

超高压技术





在19世纪末20世纪初，人们就认识到一般深海鱼类和生物可耐**50.6625 MPa**的压力。高压技术的起源是用于生产陶瓷、钢铁和超合金，以制作高速硬质合金刀具。如在压力**130~270 MPa**下使金属材料经过模孔形成长形产品。直到本世纪**80**年代末；日本学者首倡食品的超高压处理。**90**年代日本已有超高压果酱、调味品、饮料等多种产品上市。目前其发展前景良好，已为各国关注和重视。



一. 超高压技术的概念、发展历史

1. 超高压技术的概念

一般所说的超高压(简称高压),指的是超过100兆帕(约为987个大气压)以上的压力。

所谓超高压技术(简称高压技术),是指应用超高压(100Mpa-1000Mpa)作用于待处理物质使之发生改变的过程。



2. 历史 **超高压技术：百年历史、食品加工技术的革命、加工鲜榨果蔬汁的发展趋势！**

追溯起历史，超高压食品(简称“高压食品”)的研究几乎与现代高压技术的发展同步。高压技术的发展，大致经历了三个发展阶段：

第一阶段：理论奠基阶段(19世纪末期~20世纪40年代)。

早在1899年，美国化学家BertHite首次发现了450 MPa的高压能延长牛乳的保藏期，以后相继有很多报道证实了高压对各种食品和饮料的杀菌效果。



公认的开创现代高压技术先河的却是美国物理学家**P. W. Bridgeman** (由于他的高压研究, **1946**年获得诺贝尔物理学奖), 他在**1906**年开始, 通过高压实验技术, 对固体的压缩性、熔化现象、力学性质、相变、电阻变化规律、液体的粘度等宏观物理行为的压力效应进行了极为广泛的系统研究, 并于**1914**年发现在**700Mpa**下鸡蛋的卵蛋白成凝胶状, 引起蛋白质凝固的现象, 这是超高压技术应用于食品加工的理论雏形。但是限于当时的条件, 如高压设备、包装材料的开发研制以及产品的市场需求和有关的技术原因等, 这些研究成果并未引起足够的重视, 在实际生产中也未得到推广和应用。



第二阶段为理论实验阶段(20世纪40年代末期~20世纪80年代)。

这一时期超高压技术在食品上应用研究未形成气候，但在聚态物理上的研究和在化工及冶金工业上的应用得到了迅速的发展。随着高压装置特别是金刚石高压容器的研制和应用，高压实验引向深入，静态高压技术突破了百万大气压，动态高压技术压力提高到数千万大气压，使(超)高压理论进一步获得完善，为超高压技术在食品上应用奠定了技术基础。



第三阶段为理论应用阶段(20世纪80年代末~至今)。

随着现代高压物理的诞生和发展，20世纪80年代末首先在日本出现了食品的超高压加工技术。1986年日本京都大学的林力九教授率先开展了高压食品的实验，引起了日本工业界的浓厚兴趣，掀起了(超)高压技术在食品中的应用基础研究热潮，日本国内的很多学者，如小川浩史、昌子有、崛江耀、松本正等也纷纷开展了与此有关的实验研究工作。为产业化开发作准备的大量前期研究，终于使世界于1990年4月迎来了第一批高压食品——果酱(草莓酱、苹果酱和猕猴桃酱三个品种，七种风味系YU)的问世并在日本取得良好的试售效果，引起了整个日本国内的轰动。高压加工的果酱在日本超市的问世，揭开了高压理论(超高压技术)在食品加工应用的序幕。



- **1986**年日本研究了超高压下食品物料特性、化学性质、色泽、风味、酶及微生物变化规律，并于**1989**年日本制造出食品超高压试验机。
- **1990**年日本实现了超高压加工果汁、果酱的工业化生产。
- **1998**年美国制造的**2**条超高压生产线用于墨西**AVOMEX**公司加工鲜榨油梨浆。日本、法国、西班牙等国将超高压技术用于果蔬汁、果酱、水产品、火腿等的杀菌和保鲜。
- **90**年代华南理工大学、合肥工业大学、杭州商学院、内蒙包头等开展了**UHP**的研究。

