

# 包装材料对肉类食品胀袋问题的影响与分析

李丹<sup>1</sup>, 于佳佳<sup>2</sup>, 仇凯<sup>2</sup>

(1.海军医学研究所, 上海 200433; 2.济南兰光机电技术有限公司, 济南 250031)

**摘要:** **目的** 比较分析不同种类包装材料的性能差异对所包装肉类食品胀袋问题的影响。**方法** 以常见的用于包装烧鸡的 PA/Al/OPP、BOPA/LDPE, 包装猪蹄的 PET/PA/OPP、PET/PA/Al/OPP, 包装肉肠的 PVDC 共挤膜、BOPP/PVDC/PE 等 6 种材料为试验样品, 分别测试其揉搓前后氧气透过量、拉伸性能、抗穿刺性能、热封强度、密封性能。**结果** 样品阻隔性由高到低依次为 PET/PA/Al/OPP、PA/Al/OPP、PVDC 共挤膜、BOPP/PVDC/PE、PET/PA/OPP、BOPA/LDPE; 揉搓后 PET/PA/Al/OPP 阻隔性仍较高, PA/Al/OPP 耐揉搓性差, 出现贯穿性针孔, 揉搓前后 BOPA/LDPE、PET/PA/OPP 的阻隔性相差不大; BOPP/PVDC/PE 拉伸性能较差, 横向断裂伸长率仅为 28.4%, 且热封强度低, 其余样品的拉伸性能、抗穿刺性能、热封强度均较好; PA/Al/OPP, BOPP/PVDC/PE 成品包装分别在袋体折皱处、袋体与热封口处漏气, 其余样品均未漏气。**结论** 耐揉搓性差、拉伸性能差及热封强度低分别是烧鸡 PA/Al/OPP 包装、肉肠 BOPP/PVDC/PE 包装发生胀袋的主要原因; 阻氧性偏低易导致由 BOPA/LDPE, PET/PA/OPP, PVDC 5 层共挤膜包装的烧鸡、猪蹄、肉肠在长时间存储时缓慢胀袋。上述样品存在的问题主要与材质结构、铝箔层质量、材料生产及热封工艺有关。

**关键词:** 包装材料; 肉类食品; 胀袋; 阻隔性; 耐揉搓性; 拉伸性能; 热封强度; 密封性

中图分类号: TS251 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)13-0091-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.13.013

## Influence of Packaging Material on Swollen Bag of Meat Product and Analysis

LI Dan<sup>1</sup>, YU Jia-jia<sup>2</sup>, QIU Kai<sup>2</sup>

(1. Shanghai Naval Medical Research Institute, Shanghai 200433, China;

2. Labthink Instruments Co., Ltd., Jinan 250031, China)

**ABSTRACT:** The work aims to compare and analyze the effect of different packaging materials on the swollen bag of packaged meat product. Six materials such as PA/Al/OPP and BOPA/LDPE commonly used to pack roast chicken, PET/PA/OPP and PET/PA/Al/OPP for pig hooves packaging and PVDC co-extrusion film and OPP/PVDC/PE for sausage packaging, etc. were adopted as samples to test oxygen permeance before and after flex test, tensile property, puncture resistance, heat-sealing strength and seal performance. The barrier property of the samples from high to low was PET/PA/Al/OPP > PA/Al/OPP > PVDC co-extrusion film > OPP/PVDC/PE > PET/PA/OPP > BOPA/LDPE. After flex test, the barrier property of PET/PA/Al/OPP was still high, while PA/Al/OPP that had penetrating pinholes showed poor flex durability. The barrier properties of BOPA/LDPE and PET/PA/OPP were almost the same before and after flex test. The tensile property of OPP/PVDC/PE was poor, especially the transverse elongation which was only 28.4% at break, and the heat sealing strength was low. The tensile property, puncture resistance and heat sealing strength of other samples were good. Finished product package by PA/Al/OPP and OPP/PVDC/PE leaked at the wrinkle of the bag body, the bag body and

收稿日期: 2019-03-20

作者简介: 李丹(1982—), 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品包装、保鲜。

the heat seal respectively, while other samples did not leak. Poor flex durability, poor tensile property and low heat sealing strength are main reasons for swollen bags of roast chicken packaged by PA/Al/PP and sausage packaged by OPP/PVDC/PE. During long-term storage, low oxygen resistance can easily slow down the swelling of bags for roast chicken, pork hoof and sausage by BOPA/LDPE, PET/PA/PP and five-layer co-extrusion film of PVDC respectively. The problems of the above samples are mainly related to material structure, quality of aluminum foil layer, material production and heat sealing technology.

