

研究进展

超高压处理对包装材料影响的研究进展

王淑娟¹, 程欣¹, 唐亚丽^{2,3}, 卢立新^{2,3}

(1. 江南大学, 无锡 214122; 2. 中国包装总公司食品包装技术与安全重点实验室, 无锡 214122;
3. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 无锡 214122)

摘要: **目的** 探讨超高压处理对聚合物包装材料包装性能及其可逆性影响的研究现状及未来研究方向。**方法** 从超高压处理对食品包装材料阻隔性能、热性能、结构变化及可逆性能的影响等方面, 综述了超高压杀菌技术的研究现状及进展。**结果** 对不同超高压处理条件下包装材料的阻隔性能、热性能、结构变化的研究结果差别较大, 甚至相互矛盾, 且鲜有人研究这些性能是否可逆。**结论** 随着超高压处理对包装材料影响研究的不断深入, 关于包装材料性能变化的微观机理研究会越来越深入。

关键词: 超高压杀菌; 包装材料; 阻隔性能; 热性能; 结构变化; 可逆性

中图分类号: TB484.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2015)13-0139-07

Research Progress of High Pressure Processing on Packaging Materials

WANG Shu-juan¹, CHENG Xin¹, TANG Ya-li^{2,3}, LU Li-xin^{2,3}

(1. Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Key Laboratory of Food Packaging Techniques & Safety of China National Packaging Corporation, Wuxi 214122, China; 3. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: This paper studied the current research status and future research directions of the effect of high pressure processing (HPP) on packaging properties and reversibility of food packaging materials. This review illustrated the research status and development of HPP treatment in barrier property, thermal property, structural changes, reversible and other aspects. This review showed that in contrast to the research results on the effect of HPP on food quality, the results on packaging properties and structural changes of the food packaging materials had great differences and even contradictory in related researches, what's more, there were few studies on reversibility of packaging properties. With the development of researches on the effects of HPP treatment on packaging materials, there will be more and more deep studies on the reversible mechanism of packaging materials.

KEY WORDS: high pressure processing; packaging materials; barrier property; thermal property; structure changes; reversibility

超高压杀菌是一种广泛应用于食品灭菌的非热加工技术之一^[1-4]。与传统热加工技术相比, 其成本更低, 能最大限度地保持食品原有的口感、营养价值及感官特性, 并在一定程度上延长产品的货架期^[5-7]。作为食品加工和保鲜新技术中最有潜力的超高压杀菌技术得到越来越多的关注^[8-9]。

超高压技术(Ultra High Pressure, HPP)是指将待处理的软包装食品放入密封的、高强度的压力容器中, 施加 100 MPa 以上的静水压力, 并保压一定时间, 压强以液态水或油为介质均匀地传递至处理物的表面, 以此来达到灭菌的效果^[10-11]。目前, 超高压食品包装中常用的软包装材料主要包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、尼

收稿日期: 2014-12-05

基金项目: 国家自然科学基金(31101376)

作者简介: 王淑娟(1989—), 女, 河南商丘人, 江南大学硕士生, 主攻食品包装技术。

通讯作者: 唐亚丽(1982—), 女, 河北张家口人, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为食品安全、食品包装技术。

龙(PA)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、乙烯-乙烯醇共聚物(EVOH)、聚偏二氯乙烯(PVDC)、聚乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(EVA)及铝箔(AL)等^[12-13]。在超高压处理过程中,压力每增加 100 MPa,食品的温度上升 2~3 ℃,具体的数值还会因食品的成分不同而不同,分子之间的摩擦也会产生一定的热量,使食物-包装体系的温度升高^[10],温度升高会影响到产品包装。因此,包装材料在 HPP 处理中,应能够承受温度升高和体积减小的双重作用,以及材料性能的变化应在可逆(可恢复)变形的范围内^[14-17]。为此,开展在 HPP 处理后不同聚合物包装材料的阻隔性能、热性能、结构变化及材料可逆性的研究,建立 HPP 处理对聚合物包装材料的分子作用机制尤为重要。

1 HPP 对聚合物包装材料阻隔性能的影响

HPP 处理后包装材料的渗透率是否可逆,与超高压处理前后包装材料的阻隔性能息息相关。目前,国内外有大量研究者对 HPP 处理后包装材料的阻隔性能进行了研究,但均没有统一的研究结果,甚至相互矛盾。

