

食品最少破坏 加工技术

主 编 纵 伟

副主编 申瑞玲 杨锡洪

东北林业大学出版社

食品最少破坏加工技术

主 编 纵 伟

副主编 申瑞玲 杨锡洪

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品最少破坏加工技术/纵伟主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2006.4

ISBN 7-81076-857-3

I. 食… II. 纵… III. 食品加工—技术 IV. TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 037959 号

责任编辑: 张红梅

封面设计: 彭 宇



NEFUP

食品最少破坏加工技术

Shipin Zuishao Pohuai Jiagong Jishu

主 编 纵 伟

副主编 申瑞玲 杨锡洪

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨市工大节能印刷厂印装

开本 787 × 1092 1/16 印张 17.5 字数 430 千字

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-857-3

TS·13 定价: 35.00 元

编 委 会

主 编 纵 伟

副主编 申瑞玲 杨锡洪

参 编 白艳红 徐清萍 孙元琳

郑坚强

前 言

食品最少破坏加工技术 (Minimal processing), 又称为最低破坏加工技术、最小加工技术、最少加工技术, 也是近年来食品加工中出现的一个新的概念。Manvell 将食品最少破坏加工技术定义为: “为达到一定的目的至少必须采用的加工技术。”这里所说的“至少必须采用的加工技术”是指: 所采用的加工技术既可保证食品质量特性, 同时, 在食品的保藏和运输过程中又可保证食品的货架期。

传统的食品加工技术, 在满足食品保藏目的的同时, 往往带来食品营养成分和感官质量的破坏, 近年来, 一些新的加工技术的出现, 为食品最少破坏加工创造了条件。

本书对一些可用于食品最少破坏加工的新技术进行论述, 全书共 9 章, 主要包括加热法、非热法、气调法、活性和智能包装、天然食品保藏剂和栅栏技术等食品最少破坏加工的新技术。同时, 对食品最少破坏加工所涉及的一些法律、法规问题进行了介绍。最后, 对食品最少破坏加工技术在果蔬和水产品中的应用进行了介绍。

本书第一章由广东海洋大学杨锡洪博士编写, 第二章由郑州轻工业学院白艳红博士编写, 第三章、第七章由山西运城学院孙元琳博士编写, 第四章、第九章由郑州轻工学院申瑞玲博士编写, 第五章由郑州轻工业学院纵伟博士编写, 第六章由郑州轻工学院徐清萍博士编写, 第八章由郑州轻工业学院郑坚强编写。全书由纵伟任主编, 申瑞玲和杨锡洪任副主编。

本书在编写过程中查阅了大量相关文献, 由于篇幅有限, 参考文献未能一一列出, 在此, 谨向文献的作者表示衷心的感谢!

由于书中许多新技术为多种学科的交叉学科, 加之作者学识有限, 因此书中不妥之处在所难免, 请广大读者批评指正。

编 者
2006. 1

目 录

第一章 食品加热法加工技术	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 食品热处理的类型和特点	(1)
第三节 加热对食品的影响	(3)
第四节 超高温短时杀菌	(11)
第五节 红外线加热	(16)
第六节 欧姆加热	(19)
第七节 射频加热	(25)
第八节 微波加热	(29)
第二章 食品非热加工技术	(37)
第一节 食品辐照加工技术	(37)
第二节 超高压杀菌技术	(48)
第三节 脉冲光杀菌技术	(61)
第四节 紫外线杀菌技术	(64)
第五节 脉冲电场杀菌技术	(67)
第六节 脉冲磁场杀菌技术	(73)
第七节 超声波杀菌技术	(75)
第三章 食品气调包装加工技术	(79)
第一节 概述	(79)
第二节 气调包装的机理	(80)
第三节 气调包装的影响因素	(82)
第四节 气调包装的方法	(83)
第五节 气调包装的应用	(88)
第六节 气调包装食品的安全性	(89)
第七节 气调包装技术的发展前景	(90)
第四章 食品活性包装和智能包装	(91)
第一节 概述	(91)
第二节 活性包装技术	(92)
第三节 活性包装技术的应用	(103)
第四节 智能包装	(107)
第五节 立法争议	(111)
第六节 活性包装和智能包装的发展趋势	(113)
第五章 天然食品保藏剂	(115)
第一节 天然抗菌剂	(115)
第二节 天然食品抗氧化剂	(147)

