研究·····	李云飞等(275)
豆角半成品保存方法及多味豆角软罐头加工工艺研究·····	刘绍其等(278)
油炸食品含油量的控制·····	陈复生等(283)
食用天然色素萝卜红花色苷的性质研究·····	武彦文等(288)
米粉原料要求、品质评价体系和生产工艺的研究·····	成明华等(292)

魔芋胶特性和用途的探讨·····	苏茗等(296)
魔芋胶粘度及凝胶性能的研究·····	金进明等(302)
武陵山区葛根资源的品质与开发应用前景·····	陈斌等(307)
原料小麦粉成分及其特性与面条食用品质的关系·····	尹芳等(310)
子粒苋酸奶的研究·····	蒋艳等(314)
玉米特强粉的开发与应用·····	张子飙(319)
常温下酸性水对豆浆中枯草芽孢杆菌的影响·····	李博等(322)

## 技术管理论文

用于改善加工食品的物性加工条件最优化方法·····	齐藤 昌义(329)
大豆蛋白的制造和在食品加工方面的应用·····	久礼昭二等(333)
谷氨酰胺转胺酶在食品加工方面的应用·····	坂口正二(336)
电解杀菌水装置在农业和食品工业上的应用·····	宫下洋一等(340)
真空冷却红外线脱水产品的品质分析·····	张泓(354)
食品加工企业经营管理的探讨·····	郑允斌等(361)
日本的食物加工业及其研究推广机构——日本食品加工教育、研究、 推广机构和生产企业发展的启示·····	董仁杰等(367)
现代质量管理方法在保鲜湿面生产中的应用探讨·····	鲁战会(373)
论发挥内审员的作用·····	孙晓琳等(377)
大米产后新技术·····	韩东海等(379)
大米系列制品生产技术·····	卢山等(383)
天然碘醋的研制·····	王海等(386)
大幅度降低油炸方便面含油量的技术措施·····	王建东等(389)
降低蒸发器内残留润滑油的研究·····	杨国印等(398)
制约国内方便面业发展的几个技术因素·····	李建红(404)

# 综述论文

# 食品加工业与传统主食品工业化

李里特

(中国农业大学食品学院)

**摘要** 本文分析了我国农业形势,指出我国食物生产近年发生了根本性变化,农产品加工已成为制约农业发展的瓶颈,农产品和粮食加工的主要出路应在于餐桌主食。主食工业化应重视传统食品的调查、整理、开发,传统食品不仅需要运用新科技知识来提高,也需要对其文化功能的发掘和发扬。开发适合国情具有中国特色的工业化食品,也是对付加入 WTO 后的重要农业战略。

**关键词** 粮食加工 传统食品 WTO

## 1. 我国农业已进入新的发展阶段

当我们跨入 2000 年的时候,已经发现面对我们的不仅仅是新的世纪,我国的农业已经发生了不同于过去数千年的根本性变化。丰收给人们带来的已不光是喜悦,无论是农产品、畜产品甚至水产品都普遍出现了所谓的“卖难”的问题。农产品销路不畅,价格下跌,乡镇企业发展速度和效益下滑。究竟是“供需平衡、丰年有余”,还是我国农业的生产能力已进入供过于求的时代,成为制定农业发展战略不能回避的重要问题。尤其是我国即将加入 WTO,农业还面临新的国际竞争,能否成为国际竞争的强者,如何对付这一严峻的形势,成为我们急需解决的问题。

目前我国农产品产量和人均主要食品消费量除乳品外,均超过世界平均水平,许多甚至与发达国家比较接近。国务院《中国食物结构与发展纲要》提出,到 2000 年,我国每人每天摄入热量达到 10882 kJ,但早在 1996 年,我国每人每天摄入热量已达 11297 kJ。1996 年的数字还表明,当年我国粮食、肉类、蔬菜等人均消费量均大大超过《纲要》要求<sup>[1]</sup>。近几年来已连续数年人均粮食消费量超过 400 kg,大大高出世界人均消费量的 263 kg。可以说无论是从结构上,还是从数量上,我国食物已基本满足人们的健康需求。“卖粮难”的出现并非因为加工跟不上,而是我国农业生产水平已经发生了质的变化,经过数千年“饥饿时代”的中国,已经进入“饱食时代”。这是现代农业科技进步的必然结果,是中国历史上农业发展的重大转折,也是全党、全国广大农民、农业科技工作者多年奋斗的结果。

