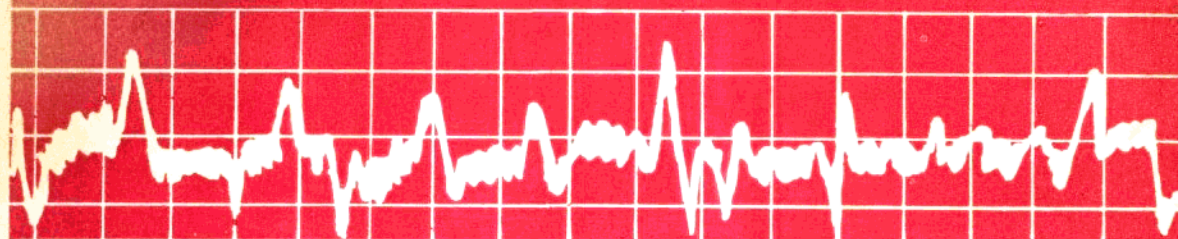


2-2

微波加热在食品工业上的应用



农 学 博 士 露 木 英 男 著
首 滕 厚

卓 香 枨 林 正 林 等 译
吴 会 川 方 秀 峰

电子工业部电子技术推广应用研究所印

1982年6月

《微波加热在食品工业上的应用》

出版者：电子工业部电子技术推广应用研究所

印刷者：武汉市洪山区和平印刷厂

成本费：2.30元

前 言

在中央搞活经济方针的指引下，我国食品工业有了很大的发展，但与人民日益增长的需要相比，仍有一定差距。为了缩短这个差距，一方面要增加生产和开发新的食源，另一方面在食品加工中要尽可能采用新技术，以充分挖掘现有食源的潜力。

《微波加热在食品工业上的应用》一书就是为满足这一技术需要而出版的。

众所周知：微波加热在食品工业中作为新的热能传递方法是有效的，现在已用于食品的膨化、干燥、浓缩、解冻、杀菌、防霉等各种加工处理上。

尤其要着重指出的是：微波加热原理是基于超高频电场下极性分子的运动，它与常规的电灶、煤气等加热方式通过热传导、热对流、热辐射等方法进行的加热相比，有许多独特之处，是与当代社会的生活需要相一致的。现以微波加热的七大优点来加以说明。

1. 节约能源。由于微波对食物直接进行加热，除微波有限的传输损耗外，无其他损耗，故热效率高。

2. 加热速度快。适当地选择微波频率和电压，食品内外可以被快速加热。

3. 加热均匀。微波加热是整块食品里外同时加热，无外焦内生现象。

4. 清洁卫生。微波加热时，因为没有烟雾和灰尘，既不污染食品，也不污染环境。特别是有低温杀菌和防霉作用。

5. 微波加热，不破坏营养成分。可根据不同食品选择不同的功率档，能最大限度地保存食品中的维生素，保存食品的颜色和水分。如煮青豌豆可保存100%的维生素C。

6. 适应性强。不论是真空中的食物，还是用包装了的食物，均可顺利有效地加热。

7. 控制方便，便于实现自动化，有利于工业规模生产。

上述七点，都是现代生活所迫切要求的，因此微波加热是食品的理想加热方式。

目 录

1. 微波加热在食品工业上的应用

1.1	精制生料的膨化干燥加工.....	1
1.1.1	淀粉精制生料的膨化干燥加工.....	1
1.1.2	蛋白质精制生料的膨化干燥加工.....	1
1.2	谷豆类、根茎瓜菜类、菌类和藻类的膨化干燥加工.....	2
1.3	利用微波处理来保存食品.....	2
1.3.1	利用脉冲介质加热杀菌.....	2
1.3.2	火腿、香肠的保存试验.....	3
1.3.3	乌贼鲜味保存的杀菌效果.....	4
1.3.4	面包的防霉效果.....	7
1.3.5	烹调食品的杀菌效果.....	7
1.3.6	袋装湿式食品的杀菌.....	9
1.4	食品的干燥脱水.....	9
1.5	冷冻鱼、冷冻肉的微波解冻.....	10
1.5.1	关于微波解冻问题.....	10
1.5.2	微波解冻技术的问题所在.....	11
1.5.3	关于工业用的微波解冻装置.....	12
1.5.4	冷冻肉的微波解冻.....	14
1.5.5	冷冻鱼的微波解冻.....	15
1.5.6	国外微波解冻试验情况.....	15
1.5.7	微波解冻的未来.....	16
1.6	冷冻烹调食品的解冻·加热.....	16
1.7	鱼油、肝油、兽脂的提取.....	18
1.8	真空冷冻干燥机的升温装置.....	19
1.9	放进铝制容器内的食品的微波对流加热.....	21
1.10	微波烹调鸡肉的装置.....	21
1.11	其它应用实例.....	21
1.11.1	烘烤点心.....	22
1.11.2	饲料的制造.....	22
1.11.3	栗子与花生去内皮.....	22
1.11.4	通心粉类的干燥.....	22
1.11.5	面包圈烤制.....	22
1.11.6	袋装肝脏、馅饼的烹制加工.....	23
1.11.7	微波水份测定仪.....	24
1.11.8	酒类与香料的成熟促进.....	24
1.11.9	乳儿糕微波干燥.....	24

1.11.10	方糖微波干燥	24
1.11.11	谷类害虫的驱除	24
1.11.12	调料的制造	24
1.11.13	塑料的发泡	24
1.11.14	氯乙烯的粘接	24