第六章 食品栅栏技术	(175)
第一节 栅栏技术与食品防腐	(175)
第二节 栅栏技术在食品工业中的应用	(188)
第七章 最少加工食品的安全标准	(218)
第一节 概述	(218)
第二节 最少加工食品的安全问题	(219)
第三节 最少加工食品的相关安全和卫生管理	(226)
第八章 果蔬最少加工技术	(238)
第一节 概述	(238)
第二节 最少加工技术处理水果和蔬菜的质量变化	(239)
第三节 果蔬最少加工过程	(242)
第四节 几种的蔬菜具体切分加工指导方法	(253)
第五节 果蔬最少加工的未来的趋势	(256)
第九章 海产品的最少加工技术	(257)
第一节 概述	(257)
第二节 海产品的高压加工	(259)
第三节 海产品的高强脉冲电场加工技术	(266)
参考文献	(269)

第一章 食品加热法加工技术

第一节 概 述

食品工业中，加热杀菌在杀灭和抑制有害微生物的技术过程中占有极为重要的地位。加热方法广泛地用于食品的保藏和加工。加热导致合乎需要的改变，例如，蛋白质凝结、淀粉膨化、组织软化、香味成分的形成。然而，不期望的改变也会发生，例如，维生素和矿物质的损失，形成生物聚合物，新鲜外观、风味的损失和组织状态的破坏。

长期以来，科学工作者为了恰当有效地运用加热杀菌这一技术进行了多方面的研究。一方面，以杀灭对象菌——有害微生物为目标来研究加热杀菌的条件与程度；另一方面，从食品品质，尤其色、香、味、质构方面考虑，研究如何保持食品应有的品质。理想的加热杀菌效果应该是，在热力对食品品质的影响程度限制在最小限度的条件下迅速而有效地杀死存在于食品物料中的有害微生物，达到产品指标的要求。

第二节 食品热处理的类型和特点

食品工业中热处理的类型主要有工业烹饪、热烫、热挤压和热杀菌等。

一、工业烹饪

工业烹饪一般作为食品加工的一种前处理过程，通常是为提高食品的感官质量而采取的一种处理手段，烹饪通常有煮、焖（炖）、烘（焙）、炸（煎）、烤等几种形式。这几种形式所采用的加热方式及处理温度和时间略有不同，一般煮、炖多在沸水中进行；焙、烤则以干热的形式加热，温度较高；而煎、炸在较高温度的油介质中进行。

烹饪处理能杀灭部分微生物，破坏酶，改善食品的色、香、味和质感，提高食品的可消化性，并破坏食品中的不良成分（包括一些毒素等），提高食品的安全性。烹饪处理也可使食品的安全性提高，但也发现不适当的烧烤处理会给食品带来营养安全方面的问题，如烧烤中的高温使油脂分解产生致癌物质。

二、热烫

热烫，又称烫漂、杀青、预煮。热烫的作用主要是破坏或钝化食品中导致食品质量变化的酶类，以保持食品原有的品质，防止或减少食品在加工和保藏中由酶引起的食品色、

香、味的劣化和营养成分的损失。热烫处理主要应用于蔬菜和某些水果，通常是蔬菜和水果冷冻、干燥或罐藏前的一种前处理工序。

导致蔬菜和水果在加工和保藏过程中质量降低的酶类主要是氧化酶类和水解酶类，热处理是破坏或钝化酶活性的最主要最有效方法之一。除此之外，热烫还有一定的杀菌和洗涤作用，可以减少食品表面的微生物数量；可以排除食品组织中的气体，使食品装罐后形成良好的真空度及减少氧化作用；热烫还能软化食品组织，方便食品往容器中装填；热烫也对于起到一定的预热作用，有利于装罐后缩短杀菌升温的时间。

对于蔬果的干藏和冷冻保藏，热烫的主要目的是破坏或钝化酶的活性。对于罐藏加工中的热烫，由于罐藏加工的后杀菌通常能达到灭酶，故热烫更主要是为达到上述的其他一些目的，但对于豆类的罐藏以及食品后杀菌采用（超）高温短时方法时，由于此杀菌方法对酶的破坏程度有限，热烫等前处理的灭酶作用应特别强调。

三、热挤压

挤压是将食品物料放入挤压机中，物料在螺杆的挤压下被压缩并形成熔融状态，然后在卸料端通过模具出口被挤出的过程。热挤压则是指食物对在挤压的过程中还被加热。热挤压也被称为挤压蒸煮，挤压是接合了混合、蒸煮、揉搓、剪切、成型等几种单元操作的过程。

挤压是一种新的加工技术，可以产生不同形状、质地、色泽和风味的食品。热挤压是一种高温短时的热处理过程，它能够减少食品中的微生物数量和钝化酶，但无论是热挤压或是冷挤压，其产品的保藏主要是靠其较低的水分活性和其他条件。