**KEY WORDS:** packaging material; meat product; swollen bag; barrier property; flex durability; tensile property; heat-sealing strength; seal performance

肉类食品富含的营养既可满足人类营养及味蕾需要,也为微生物的生长、繁殖提供优良基质,因此当成品灭菌、包装、流通环境等环节控制不当时,肉类食品时常出现酸败、发霉、胀袋等质量问题<sup>[1-3]</sup>。在产品杀菌彻底、微生物残留量低且运输流通过程中温、湿度可控的情况下,包装材料及形式则成为影响肉类食品是否会发生上述质量问题的关键因素。目前,国内肉类食品主要采用阻隔性包装材料,并与真空包装形式相结合<sup>[4-5]</sup>,这种组合形式主要通过降低与肉类食品接触的氧气浓度,从而延缓蛋白质、脂肪等成分的氧化,起到防腐作用。若要充分发挥包装的保质效果,肉类食品包装成品在整个流通过程中应始终保持良好的密封性,故肉类的包装应具有与之相适应的阻隔性、柔韧性及密封性等性能。

目前,国内外学者已针对肉类食品胀袋问题与包装的关系进行了相关研究。Mari<sup>[6]</sup>等利用真空包装与微波杀菌相组合的方式消除细菌孢子,从而提高肉制品的安全性并延长保质期;金钟<sup>[7]</sup>等分析了包装真空度对酱牛肉物理性胀袋的影响;丁相军<sup>[8]</sup>综合阐述了生产、杀菌、包装等环节对软包装肉类食品胀袋问题的影响。上述研究主要从包装形式方面进行了探究,并未关注包装材料的性能。董同力<sup>[9]</sup>等通过在聚碳酸丙烯酯(PPC)材料中增加聚乙烯醇(PVA),提高了包装的阻氧性,使冷冻肉中的活菌总数控制在可接受水平。虽然该研究对肉制品包装材料的研发及分析具有一定指导意义,但PPC/PVA/PPC尚未大规模应用,因此文中拟通过对不同结构形态的常见肉类食品包装材料性能的测试及分析,研究已普遍应用的包装材料对肉类食品胀袋问题的影响。

## 1 试验

### 1.1 样品

以烧鸡包装常用材料PA15/Al7/PP50(聚酰胺/铝/流延聚丙烯)、BOPA15/LDPE70(双向拉伸聚酰胺/低密度聚乙烯),猪蹄包装常用材料PET12/PA15/PP50(聚酯/聚酰胺/流延聚丙烯)、PET12/PA15/Al9/PP50(聚酯/聚酰胺/铝/流延聚丙

烯),肉肠类常用包装材料PVDC(聚偏二氯乙烯)共挤膜、BOPP28/PVDC12/PE40(双向拉伸聚丙烯/聚偏二氯乙烯/聚乙烯)为试验样品。6种样品依次编号为1#,2#,3#,4#,5#,6#,总厚度分别为75,86,80,90,60,82 $\mu\text{m}$ ,1#—4#样品均为干式复合膜,5#样品为共挤膜,6#样品为无溶剂复合膜。

### 1.2 方法及仪器

从6种样品中随机选取试样进行试验,试验方法及所使用的仪器见表1<sup>[10-15]</sup>。

抽真空后,1#—4#样品的外包装贴合在烧鸡、猪蹄表面,形成较多类似揉搓产生的皱褶,且内容物中的骨头会对样品产生较强的穿刺力;5#,6#样品表面较平整,几乎不受揉搓及穿刺作用,故仅对1#—4#样品进行耐揉搓及抗穿刺性能的测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 阻隔性及耐揉搓性

6种样品未揉搓前及相应揉搓后的1#—4#样品的氧气透过量测试结果见表2。

由表2可知,6种样品的阻隔性能大致可分为3个等级,其中1#,4#样品的氧气透过量低于 $0.5\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h}\cdot 0.1\text{ MPa})$ ,阻隔性高;5#,6#样品的氧气透过量在 $(18\sim 25)\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h}\cdot 0.1\text{ MPa})$ 范围内,对氧气的阻隔性居中;2#,3#样品的氧气透过量较高,在 $(31\sim 47)\text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot 24\text{ h}\cdot 0.1\text{ MPa})$ 内,阻隔性偏低。仅从阻隔性能来看,6种样品包装的肉制品在存储相同时间后,渗透过1#,4#样品的氧气量较少,经2#,3#样品渗透进包装中的氧气量较多。与6#样品相比,渗透过5#样品的氧气量相对较少,因此1#,4#样品包装的烧鸡、猪蹄可长时间存储;而2#,3#包装的烧鸡、猪蹄保质期不宜较长,否则易出现胀袋现象;5#,6#样品的阻隔性对肉肠保质期长短的影响较小。