2. 食品微波加热化膨干燥加工

2.1	复合介质体的选择性加热	25
2.1.1	关于采用微波加热膨化干燥加工的若干注意事项	30
2.2	淀粉食品的膨化干燥加工	31
2.2.1	淀粉食品的膨化干燥加工原理	31
2.2.2	微波加热与传热媒介体并用	32
2.2.3	实验及其结果	34
2.3	年糕片、酥脆饼干、骰子块、快速饼等的膨化干燥加工	37
2.3.1	旧的制造方法	37
2.3.2	微波与传热媒介体并用的新加工法	37
2.4	谷豆类、根茎瓜菜类等的膨化干燥加工	39
2.4.1	膨化干燥理论	39
2.4.2	谷类及杂粮类的膨化干燥加工	39
2.4.3	豆类的膨化干燥加工	42
2.5	蛋白质食品的膨化干燥加工	43
2.5.1	蛋白质的种类和性质	43
2.5.2	蛋白质的变性	44
2.5.3	蛋白质的等电位点与变性的关系	45
2.5.4	蛋白质的分子构造与变性机构的关系	46
2.5.5	蛋白质变性的机构与膨化干燥的关系	46
2.5.6	膨化干燥加工的一般方法	47
2.6	乌贼肉的膨化干燥加工	48
2.6.1	关于乌贼的资源	48
2.6.2	乌贼的微波干燥	49
2.6.3	快餐乌贼肉山芋丸制作法	51
2.6.4	乌贼片的制作方法	52
2.6.5	乌贼饼干的制作方法	53
2.6.6	乌贼块糕的制作方法	54
2.7	鸡肉的膨化干燥加工	55
2.7.1	鸡胸肉的膨化干燥加工	55
2.7.2	鸡肉的膨化干燥加工	56
2.8	鸡内脏的膨化干燥加工	61
2.8.1	鸡内脏的预处理	61

2.8.2	鸡内脏的混合和成型	6 1
2.8.3	蒸煮、烟熏和微波加热加工	6 1
2.9	以猪肉(含脂量20%以下)为主要原料的精制坯料的膨化干燥加工	6 2
2.10	以猪皮(含脂量40%以上)为主要原料的精制坯料的膨化干燥加工	6 3
2.10.1	猪皮乳胶的调制	6 3
2.10.2	肌球蛋白、大豆蛋白和淀粉等的添加量	6 3
2.10.3	微波加热膨化干燥加工	6 3
2.10.4	膨化体内所含脂质的氧化状态	6 4
2.10.5	以猪肚肉为主要原料的精制坯料的膨化干燥加工	6 4
2.11	牛肉混合肉的膨化干燥加工	6 6
2.11.1	牛肚肉的膨化干燥加工	6 6
2.11.2	牛尾肉的膨化干燥加工	6 7
2.12	野鸭肉的膨化干燥加工	6 8
2.12.1	精制坯料的配合与成型	6 8
2.12.2	微波加热膨化干燥加工	6 9
2.12.3	膨化体的吸水复原性	7 0
2.12.4	膨化体所含脂质的氧化试验	7 1
2.13	野鸡肉的膨化干燥加工	7 1
2.13.1	精制坯料的配合与成型	7 2
2.13.2	蒸煮和微波加热膨化干燥加工	7 2
2.13.3	熏制工艺	7 3
2.13.4	膨化体的吸水复原性	7 3
2.13.5	膨化体所含脂质的氧化试验	7 3
2.14	羊肉的膨化干燥加工	7 4
2.14.1	羊肉单独的膨化干燥加工	7 4
2.14.2	羊肉、牛肉、猪肉、鸡肉混合膨化干燥加工	7 5
2.15	兔肉的膨化干燥加工	7 6
2.15.1	精制坯料的调制	7 6
2.15.2	坯料的成型和微波加热	7 6
2.16	生蛋黄的膨化干燥加工	7 8
2.16.1	关于蛋黄的成份	7 8
2.16.2	膨化干燥蛋黄坯料所加的添加剂	7 9
2.16.3	蛋黄膨化干燥和精制坯料的含水率	9 6
2.17	生蛋白的膨化干燥加工	9 9
2.17.1	关于蛋白成份	9 9
2.17.2	膨化干燥蛋白精制坯料所加的添加剂	1 0 0
2.17.3	蛋白膨化干燥和精制坯料的含水率	1 0 7
2.18	大豆蛋白质的膨化干燥加工	1 0 9

1 微波加热在食品工业上的应用

众所周知，微波加热在食品工业上的应用方面是很多的，仅就其中有代表性的项目介绍如下。

1.1 精制生料的膨化干燥加工

制作以蛋白质和淀粉为主要成分的精制生料，经过蒸发、通风干燥等预备工序后，进行微波加热，制成膨化干燥体，即可获得方便食品。

一般说来，食品多具有关系极为复杂的复合电介质。如果给这样的电介质加上微波功率，则在同一物体的内部，发热量的分布就会出现不均匀现象。这种现象称为选择加热。当用微波加热来加工食品时，正因为食品既是极为复杂的复合电介质，又有选择加热现象，所以未必能加热到一定的均匀温度，不了解这点，就很难达到加工的目的。因此，作者在微波加热的基础试验中，对水、盐水、糖水、甘油和食油等电介质进行了选择加热测定。结果表明：蒸馏水比食盐水的选择加热量大，盐分浓度越高，选择加热量越小，砂糖溶液虽略比蒸馏水的选择加热量低，但差别没有蒸馏水和食盐水那么大，砂糖溶液比食盐水的选择加热量大，甘油水溶液比食盐水的选择加热量大，与豆油相比，蒸馏水则选择性加热量大。

微波加热配有各种主、副料的精制坯料时，必须充分考虑这一点。

1.1.1 淀粉精制生料的膨化干燥加工

一旦给谷类、豆类、瓜菜类、薯类等的淀粉加水加热，进行 α 化处理，和其他佐料混合控制成型，预先进行干燥后，和经过适当加热的传热媒质边混合搅拌、边进行微波加热，使它发泡膨胀，并快速干燥，就能制成可长期保存的方便食品或点心等。

对年糕片、酥脆饼干、烤年糕和快速饼一类食品，同时进行微波和传热媒质加工，和旧制法相比，可以大大缩短制作时间。例如以糯米、粳稻米等为主再加上鱼肉蛋白质或干酪素，还可以改善食品的耐水性。