四、热杀菌

热杀菌是以杀灭微生物为主要目的的热处理形式，根据要杀灭微生物的种类的不同可分为巴氏杀菌和商业杀菌，相对于商业杀菌而言，巴氏杀菌是一种较温和的热杀的形式。巴氏杀菌的处理温度通常在 100℃ 以下，典型的巴氏杀菌的条件是 62.8℃、30 min，达到同样的巴氏杀菌效果，可以有不同的温度、时间组合。巴氏杀菌可使食品的酶失活，并破坏食品 and 热敏性的微生物和致病菌。巴氏杀菌的目的及其产品的贮藏期主要取决于灭菌条件、食品成分（如 pH 值）和包装情况。对低酸性食品（pH 值 > 4.6），其主要目的是杀灭致病菌；对酸性食品，还包括杀灭腐败菌和钝化酶。

商业杀菌一般又简称为杀菌，是一种较强烈的热处理形式。通常是将食品加热到较高的温度并维持一定的时间，以达到杀死所有致病菌、腐败菌和绝大部分微生物，使杀菌后的食品符合货架期的要求。当然这种热处理形式一般也能钝化酶，但它同样对食品的营养成分破坏也较大。杀菌后食品通常也并非达到完全无菌，只是杀菌后食品中不含致病菌，残存的处于休眠状态的非致病菌在正常的食品贮藏条件下不能生长繁殖，这种无菌程度被称为“商业无菌”，就是说它是一种部分无菌。

商业杀菌是杀死食品中的致病菌和腐败变质的微生物为准，使杀菌后的食品符合安全卫生的要求，又有一定的贮藏期。很明显，这种效果只有密封容器内的食品才能获得（防

止杀菌后的食品再受传染)。将食品先密封于容器内再进行杀菌处理是通常罐头的加工形式,而将经超高温瞬时杀菌后的食品在无菌的条件下进行包装,则是无菌包装。

从杀菌时微生物被杀死的难易程度看,细菌的芽孢具有更高的耐热性,它通常较营养细胞难被杀死。只一方面,专性好氧菌的芽孢较兼性厌氧菌的芽孢容易被杀死。杀菌后食品所处的密封容器中氧的含量通常较低,这在一定程度上也能阻止微生物繁殖,防止食品腐败。在考虑确定具体的杀菌条件时,通常以某种具有代表性的微生物作为杀菌的对象,通过这种对象菌的死亡情况反映杀菌的程度。

第三节 加热对食品的影响

一、食品热处理的反应动力学

要控制食品热处理的程度,人们必须了解热处理时食品中各成分(微生物、酶、营养成分和质量因素等)的变化规律。主要包括:

- (1) 在某一热处理条件下食品成分的热处理破坏速率;
- (2) 温度对这些反应的影响。

(一) 热破坏反应和温度的关系

食品中各成分的热破坏反应一般均遵循一级反应动力学,也就是说各成分的热破坏反应速率呈正比例关系:这一关系通常被称为“热灭活或热破坏的对数规律”。这一关系意味着,在某一热处理温度(足以达到灭活或热破坏的温度)下,单位时间内,食品成分被灭活或被破坏的比例是恒定的。下面以微生物的热致死来说明热破坏反应的动力学。

微生物热致死反应的一级反应动力学方程为:

$$-\frac{dC}{dt} = kt$$

式中: $-\frac{dC}{dt}$ ——微生物浓度(数量)减少的速率;

C ——活态微生物浓度;

k ——一级反应速率常数。

对上式进行积分,设反应开始时微生物的浓度为 C_1 , 反应 t 时微生物的浓度为 C 。

则:

$$\log C = \log C_1 = \frac{kt}{2.303}$$

上式方程式所反映的意义可用热力致死速率曲线(见图 1-1)表示,假设初始的微生物浓度为 $C_1 = 10^5$, 则在热反应开始后任一时间的微生物数量 C 可以从曲线中得到。

从图 1-1 中还可以看出,热处理过程中微生物的数量每减少同样比例所需要的时间是相同的。如微生物的活菌数每减少 90%, 也就是在对数坐标中 C 的数值每跨过一个对数循环所对应的时间是相同的,这一时间被定义为 D 值,称为指数递减时间,因此直线的斜率