在国外,Lo pez-Rubio^[18]等人研究了以 EVOH 为阻隔层的包装材料渗透性,在不同条件下(400 MPa/40 ℃,400 MPa/75 ℃,800 MPa/40 ℃,800 MPa/75 ℃)分别对基层为 EVOH26、EVOH48 的复合薄膜 PP(100 μm)/EVOH(10 μm)/PP(100 μm)处理 5,10 min,得到薄膜对氧气传输速率的影响。结果表明:含有相对较多乙烯醇结构的 PP/EVOH26/PP 薄膜的氧气透过率更低(均低于 1 cm³/(m²·d))。经 HPP 处理后,PP/EVOH26/PP 的阻隔性能与常压下相比略有提高,研究者认为,这可能是由于 HPP 在处理过程中,材料的分子链发生运动出现了结晶现象,而结晶的轻微增加可以提高材料的阻隔性能,进而影响材料的氧气透过率。

Lambert 等人^[19]研究了 HPP(500 MPa,20 ℃,30 min)处理对 PA/MDPE,PA/LLDPE,PET/PVDC/PE,沙林树脂(Surlyn),PA/PP/PE 等 5 种不同复合薄膜阻隔性能的影响,结果见表 1。

表 1 超高压处理对不同薄膜阻隔性能的影响
Tab.1 Barrier properties of different materials after HPP treatment

材料	氧气透过率/ (cm ³ ·m ⁻² ·d ⁻¹)		水蒸气透过率/ (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	
	未	超高压	未	超高压
	处理	处理	处理	处理
PA/MDPE	67.7±0.9	85.0±1.3	3.5±0.4	4.2±0.1
PA/LLDPE	65.7±0.1	66.8±0.8	5.9±1.5	4.4±1.1
PET/PVDC/PE	10.5±0.1	11.5±0.1	3.5±1.2	7.3±0.4
Surlyn	62.0±0.8	51.9±0.4	10.5±1.3	5.6±0.1
PA/PP/PE	102.8±1.1	104.9±0.5	4.1±0.5	4.7±0.4

表 1 结果显示:PA/LLDPE,PET/PVDC/PE,PA/PP/PE 聚合物材料的氧气透过性均增加,但均在误差值±12%之内,而 PA/MDPE 的氧气透过性增大约 25%,Surlyn 的氧气透过性降低约 16%。与氧气透过率相比,这些薄膜的水蒸气透过率变化更为显著,HPP 处理后 PET/PVDC/PE 的水蒸气透过率增大 1 倍左右,PA/PP/PE 的水蒸气透过率增大约 15%,而 PA/LLDPE 和 Surlyn 的水蒸气透过率分别降低约 25%和 47%。

Le-Bail 等人^[20]对 PA/PE,BB4L(Cryovac 公司生产),PET/BOPA/PE,PET/PVDC/PE,PA/Surlyn,LDPE,EVA/PE 等材料分别在 200,400,600 MPa 下 HPP 处理 10 min,同时改变降压速度(快速降压<10 s,慢速降压 20 MPa/min),对材料的透湿性能进行测试,结果见表 2。表 2 结果显示:不同的超高压处理及降压速度能使 LDPE 材料的透湿性能略微降低,而对其他 6 种材料的透湿性能均无显著影响。

表 2 不同超高压处理后不同薄膜的水蒸气透过率
Tab.2 The WVTR of different materials after different HPP treatments

材料/μm	未处理	200 MPa		400 MPa		600 MPa	
		快速降压	缓慢降压	快速降压	缓慢降压	快速降压	缓慢降压
PA/PE(59)	67.1	64.58	65.04	67.39	67.8	67.25	66.34
BB4L(59)	25.3	27.8	29.5	28.1	29.1	29.3	27.2
PET/BOPA/PE(62)	6.05	6.28	5.98	6.26	6.32	6.06	6.61
PET/PVDC/PE(65)	5.79	5.92	5.7	6.05	5.5	5.65	5.74
PA/Surly(180)	4.76	4.72	4.53	4.77	4.92	4.79	4.8
LDPE(202)	71.2	71.5	71.3	70.7	70.6	70.7	70.6
EVA/PE(50)	93.1	93.2	93.1	92.2	93.1	92.5	92.9

Caner等人^[21]在600,800 MPa,45℃下,对PE/PA/EVOH/PE,PET/AL₂O₃/LDPE,PET/PVDC/PA/HDPE/PE,VMPET/EVA/LLDPE,PET/SiO_x/LDPE,PE/PA/PE,PP/PA/PP和PET/EVA/PET复合薄膜分别处理5,10,20 min。结果表明:VMPET/EVA/LLDPE薄膜的水蒸气透过率增大了约15%,而其他7种薄膜的水蒸气透过率均无显著变化。