可以看出,我国食物仅靠追求产量,对农业经济的推动力已十分有限。我国 2000 年反映消费水平的恩格尔系数为 52%,2020 年据预测为 45.5%,实际上根据我国的饮食习惯,其时的恩格尔系数恐怕更低,加之人口随经济增长会进一步缓慢,因此,国内食物消费增量的发展余地不会很大。

值得注意的是,有一种论点认为我国人均年消费粮食距美国的 800 多千克还有相当大的差距,因此不承认我国粮食总产已满足要求,甚至提出粮食高消费的对策,即:要把大

米等粮食大量转化为饲料，大养畜禽。其实，这个想法忽视了两个事实，其一，从营养学看人类并非食肉动物，“五谷为养”这一古训，已经得到甚至包括发达国家营养学者的确认；其二，我国事实上畜产品也已经连续数年出现“卖难问题”。因此，这样做不仅不会摆脱“粮贱伤农”的局面，更会加重农业资源和环境的负担。

我国人均土地资源、水资源和能源都远低于世界平均水平，据统计 1995 年美国人均消费能源消费按石油换算达 7905kg/(人·年)，而我国只有 707kg/(人·年)。据估计，若我国人均消费如达到美国水平，那么需要 6 个地球来养活。从资源角度看，不允许我们单纯与发达国家比人均消费量。我国居民的生活质量和发达国家相比还有很大差距，但主要差距不再是饮食生活的差距，而是住、行和劳动、生活、娱乐的条件及环境。

一些地方未解决温饱问题，并非我国粮食总量不够，而是那些地区缺钱，缺乏发展经济的人才和自然资源。

## 2. 主食的工业化是我国农产品加工的主要方向

农产品加工增值成了人们的共识，然而，加工什么？是一个必须首先解决的问题。农产品要通过加工转化，提高附加值，使其增值，达到农民增收。这是对的，但必须冷静客观地分析和科学地理解提高转化率和附加值问题。提高附加值不仅仅是使加工者赚钱，它还意味着作为产品的食物对人体可提供的单位热量所消耗的能源会增加，意味着消费者购买食品的费用会增加，同时意味着农业资源的负担会加重。不考虑实际功效，片面提高附加值，是我国许多“特色”食品昙花一现的主要原因。此外，消费者的营养吸收量有限，虽然他们可以选择食品种类，但消耗总量不会有多少变化。

从另一角度看，由于我国有限的能源和资源，对生物资源的大量消耗并不适合我国国情。从能量转化角度讲，农业本身是将太阳能转化为人类维持生命活动的生物能源的产业，在化石能源开发以前，它几乎是人类社会活动的惟一能源。从可持续发展角度看，农业的这一重要使命不会减弱，更需加强。可是如果忽视这一点，农业甚至会成为耗能的产业。所谓的附加值实际上 50%以上来自能源的消耗。如果附加值给人们带来的并非是健康和便利，甚至只是浪费和奢侈，后果不堪设想。当前一个普遍的现象是：许多地方一味追求将粮食加工成高档食品或礼仪食品，甚至靠高科技开发千奇百怪的所谓“滋补品”和“保健品”，更有甚者还企图把珍稀动植物转化为产品。且不说其中许多产品只是利用了我国广大消费者营养知识的盲点，用“氨基酸”、“抗衰老”等科学词汇引诱消费者，即使果有其事，这种做法不免忽视了成本、能耗和我国的消费水平，不仅会加重资源的负担，也不会有稳定的市场。

