

HURDLE TECHNOLOGY

Food Processing,
Safety and Quality Control

栅栏技术

及其在食品加工和
安全质量控制中的应用

王 卫◎著



科学出版社

栅栏技术及其在食品加工 和安全质量控制中的应用

Hurdle Technology
Food Processing, Safety and Quality Control

王 卫 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

栅栏技术(hurdle technology)对食品防腐保质技术的理论根基及其应用实践进行了独特的创建,随着研究的深化,该技术已不仅仅是针对食品中微生物的控制,还涉及产品感官和营养特性的保持、产品质量提升、新产品开发、产品加工成本的控制等,囊括了食品加工贮运的整个环节。本书对这一技术进行了深入浅出的解读,以此为基础对国内外众多专家多年来有关栅栏技术研究和应用结果进行了提炼概述。本书共分7个章节,主要涉及栅栏技术与食品质量和安全控制的基本原理,中国传统IMF肉制品加工中栅栏技术的应用,西式肉制品加工中栅栏技术的应用,肉制品加工优化及肉类屠宰分割中栅栏技术的应用,以及将栅栏技术扩展到果蔬、水产、调味品加工及贮运包装等的应用等。

本书可作为食品科学与工程专业领域的专家学者,从事食品加工、储运流通、质量检测、安全控制等的工程师和从业人员,以及高校研究生、本科生等进行科学研究和实践工作重要的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

栅栏技术及其在食品加工和安全质量控制中的应用/王卫著. —北京:科学出版社,2015

ISBN 978-7-03-046314-2

I. ①栅… II. ①王… III. ①栅栏技术-应用-食品加工 ②栅栏技术-应用-食品安全 IV. ①TS205②TS201.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第267628号

责任编辑:丛 楠 韩书云 / 责任校对:李 影

责任印制:赵 博 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京盛源印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年11月第一版 开本:787×1092 1/16

2015年11月第一次印刷 印张:15

字数:353 000

定价:68.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 言

人类将各种各样传统的或现代的方法用于食品防腐,这些防腐方法的主要功效是杀灭或抑制食品中污染的微生物。长期以来,人们通过经验式获得对这些方法的理解。但自 20 世纪 80 年代开始,随着人们对防腐方法学的基本原理,如对温度、水分活度、pH、氧化还原值、防腐剂等及其相互作用的逐步揭示,一种系统科学的认知已经逐步形成,这些新的认知为栅栏技术(hurdle technology)概念的形成和发展奠定了基础。

莱斯特教授(Prof. Dr. Lothar Leistner)在职业生涯中曾长期从事食品加工与贮藏研究,尤其是食品微生物与产品安全控制的研究,通过在实际生产中对大量研究成果的应用和总结,提出了栅栏控制的基本概念,并原创性地将通过栅栏控制实现食品防腐的综合方法命名为“栅栏技术”。栅栏技术包含了将各种具体防腐方法结合应用于与之相关的食品类型的智慧化结晶,栅栏技术这一概念涉及对几乎所有食品类型和具体产品中致病性微生物、腐败性微生物,以及其他影响产品质量特性因子的控制。栅栏技术实际上早已传统式应用于所有国家和地区,尽管在不同国家和地区依据其历史和社会文化特性及发展阶段,其重要性和特点差异较大,也未上升到理论层面和主动式实践性,但经验式栅栏控制在实际生产中已不乏范例。例如,在发达国家可获得充足的能源,冰箱广泛普及,低温食品、冷藏和冻结食品得以占据主要地位;而在许多发展中国家,大多为简单加工、常温可贮的食品,以尽可能减少其加工和贮运中的能源消耗,中间水分食品、较低 a_w 的食品广为加工。因此栅栏因子的选择及其在食品防腐保质中所扮演的角色也就各有侧重。

栅栏技术奠定了食品防腐保质的理论根基,通过数十年的研究与应用,已成为食品工程上实用成熟的技术。随着对其研究的深化与拓展,这一技术已不仅针对食品中微生物的控制,还与产品感官和营养特性的保持,产品加工和贮运的成本控制等相关。因此,浅显理解和简单应用栅栏技术较为容易,但其高效应用涉及庞大的系统工程。例如,需要食品微生物学家、工艺学家、营养学家、工程技术人员,甚至市场营销专家的通力合作。

莱斯特教授长期致力于栅栏技术的研究及成果的应用。从德国肉类研究中心退休后,仍然继续对这一技术进行总结和深化,通过该技术在发达国家和发展中国家进一步应用而推进了其改进和完善。莱斯特教授原创的栅栏技术及其研究成果丰富了食品科学理论,通过该技术的研究和应用对食品产业发展和食品安全保障作出的卓越贡献,已得到国际的广泛认可。