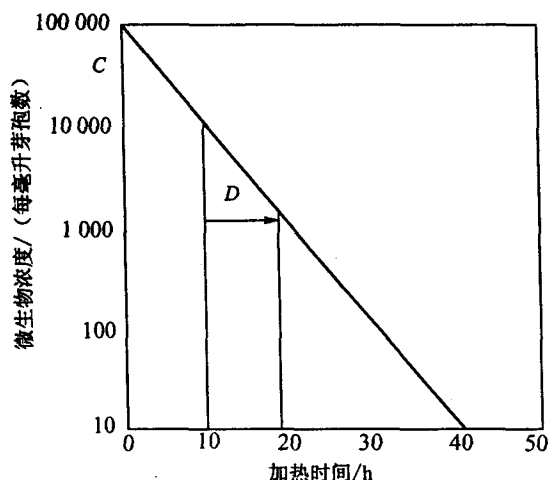


图 1-1 热力致死速率曲线

又可表示为：

$$-\frac{kt}{2.303} = -\frac{1}{D}$$

则：

$$D = \frac{2.303}{k}$$

由于上述热致死速率曲线是在一定的热处理（致死）温度下得出的，因此为了区分不同温度下微生物的 D 值，一般热处理的温度 T 作为下标，标注在 D 值下，即 D_T ，很显然， D 值的大小可以反映微生物的耐热性。在同一温度下比较不同微生物的 D 值时， D 值愈大，表示在该温度下杀死 90% 微生物所需的时间愈长，即该微生物愈耐热。

从热致死速率曲线中也可看出，在恒定的温度下经一定时间的热处理后食品中残存微生物的活菌数与食品中原始的微生物活菌数有关。为此人们提出热力致死时间（TDT）的概念。热力致死时间是指在某一恒定温度条件，将食品中的某种微生物活菌（细菌和芽孢）全部杀死所需要的时间（min）。

要使不同批次的食品经热处理后残存活菌数达到某一固定水平，食品热处理前的初始活菌数必须相同。很显然，实际情况中，不同批次的食品原料初始活菌数可能不同，要达到同样的热处理效果，不同批次的食品热处理的时间应不同。这在实际生产中是很难做到的，因此食品的前处理工序很重要，它可以将热处理前食品中的初始活数尽可能控制在一定的范围内。另一方面也可看出，对于遵循一级反应的热破坏曲线，从理论上讲，恒定温度下热处理一定（足够）的时间即可达到完全的破坏效果。因此，在热处理过程中可以通过良好的控制来达到要求的热处理效果。

（二）热处理时间和温度的效果

上述的热力致死速率曲线是在某一特定的热处理温度下取得的，食品在实际热处理过程中温度往往是变化的，因此，要了解在一变化温度的热处理过程中食品成分的破坏情况，必须了解不同（致死）温度下食品的热破坏规律，同时掌握这一规律，也便于人们比较不同温度下的热处理效果。反映热破坏反应速率常数和温度关系的方法主要有 3 种：一是热

力致死曲线，二是阿累尼乌斯 (Arrhenius) 方程，三是温度系数。

1. 热力致死时间曲线

热力致死时间曲线是采用类似热致死速率曲线的方法而制得的，它将 TDT 值与对应的温度 T 在半对数坐标中作图，则可以得到类似于致死速率曲线的热力致死时间曲线（见图 1-2）。采用类似于前面对致死速率曲线的处理方法，可得到下列方程式：

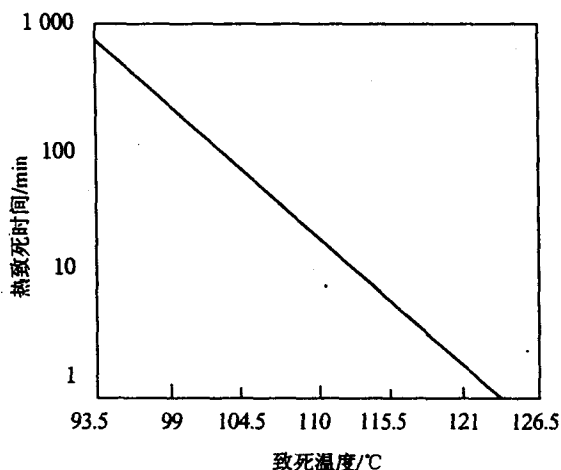


图 1-2 热力致死时间曲线

$$\log \frac{TDT_1}{TDT} = \frac{T_1 - T}{Z} : \frac{T - T_1}{Z}$$

式中： T_1 、 T ——分别指两个不同的杀菌温度，℃；

TDT_1 、 TDT ——对应于 T_1 、 T 的 TDT 值；

Z —— TDT 值变化 90%（一个对数循环）所对应的温度变化值，℃。

由于 TDT 值中包含着 D 值，而 TDT 值与初始活菌数有关，应用起来不方便。人们采用 D 值代替 TDT 值作热力致死时间曲线，结果可以得到与以 TDT 值作的热力致死时间曲线很相似的曲线。为区别，人们将其称为拟热力致死时间曲线。