Galotto等人^[22]将装有食品模拟物(水或油)的PE/EVOH/PE,met-PET/PE,PET/PE,PP/SiO_x包装袋,在400 MPa,40℃和60℃下处理20 min。研究发现,除了装有油的PE/EVOH/PE试样的氧气透过率降低外,其余薄膜的氧气透过率均增大。而装有食品模拟物(水或油)的PET/PE试样的水蒸气透过率变化不显著,PE/EVOH/PE,met-PET/PE,PP/SiO_x试样的水蒸气透过率明显增大。

在国内,丘苑新等人^[23]对CPP/PA/PE及PP/AL/PE复合薄膜的阻隔性能进行研究。结果发现:在所选用的试验条件下(600 MPa,处理25 min),PP/AL/PE的水蒸气透过率受压强影响显著,而CPP/PA/PE的水蒸气透过率无显著变化;CPP/PA/PE,PP/AL/PE的氧气透过率随压力增大先增大后降低。

唐亚丽等人^[24]在500 MPa,23℃下,对PET/AL/PE,PET/VMPET/PE分别处理5,10,20,30 min,测定不同保压时间对2种聚合物材料水蒸气透过率的影响。结果表明:500 MPa下PET/VMPET/PE的水蒸气透过率随保压时间的延长呈现无规律变化,且均维持在0.80 g/(m²·d)左右,而PET/AL/PE的水蒸气透过率随保压时间的延长有明显增大。且该研究者认为,在HPP处理过程中,PET,PE与AL的压缩比不同,当试样处理完成后,材料的形态恢复至最终的状态也有一定差别,从而引起PET/AL/PE的水蒸气透过率随处理时间的延长而增大。

2 HPP对聚合物包装材料结构的影响

目前,国内的相关研究主要集中在不同超高压处理对食品杀菌及食品品质变化的影响,对材料的微观结构变化少有研究。但包装作为食品不可或缺的一部分,其与食品直接接触,包装材料的种类及HPP处理前后其结构的变化与食品品质变化密切相关,决定着产品的货架保存寿命^[25-26]。阻隔和机械性能的改变往往源于包装材料的结构发生变化^[27],材料结构的变化又决定着材料的包装性能是否可逆。

在超高压处理过程中,袋子顶端的空气、胶黏剂

的特性及各层材料的压缩比不同,都会导致包装薄膜的分层、裂缝、凹陷等问题。通常,采用宏观到微观的过程来研究包装材料的结构变化,包括肉眼观察材料表面的凹陷、气泡及分层,以及采用扫描电子显微镜(SEM)和傅里叶红外光谱(FT-IR)等方法分析材料的显微结构及分子结构等的改变^[25-28]。另外,有研究表明,超高压处理比较适用于真空或含有较少气体的包装,因为含有较多气体的复合材料容易出现分层现象。

H. Weisser^[29]等人研究了PA/PE复合薄膜制袋后充满CO₂和O₂,在500 MPa高压下处理5 min,用(SEM)检测处理前后PA/PE复合膜的结构变化。数据显示:充填O₂的薄膜结构无明显变化,而充填CO₂的薄膜出现分层、裂缝和褶皱等现象。

Galatto^[30]等人在400 MPa下分别对PE/EVOH/PE(厚度分别为53,12,53 μm),PET/PE(厚度分别为93,17 μm),met-PET/PE(厚度分别为75,19 μm),PP/SiO_x(厚度为(21±1) μm)4类薄膜进行处理。结果发现:met-PET/PE薄膜在处理后的明显的分层和褶皱现象,而PP/SiO_x则出现了大量的裂缝。

Caner^[21,31-32]等人分别在45℃,600 MPa和800 MPa下对PET/AL₂O₃/LDPE,PET/PVDC/PA/HDPE/PE,PET/SiO_x/LDPE,PE/PA/EVOH/PE,PE/PA/PE,met-PET/EVA/LLDPE/PP/PA/PP和PET/EVA/PET等7种复合薄膜处理5,10,20 min,并对其结构进行观察。结果显示:met-PET/EVA/LLDPE薄膜表面发生了分层,其余薄膜均未出现显著损坏,其原因也是由于PE层和Al层之间的分层所致,但其机械性能却没有明显改变。