作者早年留学德国,在德国肉类研究中心从师于莱斯特教授,并参与了有关栅栏技术的研究。1987 年担任莱斯特教授的专业翻译,在中国畜产加工研究会主办的中德食品加工与安全学术研讨会上,首次将这一技术引入中国食品界。此后在长期从事食品,尤其是肉品研究开发工作中又多次赴德国研修或参与国际合作项目,得到莱斯特教授的教诲和帮助。尤其在将栅栏技术应用于中国传统肉制品的研究中得到莱斯特教授的悉心指导,这些研究结果在莱斯特教授和古尔德教授合著的美国食品工程经典系列丛书《栅栏

技术:食品防腐保质和安全控制综合技术》(*HURDLE TECHNOLOGY : Combination Treatments for Food Stability, Safety and Quality*)一书中得到多次引用。

本书是对莱斯特教授栅栏技术研究成果的领会,以及作者自身研究的沉积和国内外涉及栅栏技术研究与应用成果的提炼,特别是引用的许多原始资料为我国食品界众多专家多年有关栅栏技术研究的心血集成,在此一并深表谢意。本书可为从事食品开发、食品工艺控制的专家,以及涉及该领域的人员,如食品微生物、食品工程、食品工艺等的研究者、工程技术人员和高等院校学生等,提供必要参考;也希望本书对食品加工、贮运流通、产品安全和质量控制等的从业人员具有普遍指导意义。

谨以本书献给导师莱斯特教授,感谢他近 30 年来给予作者的教诲、指导和帮助,更感谢他在栅栏技术及其在食品领域的研究和应用上作出的杰出贡献。

肉类加工四川省重点实验室
食品加工四川省高校重点实验室
成都大学肉类食品工程技术研究中心
主任教授 王 卫
2015 年 5 月

Preface

A variety of traditional or modern methods in food preservation has been used to control or kill the contaminative microorganisms in food. For a long time, the mythological understanding of the functions of these methods is acquired by experiments. However, since the 1980s, through the gradual revealing of the fundamental principles of preservation methodology such as the interaction among temperature, water activity, pH, Eh, preservative, etc, systematically new scientific notions have been established which lay a solid foundation for the formation and the development of hurdle technology.

Prof. Dr. Lothar Leistner has been engaged in food processing and preservation for a long time, especially in food microorganism and product safety control. Based on the application and the conclusions drawn from his study results in real production, Prof. Lothar Leistner puts forward the basic concepts of hurdle control. In addition, he named the comprehensive method “hurdle technology” concerning the realization of food preservation through hurdle control. Hurdle technology manifests the wisdom in the combination of various preservation methods and their application in relevant food types. Meanwhile it runs through almost all food types, through the disease-causing microorganisms and the spoilage organisms, and through the control of the factors that affect the product quality. Actually, hurdle technology has been applied in almost all countries and regions in a traditional way for a long time despite the fact that huge differences in both the significance and the characteristics of hurdle technology exist due to different historic, social and cultural distinctiveness in different countries and regions as well as the different development stages. Moreover, hurdle technology hasn't been discussed theoretically and put into active practice, but experience-based hurdle technology has been widely applied in real production. For example, in industrialized countries, thanks to their adequate energy, refrigerators are widely used; meanwhile low-temperature food, chilled and frozen food are dominating. However, in many developing countries, the simple-processed and normal-temperature-storage food accounts for the majority so as to reduce the energy consumption during the processing and transportation. In addition, half-dried food and products with comparatively lower a_w are also extensively processed. Therefore, special attention should be paid to the selection of hurdle factors and their role in food preservation and quality guarantee.

Hurdle technology has laid a theoretical foundation for food preservation and quality guarantee. With a decades-long research on it as well as its application, hurdle technology has become a mature and practicable technology in food engineering. Through

the deepening and broadening of the research on it, this technology is focused on the control of microorganisms and meanwhile closely related to the maintaining of products' organoleptic quality and their nutritional characteristics, and the control of the cost for products' processing, storage and transportation. Hence, a simple comprehension and application of hurdle technology is easily achieved, but a highly efficient application of it involves a sophisticated system, which, for example, requires the joint efforts of food microbiologists, technologists, nutritionists, engineering technicians and even marketing specialists.

Prof. Leistner has been engaged in the research on hurdle technology and the application of its research achievements for a long time. After his retirement from the German Meat Research Center, he is still devoted to summarizing and deepening the technology in order to promote the improvements of this technology through its further application in industrialized and developing countries. It is internationally acknowledged that the hurdle technology created by Prof. Leistner and its research achievements have contributed a lot to the enrichment of the food science theory and the development of food industry as well as food safety guarantee and hence have been internationally acknowledged.