从上式可以得到相应的 D 值和 Z 值关系的方程式：

$$\log \frac{D_1}{D} = \frac{T - T_1}{Z}$$

式中： D_1 和 D ——对应于温度 T_1 和 T 的 D 值；

Z ——指 D 值变化 90%（一个对数循环）所对应的温度变化值，℃。

由于 D 和 k 为倒数关系，则有：

$$\log \frac{k}{k_1} = \frac{T - T_1}{Z}$$

上式说明，反应速率常数的对数与温度成正比，较高温度的热处理所取得的杀菌效果要高于低温度热处理的杀菌效果。不同微生物对温度的敏感程度可以从 Z 值的大小反映出来， Z 值小的对温度的敏感程度高。要取得同样的热处理效果，在较高温度下所需的时间比在较低温度下的短，这也是高温短 (HTST) 或超高温瞬时杀菌 (UHT) 的理论依据。不同的微生物对温度的敏感程度、提高温度所增加的破坏效果均不同。

上述的 D 值、 Z 值不仅能表示微生物的热力致死情况,也可用于反映食品中的酶、营养成分和食品感官指标的热破坏情况。

2. 阿累尼乌斯方程

反映热破坏反应和温度关系的另一方法是阿累尼乌斯法,即反应动力学理论,阿累尼乌斯方程为:

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$$

式中: k ——反应速率常数;

k_0 ——频率因子常数;

E ——反应活化能, J;

R ——摩尔气体常数, $8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$;

T ——绝对温度, K。

反应活化能是指反应分子活化状态的能量与平均能量的差值,即使反应分子由一般分子变成活化分子所需的能量,对上式取对数,则得:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT}$$

设温度 T_1 时反应速率常数为 k_1 ,则可通过下式求得频率因子常数:

$$\lg \frac{k}{k_1} = \frac{E}{2.303R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T} \right) - \frac{E}{2.303R} \left(\frac{T - T_1}{TT_1} \right)$$

上式表明,对于某一活化能一定的反应,随着反应温度 $T(\text{K})$ 的升高,反应速率常数 k 增大。

E 和 Z 的关系可按式给出:

$$E = \frac{2.303RTT_1}{Z}$$

式中: T_1 ——参比温度, K;

T ——杀菌温度, K。

值得注意的是,尽管 Z 和 E 均与 T_1 无关,但上式取决于参比温度 T_1 。这是由于绝对温度的倒数(K^{-1})和温度($^{\circ}\text{C}$)的关系是定义在一个小的参比温度范围内。

3. 温度系数 Q 值

还有一种描述温度对反应体系影响的是温度系数 Q 值,它表示反应在温度 T_2 下进行的速率比在较低温度 T_1 下快多少,若 Q 值表示温度增加 10°C 时反比速率的增加情况,则一般称之为 Q_{10} 。 Z 值和 Q_{10} 之间的关系为:

$$Z = \frac{10}{\lg Q_{10}}$$

二、加热对微生物的影响

(一) 微生物和食品的腐败变质

食品中的微生物是导致食品不耐贮藏的主要原因,一般来说,食品原料都带有微生物。在食品的采购、运输、加工和保藏过程中,食品也有可能污染微生物。在一定的条件下,这些微生物会在食品中生长、繁殖,使食品失去原有的或应有的营养价值和感官品质,甚

至产生有害和有毒的物质。

细菌、霉菌和酵母都可能引起食品的变质，其中细菌是引起食品腐败变质的主要微生物，细菌中非芽孢微生物在自然界存在的种类最多，污染食品的可能性也最大，但这些菌的耐热性并不强，巴氏杀菌即可将又杀死，细菌中耐热性强的是芽孢菌。芽孢菌还分为需氧性、厌氧性和兼性厌氧的。

(二) 微生物的生长温度和微生物的耐热性

不同微生物的最适生长温度不同（见表 1-1），大多数微生物以常温或稍高于常温为最适宜生长温度。当温度高于微生物的最适宜生长温度时，微生物的生长就会受到抑制；而当温度高到足以使微生物体内的蛋白质发生变性时，微生物即会出现死亡现象。

一般认为，微生物细胞内蛋白质受热凝固而失去新陈代谢的能力是加热导致微生物死亡的原因。因此，细胞内蛋白质受热凝固的难易程度直接关系到微生物的耐热性。蛋白质的热凝固条件受其他一些条件，如酸、碱、盐和水分等的影响。

表 1-1 微生物的最适生长温度与热致死温度

微生物	最低生长温度	最适生长温度	最高生长温度
嗜热菌	30~45	50~70	70~90
嗜温菌	5~15	30~45	45~55
低温菌	5	25~30	30~35
嗜冷菌	-10~-5	12~15	15~25