例如切面、荞麦面、挂面、凉面、粉条、中国面、通心粉、细面条等面食制作过程中，添加鱼肉、兽肉等动物性蛋白质，大豆、小麦等植物性蛋白质、膨化剂、发泡剂及其他佐料揉合制成面条型后，再进行微波加热，膨化干燥，就可制成快速面。

若将车前草、藜、蕺菜、菊花等药材类，在捣碎混合后，加入膨化剂、淀粉和其他副料，揉合成型，经膨化干燥加工，即可制成成药。同样，把无花果、柿子、樱、桑、山茶等树叶膨化干燥加工，即可制成饵料和饲料。

1.1.2 蛋白质精制生料的膨化干燥加工

在鱼贝类、禽兽类等蛋白质原料中，加入淀粉、滋补性物质、食盐、佐料、发泡剂等，进行混合揉捏，经成型、预干燥后，进行微波加工，利用所发生的二氧化碳和水蒸气进行膨化干燥。如前所述，这种微波加热法和通常的加热法不同，由于被加热物体的表层和内层几乎能同时加热升温。因而在很短的时间内，就可生产出质地均匀的蛋白质膨化体。

根据作者的试验，在膨化干燥加工以蛋白质为主要原料的精制生料时，从主要蛋白质的等电位点的PH值来看，PH值向碱性一侧约偏0.1~0.2时，显示出最高的膨化干燥速度。

作者进而用鱼贝类蛋白质作为原料（例如竹筴鱼肉、沙丁鱼肉、青花鱼肉、松鱼肉、梭

鱼肉、鲮鱼肉、鲢鱼肉、箭鱼肉、鲟鱼肉、旗鱼肉、苇原雀肉、狭鳕鱼肉、乌贼肉、大马哈鱼肉、虾肉、螃蟹肉等), 在其中加入各种配料(淀粉、砂糖、食盐、大豆蛋白、小麦面筋、蛋黄蛋白、纤维素等)、发泡剂、含气泡剂等, 再捣碎混合, 经成型、蒸煮后, 用微波(2450兆赫)加热, 进行膨化干燥。此外, 以禽兽类蛋白原料为主要成分制成精制生料, 经蒸煮、成型、熏制后, 用微波加热制成膨化干燥制品。

以石油蛋白、大豆蛋白、小麦蛋白和米糠蛋白等新蛋白资源为主要原料制成精制生料, 经蒸煮、膨化干燥等预加工后, 进行微波加热, 也能制出膨化干燥制品。

如上所述, 把鱼贝类蛋白原料、禽兽类蛋白原料和以新蛋白资源为主原料制成坯料, 经微波加热制成膨化体, 可作为肉状食品、冻豆腐代用品等方便食品。

1.2 谷豆类、根茎瓜菜类、菌类和藻类的膨化干燥加工

对谷类、豆类和根茎菜类以颗粒状或片状进行膨化干燥加工, 可采用微波和传热媒介体(食盐等)并用的加热方式。

把米膨化干燥加工制成 α 化米(也叫快熟米), 是人们长时间以来梦寐以求的。过去曾有很多科学工作者在这方面做了大量的尝试。作者采用微波和传热媒介体并用的方法制出了 α 化米。其工艺过程略述如下: 预处理(水泡 $\rightarrow$ 温蒸 $\rightarrow$ 蒸煮 $\rightarrow$ 水泡 $\rightarrow$ 蒸煮 $\rightarrow$ 风冷 $\rightarrow$ 冷水淋 $\rightarrow$ 用松散机使米粒松散) $\rightarrow$ 1次 α 化工序(用高温气流, 进行第一次干燥 $\rightarrow$ 用排气热风或红外线进行第二次干燥) $\rightarrow$ 2次 α 化工序(微波和传热媒介体并用加热) $\rightarrow$ 压偏工序(α 化米软化 $\rightarrow$ 压偏 $\rightarrow$ 干燥) $\rightarrow$ 制成 α 化米。

为了把杂粮类(玉米、高粱、稗子、小米、稷子等)和豆类(大豆、青豆、青豌豆、小豆、蚕豆、扁豆等)以颗粒状原形进行膨化干燥加工, 也可以用微波和传热媒介体并用的加热方式。

把茎叶菜类(竹笋、洋葱、葱、包菜、白菜、菠菜、莴苣等)、根菜类(萝卜、胡萝卜、牛蒡、藕等)、瓜菜类(南瓜、茄子、瓜等)、薯类(甘薯、青芋、土豆、菊芋、山芋、百合根、大蒜等)、菌类(香菇、食用菌、蘑菇等)和藻类(黑海带、裙带菜、海带等)以原形或片状, 用微波和传热媒介体并用方式加热, 进行膨化干燥加工, 可制成方便食品的原料。膨化干燥前当然要进行各种预处理。

1.3 利用微波处理来保存食品

为了防止食品早期腐烂, 以利长期保藏, 虽然卫生管理是特别重要的, 在技术上曾使用杀菌灯、蒸气、煤气杀菌、防腐剂等各种杀菌法。但是, 既不损害食品的质量, 又能在短时间内对深部完全杀菌, 微波加热是极为理想的。事实上, 微波加热, 除能快速加热食品内部外, 人们还常利用微波的特殊作用作杀菌试验。现在之所以不易于推广应用, 其原因是负载回路和传输回路的损耗太大, 匹配和维护困难。除微波对微生物的特殊作用问题另当别论外, 在食品中变为热能的微波能究竟需要多少才能杀菌的问题, 这是实用化时一个非常重要的问题。关于食品杀菌需要多少热能的问题, 进行定量研究的还不多, 今后还须按照食品品种进行研究。

1.3.1 利用脉冲介质加热杀菌

关于微波电场对微生物的作用问题, 自1930年就开始研究, 但由于频率、电场强度、作用时间、微生物种类和培养基的组成不同而结果不同。杀菌究竟是简单热效应, 还是微波的特殊作用, 尚弄不清楚, 当时曾进行过激烈的争论。