Schauwecker^[33]等人分别在200,400,690,870 MPa和30,75,85,90℃下,对PA/EVOH/PE和PET/PA/AL/PP处理10min,并对其结构进行观察。结果发现:在200 MPa/90℃,690 MPa/90℃和690 MPa/95℃的条件下,PET/PA/AL/PP的PP层和AL层之间有明显的分层出现。

Massimiliano^[34]等人将3种复合薄膜(PET/PP,PA/PP,OPA/PP)装有不同的食品模拟物水或胡萝卜,然后进行不同HPP处理。研究发现:200 MPa下装水的PET/PP试样出现明显的分层现象,而装有相同模拟物的PA/PP试样在500 MPa下分层现象不明显,同时,无论装水或胡萝卜的OPA/PP试样在200~700 MPa内均未出现分层现象,但3种材料的机械性能都没有明显的变化。也就是说,机械性能并非是评价HPP对包装材料性能影响的理想指标。

Fairclough^[35]等人在695 MPa下对PET/PP薄膜进

行HPP处理。研究发现:在PP层出现了凹陷及气泡,且包装袋内顶部空气越多这种现象越明显。研究者认为这一现象与快速卸压有关。但Le-Bail等人^[20]在研究拉伸和透湿性能时,发现降压速率对PA/PE, BB4L, LDPE, PET/BOPA/PE, PET/PVDC/PE, PA/SY, LDPE, EVA/PE的结构没有显著影响。

此外,有研究表明,HPP处理比较适用于真空或含有较少气体的包装,因为含有较多气体的复合材料更容易出现分层现象^[36]。在HPP杀菌中,为了保持良好的杀菌效果,必须严格控制包装袋内顶部体积大小^[32]。

3 HPP对聚合物包装材料热性能的影响

超高压处理前后包装材料的热性能如何变化对材料的结晶度有很大影响,而塑料聚合物的熔点、密度、强度、刚度、耐热性和阻隔性等都随着结晶度的增大而提高,断裂伸长率、弹性和耐冲击性等则随着结晶度的增加而降低,包装材料中常见的蠕变和应力松弛现象也会受到结晶度的影响^[37-38],因此,超高压处理前后热性能如何变化已成为研究的重点。

Jie Kong等人^[39]将HPP处理后的PE薄膜做成圆柱形试样,在距离试样横向和纵向表层不同位置处分别获得常规切片,采用差式扫描量热法研究超高压对薄膜热性能的影响,并根据方程 $X_c = \Delta H_{\text{样品}} / \Delta H_{100\%}$ (100%结晶样品的熔融焓)计算材料的结晶度。研究发现:试样的熔融温度随离表层距离的增大由131.8℃增大到143.4℃,而在距离表层较远的位置出现了双重熔融峰,与熔融温度131.8℃相比,在熔融温度143.4℃处晶体厚度更大、晶型更好。这可能是由于中间区域PE结晶区包含一些伸直链晶体,使材料有更高的结晶度和熔点。

Balasubramaniam等人^[40]对PA/EVOH/EVA, PA/EVA, met-PET/PE等3种薄膜分别进行压力处理(600 MPa, 25℃, 10 min)与温压结合(PATP: 600 MPa, 110℃, 10 min)杀菌处理,并对其熔融温度和熔融焓进行对比研究。研究发现:在压力处理与温压结合处理过程中, EVA, PE, EVOH, PA的熔融温度无明显差异,分别为104, 112, 170, 218℃; PA/EVOH/EVA和PA/EVA经过温压结合处理后,其PA, EVA层的熔融焓均有降低,但降低程度较小,而EVOH层的熔融焓降低显著,由9.2降低至7.1,下降约23%;超高压处理前后met-PET/PE薄膜的熔融焓没有明显变化。而研究者认为,熔融温度及熔融焓的变化是由超高压处理后材料结晶度

的变化引起的。

Schauwecker等人^[32]将PA/EVOH/PE试样在690 MPa, 95℃下处理10 min,观察对其熔融温度和熔融焓的影响。结果发现:超高压处理并未对其熔融温度及熔融焓产生显著影响。

Galotto等人^[30]研究了不同超高压处理(400 MPa, 20℃和60℃, 30 min)对PE/EVOH/PE, met-PET/PE, PET/PE复合薄膜的熔融温度及熔融焓的影响。结果表明:在PE/EVOH/PE薄膜中,EVOH的熔融温度由163.5℃分别降至159.9℃(400 MPa/20℃), 159.7℃(400 MPa/60℃),熔融焓由8.3 J/g分别降至6.0, 7.0 J/g,而其他薄膜的熔融温度和熔融焓均未发生明显的变化。