影响微生物耐热性的因素有很多，总的来说主要有 3 方面的原因：微生物的种类，微生物生长的细胞（芽孢）形成的环境条件，热处理时的环境条件。

1. 微生物的种类

微生物的菌种不同，耐热的程度也不同，而且即使是同一菌种，其耐热性也因菌株而异，正处于生长繁殖的微生物营养细胞的耐热性较它的芽孢弱。

各种芽孢菌的耐热性也不相同，一般厌氧菌芽孢菌耐热性较需氧菌芽孢强，嗜热菌的芽孢耐热性最强，同一菌种芽孢的耐热性也会因热处理前的培养条件、贮存环境和菌龄的不同而异。例如，菌体在其最高生长温度良好并形成芽孢时，其芽孢的耐热性通常较高；不同培养基所形成的芽孢对耐热性影响很大；实验室培养的芽孢都比大自然条件下形成的芽孢耐热性要低；培养基中的钙、锰离子或蛋白质都会使得芽孢耐热性增高；热处理后残存芽孢经培养繁殖和再次形成芽孢后，新形成芽孢的耐热性就较原来的芽孢强；嗜热菌芽孢随贮藏时间增加而耐热性可能降低，但对厌氧性细菌影较少，减弱的速度慢得多；也有很多人发现菌龄对耐热性也有影响，但缺乏规律性。

芽孢之所以具有很高的耐热性与其结构有关。芽孢的外皮很厚，约占芽孢直径的 1/10，由网状构造的肽聚糖层组成，其外膜一般为 3 层，依细菌种类不同而外观有差异，它保护细胞不受伤，而对酶的抵抗力强，透过性不好并具阳离子吸附能。其原生质含有较高的钙和吡啶二羧酸（DPA），镁/钙质量比愈低则耐热性愈强。其含水量低也使其只有较高的耐热性；紧缩的原生质及特殊的外皮构造阻止芽孢膜吸收水分，并防止脆弱的蛋白质和 DNA 分子外露以免因此发生变化。

芽孢萌发时，其外皮由于溶酶的作用而分解，原生质阳离子消失，吸水膨胀，较低的热处理可使芽孢萌发，使渗透性增加而降低对药物的抵抗力，易于染色，甚至改变其外观。当芽孢受致死的高热处理时，其内容物消失而产生凹下去现象，钙及 DHA 很快就消失。但一般在溶质消失前生命力已消失。芽孢生命力的消失表示芽孢的死亡。芽孢的死亡是由

于其与 DNA 形成、细胞分裂和萌发有关的酶系被钝化所致。

酵母菌和霉菌的耐热性都不很高, 酵母(包括酵母孢子)在 100°C 以下的温度容易被杀死, 大多数的致病菌不耐热。

2. 微生物生长和细胞(芽孢)形成的环境条件

这方面的因素包括温度、离子环境、非脂类有机化合物、脂类和微生物的菌龄。

长期生长在较高温度环境下的微生物会被驯化, 在较高温度下产生的芽孢比在较低温度下产生的芽孢的耐热性强; 尽管离子环境会影响芽孢的耐热性, 但没有明显规律。 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 PO_4^{3-} 、 Mn^{2+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 等离子的存在均会影响(降低)芽孢的耐热性; 许多有机物会影响芽孢的耐热性, 虽然在某些特殊的条件下能得到一些数据, 但也很难下一般性的结论。有研究显示低浓度的饱和与不饱和脂肪酸对微生物有保护作用, 它使肉毒杆菌芽孢的耐热性提高; 关于菌龄对微生物耐热性的影响, 芽孢和营养细胞不一样, 幼芽孢较老芽孢耐热, 而年幼的营养细胞对热更敏感, 也有研究指出营养细胞的耐热性在最初的对数生长期会增强。

3. 热处理时的环境条件

热处理时影响微生物耐热性的环境条件有: pH 值和缓冲介质、离子环境、水活性、其他介质成分。

由于多数微生物生长于中性或偏碱性的环境中, 过酸和过碱的环境均使微生物的耐热性下降, 故一般芽孢在极端的 pH 值环境下的耐热性较中性条件下的差; 缓冲介质对微生物的耐热性也有影响, 但缺乏一般性的规律。

大多数芽孢杆菌在中性范围内耐热性最强, pH 值低于 5 时芽孢就不耐热, 此时耐热性的强弱常受其他因素的影响, 某些酵母的芽孢的耐热性在 $\text{pH}=4\sim 5$ 时最强。

在加工食品时, 可以通过适当地加酸来提高食品的酸度, 以抑制微生物(通常以肉毒杆菌芽孢为主)的生长, 降低或缩短杀菌的温度或时间, 此即酸化食品。

目前对杀菌时离子环境对微生物耐热性影响的结论有相互矛盾的地方, 但在磷酸缓冲液中低浓度的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 对芽孢耐热性的影响与 EDTA 和甘氨酸甘氨酸相似, 都能降低芽孢的耐热性。