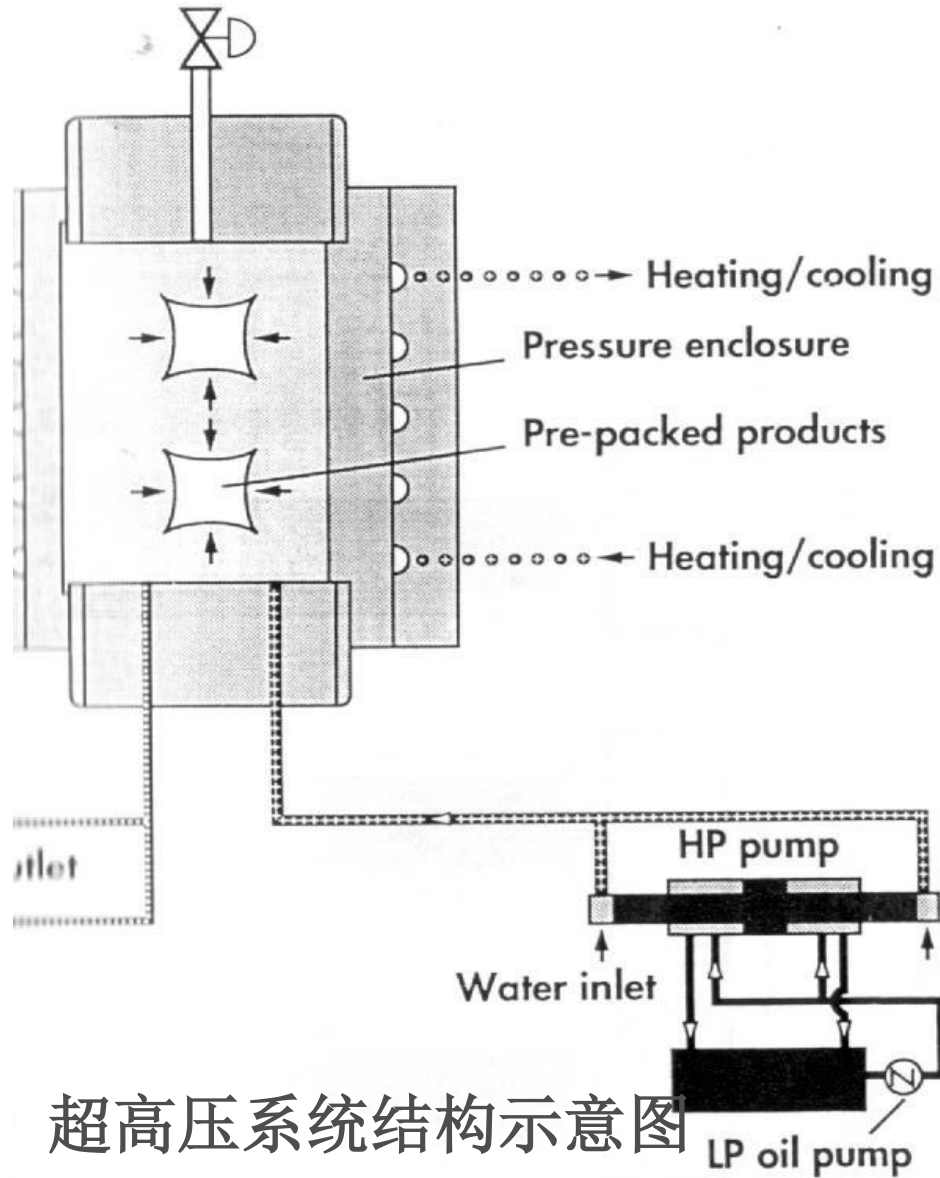
问题：学科融合的面和度较窄，**UHP**机理及应用研究深度不够。

二.超高压技术的原理及特点



高压处理过程中，物料在液体介质中体积被压缩，超高压产生的极高的静压不仅会影响细胞的形态，还能使形成的生物高分子立体结构的氢键、离子键和疏水键等非共价键发生变化，使蛋白质凝固、淀粉等变性，酶失活或激活，细菌等微生物被杀死，也可用来改善食品的组织结构或生成新型食品。





超高压系统结构示意图



超高压实验机和生产机



1、超高压杀菌技术的基本原理

超高压杀菌：通过加压系统，经过媒介水或油将压力均匀传递到食品内各个部位，导致微生物的形态结构，生物化学反应，基因机制以及细胞壁发生多方面的变化，从而影响微生物原有的生理活动机能，甚至使原有的功能破坏或发生不可逆的变化，杀死或抑制微生物，使酶失活的一种非热力加工方法。

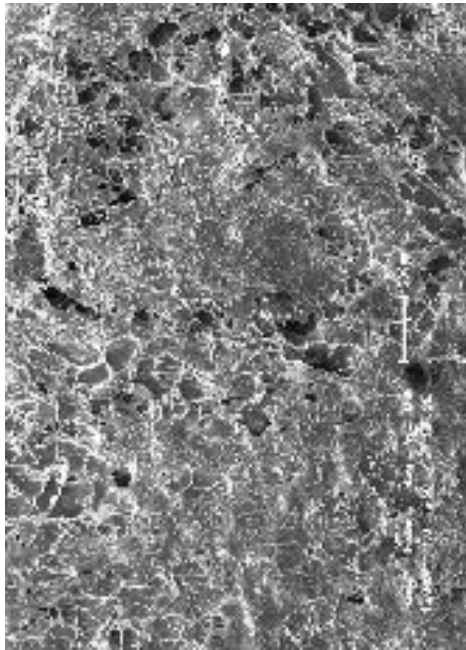
因此可保持食品原来的特性，没有热加工的副作用。



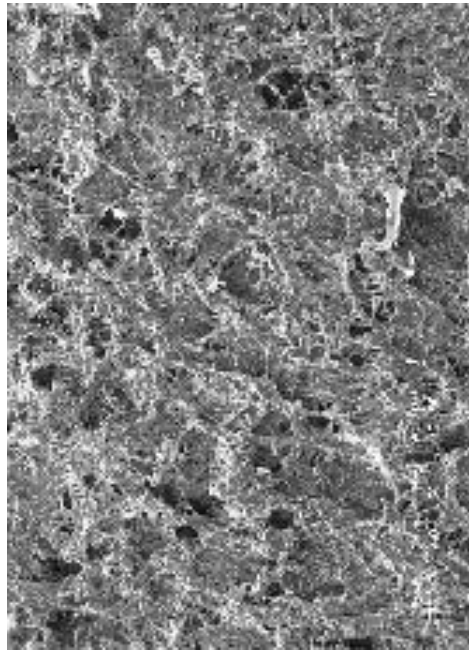
- 超高压作用下，微生物细胞膜的渗透性改变。
- 超高压作用下，酶的三、四级结构变化。
- 超高压破坏高分子的氢键、离子键、盐键，对共价键影响小。
- 超高压对香气、维生素、色素等小分子无破坏作用。



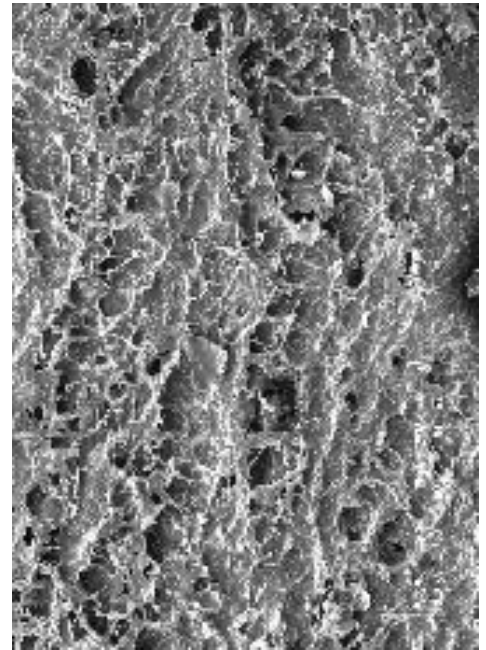
不同方法加工的鲍鱼组织结构



未处理



加压处理



加热处理



2、超高压技术特点：

高压处理基本是一个物理过程，对维生素、色素和风味物质等低分子化合物的共价键无明显影响，从而使食品较好地保持了原有的营养价值、色泽和天然风味。

- ①瞬间压缩、作用均匀、时间短、操作安全和耗能低；
- ② 污染少(热、化学)，绿色环保；
- ③ 更好保持食品的原风味(色、香、味)和天然营养(如维生素C等)；
- ④ 通过组织变性，得到新物性食品；
- ⑤ 压力不同作用影响性质不同；
- ⑥主体杀菌设备占地面积小，自动化程度高，实现连续化生产。