我国的食品加工业往往忽视了这样的事实：农产品的主要市场在食品市场，而食品中最大的消费是主食消费。国际上发达国家食品加工的主体都是主食的加工。主食市场无疑是一个最稳定、最广大的市场。只考虑经济效益，依靠广告和利用消费者的盲点终究不会长久。当前最主要的是转变观念，着力提高主食加工的工业化水平，开拓主食市场。发达国家居民消费的食物中，工业化食品达到 70%左右，有的达到 90%以上，而我国这个比例只有 15%~20%。以小麦制品为例，我国工业化生产的小麦食品，称得上规模的还要算方便面，至今据统计已达 1200 多条生产线，然而其所用面粉仅占面粉总量的 4%。而日本小麦粉生产量约为 460 万 t，其中家庭用仅占 4.5%，其余全部为加工用面粉。面粉用量中，面包用占 36.0%，

面条用 35.5%，糕点用 12.6%，工业及其他用面粉占 10.0%<sup>[2]</sup>。

也许我们会注意到，一方面食品商店里各种“口服液”等精美礼品积压如山，一方面农贸市场的大饼面条摊、酱肉咸菜车的买卖却热火朝天。居民们最需要的是这些可口、方便、便宜的主食食品或曰“餐桌食品”。实际上国外的工业化食品，如面包、火腿、比萨饼、汉堡包、干酪、燕麦片等等都是当地人们的主食，相反“口服液”、“保健食品”之类只是很少的配角。今后，随着人们生活节奏的加快，生活质量的提高，对工业化食品的期待会越来越高。

### 3. 主食工业化与食品文化及加入 WTO 的对策

我国主食工业化已经提出多年，然而绝大多数居民仍然没有摆脱每日三餐，点火炊饭的劳作，其原因应该总结。

要发展对主食餐桌食品的加工，首先要面向我国广大消费者的一日三餐开发产品。过去我们曾一度把发展面包作为主食工业化的突破点，因为面包有许多优点，是许多西方国家居民的主食，然而食品毕竟与饮食习惯有关，不像中山服改西装那么简单。面包不仅有口味习惯的问题，作为主食还有与其他菜肴，进餐方式搭配的问题。外国的面包搭配香肠、奶酪、黄油、生菜色拉相得益彰，可是就着炒青菜肉丝、炖豆腐吃，就未必滋润。方便面之所以在我国发展很快，就是因为它首先是人们习惯了的主食。我们的主食中还有许多停留在原始的手工加工阶段，如馒头、包子、花卷、烙饼、豆浆、油条等等。开发这些食品应该很有市场。问题是一定要符合我国居民的饮食习惯。

开发主食食品，除了吸收国外食品的精华和技术外，对我国传统食品进行全面系统地调查、整理、发掘和工业化改造，是当前的重要课题。我国各地有许多优秀的传统食品，即使在国外也受到重视，然而由于我们自己过去搞食品工业只注意国外先进技术，认为传统东西落后过时，所以有的因跟不上现代人们消费的变化，失去了往日的光彩，有的甚至濒临失传。值得一提的是，像豆浆、豆豉、荞面饅饅这样的传统食品，在国外不仅工业化生产，甚至成为高级的健康食品。

开发传统食品既有继承，也要有发展。对自己的东西妄自菲薄，往往会失去我们的优势，失去这些东西所蕴涵的中华民族智慧的结晶。其实我们的先人对自己的国宝曾十分重视，在历史上留下了许多像《齐民要术》、《安平公食学》、《饮膳正要》这样的著作，然而，现代对我国传统食品进行系统调查、科学整理、认真发掘的学术成果几乎没有。反倒是国外学者对我国的许多传统食品备感兴趣，要“研究中国不同地域豆腐的制作机理”，“中国发酵豆制品的菌种及其演变”，“使用天然碱水的兰州拉面”等等。造成这种墙内开花墙外红现象的，除了近代我国形成了一种自卑落后心理影响外，也和我国曾片面强调所谓“高科技”、“新技术”分不开。只有民族的，才是世界的，“温故而知新”，对传统东西的认识和升华不仅需要高科技，其成果也是创新。