食品中低浓度的食盐(低于 4%)对芽孢的耐热性有一定的增强作用, 但随着食盐浓度的提高(8%以上)会使芽孢的耐热性减弱。如果浓度高于 14% 时, 一般细菌将无法生长。

盐浓度的这种保护和削弱作用的程度, 常随腐败菌的种类而异。例如, 在加盐的青豆汤中做芽孢菌的耐热性试验, 当盐浓度为 3%~3.5% 时, 芽孢的耐热性有增强的趋势, 盐浓度为 1%~2.5% 时芽孢的耐热性最强, 而盐浓度增至 4% 时影响甚微。其中肉毒杆菌芽孢的耐热性在盐浓度为 0.5%~1% 时, 芽孢的耐热性有增强的趋势, 当盐浓度增至 6% 时, 耐热性不会减弱。

其他无机盐对细菌芽孢的耐热性也有影响。氯化钙对细菌芽孢耐热性的影响较食盐弱一些, 而苛性钠、碳酸钠或磷酸钠等对芽孢有一定的杀菌力, 这种杀菌力常随温度的提高而增强。因此如果在含有一定量芽孢的食盐溶液中加入苛性钠、碳酸钠或磷酸钠时, 杀死它们所需要的时间可大为缩短, 通常认为这些盐类的杀菌力来自未分解的分子而并不来自氢氧根离子。

芽孢对干热的抵抗能力比湿热的强, 如肉毒芽孢杆菌的干芽孢在干热下的杀灭条件是 120°C 、120 min, 而在湿热下为 121°C 、4~10 mm。这种差异与芽孢在两种不同环境下的破坏机理有关: 湿热下的蛋白质变性和干热下的氧化, 由于干热氧化所需的能量高于蛋白

质变性,故在相同的热处理条件下,湿热杀菌效果高于干热。

糖的存在也会影响细菌芽孢的耐热性,食品中糖浓度的提高会增强芽孢的耐热性。蔗糖浓度很低时对细菌芽孢的耐热性影响很小,高浓度的蔗糖对受热处理的细菌芽孢有保护作用,这是由于高浓度的糖液会导致细胞中的原生质脱水,从而影响蛋白质的凝固速度以致增强了芽孢的耐热性。除蔗糖外,其他的糖如葡萄糖、果糖、乳糖、麦芽糖等的作用并不相同。

食品中的其他成分如淀粉、蛋白质、脂肪等也对芽孢的耐热性有直接或间接的影响,其中淀粉对芽孢的耐热性没有直接的影响,但出于包括不饱和脂肪酸在内的某些抑制剂很容易吸附于淀粉上,因此间接地增加了芽孢耐热性。蛋白质中加明胶、血清等能增加芽孢的耐热性;油脂、石蜡、甘油等对细菌芽孢也有一定的保护作用,一般细菌在较干燥状态耐热性较强。油脂所以有保护作用可能是因其对细菌有隔离水或蒸汽的作用所致。食品中含有少量防腐或抑菌物质会大大降低一般的耐热性。

介质中的一些其他成分也会影响微生物的耐热性,如 SO_2 、抗菌素、杀菌剂和香辛料等抑菌物质的存在对杀菌会有促进和协同作用。

三、加热对酶的影响

在传统的食品热处理杀菌条件下,食品中的酶都遭到破坏。经传统热力杀菌的食品一般不会再发生因酶的活动而带来的品质下降。但随着食品杀菌技术的不断发展,高温短时杀菌,特别是超高温瞬时杀菌技术给食品工业带来了革命性的变化,但由此也产生了一些新的问题,经热处理杀菌后的食品常出现因酶的活动而引起品质下降和发生变质。因此,有必要对热力杀菌条件下食品中酶的存活和破坏给予足够重视并加以研究。

对于原来有生命的动植物食品原料,酶是其生命体组织内的一种特殊蛋白质,具有生物催化剂的功能。酶的活动和温度密切相关,大多数酶所适宜活动温度范围为 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,动物体内的酶需要稍高的温度,植物组织内的酶需要稍低的温度。当温度超过酶的适宜活动温度时,酶的活性就开始遭到破坏。酶的活性因温度而发生变化,可以用温度系数 Q_{10} 衡量:

$$Q_{T+10} = \frac{K_{T+10}}{K_T}$$

式中: Q_{T+10} ——温度每增加 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,因酶的活性变化所增加的化学反应速率;

K_T ——温度为 $T\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,酶活性所导致的化学反应速率;

K_{T+10} ——温度为 $(T+10)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,酶活性所导致的化学反应速率。

大多数酶活性化学反应的温度系数 Q_{10} 值为 $1.4\sim 3$,可以认为 Q_{10} 平均为 2 左右,即温度每上升 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,酶活性就会增加 1 倍。