The author first got access to hurdle technology during his study in Prof. Leistner's laboratory in German Meat Research Center in 1986. In 1987, the author, working as Prof. Leistner's professional interpreter, introduced this concept and the specific technology into China's food industry for the first time in a seminar named China-German Food Processing and Safety and sponsored by Chinese Society for Animal Products Processing. Thereafter, the author has been engaged in food, especially food research and as a result he went to Germany several times to do academic research while joining international collaborative projects with the help of Prof. Leistner. When the author applied the hurdle technology in the research on China's traditional meat products, Prof. Leistner provided him with his meticulous guidance. These research results are quoted many times in one of the series of the American Food Engineering series written by Prof. Dr. Lothar Leistner and Prof. Dr. Grahame Gould and entitled *HURDLE TECHNOLOGY: Combination Treatments for Food Stability, Safety and Quality*.

This book finally came into being on account of the comprehension of the research results from Prof. Leistner's hurdle technology, the author's independent study, and the research done at home and abroad on the technology as well as the application achievements of hurdle technology. Moreover, the author is profoundly grateful for the experts in food industry for their long-term research on hurdle technology which serves as the original resources that are quoted by the author in this book. This book can provide references for experts in food development, food process control, and the people related to these two realms, including researchers on food microorganisms, food engineer-

ing, food process, engineering technicians, university students etc. Finally, this book is supposed to be of great guiding significance for people engaged in food processing, storage and transportation, product safety, quality control etc.

The author dedicates this book to his supervisor Prof. Lothar Leistner for his 30-year-long instruction, guidance and help. What's more, he wants to show his heartfelt gratitude to his supervisor for his outstanding contributions to both his study on hurdle technology and the application of hurdle technology in the food industry.

Meat Processing Key Laboratory of Sichuan Province
Food Processing Key Laboratory of Sichuan Universities
Meat Food Engineering Technology Research Center of Chengdu University
Prof. & Dir. Wang Wei
May 2015

目 录

序言

第一章 栅栏技术与食品质量和安全控制	1
第一节 栅栏效应与栅栏技术	1
一、栅栏效应	1
二、栅栏技术及其防腐保质机制	3
第二节 食品中主要防腐保质栅栏及其调控	8
一、主要栅栏因子及其调控	8
二、低温冷链控制与产品安全性	15
第三节 食品栅栏控制应用进展	17
一、非重组型整体食品	17
二、发酵香肠	18
三、耐贮存食品	18
第四节 关键危险点控制管理技术、微生物预报与栅栏技术	27
一、关键危险点控制管理技术	27
二、微生物预报技术	27
三、微生物预报技术、关键危险点控制管理技术与栅栏技术	28
四、栅栏技术应用前景	28
第二章 中国传统中间水分肉制品加工中栅栏技术的应用	30
第一节 腌腊肉制品与栅栏技术	30
一、产品配方及工艺	30
二、产品特性	30
三、加工工艺对产品特性的影响	32
四、微生物接种实验	35
五、产品特性及栅栏效应分析	37
六、栅栏技术应用及优质产品加工建议	39
第二节 肉干制品与栅栏技术	41
一、配方及加工工艺	41
二、产品特性	41
三、微生物接种实验	42
四、特性及栅栏效应分析	43
五、栅栏技术应用	43
六、优质产品加工建议	45
第三节 香肠制品与栅栏技术	45

一、配方及加工工艺	45
二、产品特性	46
三、微生物接种实验	47
四、特性及栅栏效应分析	47
五、栅栏技术应用及优质产品加工建议	48
第三章 西式肉制品加工中栅栏技术的应用	50
第一节 西式肉制品加工与栅栏技术	50
一、德国肉类工业产品加工栅栏控制	50
二、德国军需肉制品研发和产业化中的栅栏控制	56
三、西式肉糜香肠肉制品中式化加工栅栏控制研究	58
第二节 发酵香肠加工与栅栏技术	62
一、不同类型发酵香肠栅栏因子及栅栏控制研究	62
二、发酵香肠加工栅栏控制与产品质量优化	66
三、迷你萨拉米香肠开发与栅栏技术	70
第四章 肉制品加工优化及肉类屠宰分割中栅栏技术的应用	75
第一节 中式肉制品加工优化与栅栏技术	75
一、兔肉制品栅栏因子及控制研究	75
二、香豉兔肉防腐保质栅栏因子的调控研究	77
三、狗肉制品栅栏保藏技术的研究	81
四、栅栏技术结合 HACCP 体系延长“叫化鸡”货架期的研究	86
五、栅栏技术延长牦牛腱子制品货架期的应用研究	89
六、栅栏技术在肉类调理食品中的应用研究	93
第二节 肉类屠宰分割及生鲜调理加工与栅栏技术	97
一、生鲜调理肉制品贮运期栅栏因子及其控制研究	97
二、应用多靶栅栏技术控制羊肉生产与贮藏过程中的微生物	100
三、优质肉鸡屠宰加工 HACCP 体系及栅栏技术的应用	104
四、栅栏保鲜技术对冷鲜羊肉保鲜效果的研究	109
第五章 果蔬等加工贮运中栅栏技术的应用	116
第一节 果蔬保鲜与栅栏技术	116
一、利用食品栅栏技术进行番茄保鲜	116
二、食品栅栏技术在草莓保鲜中的应用研究	119
三、栅栏技术在食用菌保鲜贮藏中的应用	122
四、栅栏技术在鲜切果蔬质量控制中的应用	125
五、栅栏技术在鲜切菜生产中的应用	128
第二节 果蔬等加工贮藏与栅栏技术	132
一、栅栏技术在麻糍生产综合防腐中的应用	132
二、栅栏技术在苹果果脯保藏应用中的研究	137
三、栅栏技术在软包装榨菜中的应用研究	142