根据当时关于微波杀菌的研究报告指出：在一定温度下，与一般加热杀菌相比，可缩短微生物的死亡时间，在一定的处理时间内，杀菌可比通常的加热杀菌的温度低。证明微波杀菌是有利的。

上述这些报告，都是在生物化学和应用电子学还处于发展初期的研究，由于是在两者的边缘领域内的研究，所以可靠性低。关于微波的特殊作用，从最近生物物理化学的角度来判断，仍难于否定。即在强大的微波电场中，由于构成生物体的各种高分子的可动性基、极化基和离子等的急剧振动，会引起蛋白质和核酸物质构成分子的变性。但是由于这些原子团的运动转换成热而升温，所以与热作用分别开来讨论这个问题是困难的。微波加热不像普通加热法那样，快速升温是它的一大特点，故可缩短杀菌时间。总之，若施加强电场，就会产生大量的热，使食品试料温度上升。为了促进杀菌，最好使用很强的微波电场；另一方面，要使色、味和质量不受损坏，用高温短时（以秒为单位）、或用低温短时（以分为单位）杀菌是最理想的。

赤星教授用脉冲介质加热食品，结果证明上述处理方式是可行的。即用极强电场以短时（以秒为单位）间歇脉冲作用于食品，瞬间超强的微波电场，会使食品试料中的极化基和离子急剧运动，可极大地提高杀菌效果。食品试料吸收的功率会使温度上升，能量在瞬间是很强的。如果以时间积分平均，就会变为很小的能量，故升温很小就可达到杀菌的目的。根据赤星教授的试验，把枯草杆菌、*B. megatherium*、大肠杆菌、*W. anomala*、*S. cerevisiae*、黄青霉、曲霉等微生物在各自的培养基（细菌：代用肉汁，酵母：曲液，霉菌：卡百克斯氏液）中呈悬浊状，用频率2800兆赫、脉宽1微秒、脉冲重复频率2000赫的超脉冲介质加热，当脉冲功率200千瓦、处理时间90秒和400千瓦、处理时间90秒后，可以完全杀菌。这时的温度分别不过从17℃上升到86℃和从22℃上升到92℃，故对于像*B. megatherium*、枯草杆菌这样的耐热性细菌是不能简单用热作用来说明杀菌效果的。同时，也能用通常的加热杀菌，在碰上耐热性细菌时，把装有试料的试管插入煮沸100℃开水中浸泡15分钟才免强杀菌（这时，试管内部的温度在最初5分钟就达到了97℃）。在用脉冲介质加热时，试料中的可动性基是一时一时地处于急剧振动状态，而且试料吸收的只是使温度上升的平均功率，故和过去的加热杀菌相比，可以在低温短时内就能达到杀菌效果。赤星教授认为：脉冲介质加热杀菌有很大的优点，在连续波大功率微波管较少的现在，脉冲介质加热杀菌是一种很有发展前途的杀菌方法。

总之，用超大功率微波在极短时间内不断重复脉冲作用下，由于微波电场的强大作用，会引起菌体内的蛋白质和生理活性物质变性，从而促进杀菌。本方法和高温瞬间杀菌相似，其不同点是电波可以快速停止，其平均功率低，即令试料温度不太高，仍可达到杀菌的目的。

1.3.2 火腿、香肠的保存试验

为了达到完全杀菌、防止二次污染，需对新鲜原料的物品进行包装并连包装一起进行加温、蒸煮和杀菌处理，或将加工食品密封包装好后，对其表面污染再次杀菌。

加藤对包装的火腿、香肠用连续微波加热的结果表明，与过去用热开水浸泡法蒸煮杀菌处理需要2小时左右相比，新法仅数分钟就可达到目的。他说，用40兆赫和2450兆赫两种频率并用加热，可有效地从火腿、香肠表面到内部在短时间内做到均匀加热。

另外，赤星教授用脉冲介质加热对表1.1所列的鱼肉香肠进行了保存试验。用JRC

司的 5 J26磁控管, 频率为1250兆赫, 脉宽1微秒, 重复频率为500—1000赫, 瞬时脉冲功率50—60千瓦, 平均功率为 50—600瓦。鱼香肠是由金枪鱼肉、猪油、马铃薯淀粉、香料、盐和水等原料组成的, 把生料装入细长的薄膜袋中, 每袋重约130克, 外径约35毫米, 长200毫米。试料生菌数试验是在介质加热处理后立即从试料各处取样, 经无菌搅拌机捣碎后, 用无菌水稀释, 用肉汁琼脂作培养基, 放入拔垂培养皿中, 在37℃温度下, 培养48小时, 根据平板上的菌落数算出生菌数目。生菌数是四个培养皿的平均值。

据赤星教授说: 脉冲波的杀菌效果, 如表1.1所表明的, 尽管平均功率较低(370瓦160秒的低功率), 但细菌数仍比85—90℃、45分钟的热水处理略少些。这说明脉冲波具有显著的杀菌效果。对试料中心部分的温度分上端、中部和末端三部分进行测量, 则和通常的介质加热不同, 这种加热情况是不均匀的, 靠近微波源的上端温度最高, 末端次之, 而中部最低(例如上端90℃, 中部74℃, 末端82℃)。这是由于微波是不连续波, 产生电场紊乱, 引起部分电场集中的原因。

1.3.3 乌贼鲜味保存的杀菌效果

作者以前曾用连续波介质加热对乌贼等海鲜(生切乌贼、鲜乌贼脚、干鱿鱼等)进行保鲜、杀菌试验, 兹介绍如下:

试验所用的装置是乌田理化工业公司制的SMH500—1A型微波炉(图略)。该装置是功率为5千瓦、频率为2450兆赫的微波加热装置, 是和煤气红外线加热装置组合使用, 全长达12米传送带式的批量生产设备。