传统食品的开发需要创造和高科技。传统食品工业化生产并非简单的规模化、自动化改造，它既包括对产品从营销学角度的定位和设计，也包括运用现代营养学、加工学、工程学知识和技术生产出受市场欢迎的新产品。在国外，就有像肯德基炸鸡、麦当劳汉堡包、方便面等等就是这样成功开发的范例。必须指出，许多传统食品已不能完全满足现代人们生活的需要。主要差距是方便性、卫生性、流通性和嗜好性等方面的问题。例如我国对土

豆的传统食用方法就大大限制了土豆的加工利用，豆制品也存在类似的问题。还有一些食品（如馒头、饺子）虽然经过科技人员的努力，基本可以实现机械化、规模化生产，但是显然忽视了诸如发酵工艺、“老化”控制、风味和营养增强等加工工艺方面的深入开发，在标准化、规格化方面尚未达到商品性要求，因此还不能说完成了工业化开发。这些传统食品的工业化开发需要创造意识和多学科新技术的综合应用，包括现代市场营销学。

主食开发与食品文化。现代食品加工要求食品具有四方面的功能：营养功能、嗜好功能、生理功能和文化功能。中国的传统主食之所以在我国有着深厚的基础，是因为它是中国饮食文化的重要组成部分。过节饺子、长寿面、年糕、月饼、红鸡蛋等等，不仅养育了中华民族，还给千家万户带来生活的乐趣和希望。许多国家都十分珍视自己的食品文化，保护和发扬自己的食品文化，甚至把它作为维护民族权益，保护本国农业的战略。最典型的是日本，尽管过去英、美等国把吃生鱼、生肉看作是原始落后的饮食文化，可是日本人并没有轻易放弃，而是不断宏扬丰富其形式，终于成为连美国人都认可的美食。

值得一提的是，日本有一种类似我国豆豉的大豆发酵食品叫“纳豆”，约100年前日本北海道大学的教授泽村真、半泽洵等学者不仅深入研究了它，并确认了其发酵的菌种，命名为“纳豆菌（*Bacillus natto*）”，而且半泽洵教授还在他1919年出版的论著中对纳豆写下如下名言：“……对营养丰富、易消化，可与欧美的干酪媲美的纳豆，应使其摆脱不卫生的稻草包裹，对缺乏卫生知识的传统制法要进行改进，寻求那些希望接受新技术的纳豆企业家，填补它们现代知识的空白，改变纳豆在食品中的卑贱地位，使它不再是极少数人习惯的食品，通过提高其品位，改良其品质，使之成为真正先进的文明食品。这样就可以使它扩大消费市场，甚至成为外国人也喜欢的美食，从而提高本邦特产大豆的身价，因此要大力提倡食用纳豆。”<sup>[3]</sup>这些话深刻地影响了日本传统食品工业化，纳豆成为世界有名的方便食品、健康食品。而日本纳豆规格所要求的大豆也使得其国产的小粒大豆抵御了美国大粒大豆的竞争。对这样的传统食品日本学者100年来锲而不舍，进行了孜孜不倦的全方位研究，最近发现其发酵产物有着很强的抗血栓功能，使它成为更受欢迎的功能食品。我国即将加入WTO组织，要使我国的农业、食品工业在强大的国际竞争中得到发展，开发我国的民族食品，确立这些食品原料的特殊规格标准十分必要。

应当指出我国主食工业化发展滞后的一个主要原因是过去计划经济的影响。食品工业的主管部门是轻工业系统，而轻工业系统当时主要任务是生产可以换取外汇的罐头类食品，以及糕点、糖果、烟、茶、酒等副食品。直到20年前主食品的工业化生产几乎还是空白。我国食品界有识之士早在改革开放之初就呼吁主食工业化的问题，因为认识上、经济水平的差距，技术人员知识结构和食品厂基础不足等原因，目前虽有很大进步，但仍然任重道远。而现在我国主食工业化的条件已基本成熟，食品工业也面临加入WTO的挑战，乡镇企业怎么办？找出路不容迟疑。主食工业化不仅会使我国食品工业化走上健康、稳定发展道路，也会为中华民族的强壮、人民生活质量的提高、农村经济的发展带来革命性进步。