4 HPP对聚合物包装材料可逆性能的影响

超高压下包装材料的可逆性,是指包装材料在经过HPP处理后各方面性能(机械性能、热封性能、阻隔性能、热性能等)在一定时间后是否可以恢复的性能。聚合物包装材料在经过HPP处理后包装性能是否可逆,对包装材料的选择至关重要,它不仅决定着产品的质量及货架保存寿命,而且扩大了适用于超高压食品包装的材料选择范围。国内外对包装材料包装性能的可恢复性研究相对甚少。

在国外,研究者仅是通过食品模拟物在包装薄膜中的渗透率来定量反映材料的可逆性。目前,监测方法主要有bag-in-bag, one-bag和连续的in-situ方法等3种,见图1。

Schmerder等人^[41]在研究超高压处理对包装材料阻隔性能影响的实验过程中,发现包装材料包装性能可逆性的存在。Schmerder等人通过bag-in-bag法和改进的连续in-situ法,就HPP处理前后羟基苯丁酮(又名覆盆子酮)对PA6薄膜的渗透率进行研究。结果发现:0~20 h内,覆盆子酮在PA6中的渗透速率(曲线斜率)低于0.1 MPa下的渗透速率;20 h后,作用在薄膜上的压力完全释放,而覆盆子酮在PA6中的渗透速率恢复至0.1 MPa下的渗透速率,材料的阻隔性能逐渐恢复,见图2。

J.Götz^[22]等人对LDPE/HDPE/LDPE薄膜进行研究,并通过one-bag法、bag-in-bag法及改进的连续in-situ法,对异丙基甲苯在2种薄膜中的渗透性进行实时监测。观察发现,在bag-in-bag和改进的连续in-situ等2种方法中,食品模拟物在LDPE/HDPE/LDPE中的渗透系数没有明显差异,分别为 $(2.64 \pm 0.68) \times 10^{-13}$,

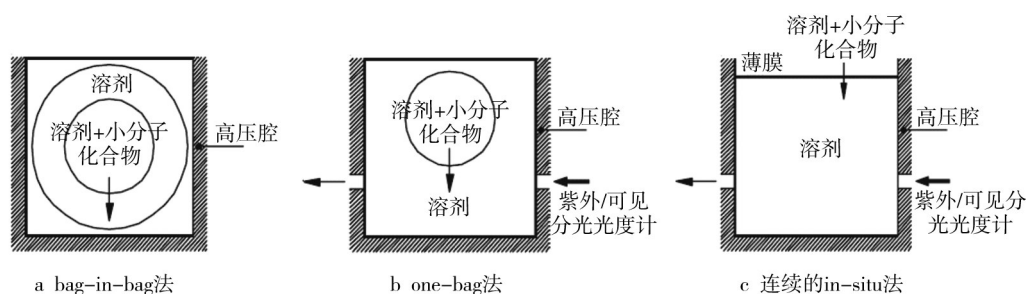


图1 食品模拟物在包装薄膜中的渗透性检测方法

Fig.1 Detection method for permeability of food simulants in packaging materials

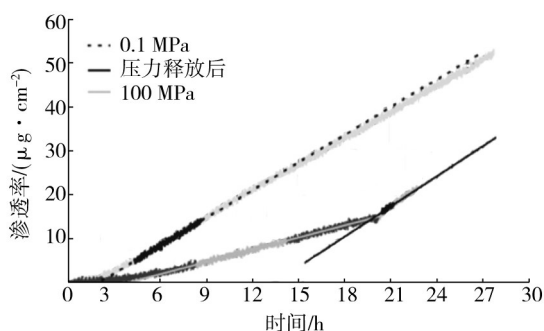


图2 HPP(100 MPa, 23 °C)处理后覆盆子酮渗透率的可逆性

Fig.2 Reversibility of the permeation of raspberry ketone through polyamide-6 films at 23 °C

$(2.69 \pm 0.87) \times 10^{-13} \text{ mg} \cdot \text{m}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$, 并且通过渗透速率来定量地反映超高压处理对 LDPE/HDPE/LDPE 包装性能的影响。