表1.1 用微波脉冲对香肠进行杀菌试验

试验材料	处理方式	表面温度 (°C)	每克试料的生菌数
A	未处理	—	17×10^5
B—1	85—90℃煮沸45分钟	85—90	23×10^2
B—2			27×10^2
B—3	脉冲波介质加热	86	26×10^2
C—1			12×10^2
C—3			24×10^2
C—5			15×10^2
C—8			10×10^2
C—9			12×10^2
D—4			22×10^2
D—6			14×10^2
D—8			11×10^2
D—10			13×10^2
D—13			16×10^2
D—16			10×10^2
D—20			9.5×10^2
D—24			12×10^2
D—27			9×10^2
D—31			11×10^2
D—36			12×10^2

注: A: 生原料, B: 在90—95℃热水中加热处理, C: 用1250兆赫脉冲介质加热(脉冲功率: 370千瓦, 平均功率: 370瓦, 160秒), D: 和C项同

首先, 用A公司产的三种生切乌贼(二次调味的、未作二次调味的和堆放在地面上的乌贼)及新鲜乌贼脚加工品, 以功率5瓦, 频率2450兆赫的微波照射, 并检验其杀菌效果。每一个晴纶袋装100克生切乌贼, 每次处理3公斤。照射前后的细菌数和微波杀菌方法示于表1.2。表中所列的试料是A公司产的不大符合卫生管理要求的生切乌贼和鲜乌贼脚的加工品。经连续微波处理的杀菌效果如表1.2所示, 生切乌贼的一般生菌数为每克12万—26万, 拆开袋子处理3分钟, 一般生菌数减到1.4千—2.4千。一般堆放在工场里的生切乌贼的生菌数为每克约二千一百万, 打开袋子用微波照射3分钟, 生菌数能急减至六千一百。另外, 生乌贼脚的加工品, 不用袋装, 一般生菌数为每克59万, 经1.5分钟照射后, 一般生菌数减至2.7万, 经3分钟照射, 一般都会减到千位。总之, 用2450兆赫的微波照射3分钟, 生切乌贼的生菌数一般都会减到千位, 这虽然显示了微波杀菌的有效性, 但这究竟是微波的特殊作用所致, 还是由于试料温度上升所致, 还是两者共同的作用, 目前尚未搞清。

表 1.2 用微波照射生切乌贼的杀菌效果

试料 编号	试 验 材 料	杀 菌 前			微波杀菌方法	杀 菌 后	
		一般生 菌数	大肠杆 菌群	芽胞 菌数		一般生 菌数	大肠杆 菌群
1	二次调味的生切乌贼	260,000	(—)	30	拆开包装, 微波照射3分钟后, 再密封	2,400	(—)
2	未作二次调味的生乌贼	120,000	(—)	70	同 上	1,400	(—)
3	放在地面上的生乌贼	21,000,000	(—)	240	同 上	6,100	(—)
4	生乌贼脚加工品	590,000	(—)	10	微波照射1分半钟后, 装上小袋再密封	27,000	(—)

说明: ①试料是A公司制的, ②所用微波是2450兆赫, 功率5瓦, 每次处理量为3公斤,

③一般生菌数、大肠杆菌群、芽胞菌数是每克试料的数值

其次, 用B公司产的“制干尤鱼的乌贼”, 改变包装和照射时间, 用功率为2千瓦、板流为600毫安、频率为2450兆赫的微波照射, 对其杀菌效果作了比较和探讨。试料每袋100克, 每次处理量为100克。照射前后的试料细菌数和照射杀菌法列于表1.3。试料是B公司卫生管理非常严格的出品。如表1.3所示, 试料用小袋密封包装, 经微波连续照射2分钟和3分钟, 则小袋破裂, 但杀菌效果显著。一般生菌数(每克)为19,000, 经2分钟照射剧减到为原来的 $\frac{1}{3}$ 即7,000, 经3分钟照射又减到约为原来的 $\frac{1}{8}$ 即2,300。照射一分钟, 小袋虽未破裂, 但几乎毫无杀菌效果, 一般生菌数, 不过由19,000减到18,000。其次, 拆开小袋, 用微波连续照射, 一般生菌数为19,000, 经2分钟照射约减至为原来的 $\frac{1}{3}$ 即7,200, 经2.5分钟照射约减至为原来的 $\frac{1}{4}$ 即4,700, 经3分钟照射约减至为原来的 $\frac{1}{5}$ 即3,500。由于小袋密封后照射会破, 必须重新密封, 因此, 制干尤鱼的杀菌, 以拆开小袋, 经2—3分钟照射再密封为宜。

表 1.3 用微波照射“制干尤鱼的乌贼”的杀菌效果

试料 编号	微波杀菌方法	一般 生菌数	大肠杆 菌群
A	原 料	19,000	(—)
B	小袋密封包装,微波照射1分钟不破。	18,000	(—)
C	小袋密封包装,微波照射2分钟袋破。	7,000	(—)
D	小袋密封包装,微波照射3分钟袋破。	2,300	(—)
E	小袋敞开,微波照射2分钟后封袋。	7,200	(—)
F	小袋敞开,微波照射2.5分钟后封袋。	4,700	(—)
G	小袋敞开,微波照射3分钟后封袋。	3,500	(—)

注:①试料是B公司的产品;②微波频率为2450兆赫,功率为2瓩,每次处理量为100克;③一般生菌数,大肠杆菌群为1克试料的数量。

最后,以C公司产的“生切乌贼”、“制干尤鱼的乌贼”和“干尤鱼脚”为试料,用功率2瓩,板流600毫安、频率2450兆赫的微波照射所得的杀菌效果。试料为每袋装100克,一次处理量100克。照射前后的细菌数和杀菌方法列于表1.4。另外,C公司是一个卫生管理比较周到的公司。从表1.4所列结果表明:“生切乌贼”敞开小袋用微波照射2分钟,一般生菌数由25,000约减到为原来的 $\frac{1}{5}$ 即5,400,这个数字和表1.3所示的结果大体一致。而“干乌贼”敞开小袋,用微波照射3分钟,一般生菌数由150,000剧减到约为原来的 $\frac{1}{60}$ 即2,500,这表明了微波杀菌的有效性。甚至,对不封口的袋装烤乌贼,用微波照射1.5分钟,一般生菌数由21,000减半为10,000。