缺点：

- 产品成本相对较高。
- 产品的生产条件和冷链的控制技术要求较高。
- 产品的加工、贮藏、运输、销售需有冷链的支持。



3、果蔬汁超高压杀菌工艺的设计

超高压加工果汁清汁和混浊汁的工艺流程：

香梨清汁工艺设计如下：

香梨→挑选、清洗→去梗→粗破→螺旋榨汁→粗滤→酶解
→膜过滤→**UHP**处理→无菌灌装→检验

哈密瓜浊汁工艺设计如下：

哈密瓜→挑选、清洗→臭氧水消毒→去皮、切分→打浆
→胶磨→调配→瞬时升温→脱气→均质→**UHP**处理→无
菌灌装→检验



超高压前处理工艺参数与控制

清洗：清水冲洗，机械刷洗、臭氧水和氯类消毒剂混合浸洗消毒。

新鲜胡萝卜、番茄、哈密瓜用臭氧水清洗消毒可将原料的初菌数控制在 10^4cfu/ml 左右，切分、破碎的温度控制在 $15\sim 18^\circ\text{C}$ ，果汁待料时间小于 30min 。

脱气、均质和冷却。

哈密瓜汁采用 $60\sim 65^\circ\text{C}$ 瞬时升温、 350mmHg 脱气去除空气泡沫，用 40Mpa 压力均质可保证产品组织状态的均一性。哈密瓜属热敏性食品， 70°C 、 $1\sim 5\text{min}$ 加热即可造成香气的损失，甚至导致变味，应避免长时间加热，适度冷却并控制超高压处理过程的产品温度。



超高压杀菌工艺参数的确定

UHP杀菌参数 P (Mpa)、 T °C、 t (min)和pH确定原则:

- 食品处理后确保达到商业无菌状态。
- 食品品质最佳。
- 生产效率符合设计要求。
- 设备使用寿命符合设计要求。
- 设备运行成本及产品成本适中。



压力和时间

- 目标菌和目标酶的耐压性。
- 低酸性果蔬汁超高压处理的强度通常为500Mpa、20min。
- 酸性果蔬汁超高压处理的强度通常为400Mpa、20min，

温度和pH值

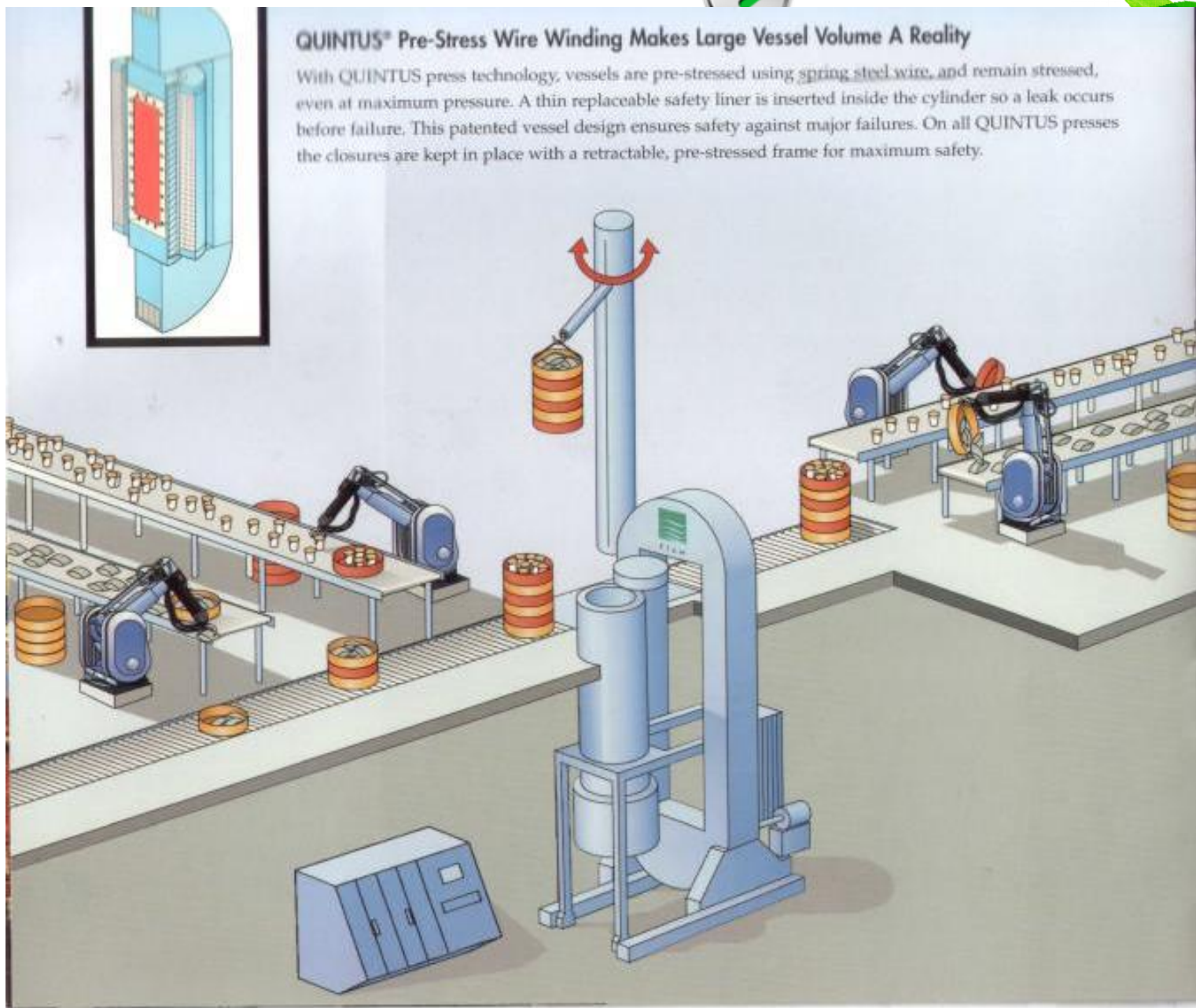
- 超高压条件下微生物对温度敏感，如：物料加热至60~70℃可提高超高压杀菌的效果。
- 食品的pH值不同，其UHP杀菌的目标菌不同，在高压作用下，食品的pH值将影响微生物的耐压性。
- 香梨清汁（ $\text{pH} < 4.6$ ，水分活性 $A_w > 0.85$ ）UHP杀菌的目标菌为酵母、霉菌及非芽孢细菌，它们对pH的变化敏感。
- 哈密瓜浊汁（ $\text{pH} > 4.6$ ， $A_w > 0.85$ ）UHP杀菌的目标菌为芽孢杆菌，它们对pH和温度的变化不敏感。