Kuebel 等人^[42]分别在 500 MPa, 25 °C 下对 PET/AL/LDPE, LDPE/HDPE/LDPE 进行超高压处理, 并对包装袋内的对异丙基甲苯、苯乙酮的扩散和渗透进行研究。结果发现: 超高压处理后包装袋内的对异丙基甲苯、苯乙酮的含量高于常压下包装袋内的含量, 也就是说, 随着压力的增大, 芳香族小分子化合物向包装外渗透更加缓慢, 研究者认为, 随着压力的增大, 聚合物的 T_g 升高, 增强了聚合物的阻隔性能, 但并未对后续包装薄膜内芳香烃化合物的含量变化进行研究。

在国内, 大部分的研究者也只是简单研究包装内容物的渗透, 以及包装材料的迁移问题, 并未对包装材料的包装功能是否可逆(可恢复)直接进行研究。

5 结语

目前, 国内外研究者对 HPP 处理对聚合物食品包装材料的机械性能、阻隔性能、结构变化和热性能进行了初步研究, 但研究结果差别较大, 且均是从小分

子模拟物向包装袋外渗透或迁移的角度, 侧面反映 HPP 处理对包装材料可逆性能的影响, 并没有直接对 HPP 下包装材料的分子形态进行研究, 更无法得出 HPP 下包装性能可逆性的分子运动机制。在今后的研究中, 应采用不同的方法从宏观及微观角度深入研究聚合物高分子材料在 HPP 处理前后可逆变化(可恢复性)的机制。

参考文献:

- [1] 焦中高, 刘杰超, 王思新. 果蔬汁非热加工技术及其安全性评析[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 340—345.
JIAO Zhong-gao, LIU Jie-chao, WANG Si-xin. Evaluation and Analysis of the Microbiological Safety of Non-Thermal Technologies for Fruit and Vegetable Juice Processing[J]. Food Science, 2004, 25(11): 340—345.
- [2] MORRIS C, BRODY A L, WICKER L. Non-Thermal Food Processing/Preservation Technologies: A Review with Packaging Implications[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20(4): 275—286.
- [3] 张文佳, 张燕, 宋振华, 等. 超高压对树莓汁粘度、颜色及抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2010(6): 84—87.
ZHANG Wen-jia, ZHANG Yan, SONG Zhen-hua, et al. Effects of High Pressure Processing on Viscosity, Color and Antioxidant Capacity of Raspberry Juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010 (6): 84—87.
- [4] 郝秦锋, 许洪高, 高彦祥. 超高压灭菌及其对食品品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30 (23): 498—503.
HAO Qin-feng, XU Hong-gao, GAO Yan-xiang. Effect of Ultra-high Pressure Sterilization on Quality of Food Stuff[J]. Food Science, 2009, 30 (23): 498—503.
- [5] LEADLEY C, TUCKER G, FRYER P A. Comparative Study of High Pressure Sterilisation and Conventional Thermal Sterilisation: Quality Effects in Green Beans[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008, 9(1): 70—79.
- [6] 张海峰, 白杰, 刘姗姗, 等. 超高压在肉类工业中的应用[J]. 农业科学研究, 2009, 30(2): 61—64.