此外,又如表1.2、1.3和1.4所示,本试验用的乌贼海味类,大肠杆菌群都是减号,并没有因为进行微波杀菌,使大肠杆菌群变为加号。而表1.2的试料中,对杀菌前的芽胞菌数进行了测定,而所有试料的芽胞菌数都有所减少。

总括以上实验结果,对于“生切乌贼”、“制干尤鱼的乌贼”不封袋口用微波连续照射2—3分钟,每克的生菌数一般都由万位数或十万位数减到千位数。这表明微波杀菌是有效的。经过这样处理后,再用热封为宜。另一方面,对于“生乌贼脚加工品”或“干尤鱼脚”加工品不封袋口照射1.5分钟,虽有较大的杀菌效果,但由于乌贼脚原来的生菌多,即使用微波照射,也不能减至千位。但是,如果能连续照射3分钟左右确能减至千位数。

不管怎样,用微波连续照射乌贼海味的杀菌效果,究竟是由微波的特殊作用所致,还是由于升温作用所致,或两者的共同作用,在这次实验中尚未能肯定。

表1.4 用微波照射乌贼制品的杀菌效果

试料 编号	试 料	杀 菌 前		微 波 杀 菌 方 法	杀 菌 后	
		一般生菌数	大肠杆菌数		一般生菌数	大肠杆菌群
1	生切乌贼	150, 000	(—)	不封袋口, 经微波照射3分钟, 再封口	2, 500	(—)
2	制干尤鱼的乌贼	25, 000	(—)	不封袋口, 经微波照射2分钟, 再封口	5, 400	(—)
3	干尤鱼脚(烤乌贼)	21, 100	(—)	不封袋口, 经微波照射1.5分钟, 再封口	10, 000	(—)

注: ①试料是C公司的产品; ②微波功率2瓩, 频率2450兆赫, 每次处理量为100克; ③一般生菌数、大肠杆菌群是1克试料的数量。

1.3.4 面包的防霉效果

面包制造的问题之一在于烤成后冷却和切块两道工序上。面包会受到空气中浮游的各种霉菌孢子的污染, 其后, 即便包装了, 也由于霉菌的繁殖力强, 而缩短保存时间。目前, 为了防止面包发霉, 作为一种防霉剂添加0.1%的丙烯酸钠。即使这样, 保存期也只不过5天左右。

奥尔森1965年用微波照射防止面包发霉, 取得显著效果。他用2450兆赫的微波照射包装的面包, 经21天后仍呈新鲜状态, 没有发现有霉菌发生。青霉和曲霉等霉菌孢子的致死温度, 据说一般是155—160°F, 处理20分钟。而微波处理后的最高温度为150°F, 且保持这一温度的时间是5—10分钟左右, 这在过去的加热杀菌常识中是不可想像的现象。推论认为: 其理由是由于霉菌细胞原生质内的盐类溶液对微波能吸收大, 而且是选择加热, 因而远比面包本身的温度高。

1.3.5 烹调食品的杀菌效果

一般说来食品加热是短时升温, 而且食品中心部温度若不超过65°C, 腐败细菌会在加热过程中繁殖, 另外, 加热后冷却时间一长, 残存细菌会在食品中再次迅速繁殖。因此, 重要的是必须在最短的时间内加热到一定的温度, 而微波炉则最适宜做到这点。

关于加热对象问题, 例如: 淀粉质等多孔性食品, 微波穿透深度达4.0—5.0厘米, 中心部的温度比表面高, 蛋白质食品的穿透深度是3.0—3.5厘米, 由表面向中心部穿透发热有时也有表面温度比中心部高的情况。这多半取决于食品本身的电子吸收好坏, 微波炉与煤气炉和红外线炉相比, 其优点是能把中心部分的升温时间缩短到1/4~1/10。

神奈川县卫生研究所的武原用微波炉(功率700瓦、2450兆赫)对猪排、烤制面包作了加热杀菌试验, 并对附着在器皿上的各种菌类进行杀菌试验, 兹介绍如下:

表1.5所列内容为用微波炉对烹制猪排时的照射时间、温度和附着细菌的杀菌情况。把厚1厘米、重100克的猪肉(照射前的温度13°C)放入直径15厘米的盒中, 每两盒用微波照射130秒, 其表面温度达70°C, 中心部尚未烧熟, 照射180秒, 表面温度达85°C, 中心部烧熟。其杀菌情况是, 照射前的大肠杆菌数为100个, 经60秒照射后变为0; 照射前生菌数为3000个, 照射140秒后也为0; 照射前霉菌、酵母数为10万个, 经140秒照射后变为0。作者认为猪排罩上耐热性聚乙烯薄膜照射即可。

表 1·5 微波炉对猪排的杀菌情况

项 目 \ 照射时间 (秒)	0	60	90	120	130	140	150	160
温 度 (°C)	13	51	58	68	75	76	78	85
大肠杆菌群数	100	0	0	0	0	0	0	0
生 菌 数	3,000	300	100	100	100	0	0	0
霉菌酵母数	100,000	50,000	30,000	3,000	3,000	0	0	0
肠 球 菌 数	0	0	0	0	0	0	0	0

表1.6 列出了对色拉面包和带馅面包各两个一组,用不同照射时间试验的杀菌效果。用微波照射虽略有减轻,为了防止重量减轻即干燥,用微波能透过的氯乙烯薄膜或聚乙烯等薄膜包封为宜。微波对烤制面包穿透力强,大肠杆菌群数100个左右的食物(照射前的色拉面包)经75秒照射能杀绝。生菌数1000的食品(照射前带馅面包),经90秒照射可使生菌完全消灭。如果生菌数为20万的食物(照射前的色拉面包),非150秒左右的照射不能完全杀绝。霉菌酵母菌数为万位的食物(色拉面包)和大肠杆菌一样,经90秒照射可杀绝。葡萄球菌1,000以上的食物(色拉面包)要完全消灭需12秒以上。总之,根据微生物种类和数量不同,照射时间也长短不一。