四、低糖脆梅加工中栅栏技术的研究	145
五、栅栏技术在软包装低盐化盐渍蔬菜生产中的应用	150
六、栅栏技术原理在蔬菜罐头中的应用	153
七、栅栏技术在低糖果脯生产中的应用	156
第六章 水产制品加工与栅栏技术	160
第一节 鱼类制品加工与栅栏技术	160
一、应用栅栏技术确定带鱼软罐头杀菌工艺的研究	160
二、栅栏技术优化即食调味罗非鱼片工艺的研究	165
三、栅栏技术在中间水分鲢鱼片生产工艺中的应用	170
四、利用栅栏技术研制 H_{-a_w} 型即食调味鱼片	175
第二节 虾贝类产品加工与栅栏技术	179
一、栅栏技术在即食南美白对虾食品制作中的应用	179
二、栅栏技术优化即食调味珍珠贝肉工艺的研究	187
三、栅栏技术在调味对虾制品中的应用	192
第七章 调味品等食品加工与包装中栅栏技术的应用	197
第一节 调味品加工与栅栏技术	197
一、栅栏技术在海鲜调味料开发中的应用	197
二、栅栏技术在膏状肉类香精防腐中的应用	199
第二节 食品包装、乳品加工与栅栏技术	201
一、栅栏技术在食品包装中的应用	201
二、栅栏技术在乳品工业中的应用	205
三、栅栏技术应用缺陷及对策研究	208
参考文献	213
后记	221

第一章 栅栏技术与食品质量和安全控制

第一节 栅栏效应与栅栏技术

优质食品应具备微生物稳定性、卫生安全性、良好的感官特性和富于营养性。无论是在传统食品还是在新型食品中,都采用了各种不同的尽可能保持这些特性的防腐保质方法。现今可用于食品防腐保质的方法多种多样,但按其基本原理采用的主要方法仅为高温或低温、调节酸度、降低水分活度、脱氧、添加防腐剂等少数几类,可将每一类方法看作食品防腐保质的一个因子(factor)。食品的微生物稳定性、卫生安全性及总的质量特性取决于产品内不同抑菌、防腐和保质因子的相互作用。Leistner(1978)将这些因子比拟为“栅栏”或“障碍”(hurdle),将这些因子在食品内的相互影响称为栅栏效应(hurdle effect),将通过不同的栅栏效应而达到有效抑菌、防腐、保质目的的作用命名为栅栏技术(hurdle technology)。

Leistner 等在对食品加工防腐保质长期研究和总结的基础上,提出了栅栏效应和栅栏技术的概念,又通过近 30 年的研究和应用,使栅栏技术理论不断丰富和完善。至今,栅栏技术作为现代防腐保质基础理论和实用技术已在食品领域得到广泛认同,其应用首先是在非冷藏可贮食品[又称耐贮存产品(shelf stable product, SSP)、易贮存食品、耐贮存食品]的改进与加工优化方面,又延伸到冷链食品、易腐食品等不同类型的产品类型,并逐步深入到与食品相关的产品特性分析、产品质量改进、加工工艺优化、新产品开发、产品可贮性预测等各个方面。无论在发达国家还是发展中国家,栅栏技术在食品加工及其防腐保鲜中发挥着越来越重要的作用。

一、栅栏效应

食品的微生物稳定性、卫生安全性及总的质量特性取决于产品加工所采用的防腐保质方法,包括传统的腌制、干燥、烟熏、发酵等方法,和现代的低温或超高温、速冻、脱氧包装、气调包装、添加微生物制剂、辐照等方法。现今可用于食品防腐保质的方法多种多样,但按其基本原理大致可分为温度调节(高温或低温)、酸度调节(酸化或碱化)、降低水分活度、降低氧化还原值、添加防腐剂、优势菌群作用、压力调节、辐照、微结构调节、物理加工法、特型包装十一大类,每一类方法在机制上属于防腐保质的一个因子。例如,干燥以降低水分活度为 a_w 因子,低温冷却为 t 因子,高温加工为 F 因子,自然或添加发酵菌发挥乳酸菌等有益性优势菌群作用为 c. f. 因子,添加防腐剂或烟熏为 Pres. 因子等。现今已确认的防腐保质因子类型及采用的相应方法如表 1-1 所示。