#### 参考文献

- [1] 中华人民共和国. 中国农业发展报告'97. 北京中国农业出版社. 1997
- [2] 伊奈一郎. 现代食品产业事典. 日本食粮新闻社. 1992
- [3] 石田郎等. 图说日本の食品工业. 光琳株式会社. 1983

# Outlet of Grain Processing Industry Lies in Attaching Importance to Industrialization of Traditional Staple Food

Li Lite

(Food College of China Agricultural University)

**Abstract** The agricultural situation in our country is analyzed in this paper. It is pointed out that our food production has changed fundamentally in recent years. Agricultural products processing has already been a bottleneck which restricted the agricultural development, the primary outlet of agricultural products and grain processing should lie in dining-table food, the staple food industrialization should pay more attention to the investigation, arrangement and development of traditional food. Traditional food needs not only enhancement with utilization of new science & technology but also exploration and development of its cultural functions. Developing industrial foods that have Chinese characteristics and suits our country situation is also an important agricultural strategy dealing with the affiliation of the World Trade Organization (WTO).

**Key words** Grain processing, Traditional food, WTO

## 当今物理法杀菌新技术

### 最近の物理的な殺菌技術

野口明德

(国際農林水産業研究センター)

#### 1. はじめに

昭和 60 年代の「飽食の時代」からすでに久しく、さらに輸入食料栽培面積から試算した食料自給率が 29%以下(1992)と言う状況は、「量」から「質」、「質」から「健全性、機能性」へと食品に求める特質の変化と密接に連動している。殺菌技術はこうしたニーズに応える加工技術の一つとして位置づけられ、歴史的には「保全」を主たる目的とした食品加工の根源に位置づけられるとしても過言ではない。

PL 法施行、日付表示制度の変更、HACCP の導入あるいは最近の 0-157 問題は、最終

的な味や品質を前提に食品衛生面での品質管理の強化を求めており、殺菌技術への関心を改めて呼び起こしながらさらなる研究開発を求めている。殺菌技術を化学的および物理的手法に大別して、前者で殺菌、静菌(制菌)が行えれば良いとすれば様々な化合物が浮上する。しかし、食品としての品質と安全性から使用に際して制約が多く、一方、後者は熱、圧力、電磁波(マイクロ波、紫外線、電子線、ガンマ線等)など手段は限られているが、その原理からすれば化学的手法と異なって制約は少なく、組み合わせによっては相乗効果が期待できる。物理的手法の分野に焦点を絞って、最近の技術の原理動向を検討してみたい。

## 2. 一般的熱殺菌

媒体を介して菌に熱エネルギーを与えて死滅に導く外部加熱の手法は、熱の移動形態から見て、伝達、伝導、輻射に大別される。均一材料の表面に分布する菌を対象とする時は、熱の移動形態を考慮する必要は余りない。しかし、不均一材料あるいは材料内部に存在する菌を対象とする場合は、材料の熱特性に注意しなければならない。材料到達温度から見て、おおまかに①低温殺菌 (<100℃)、②高温殺菌 (100~120℃)、③超高温殺菌 (UHT 殺菌; >120℃) に分類できる。①は完全殺菌と言うよりは部分殺菌に近く、冷蔵・添加物などの補助手段で製品品質の延長をはかるケースが多い。比較的酸性が強く pH4.5 以下の製品で細菌増殖が起こりにくい場合、あるいは熱により著しい品質低下が生じる場合などに利用されており、賞味期間が短くなるが差別化の意味で牛乳でも市販飲用牛乳全体の約 10%に利用されている。バッチ式、連続式のいずれもが原理的に熱交換機あるいは容器詰め後の熱水または蒸気処理という熱伝達、熱伝導に拠っている。②は①と基本的に同じであるが、処理の目的は長期保存が主なねらいで到達温度からも熱水あるいは水蒸気が熱媒体である。装置的には制御あるいはバリデーション機能などの付加機能充実が求められている。③では熱媒体は主に水蒸気で②に比べてより短時間の処理 (1~数秒) となる。基本的には菌死滅のための活性化エネルギーが食品成分の熱変性の活性化エネルギーよりも大きく、このため処理温度の上昇が菌の死滅割合により大きく反映されることを利用しており、十分な殺菌を行いながら食品へのダメージを最小に止めている。長いシェルフライフから当初の LL 牛乳を思い出すが、10 年ほど前から飲料・液状食品でも利用されており、期限表示の導入により乳製品・高品質果汁・茶飲料などで急速に普及している。また、スープ、クリーム、だしなどでも利用が拡大している。この UHT 殺菌は表-1 に示す分類が可能で、このうちスチームインフュージョン式はスチームの中に食品を噴射する方式である。熱伝導率、コストパフォーマンスが優れていることから、上記の①~③すべてで間接加熱のプレート式熱交換機が主流となっている。