- ZANG Hai-feng, BAI Jie, LIU Shan-shan, et al. The Application of Ultra High Pressure Technology in Melt Industry[J]. Journal of Agricultural Science, 2009, 30(2): 61—64.
- [7] 王允圃, 刘玉环, 阮榕生, 等. 食品热加工与非热加工技术对食品安全性的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 7(32): 463—466.
- WANG Yun-pu, LIU Yu-hua, RUAN Rong-sheng, et al. Effect of Food Thermal Processing and Non-Thermal Processing on the Safety of Foods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 7(32): 463—466.
- [8] 闫雪峰, 赵有斌, 韩清华. 超高压处理对果蔬汁杀菌效果和品质影响的研究现状[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(11): 204—208.
- YAN Xue-feng, ZHAO You-bin, HAN Qing-hua. The Status Quo of Influence of Ultra-High Pressure Processing on Fruit and Vegetable Juice[J]. Food Research and Development, 2010, 31(11): 204—208.
- [9] 徐绍虎, 崔爽. 无菌包装食品冷杀菌技术研究进展[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 113—116.
- XU Shao-hu, CUI Shuang. Research Progress in Cold Sterilization Technique for Aseptic Packaging Foods[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 113—116.
- [10] SANMARTIN M F, BARBOSA-CANOVAS G V, SWANSON B G. Food Processing by High Hydrostatic Pressure[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2002, 42(6): 627—645.
- [11] TORRES J A, VELAZQUEZ G. Commercial Opportunities and Research Challenges in the High Pressure Processing of Foods[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67: 95—112.
- [12] 唐亚丽, 赵伟, 卢立新. 超高压作用下的食品包装问题[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(12): 193—196.
- TANG Ya-li, ZHAO Wei, LU Li-xin. Food Packaging under High Pressure[J]. Food Research and Development, 2011, 32(12): 193—196.
- [13] 彭珍, 赵国华. 超高压对塑料包装薄膜性能的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 151—157.
- PENG Zhen, ZHAO Guo-hua. Effect of Ultra-high Pressure Processing on the Properties of Plastic Packaging Films[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(3): 151—157.
- [14] 丘苑新, 叶盛英, 徐尚和, 等. 超高压处理对食品软包装材料性能的影响[J]. 食品工业科技, 2005, 26(11): 140—141.
- QIU Yuan-xin, YE Sheng-ying, XU Shang-he, et al. Effect of High Pressure Treatments on the Properties of Flexible Packaging Materials[J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(11): 140—141.
- [15] TING E, BALASUBRAMANIAM V M, RAGHUBEER E. Determining Thermal Effects in High-Pressure Processing[J]. Food Technology, 2002, 56(2): 31—35.
- [16] 秦蓓. 塑料食品包装材料安全性研究现状[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 33—37.
- QIN Bei. Progress of Plastic Food Packaging Safety Research[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19): 33—37.
- [17] DOBIAS J, VOLDRICH M, MAREK M, et al. Changes of Properties of Polymer Packaging Films during High Pressure Treatment[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(4): 545—549.
- [18] LÓPEZ RUBIO A, PASCALL M A, GAVARA R, et al. Effect of High Pressure Treatments on the Properties of EVOH-based Food Packaging Materials[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2005, 6(1): 51—58.
- [19] LAMBERT Y, DE MAZEAU G, LARGETEAU A, et al. Packaging for High-Pressure Treatments in the Food Industry[J]. Packaging Technology and Science, 2000, 13(2): 63—71.
- [20] BAIL A L, HAMADAMI N, BAHUAUD S. Effect of High-Pressure Processing on the Mechanical and Barrier Properties of Selected Packaging[J]. Packaging Technology and Science, 2006, 19(4): 237—243.
- [21] CANER C, HERNANDEZ R J, PASCALL M A. Effect of High-Pressure Processing on the Permeance of Selected High Barrier Laminated Films[J]. Packaging Technology and Science, 2000, 13(5): 183—195.
- [22] GALOTTO M J, ULLOA P, ESCOBAR R, et al. Effect of High-Pressure Food Processing on the Mass Transfer Properties of Selected Packaging Materials[J]. Packaging Technology and Science, 2010, 23(5): 253—266.
- [23] 丘苑新, 叶盛英, 徐尚和, 等. 超高静压对食品真空复合包装膜材料性能及微观结构影响的初探[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(12): 140—141.
- QIU Yuan-xin, YE Sheng-ying, XU Shang-he, et al. The Preliminary Study of High Hydrostatic Pressure on Properties and Microstructures of Vacuum Composite Material Packaging[J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 32(12): 140—141.
- [24] 唐亚丽, 赵伟, 卢立新, 等. 超高压杀菌处理对包装材料稳定性的影响[J]. 包装工程, 2010, 31(23): 10—12.
- TANG Ya-li, ZHAO Wei, LU Li-xin, et al. Effect of Sterilization Processing under Ultra High Pressure on the Stability of Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 10—12.
- [25] 汪俊涵, 胡小松, 廖小军, 等. 高压食品包装材料性能研究进展[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2011, 29(2): 7—12.
- WANG Jun-han, HU Xiao-song, LIAO Xiao-jun, et al. Research Progresses on Property of Food Packaging Materials for High Pressure Processing[J]. Journal of Beijing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2011, 29(2): 7—12.
- [26] 吴晓梅, 孙志栋, 陈惠云. 食品超高压技术的发展及应用前