表 1-1 食品主要防腐保质方法及其防腐保质栅栏分类

类型	防腐保质栅栏	相应的方法
1	F 或 t	高温加工、处理,或低温冷却、冻结
2	pH	高酸度(碱化)或低酸度(酸化)
3	a_w	降低水分活度(干燥脱水或添加水分活度调节剂)
4	Eh	高氧化还原值(充氧)或低氧化还原值(真空脱氧,二氧化碳、氮气等气调阻氧或添加抗氧剂)
5	c. f.	自然或添加发酵菌发挥乳酸菌等有益性优势菌群作用
6	Pres.	添加防腐剂[有机酸、乳酸盐、乙酸盐、山梨酸盐、抗坏血酸盐、异抗坏血酸盐、葡萄糖醛酸内酯(GDL)、磷酸盐、丙二醇、联二苯、壳二糖、游离脂肪酸、碳酸、甘油月桂酸酯、螯合物、美拉德反应生成物、乙醇、香辛料、亚硝酸盐、硝酸盐、臭氧、次氯酸盐、匹马菌素、乳杆菌素等]或烟熏
7	特型包装	活性包装、无菌包装、涂膜包装等
8	压力	高压或低压
9	辐照	紫外线、微波、放射性辐照等
10	物理加工法	阻抗热处理、高电场脉冲、高频能量、振动磁场、荧光灭活、超生处理等
11	微结构	乳化法、固态发酵等

Leistner 将各种防腐保质因子比拟为有效抑制腐败菌和病原菌生长繁殖,阻止不利因素对食品质量的影响,从而保证食品的微生物稳定性、卫生安全性及总的质量特性的“栅栏”或“障碍”。一种安全、可贮、优质的食品,是产品内不同抑菌、防腐和保质的栅栏因子(hurdle factor)相互作用的结果。如果这些栅栏不足以有效抑菌防腐,也就是说食品内栅栏过少或强度太弱(高度太低),食品在加工或贮藏过程中不利微生物已成功逾越了这些栅栏,则产品为不可贮食品,会很快腐败变质。因此,食品的可贮与不可贮及质量的优与劣,取决于这些栅栏因子在食品内的相互影响,即取决于栅栏效应的作用结果。Leistner(1978)提出了栅栏效应的概念,并通过图 1-1 对栅栏效应的基本原理予以简要描述。

图 1-1 列举了 8 个例子,以描述食品中不同栅栏数量及不同强度间的作用模式。1 是理论化栅栏效应模式。某一食品内共含有具同等强度的 6 个栅栏因子,残存的微生物最终未能逾越这些栅栏,因此该食品是可贮和卫生安全的。2 则较为贴近实际食品的真实状况,其中起主要作用的栅栏因子是 a_w (干燥脱水、添加 a_w 调节剂)和 Pres.(亚硝酸盐等防腐剂),5 个栅栏因子互作已能保证食品的可贮性。

如果食品内初始菌量很低,如无菌包装的冷却鲜肉,则只需少数栅栏因子即可有效抑菌防腐,这就是 3 的情形。反之,如果卫生条件恶劣等造成高初始菌量如 4,或食品富含维生素(V)及其他营养物质(N)导致微生物具有较强生长势能如 5,产品内的栅栏因子就不足以有效抑菌防腐,必须增强栅栏因子强度或增加新的抑菌因子。

6 是一些经过加热处理的不完全杀菌食品内的情况,这时细菌芽孢尚未受到致死性损害,但已丧失了活力,因而较少而作用强度较低的栅栏就能起到有效抑制作用。然而食

品的稳定性还与加工和贮藏密切相关,如果食品在加工或贮藏时逐渐干燥,则 a_w 栅栏随时间推延而作用强度增强,于是产品微生物稳定性逐步改善。而有的产品中的栅栏又可能随时间推延逐渐减弱。例如,听装的腌肉制品在贮存过程中,其亚硝酸盐的消失导致 Pres. 栅栏的抑菌效能不复存在。在不同食品中,其微生物稳定性是通过加工及贮存阶段各栅栏因子之间以不同顺序作用来达到的,7 是研究得出的发酵香肠中栅栏效应顺序图。食品中各栅栏因子之间具协同作用,简言之,两个或两个以上因子的作用强于这些因子单独作用的累加,8 所表明的就是这种协同作用的例子。