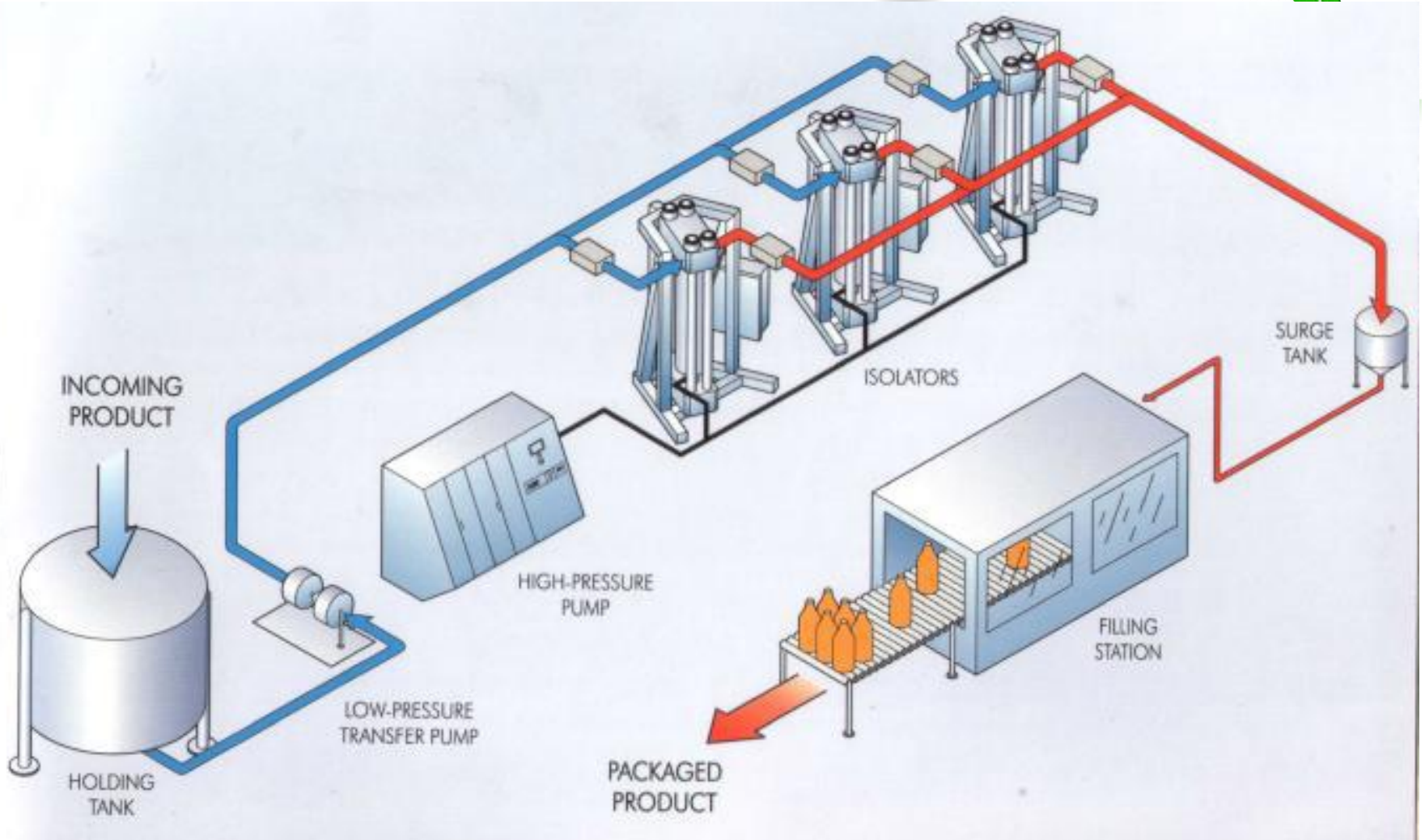


施压方式

- 不同种类的微生物对压力大小及其变化的敏感性不同，可采用连续式、间歇式、半连续式杀菌。
- 在实际生产中，采用连续施压方式较经济合理即压力由**0Mpa**直接升到超高压处理设定的压力，升压速度为**100Mpa/min**。

超高压间歇式生产线





超高压连续式生产线



4、超高压加工食品的包装材料

- 超高压的生产方式有间歇式和连续式二种，要求的包装材料不同。
- 间歇式生产包装材料要柔软、可变形，生产中采用复合软包装袋（盒）。
- 连续式生产采用的包装材料及形状较广，原则上凡适合无菌灌装系统的包装材料皆可，如：**PET**、利乐包、玻璃瓶等。