- 景[J]. 中国农村小康科技, 2006, 1(1): 50—52.
- WU Xiao-mei, SUN Zhi-dong, CHEN Hui-yun. The Development and Application Prospect of Ultra-High Pressure Technology in Food[J]. Chinese Countryside Well-off Technology, 2006, 1(1): 50—52.
- [27] 马学芬, 唐亚丽, 卢立新. 超高压处理对食品包装材料的影响研究进展[J]. 包装学报, 2011, 3(3): 65—69.
- MA Xue-fen, TANG Ya-li, LU Li-xin. Effect of Ultra High Pressure Processing on the Properties of Food Packaging Materials[J]. Packaging Journal, 2011, 3(3): 65—69.
- [28] BULL M K, STEELE R J, KELLY M, et al. Packaging under Pressure: Effects of High Pressure, High Temperature Processing on the Barrier Properties of Commonly Available Packaging Materials[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(4): 533—537.
- [29] GTZ J, WEISSER H. Permeation of Aroma Compounds Through Plastic Films under High Pressure: In-Situ Measuring Method[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2002, 3(1): 25—31.
- [30] GALATTO M J, ULLOA P A, HERNANDEZ D, et al. Mechanical and Thermal Behavior of Flexible Food Packaging Polymeric Film Materials under High Pressure/Temperature Treatments[J]. Packaging Technology & Science, 2008, 21(5): 297—308.
- [31] CANER C, HERNANDEZ R J, HARTE B R. High-Pressure Processing Effects on the Mechanical, Barrier and Mass Transfer Properties of Food Packaging Flexible Structures: A critical Review[J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17(1): 23—29.
- [32] CANER C, HERNANDEZ R J, PASCALL M A, et al. The use of Mechanical Analyses, Scanning Electron Microscopy and Ultrasonic Imaging to Study the Effects of High-Pressure Processing on Multilayer Films[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(11): 1095—1103.
- [33] SCHAUWECKER A, BALASUBRAMANIAM V M, SADLER G, et al. Influence of High-Pressure Processing on Selected Polymeric Materials and on the Migration of a Pressure Transmitting Fluid[J]. Packaging Technology and Science, 2002, 15(5): 255—262.
- [34] FRALDI M, CUTOLO A, ESPOSITO L, et al. Delamination Onset and Design Criteria of Multilayer Flexible Packaging under High Pressure Treatments[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 23(5): 39—53.
- [35] FAIRCLOUGH J P A, CONTI M. Influence of Ultra-High Pressure Sterilization on the Structure of Polymer Films[J]. Packaging Technology and Science, 2009, 22(5): 303—310.
- [36] FRADIN J F, BAILA L, SANZ P D, et al. Behavior of Packaging Materials during High Pressure Thawing[J]. Food Science and Technology International, 1998, 4(6): 419—424.
- [37] MENSITIERI G, SCHERILLO G, IANNACE. Flexible Packaging Structures for High Pressure Treatments[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 17: 12—21.
- [38] DHAWAN S, VARNEY C, SELIM F, et al. Pressure-Assisted Thermal Sterilization Effects on Gas Barrier, Morphological, and Free Volume Properties of Multilayer EVOH Films[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 128: 40—45.
- [39] KONG Jie, FAN Xiao-dong, QIAO Wen-qiang, et al. Study of a Skin-Core Type of Crystallinity Distribution within Polyethylene Specimen Crystallized under High Pressure[J]. Polymer, 2005, 46(18): 7644—7651.
- [40] BALASUBRAMANIAM V W, AYVAZ H, SOMERVILLE J A, et al. Influence of Selected Packaging Materials on Some Quality Aspects of Pressure Assisted Thermally Processed Carrots during Storage[J]. LWT—Food Science and Technology, 2012, 46(2): 437—447.
- [41] SCHMERDER A, RICHTER T, LANGOWSKI H, et al. Effect of High Hydrostatic Pressure on the Barrier Properties of Polyamide-6 Films[J]. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 2005, 38(8): 1279—1283.
- [42] KUEBEL J, LUDWIG H, TAUSCHER B, et al. Diffusion of Aroma Compounds into Packaging Films under High Pressure[J]. Packaging Technology and Science, 1996, 9(3): 143—152.

(上接第94页)

- 2006.
- YIN Zhang-wei, MAO Zhong-yan. Packaging Machinery[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [14] 胡兴军. 我国包装机械行业存在的主要问题[J]. 中国包装, 2008(2): 69—70.
- HU Xing-jun. Main Problems of Packaging Machinery Industry in China[J]. China Packaging, 2008(2): 69—70.
- [15] YANG Guang, HUANG Yu-yu. The Study of Computer Aided Man-machined Engineer Design System[J]. Journal of Engineering Graphics, 1994(2): 36—40.