表 1.6 用微波炉处理面包的杀菌效果

品名	项 目	照射时间 (秒)									
		0	30	45	60	75	90	105	120	135	150
色拉面包	减重(克)	0	0.7	0.8	1.3	1.7	2.6	4.0	6.0	5.7	7.9
	温度(℃)	21	31	38	43	49	54	67	68	70	75
	大肠杆菌群数	100	100	100	60	0	0	0	0	0	0
	生菌数	200,000	100,000	100,000	100,000	80,000	20,000	8,000	50	30	0
	霉菌酵母数	10,000	10,000	10,000	10,000	5,000	0	0	0	0	0
	葡萄球菌数	1,000	1,000	500	300	300	300	100	0	0	0
带馅面包	减重(克)	0	0.7	0.8	1.3	2.2	2.9	3.8	4.9	6.4	8.3
	温度(℃)	20	31	47	59	65	81	81	83	85	85
	大肠杆菌群数	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	生菌数	1,000	1,000	1,000	1,000	300	0	0	0	0	0
	霉菌酵母数	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
	葡萄球菌数	200	200	200	100	0	0	0	0	0	0

表1.7 是对附着在盘上的大肠杆菌、肠球菌、芽胞菌用微波照射时间长短的研究结果。首先,在直径15厘米盘上放上经18小时培养的各种菌类,进行了1小时的试验。照射前的状况是在温度22°C的情况下,大肠杆菌群数2万个,肠球菌数4千个,芽胞菌数1万个。对其进行了几种时间的照射。就杀菌状况看来,大肠杆菌群数2万个,经80秒钟的微波照射减到2千个,照射90秒全部杀死,但是,4千个肠球菌,即令照射120秒,仍残存1百个。而1万个芽胞菌经120秒照射还残存3百个。把微波炉用于食品杀菌时,本实验经照射120秒仍有细菌,细菌的状态依含水量不同所能达到的温度也不同,特别是菌体微小,在照射中会被温度还未上升的盘子夺走,以至菌体的温度,升不起来,要彻底杀菌,需相当长的时间。

不管怎么说,关于微波杀菌问题,由于水分子中偶极子运动,会引起蛋白质和缩多氨酸盐结合,这会引起菌体内蛋白质和生理活性物质的变性,因此,用频率2450兆赫,功率700瓦左右时,不仅决定于微波照射的时间而且热效应的影响也很大,完全灭菌的照射时间需视各类菌的性质和数量多少而定。

另外,竹内铃木对袋装熟面条、熟荞麦面条、生面条和生荞麦面条用传送带式微波加热装置进行了杀菌、放置试验,与对照相比提高日产量2倍以上。这种微波对用塑料包装的食品有可以直接杀菌的优点。当然包装材料要不吸收微波,而且必须耐得住杀菌温度。

最近,还把微波用于蛋糕的杀菌、防霉等方面。

表 1.7 用微波炉对附在盘上的各种菌类的杀菌效果

项目 \ 照射时间 (秒)	0	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
温度 (°C)	22	50	55	57	66	71	74	88	89	90	90
大肠杆菌群数	20,000	20,000	20,000	10,000	3,000	3,000	2,000	0	0	0	0
肠球菌数	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	2,000	300	100
芽胞菌数	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	5,000	3,000	300	300

1.3.6 袋装湿式食品的杀菌

著者之一的露木在1971年11月到美国波士顿郊外的美国陆军研究所把凯蒸风味袋装潮湿食品置于25磅高压下(空气),一边从四面用微波(2450兆赫)照射,一边通过传送带,经10分钟,检查杀菌效果,并用黑色石蜡测热纸测温,效果良好。

1.4 食品的干燥脱水

一般,对水份多的食品进行干燥时,一开始就用微波加热,这就需要用大功率微波,特别对生鲜食品,会产生煮沸现象,所以这不是一种好办法。但M·R·Jeppson对各种加工食品和干燥蔬菜进行试验的结果表明,当含水率在20%以下的情况下,如果用微波加热,干燥效率可提高10倍以上。因此,用微波加热干燥时,无论从产品质量和经济效果来看,最好是结合空气干燥和温风干燥。

美国把微波技术用于土豆片最终干燥取得好成绩。土豆片加工的问题是,如果土豆含糖多,油炸过程中会产生焦糖化,而变成暗褐色并有苦味。加工者为了避免这种变色现象,或采购低糖分的原料土豆,或为降低土豆的含糖量,进行了室温储藏。但是,要把低糖原料

贮藏一年是困难的,而且,室温贮藏会促进发芽和腐败,而大量损耗。上述变色是在土豆中约90%的水分蒸发以后,突然产生的。但分两级处理是可以防止焦糖化现象的,即首先把切成片的土豆用普通的油炸干燥法使其含水率降至4—6%,然后把还比较软的切片再用890~940兆赫的微波照射。如果采用这种处理法,既无需进行原料选择,又不要室温贮藏,低温贮藏,故可以做到原料损耗小,并能缩短油炸过程和节约生产成本。

若在日本生产快速汤面也用微波干燥,不仅可节约炸油,还可以制出含油量少的清淡食品。对于炸甘薯、快速炸虾、油炸豆腐以及各种油炸食品的最后干燥,应用微波加热是有效的。

此外,对饮料的浓缩、茶叶的干燥,各种饮食料的脱水、干燥方面,微波有其广泛的应用前景。

1.5 冷冻鱼、冷冻肉的微波的解冻

随着冷藏加工链(Cold chain)的发展,冷冻加工原料(冻鱼、冻肉等)的解冻问题在食品卫生、质量和经济上都成了重要的课题,利用微波作为解冻能源的尝试,已逐步推广。