**25 litres (6 US gal)
Cardboard boxes**





5、UHP对食源性微生物的致死或抑制作用

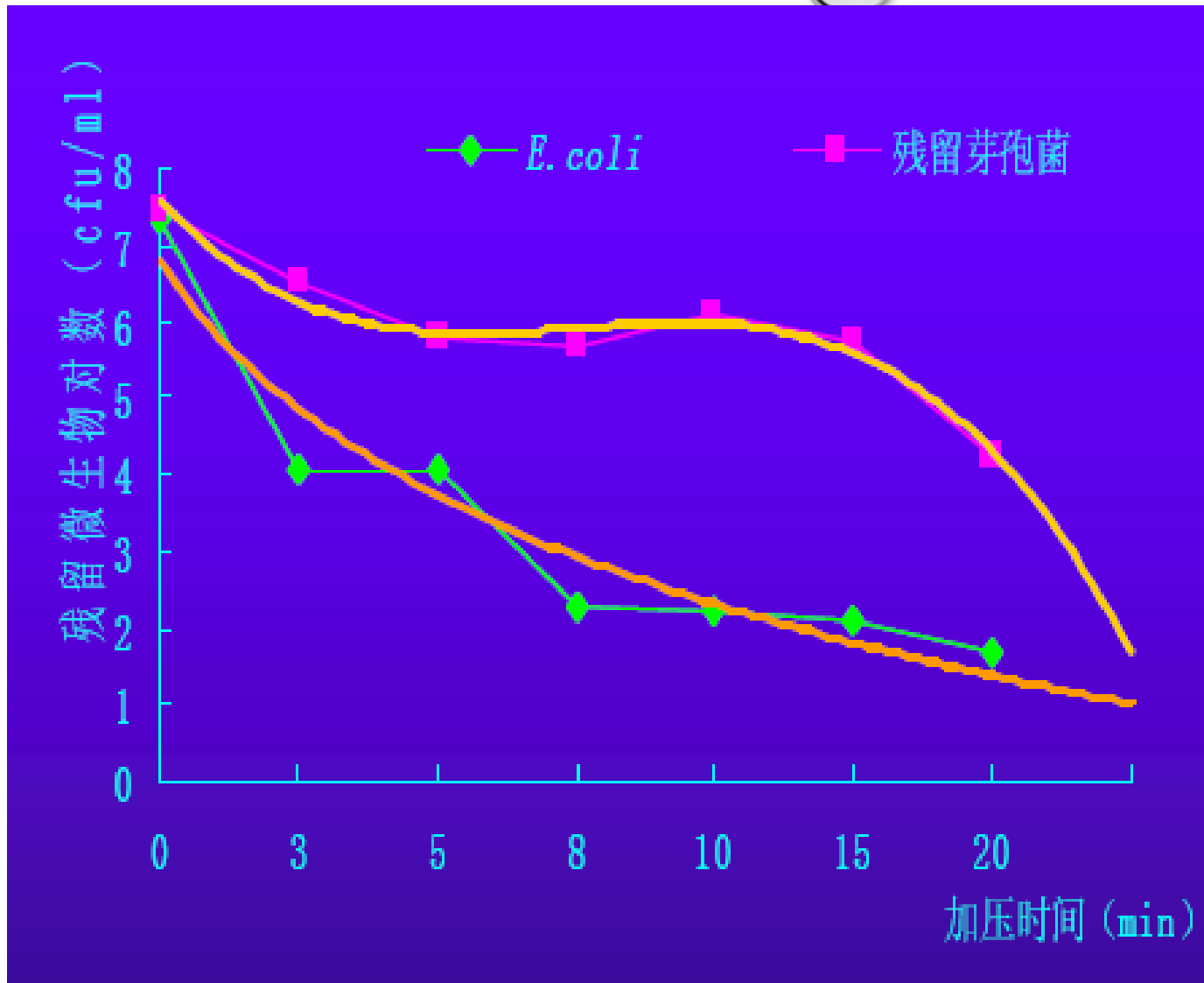
- **G-**微生物较**G+**微生物对压力敏感；杆菌比球菌对压力敏感；对数期微生物较生长期微生物对压力敏感。
- 不同种属微生物对压力敏感程度不同，施压过程提高温度或常温条件下提高压力则这种差异会减小。
- 食品中的微生物细胞较缓冲液中的细胞更耐压。
- 超高压处理过程**PH**值低、水分活度高及添加防腐剂有助于杀菌抑菌。
- 微生物的存活率随压力、温度的提高而降低，而受压力作用时间的影响较小。



压力、pH值、时间对酸性、中性果汁中大肠菌致死程度的影响

P(MPa)	Log No/N					
	min	pH3.4	pH3.6	pH3.9	pH4.5	pH5.0
400						
	1	1.9	1.1	0.9	0.8	0.4
	2	3.3	1.8	1.4	1.1	0.8
	4	5.9	3.1	2.5	2.6	1.6
500						
	1	5.4	3.5	1.9	3.2	2.0
	2	>6.0	4.4	3.1	4.2	3.1
	5	>0.6	>6.0	5.6	5.2	3.9
550						
	1	>6.0	4.1	4.1	3.5	2.8
	2	>6.0	5.9	>6.0	3.9	3.5
	5	>6.0	>6.0	>6.0	5.9	3.5

来源: Pathogen Inactivation by High Pressure Treatment of Foods.
Horst Luwig Edited. 1999, 108~109.