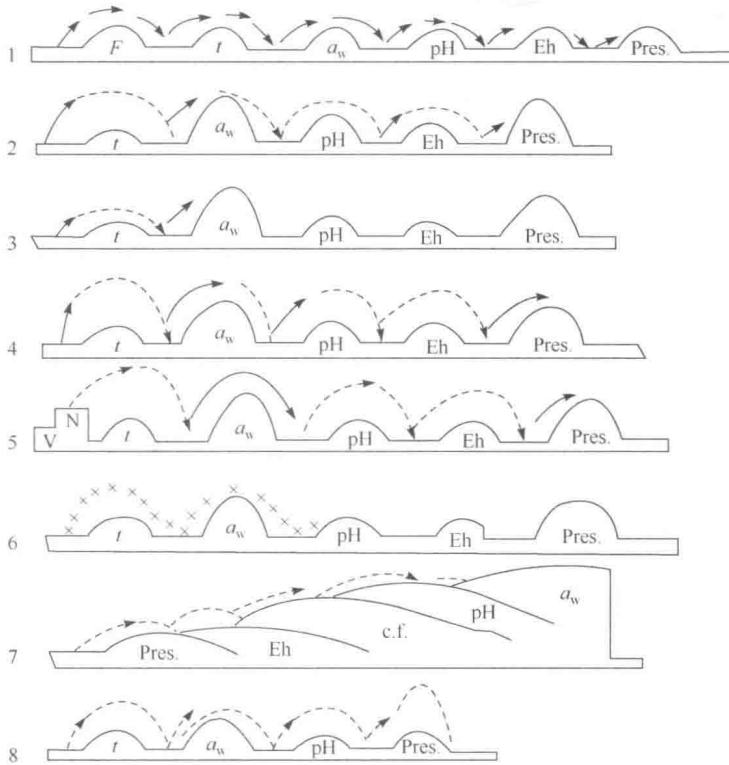


图 1-1 栅栏效应机制模式图

二、栅栏技术及其防腐保质机制

Leistner 对大量的研究结果分析后认为,栅栏效应是食品防腐保质的根本所在,不同的食品有其独特的抑菌防腐栅栏的相互作用,两个或两个以上栅栏的作用不仅仅是其单一栅栏作用的累加。食品的可贮性可通过两个或更多个栅栏因子的相互作用而得到保证,这些因子中任一单一存在,不足以抑制腐败性微生物或产毒性微生物。对一种可贮而优质的食品,其中 F 、 t 、 a_w 、 pH 、Pres. 等栅栏因子的复杂交互作用控制着微生物腐败、产毒或有益发酵,这些因子互作对食品的联合防腐保质发挥作用,Leistner 等将其命名为栅栏技术,或称为障碍技术。通过微生物的内平衡、代谢衰竭、应激反应和多靶共效防腐,以及栅栏因子的天平式效应和魔方式效应等模式,Leistner 等从不同角度对栅栏技术防腐保质机制进行了阐述。

1. 微生物的内平衡

食品防腐中值得注意的一个重要现象是微生物的内平衡(homeostasis)。内平衡是微生物处于正常状态下内部环境的统一和稳定。例如,无论是对高等细菌还是一般微生物,将内部环境 pH 自我调节,使之处于相对小变化范围,是保持其活性的先决条件。如果其内环境,即内部平衡被食品中防腐因子(栅栏)所破坏,微生物就会失去生长繁殖能力,在其内环境重建之前,微生物生长将处于停滞期,甚至死亡。因此,食品防腐就是通过临时或永久性打破微生物生长的内平衡而实现的。

Gould 指出,微生物在进化过程中已形成在一定范围或多或少的迅速反应机制(例如,在食品内的反渗调节以平衡不利的水分活度),这一功能可使微生物即使在外部环境发生极不利变化的情况下,也能保持重要生理系统的运作、平衡和不受扰乱。在大多食品中,微生物正以自动平衡调节式运作来适应通过加工防腐工艺施以的环境应激。因此,食品加工防腐上最值得推荐的有效工艺是尽可能克服微生物形成的各种抵御特殊环境应激的内平衡机制。被破坏的内环境的修复需要更多的能量,因此能量提供的限制阻止了微生物的修复机制,使得防腐保质栅栏因子间的协同效应成为可能。微生物修复内环境时能量的限制可通过无氧条件(如食品的真空或气调包装)等所导致。因此,低 a_w 、低 pH 和低 Eh 之间具协同作用性。这为通过扰乱微生物及其微生物菌群内环境来实现食品防腐提供了可能,该项技术也将受到广泛关注。