但是,随着温度的不断提高,反映酶活性化学反应速率的温度系数却不断减小。温度愈高,反应速率的增加速度反而下降,这是因为酶在受热情况下开始遭到破坏。酶活性的转折点是在最适温度值,此时,温度系数趋于 1.0,但酶的最适温度实际上是一个操作系数,而不是一个可靠的特征,随反应时间的长短、杂质因素而异。过此点后,温度上升,酶反应速率则向下降的方向发展。一般来说,温度提高到 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,热处理时间只要几秒钟,几乎所有的酶都会遭到不可逆性的破坏。热力使酶钝化需要很高的能量。

酶受热钝化时分子表面结构改变,酶蛋白分子内许多非共价键断裂。这些键包括静电相互作用、疏水相互作用、氢键和范德华力。在酶变性中裂开的非共价键的准确数目难以

计算,然而每一个键的能量平均约 21 kJ/mol。这些非共价键在维持酶蛋白的构象上是十分重要的。因为许多酶在加热到 80℃ 以上时活力遭到破坏,所以在传统的热处理杀菌中,不仅食品中的腐败菌被杀死,而且其中的酶也遭到破坏,只有干藏和冷藏的食品才会出现酶导致的变质问题,必须在预处理时进行钝化酶操作处理。生产的实践经验表明酶也常会导致热杀菌的酸性食品或高酸性食品变质,甚至某些酶经热力杀菌后还能再度活化。如乳过氧化氢酶就是一例,要使它失活必须在 75℃ 下加热几分钟,但是,甚至经过 125℃ 高温处理热失活以后的乳过氧化氢酶,在 24 h 后仍有一些活力可以再生。又如豌豆过氧化氢酶,经 40s 热烫漂失活后,酶活力仍然可以再生,甚至热烫后立即冻结贮藏在 -18℃ 以下,在 2 个月内仍然能检出过氧化氢酶的活力。采用高温短时杀菌处理时,虽然腐败菌被全部杀死,但却有利于酶活力的再生。因此,在采用高温短时、超高温瞬时杀菌技术时,必须考虑到这一点。

酶钝化程度有时也被用做测定食品杀菌效果的指标,如牛乳巴氏杀菌的效果可根据磷酸酶活力测定的结果进行评定。这是因为牛乳中磷酸酶热处理时的钝化程度和牛乳中肺结核菌及其他病原菌热处理时的死亡程度相互一致。

酸性水果产品经热处理杀菌后应考虑检查其过氧化酶的存活情况,其过氧化酶应在热处理杀菌中被完全钝化,否则,它们在容器内仍然继续活动而导致产品变质。

四、加热处理对食品营养成分的影响

食品的加热杀菌,一方面采用高温处理可使食品的可消化性增高,肉类的风味变佳;但另一方面就有些食品而言,其色泽、风味、化学成分可因加热而变差,该缺点与加热的程度成正相关的关系。因此,为保持食品的品质和营养价值,又能达到杀菌(特别是致病菌)的目的,必须选择最适当的条件。

高温瞬时灭菌可减少食品品质的劣变与营养价值的降低,但总的来说,食品经高温处理后,其品质和营养成分不可能没有变化。

食品中的蛋白质在一般的加热杀菌中都要变性,几乎一切酶都将被破坏而失活,这有利于食品的保藏。蛋白质的变性提高了可消化性,出现粘弹性构造,使食味更好。氨基酸在中性和微酸性下对热有较好的稳定性,故食品加热杀菌时氨基酸不会被破坏,但若有还原糖存在,会使碳氢反应遭破坏而使营养价值降低,但风味可能有改善。

食品中的碳水化合物在杀菌中的变化主要是淀粉的 α 化和纤维软化,后者在一定程度上会影响食品的风味。维生素中对热稳定性最差是维生素 C、维生素 B₁ 和维生素 B₁₂。其他维生素在杀菌加中变化不大,如表 1-2 所示。蔬菜等通过杀青(热烫)等处理,维生素 B₁ 损失 5%~10%,维生素 C 损失 10%~30%。通过装罐杀菌,维生素 B₁ 损失 40%~60%,维生素 C 损失 50%~80%。

表 1-2 各种热处理对食用牛乳与乳制品中维生素的破坏情况

名 称	低温杀菌乳	HTST 乳	UHT 乳	无糖炼乳	加糖炼乳	乳粉(喷雾)
维生素 A	0	0	0	0	0	0
维生素 D	0	0	0	0	0	
维生素 B ₁	<10	<10	<10	40	10	10
维生素 B ₂	0	0	<10	0	<10	<10
烟酸	0	0	0	0	0	0
维生素 B ₆	0	0	0	0	0	0