超高压处理对金皇后瓜汁中微生物的影响

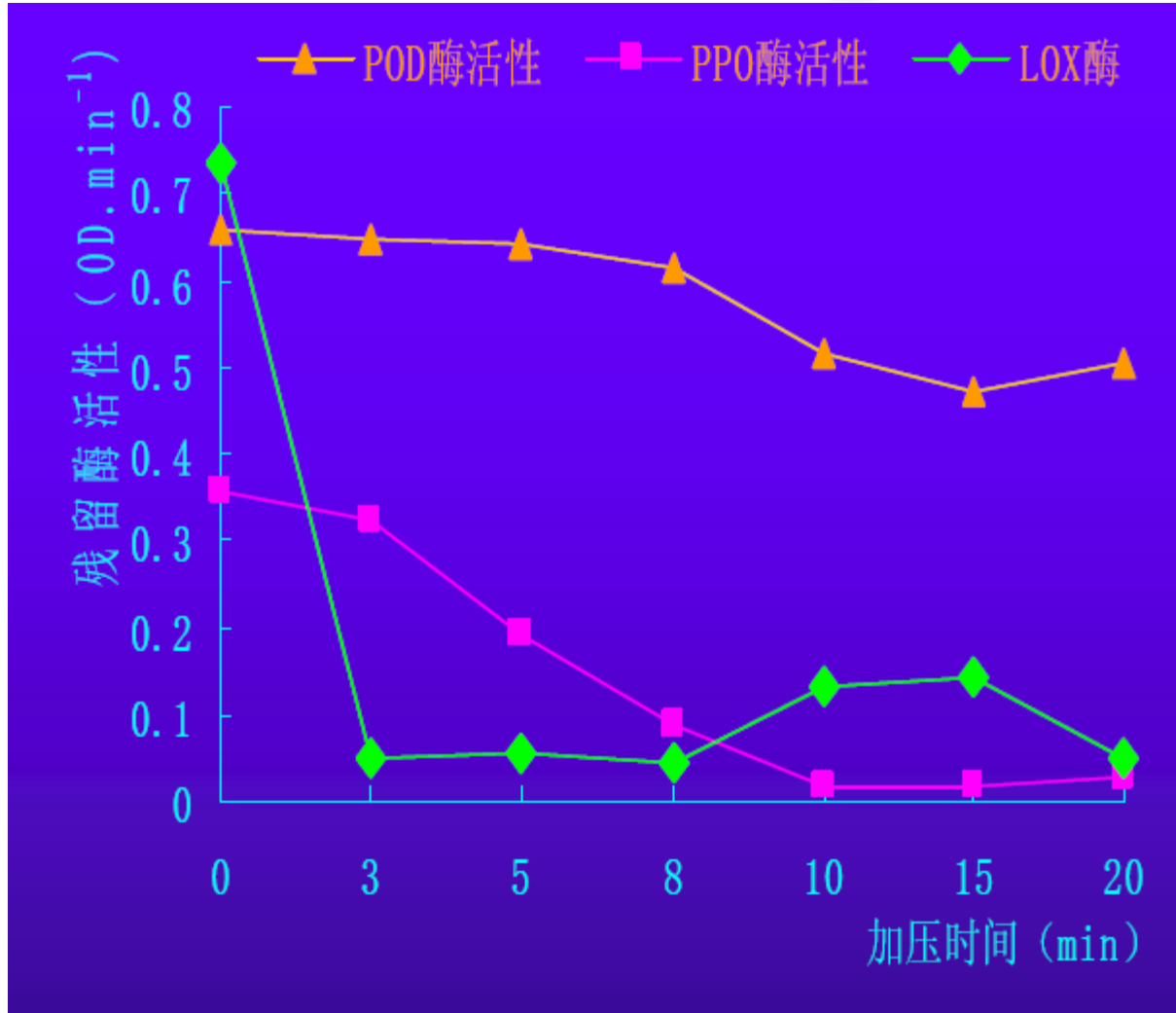


6、超高压处理对酶的影响

超高压对POD酶的作用

基质或介质	压力/Mpa	时间/min	温度/°C	失活度
番石榴	600	10	25	20%
红葡萄	600	—	60	56%
苹果	900	1	20	100%
草莓酱	230	15	43	25%
橙汁	400	15	32	50%
缓冲液	600	10	23	30%

来源: 潘科等, 食品科学, 2003, Vol.24, No.3, 142-145



超高压处理对金皇后瓜汁中酶的影响



7、超高压加工鲜榨果蔬汁的安全性

- 美国**FDA**规定鲜榨果蔬汁加工必须采用一种或多种冷加工方法，并且这种方法可使致病菌减少**5**个对数周期，采用**E.coli O157:7H**为模式菌株，超高压处理可使其减少**5~6**个对数周期。
- 甜瓜汁的对象菌为芽孢杆菌，经**500Mpa**、**20min**处理，其细菌总数的理论和实际值均符合国家饮料的卫生标准即 $N \leq 100\text{cfu/ml}$ 。
- **4~8 °C**、冷藏**6**个月的哈密瓜汁保持了其原有的品质。



三、超高压技术研究应用现状

目前，日本在超高压食品加工方面仍居于国际领先地位，已拥有大量的食品超高压处理实验装置和生产设备，果酱、果汁、鱼糜制品等超高压食品已进入超市，并且有了食品超高压加工、杀菌、保鲜的专利技术。

日本超高压技术在食品加工上的成功应用，很快引起了德、美、英、法等欧美国家及南朝鲜的高度重视。它们先后投入巨资对高压食品的加工原理、方法、技术细节及应用前景开展了广泛而深入的研究。



美国已将超高压技术列为**21**世纪食品加工、包装的主要研究项目，并已有小规模工业化生产。目前，国外超高压技术已在果酱、果汁、含果肉的果冻、豆浆、乳蛋白制品、鱼糜鱼糕、鱼肉制品、牛肉制品、甲壳类水产品等开展过系列研究，并取得了产业化效果。

中国超高压技术在农产品加工中应用还处于起步阶段，国内对食品超高压技术研究较有影响的科研单位寥寥可数，主要有黑龙江商学院、杭州商学院、华南理工大学、中国农业大学、合肥工业大学等。



开拓中国超高压技术的学者

❖ 黑龙江商学院——叶怀义

教授、食品学院院长，在没有超高压试验设备的条件下，借用国家地震局的**400mpa** 设备进行早期的超高压实验研究，**1995** 年发表我国第一篇超高压加工技术论文《超高压对过氧化物酶的影响》，此后对淀粉的超高压糊化进行研究，发表了《高压对淀粉糊化特性的影响》多篇论文

❖ 中科院上海生化所——阮康成

研究员、副所长，**80** 年代末从美国引进手动超高压设备，对生物大分子进行研究，发表了关于蛋白质、灭菌、酶的构象、病毒、疫苗等方面的论文，在**2004** 年巴西召开的第三届国际超高压生物和食品学术交流会发表论文，是我国在国际上发表论文最多的学者，其培养的博士，大多数在国外深造或工作。



❖ 中国农业大学——李里特、南庆贤、胡小松

雀巢咖啡赠送中国农大一台日本制造的小型超高压装置，开始进行超高压技术的研究，并培养了很多有水平的超高压技术人才。李里特副校长的研究生张宏康完成了很有影响的博士论文《超高压对生物大分子的影响研究》；南庆贤院长的研究生靳焯完成了《高压处理对鲜牛肉感观性能的影响》等博士论文；胡小松院长的研究生马永昆完成了《超高压鲜榨哈密瓜汁加工工艺技术的研究》博士论文，为我国各院校开展超高压技术专业，培养了骨干力量。**2008**年，农业大学承担了国家**863**计划，其中包括超高压食品的非热加工。