## 3. 特殊熱殺菌

### 3.1 マイクロ波加熱殺菌

ISM(Industrial Scientific and Medical Use)によって使用周波数は定められており、日本では 2,450MHz が主体であるが、大電力用に 915MHz も利用されている。通常は電氣的に

表1 UHT 殺菌の種類と特徴

分類	方式	適応粘度	固形物	○長所・▲問題点
直接式	インジェクション式	1~5,000cps	不可	○高温(140~150℃)数秒処理で高品質 ▲局部的急激加熱で熱変性が生じる ▲直接加熱のため内容品が薄くなる
	インフュージョン式	1~100万cps	15mm以下	○高粘度、固形物への対応が可能 ▲直接加熱のため内容品が薄くなる
間接式	プレート式	1~500cps	不可	○効率よくランニングコストが低い ▲材料低粘度の制限
	チューブ式	1~1万cps	5mm以下	○中粘度、小固形物を対象に汎用性が高い
	掻き取り式	1~100万cps	有り	○高粘度、固形物への対応可能 ▲高い設備投資とランニングコスト ▲滞留が生じる場合がある

中性で状況により正負の電荷を持ちうる分子から構成される誘電体は、マイクロ波の電界の中で各分子が変位・分極し、マイクロ波の電気的エネルギーをもらう形（損失）で周波数に応じて振動する。各分子はその際に衝突・摩擦を繰り返し、もらったエネルギーを熱エネルギーに変換して温度が上昇するわけである。この熱に変化する電気的エネルギーの損失、すなわち電力損失  $P$  は、周波数  $f$  [Hz]、電界強度  $E$  [V/m]、対象物質の比誘電率  $\epsilon_r$  [-]、対象物質の誘電正接  $\tan \delta$  [-] との間に、 $P=0.556 \cdot f \cdot E^2 \cdot \epsilon_r \cdot \tan \delta \cdot 10^{-10}$  [W/m<sup>3</sup>] の関係がある。 $\epsilon_r \cdot \tan \delta$  は損失係数と呼ばれ、食品成分の中で水は液相の時に大きな値を示すが、固相の氷は小さい値を示すために凍結物の均一迅速解凍の手段としては使いづらい。また、マイクロ波の電子密度が半減する深さを半減深度  $D_{1/2}$  [m] といい、 $D_{1/2}=3.32 \times 10^7 \cdot f^{-1} \cdot (\epsilon_r \cdot \tan \delta)^{-1/2}$  の式で表すことができる。このため発熱量  $P$  が大きくなる条件、すなわち損失係数が非常に大きい場合は、 $D_{1/2}$  が小さくなって厚みのある材料では内部の迅速加熱を期待できないことになる。マイクロ波加熱は洋・和菓子、包装食パンの防黴処理として利用されており、貯蔵害虫の殺虫・殺卵にも利用されている。栄養細胞の大腸菌【35~50℃】、枯草菌(*B. subtilis*) 芽子【85~95℃】および麹カビ(*A. niger*) 胞子【35~54.5℃】のリン酸緩衝液(50mmol/L、pH7.0)懸濁液を内各温度に維持しながら、無処理、マイクロ波の連続波(CW)およびパルス波(PW)処理でそれぞれの生存率が検討されている。この検討によると、無処理に比べてCWおよびPW両者は全ての場合で同温度の無処理よりも生存率を低下させ、低温ではCWとPW両者に差異はほとんど認められず、高温条件でPWが優位になることが認められている。これらは短時間殺菌方法として高温でのパルス・マイクロ波処理が有望であることを示唆している。熱的効果に加えてマイクロ波が細胞膜の損傷、酵素タンパク質・DNAの不可逆的構造変化などを引き起こすとする電気的効果が考えられているが、確定の段階に至ってはいない。