2. 微生物的代谢衰竭

在实际生产中具重要意义的另外一个重要现象是微生物的代谢衰竭(metabolic exhaustion)。微生物的代谢衰竭可导致食品的“自动杀菌”。这一现象在早年的研究中首先被观察到,这就是热加工至中心温度 95°C ,再通过添加不同量的食盐和脂肪调节 a_w 的中温肉制品肝肠(liver sausage)。对可贮性肝肠产品进行肉毒梭状芽孢杆菌接种实验,在 37°C 条件下贮存,结果热加工后仍残存的杆菌芽孢逐渐死亡。梭状芽孢杆菌的这种在产品贮存阶段因代谢衰竭而逐步死亡的现象,在耐贮存肉制品,特别是以热加工作为主要抑菌防腐因子的耐贮存食品(*F-SSP*)中经常被观察到。最相似的说明是经热加工后仍残存在食品内的细菌芽孢在不利环境下仍易增殖,而营养菌在同等条件下较难繁殖。但产品贮藏期内由残存芽孢增殖形成的新芽孢或营养细胞逐渐死亡。因此,通过栅栏因子有效互动而使产品可贮性极佳的栅栏技术食品(hurdle technology food, HTF),尤其是非冷藏可贮的食品,在贮藏时残存的芽孢菌逐渐减少。对中国传统肉干制品的研究也证实了微生物的代谢衰竭现象普遍存在。将优质可贮的肉干成品接种上葡萄球菌、沙门氏菌或酵母菌,非冷却贮藏条件下接种菌迅速减少,尤其是 a_w 接近于细菌不利生长值的产品,接种菌下降速度更快。拉丁美洲的研究者在 pH、 a_w 、Pres. (山梨酸盐)等栅栏互作保鲜的高水分水果产品中也观察到这一现象,非冷却贮藏阶段通过中温热处理,使残存的各种细菌、酵母和霉菌迅速减少。

对微生物的代谢衰竭现象的解释是:不能够继续生长的营养性细菌将死亡。如果稳定性接近于微生物生长限,提高贮藏温度,有抗菌物质的存在,细菌通过热处理等方式受

到尚不致命的损害,则细菌死亡速度更快。显而易见,在可贮性栅栏技术食品内各种残存菌都在通过每一个可能的修复机制调节其内环境,以试图在不利的周围环境条件下生存,为此必然耗尽能量而衰竭死亡。这也可以说是食品的自动式杀菌。

因此,对于具微生物稳定性的自动杀菌性的栅栏技术食品在贮藏期间,尤其是常温下贮藏,更具卫生安全性。典型例子是发酵香肠,非冷却条件下贮藏时发酵后仍残存的沙门氏菌迅速死亡,而冷藏时反而易于长时间残留而导致危害。另外一个熟知的例子是蛋黄酱,冷藏时沙门氏菌比常温贮藏更易残存。Vlaardingen 的 Unilever 实验室在水油相乳化液中也观测到了类似现象。在人造黄油中接种上李斯特菌,此菌因代谢衰竭而死亡的速度比较是:25℃贮藏时比7℃时快;产品 pH4.25 时比 pH4.3 快, pH6.0 又比 pH4.3 快;乳化细度高的比细度低的快;无氧比有氧快。该实验再次证实了食品中的栅栏越多,微生物代谢衰竭越迅速。这很可能是微生物在受到较多栅栏阻碍,处于应激条件时需增加能量消耗以调节内环境之故。

3. 微生物的应激反应

栅栏技术食品成功的一个限制因素很可能是微生物的应激反应。在应激状态下,某些可产生抗应激蛋白(stress shock protein)的细菌变得对环境条件(如高温)有更强的抵抗力或更强的毒性。保护性抗应激蛋白是细菌在热、pH、 a_w 、乙醇等不利环境,或者处于饥饿状态诱导下产生的。细菌的这一应激反应有可能影响食品的防腐性,且为应用栅栏技术防腐保质带来问题。另外,如果细菌同时面临多种应激条件,合成有助于帮助细菌应付不利环境的抗应激蛋白的基因活性将处于更为艰难的状态。在同时应付多种应激时细菌需合成数倍,至少是多得多的抗应激蛋白,因而需耗用更多的能量,这也就促使细菌代谢衰竭。因此,食品的多靶共效防腐就可通过阻止影响栅栏技术食品微生物稳定性和卫生安全性的细菌的抗应激蛋白的形成而实现。

4. 多靶共效防腐

食品的多靶共效防腐将是食品防腐根本而有效的最终目标。栅栏技术应用于食品防腐,其可能性不仅仅是根据食品内不同栅栏所发挥的累加作用,而是根据这些栅栏因子的交互作用与协同效应性。如果某一食品内的不同栅栏是有效针对微生物细胞内不同目标,即不同靶子,如针对细胞膜、DNA 或酶系统,以及针对 pH、 a_w 或 Eh 等内环境条件,从数方面打破其内环境平衡,使细菌抗应激蛋白的形成更为困难,则可实现有效的栅栏交互作用。因此,在食品内应用不同强度并缓和的防腐栅栏,通过这些栅栏的互作效应使食品达到微生物稳定性,比应用单一而高强度栅栏更为有效,更益于食品防腐保质,这就是建立于栅栏技术之上的“多靶共效防腐”技术。

在多靶效应方面,医学领域早已走在前列,例证之一是对杀菌剂杀菌机制的研究。至少已有 12 类杀菌剂对微生物细胞的多靶效应作用被揭示。细胞膜常常是受到进攻的第一个靶子,使细菌变得千疮百孔甚至四分五裂,同时杀菌剂又可阻止酶、蛋白质和 DNA 等的合成。多靶效应性药剂已在抗细菌性传染病(如布氏杆菌病)和病毒性传染病(如艾滋病)上得到成功应用。其原理在食品微生物学及食品防腐保质上大有启迪。