❖ 内蒙古农业大学——德力格尔桑、靳焯

教授、食品学院院长，德力格尔桑较早对超高压加工技术进行研究的学者，其代表论文有《超高压处理对绵羊肉嫩化机理的研究》等 **10** 余篇论文。靳焯对超高压加工牛肉进行多方面的研究，发表了《高压处理对鲜牛肉感观性能的影响》。

❖ 南京农业大学——江汉湖

教授、食品学院院长，最早进行超高压项目研究的教授，第一个承担国家项目“超高压技术在大豆食品深加工中应用”，并进行超高压灭活芽孢致病菌、酶等多方面研究，培养出邱伟芬、高瑀龙、董明盛等博士。

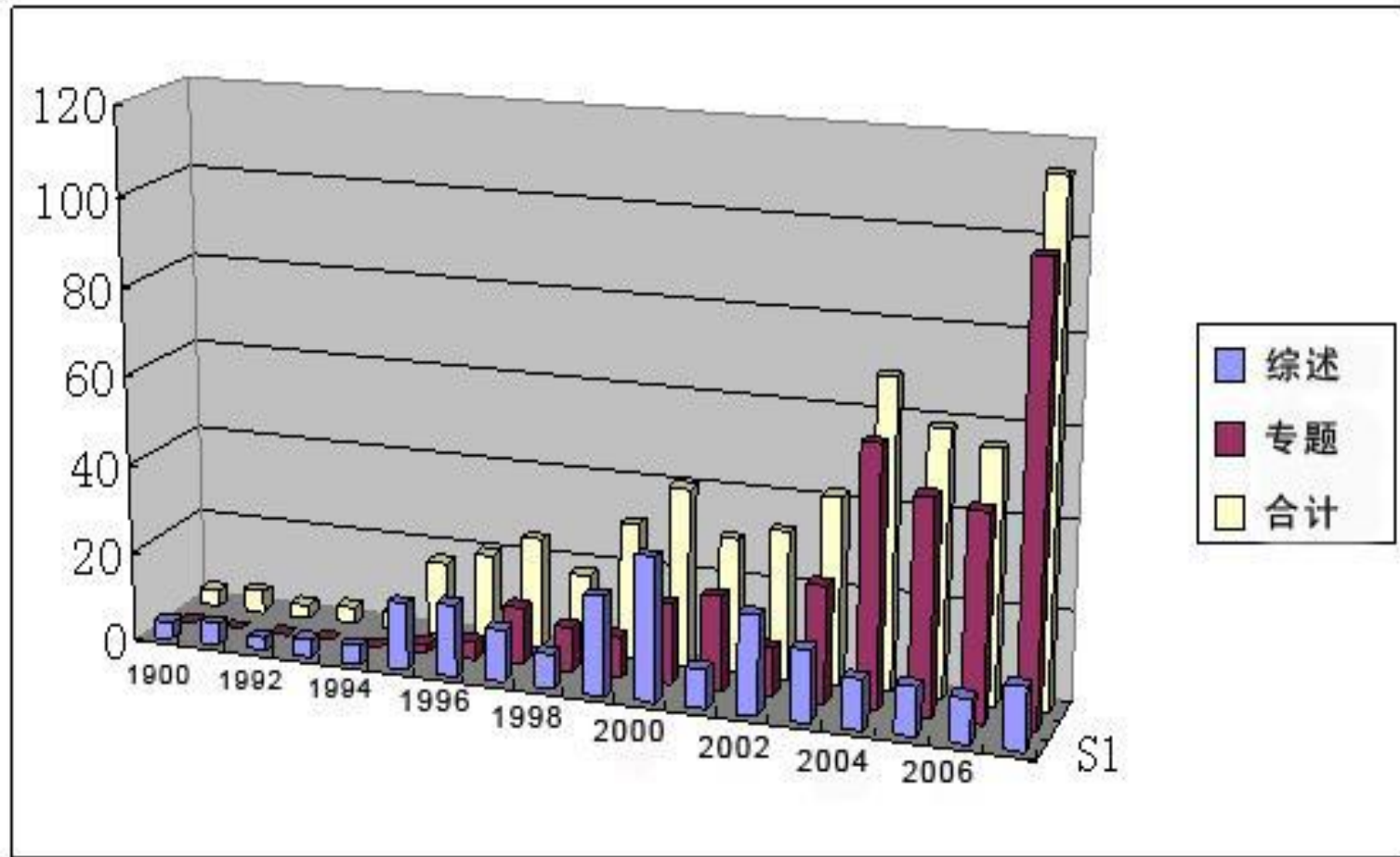
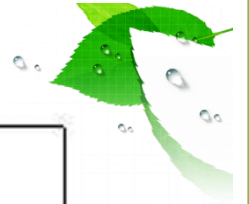