### 3.2 遠赤外線照射殺菌

大腸菌および黄色ブドウ球菌のリン酸緩衝液(50mmol/L、pH7.0)懸濁液の部分的温度上昇を抑える攪拌条件とし、さらに伝導加熱と遠赤外線照射加熱による懸濁液のバルク温度の経時変化の差異を無視しえる条件で遠赤外線照射殺菌の効果を検討した例がある。その結果から、遠赤外線照射は伝導加熱に比べて加熱時間が同じ場合でも、さらには致死温度以上では著しく菌の生存率を低下することが判明した。40℃以下という致死温度以下の条件で遠赤外線の照射エネルギーの影響を見ると、エネルギーが高いほど菌の生存率は低下している。これらのことから懸濁液表面近傍に流体塊を想定して、著しく早い放射伝熱によりこの流体塊の温度が急上昇して菌にストレスを与えるものと考えられている。

## 4. 非熱的殺菌

### 4.1 紫外線照射殺菌

X線と可視光線に挟まれた100~380nmの波長域電磁波を紫外線と呼び、UV-C(100~280nm)、UV-B(280~315nm)、UV-A(315~380nm)に三分される。UV-Cの中で200~280nmを殺菌線と呼び、特に250~260nmの強い殺菌力が知られている。紫外線のエネルギーは4.9eVで電子線やガンマ線などのエネルギーに比べて10万~1000万分の1にすぎない。このため、分子あるいは原始を電離させるほどのエネルギーはないが、DNA分子などを励起し、励起されたDNAは分子内隣接チミン塩基の間に共有結合を生じるとされている。この結合で生じたチミンダイマーの部分では、DNAの水素結合が前後4塩基にわたって切断されて複製が不可能となり、このため細胞分裂が阻害されて微生物は死に至ると考えられている。紫外線照射殺菌で注意すべき現象は保護効果と遮蔽効果である。前者は菌体以外の物質の低い紫外線透過率によって殺菌効果が減衰する現象である。表2に示すように、一般の食品系では減衰が著しいと予想され、表面処理に多用されることになる。この保護効果と密接な関連があるのが後者であり、菌などが高密度で集積している場合に表面位置で殺菌が生じても内部の菌がそのまま残る現象で。

### 4.2 電子線殺菌

物質をイオン化(電離)する放射線は電離放射線と呼び、この電離放射線による殺菌を放射線殺菌と呼ぶ。食品・農産物照射に利用できる放射線はコバルト60とセシウム137からのガンマ線、10MeV以下の電子線、5MeV以下のX線に限られている。放射線照射により生じた・OHラジカルなどによりDNAが2本鎖部分で一度に切断されて、その修復が困難あるいは修復ミスにより菌が死に至るとされている。ガンマ線照射に比べて線源補充が不要でスケールメリットと放射線エネルギー利用効率に優れる電子線照射に関心が集まりつつある。

表2 各種液体の厚みと253.7nmの透過率

対象	厚さ / mm	透過率 / %
蒸留水	3,000	10
飲料水	100~800	10
海水	50	10
砂糖液(無色)	9	10
砂糖液(褐色)	0.5	10
牛乳	0.07	10
ビール	1.5	10
洋酒	0.8~3	10
合成酒	20	10
フイオン	0.002	8.2
人血	0.002	16