5. 栅栏因子的天平式效应

近年的研究表明,各种食品内都有不同的栅栏共同作用,达到一种保证微生物稳定性的平衡。这一平衡如同天平一样,哪怕是其中一个栅栏发生微小变化,都可对食品中总的微生物稳定性的平衡产生影响(图 1-2)。例如,对于肉制品的安全可靠性条件是: F 为 0.3 或 0.4, a_w 为 0.975 或 0.970, pH 为 6.4 或 6.2, Eh 可时高时低。这些栅栏相互作用达到一个平衡状态,其中天平一端是栅栏作用结果,另一端是产品可贮性。栅栏作用端某一栅栏的小小提高或降低,都会使天平的另一端产品在可贮或不可贮性上发生变化。如何使这些对食品微生物稳定性影响的因素数量化,或许会成为当前富有竞争性的研究领域。对食品中 F 、 a_w 、pH 和 Eh 等各栅栏微调的实现,可能在实际生产中产生重大成果和显著效益。

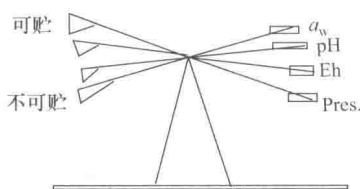


图 1-2 栅栏效应天平式控制

对于实现食品生产的天平式控制,需食品加工工艺学家和微生物学家的密切合作。例如,在使用添加剂提高食品中抑制微生物生长的栅栏时,工艺学家必须从毒理学、感官质量、营养特性及饮食习惯上判断此法是否可行。例如,Hammer 和 Wirth(1984)研究了多种添加剂对肉制品 a_w 有影响后认为,肝肠的 a_w 可通过添加脂肪(约 30%)和食盐(1.6%~2.0%)而调节到低于 0.96,这一添加量是可接受的。而微生物学家则要考虑,对某一食品中,各栅栏应达怎样的高度,才能保证其微生物稳定性。例如,Hechelman 和 Leistner(1984)对工业化生产蒸煮香肠饮罐头的研究,以及 Luecke(1984)对小型加工厂生产的肉罐头制品的研究就是为此目的。经过他们的研究得出,在室温下贮藏时,这类罐头制品达到可贮的栅栏相互作用条件是 F 大于 0.4, a_w 小于 0.97(如果产品中加入了亚硝酸盐防腐)或 a_w 小于 0.96(未加亚硝酸盐),pH 小于 6.5,以及 Eh 应在很低的值(但仍未数量化)。

于 0.96,这一添加量是可接受的。而微生物学家则要考虑,对某一食品中,各栅栏应达怎样的高度,才能保证其微生物稳定性。例如,Hechelman 和 Leistner(1984)对工业化生产蒸煮香肠饮罐头的研究,以及 Luecke(1984)对小型加工厂生产的肉罐头制品的研究就是为此目的。经过他们的研究得出,在室温下贮藏时,这类罐头制品达到可贮的栅栏相互作用条件是 F 大于 0.4, a_w 小于 0.97(如果产品中加入了亚硝酸盐防腐)或 a_w 小于 0.96(未加亚硝酸盐),pH 小于 6.5,以及 Eh 应在很低的值(但仍未数量化)。

6. 栅栏的魔方式效应

从理论和实践的观点出发,应用栅栏技术对经加热处理生产的肉制品的 F 、 a_w 和 Eh 栅栏进行调节,是最有现实意义的,这样可生产出经中热处理而可非冷保存的耐贮存产品(SSP)。这一观点最初是由 Fox 和 Loncin(1982)提出的,Leistner(1986a)将其发展比拟为“魔方式控制”。德国最常见的蒸煮香肠罐头就是以此为原理生产的。这类产品只经过中热处理(F 约为 0.4),就能有效抑制所有营养性微生物的活性,而对细菌芽孢尚未造成致命性损伤,但这些受损的杆菌芽孢再发芽的繁殖力减小,只需通过 a_w 和 pH 两道栅栏已能将其抑制,而无损于肉制品的感官质量。当然 Eh 也是影响产品的微生物稳定性的因素,当 Eh 低(氧残余量少)时,不仅好氧菌,甚至兼性厌氧菌也不会很好地生长,因此在 Eh 很低的情况下,一些 a_w 耐受性高,在实验室培养基上中度有氧条件下, a_w 为 0.86 时仍生长的杆菌,在香肠中 a_w 为 0.97~0.96 时可受到抑制。基于 Eh 对肉制品中好气性芽孢杆菌起到重要的抑制作用。pH 栅栏因子,以及与 pH 直接或间接相关的 F 、 a_w 和 Eh 因子,如魔方式变幻构成了肉制品的微生物稳定性,这 4 个因素通常是食品的必需栅