❖ 浙江工商大学——励建荣

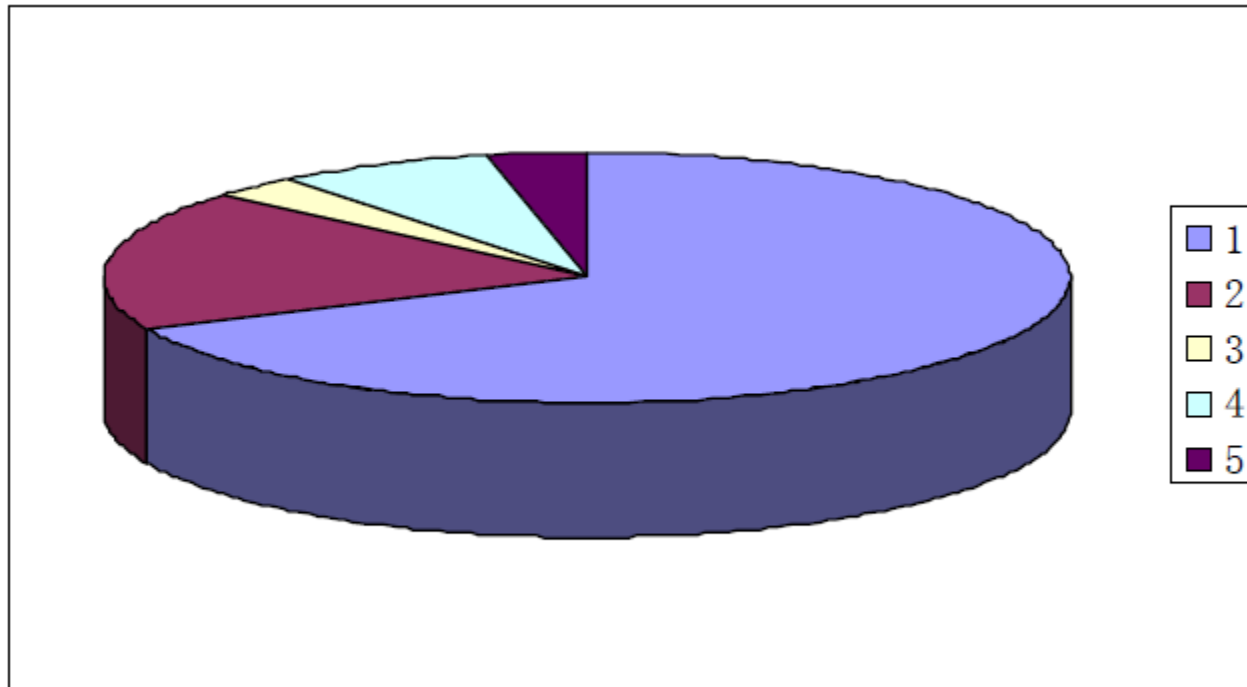
浙江工商大学教授、生物食品工程学院院长，最早进行超高压技术研究的学者之一。其代表论文《高压催陈黄酒的研究》、《超高压对酶活的影响》等，多年来一直坚持不断地进行超高压技术研究，并承担了国家**2008**年海洋领域水产品安全方面**863**计划项目，其中包括超高压技术。

❖ 吉林大学——张守勤

吉林大学教授，多年来在超高压提取植物有效成分方面进行了大量的研究，并且获得多项国际和国家专利，在中药提取领域取得一系列成果，为我国中药现代化做出了贡献。其中代表性的论文如《常温超高压提取人参总皂苷》、《高压技术提取朝鲜淫羊藿总黄酮的研究》、《纤维素酶提取红景天总黄酮的研究》、《超高压提取刺五加叶中总黄酮的研究》等

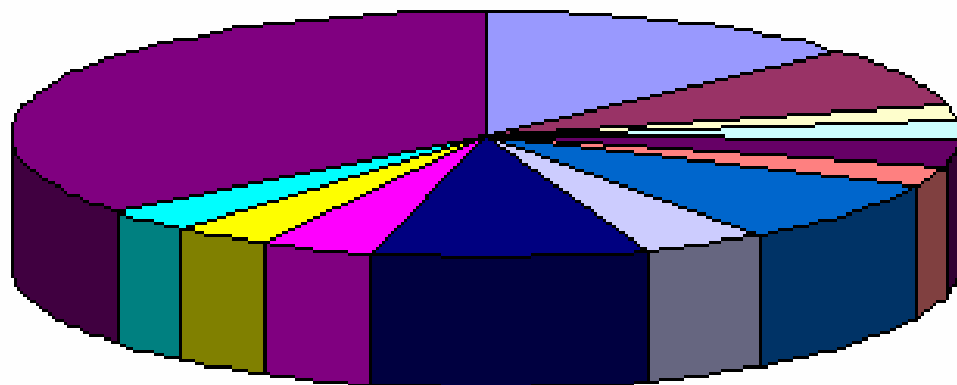


1990-2007发表的超高压技术论文统计



1 食品 420篇68% 2 生物 111 篇18% 3 医学19篇3%
4 提取 44篇7% 5 育种21篇3%

超高压论文涉及的领域



- 果汁果酱 (66)
- 奶制品 (38)
- 豆制品 (11)
- 酒 (12)
- 水果蔬菜 (18)
- 水产品 (14)
- 肉制品 (42)
- 淀粉 (20)
- 菌 (47)
- 酶 (20)
- 食品品质 (16)
- 冷冻保鲜 (16)
- 综述 (178)

食品领域的超高压技术研究

中日超高压技术产业化的差距



❖ 产业化方面的差距

日本从**1986**年开始进行超高压技术的研究，到**1991**年明治屋生产超高压果酱，只用了**5**年时间，之后超高压果汁、超高压大米饭、超高压肉制品陆续上市，已经形成产业，在市场已经有很大的影响，并且整条生产线出口韩国、中国及其它地区。

而中国从**93**年开始研究超高压技术，直到今天已经**15**年，还是以研究为主，没有一个有影响的超高压产品推向市场。



❖ 设备拥有量的差距

2003 年日本拥有**150**多台超高压设备；

中国**2000** 年研制出第一台超高压设备产品后，直到**2008** 年仅有**43** 台（见下图），其中**30** 多台实验机，几台生产设备一般仅有**50** 升左右。

❖ 超高压设备制造的差距

日本生产超高压设备的企业多，中国只有**2-3** 个企业生产超高压食品加工设备。

❖ 科研项目与产业化脱节

中国高等院校以“论文+经费”为导向，申报国家项目，致使大量科研成果束之高阁，未能转化为产业。日本将超高压技术列为重点发展的新技术产业，组织“官、产、研”等**23** 个院校、企业、研究所，投入大量资金，共同攻关，实现了超高压食品加工技术产业化



至于超高压装置设计方面，中国尚无十分完善的标准，因而给设计工作带来一定的难度。

总体来说，中国超高压技术和超高压装置研制与国外相比存在较大差距。超高压技术在农产品加工中的应用还缺乏系统研究，有关处理工艺、处理参数等尚未明了。迄今为止，中国超高压技术尚未实现产业化，还没有自己的超高压食品上市。



四. 超高压技术应用前景

超高压技术应用于食品加工、杀菌、保鲜及改善风味方面有着其独特的作用，可以预想，随着人们对绿色食品的呼声和检验要求日益提高，超高压食品必将引起市场和消费者更大的青睐。而这主要将在以下几个方面首先或获得应用。