把作为电介质的冷冻加工原料置于微波电场中,外层和内层几乎会同时加热,内部加热的程度决定于电介质损耗系数大小等,和过去的解冻方法相比,可以缩短解冻时间。然而说成用微波加热能均匀加热冷制品的表层和内部或说成能从冷制品内部顺次向外加热,这两种看法都是错误的。实际上,加热是从表层迅速加热到内部。换句话说,虽然微波加热到达内部远比其他热源快,但冷冻品外部所受的热仍比内部大些,如果外加过高的电场能量,表层由于热集中,有时会引起冷冻品表面,特别是突起部分和角发生过热现象的危险。由于水的微波吸收率比冰大得多,在解冻时,如果冷冻品某一部分很快解冻而这部分的吸收率会急剧增加,越发促进这部分的解冻,因而会加快过热现象的发生。这种现象叫做击穿现象(Runaway),是产生过热和解冻不均匀的原因,因此应充分注意。

如上所述,微波解冻不是万能的,也有不适用的场合,因此要充分掌握微波加热的特征,研究适用的项目,进而也要考虑经济效果。

1.5.1 关于微波解冻问题

在介质加热解冻中,使用频率为300兆赫~30千兆赫左右的超高频的称为微波介质加热解冻(或叫微波解冻)。

如果把微波电场加到水和食品上,就引起极性分子和无极性分子极化,形成偶极子并指向电场方向。但是交流电场,形成偶极子的分子随电场变化而进行振动或旋转,并吸收能量而发热,但还时常看到用这个原理不能解释的现象。

这种加热现象的特征是物质本身就是一个发热体,其电介质的性状用介电常数和介电功率因数来表示,介电常数和介电功率因数之积称为损耗系数。在微波介质加热时,损耗系数的大小就是物质加热程度的大体上的标准数值,但它随着频率和温度的不同而变化。总之,发热量同频率、损耗系数成正比,和电场强度的平方成正比。另一方面,微波对冷冻食品内部的穿透深度与频率成反比。

因此,用微波解冻时,除了经济上、实用上和产品质量上的考虑外,还须对发热量和穿透深度充分考虑之后,再根据需要选择最佳频率。但是,并非任何频率都可任意使用。工业加热的一个重要问题是从国际分配的频率中选用频率。日本电波法允许2450兆赫作为工业用的频率,最近915兆赫也可使用。

1.5.2 微波解冻技术的问题所在

解冻就是把冷冻食品的冰结晶用加热方法使之化成水,而且还要把这种水还原到冻结前的食品组织内为目的,但不一定能全部还原,而有分离的,这就是解冻时发生滴水的原因。

在冷冻食品解冻时,要求①解冻时间短,②滴水少,保留水份高,③新鲜度、色、味、香、组织结构、营养价值和品质下降要少,④无食品卫生问题等。一般如果能在短时间内解冻,这类问题也就迎刃而解。

食品的传热率虽不太好,但冻结后比冻结前好。无论是冷冻食品时,还是在解冻时,都是通过表层传导的,这对冷冻来说是简单的,对于解冻就不那么容易了。即用旧的解冻法(除微波解冻法外)时,由于已经解冻的表层部分比冻结部分更难传热,因此,解冻时,表层和内层的温差拉大,等到内部完全解冻这就需要很长时间。

但是,随着时代的进步,花费很长时间的解冻法已不适应时代的要求,要求有一种利用新原理的快速解冻技术。微波解冻,由于是以冷冻食品本身微发热体,因此,非常适宜快速解冻。

近年来,英国已研制成功10—15兆赫高频介质加热方式的解冻装置,日本也推广了解冻冷冻鱼肉的装置(13兆赫,处理量为500公斤/小时或1吨/小时的装置)。日本的岛田方式是在两块极板间加高频电压,把冷冻食品置于电极间进行加热解冻的方法。本方法适用像冷冻鱼肉这种形状和质量统一的冷冻食品的解冻。但是,冷冻食品的形状是各异的,即使同一物体,由于部位不同,其含水率和组成也不同,因此,用频率高的全方向电场进行微波解冻比用高频平行电场解冻的时候更多。在低频时,由于外加电压增高,有容易引起放电的缺点。

下面,拟提出使用915兆赫和2450兆赫频率的微波解冻技术的一些问题并作一些探讨。

首先,微波解冻时的最主要的问题是解冻食品加热不均的问题。微波解冻虽然解冻时间短,而且表层和内部的加热温差小,与旧的解冻法相比,具有不可忽视的优点,但对大而形状复杂、凹凸状的冷冻食品解冻就比较困难。即突起部和棱角虽可快速解冻,但由于中心部分未解冻,如果进一步增加微波能量,让中心部分也解冻,则突起部分和棱角就会因过热而煮烂或烤干。产生这种加热不均的原因有:1.水和冰对微波的吸收率不同,2.解冻食品组织的差异,3.由于冷冻食品形状的不规则性引起的加热不均,4.微波能量密度分布不均等。

如上所述,微波解冻时冷冻食品发热量受被加热物体本身的介电损耗系数的影响。在冷冻的食品内部,因冰、水、蛋白质、脂肪、糖等化学组成不同,食品质量有粗有细,所以局部的发热量有差异,从而导致解冻不均匀。尤其是水的介电损耗系数比冰大得多,如果冷冻食品的一部分在解冻时化为水;这一部分的微波吸收量比其他部分要大,这就形成了升温加快而使周围的冰溶化。因此,微波能量则更加向这一部分集中,从而引起所谓击穿现象,成为产生局部加速升温的原因。加之在微波解冻时,微波随着从冻结食品表层向内部浸透,热能也随之逐渐衰减。因此,微波能集聚在外层比内部多。用什么方法减少这种外层的能量集聚,这是均匀而快速解冻不可缺少的条件。因此,要使微波解冻推广应用,一般多采用如下方法。

- (1)按照冷冻食品的大小、形状等,查明微波能量的穿透力,并选用最佳的频率。
- (2)对冷冻食品的大小、形状、品质和包装等进行改进,以便于采用微波解冻。
- (3)一面强制冷却冷冻食品的表层,一面用微波解冻,并在冷却过热部分中进行解冻,