对比1#—4#样品揉搓前与揉搓后的氧气透过量,2#,3#样品揉搓后的氧气透过量略有增加;4#样品揉搓后的氧气透过量虽然增幅较大,但其阻隔性能仍较高,且明显优于2#,3#;所测1#样品揉搓后的3片试

表1 试验方法及仪器  
Tab.1 Test methods and instruments

检测性能	试验样品编号	试验方法	试验设备
氧气透过量	1 <sup>#</sup> —6 <sup>#</sup>	GB/T1038—2000《塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法》，裁取直径为97 mm试样3片	VAC-V2 压差法气体渗透仪
揉搓后 氧气透过量	1 <sup>#</sup> —4 <sup>#</sup>	ASTM F392/F392M—11 (2015)《柔性阻隔材料耐揉搓性试验方法》，裁取200 mm×300 mm试样3片，采用C模式揉搓	FDT-02 揉搓试验仪
热封强度	1 <sup>#</sup> —6 <sup>#</sup>	QB/T 2358—1998《塑料薄膜包装袋 热合强度试验方法》，垂直于热封边裁取宽15.0 mm、展开长度100 mm的试样10条	
拉伸性能	1 <sup>#</sup> —6 <sup>#</sup>	GB/T 1040.3—2006《塑料 拉伸性能的测定 第3部分：薄塑和薄片的试验条件》，分别沿横、纵向裁取宽15.0 mm、长150 mm试样各5条，试验速度为(300±30) mm/min	XLW (PC) 智能电子拉力试验机
穿刺强度	1 <sup>#</sup> —4 <sup>#</sup>	GB/T 10004—2008《包装用塑料复合膜、袋干法复合、挤出复合》，裁取直径为100mm试样5片	
密封性能	1 <sup>#</sup> —6 <sup>#</sup>	GB/T 15171—94《软包装件密封性能试验方法》，取5个成品包装进行测试	MFY-01 密封试验仪

表2 样品揉搓前后的氧气透过量测试结果  
Tab.2 Oxygen transmission rate of the samples before and after flex tests  $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$

样品	氧气透过量		揉搓后氧气透过量	
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差
1 <sup>#</sup>	0.234	0.021	3.851(2片未出现贯穿性针孔试样的平均值)	0.26
2 <sup>#</sup>	46.481	0.91	46.697	0.94
3 <sup>#</sup>	31.246	0.83	31.782	0.85
4 <sup>#</sup>	0.104	0.011	1.542	0.13
5 <sup>#</sup>	18.341	0.32		
6 <sup>#</sup>	24.007	0.53		

样中,1片试样出现了贯穿性针孔,氧气透过量超过设备量程而无法测试,另外2片试样的测试结果平均值与揉搓前氧气透过量相比出现了大幅度的增长,耐揉搓性较差。由此可知,4种样品在用于包装烧鸡、猪蹄及后续的流程中,1<sup>#</sup>样品因不耐揉搓易导致包装表面出现针孔漏气而发生胀袋;2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>样品的耐揉搓性对产品的保质效果无明显影响;4<sup>#</sup>样品在外力揉搓下虽然对产品保质效果降低,但仍优于2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>样品。

6种样品阻隔性的差异与样品的主要阻隔层有关,1<sup>#</sup>与4<sup>#</sup>样品、2<sup>#</sup>与3<sup>#</sup>样品、5<sup>#</sup>与6<sup>#</sup>样品的主要阻隔层材料分别为Al,PA,PVDC,这3种材料的阻氧性由高到低依次为Al,PVDC,PA,故6种样品的阻隔性处于3种不同水平。对于主要阻隔层是相同材料的包装复合膜,主要阻隔层的厚度、生产工艺等方面的差异会影响样品整体阻隔性能。一般情况下,具有较厚阻隔层以及较高结晶度与致密程度复合膜的氧气透过量低<sup>[16-17]</sup>,这是导致主要阻隔层材料相同的复合膜之间氧气透过量不同的主要原因。此外,相比于PA对氧气的阻隔性,PET的阻氧性不可忽略,因此,2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>样品的氧气透过量差异还

与3<sup>#</sup>样品中的PET层有关。1<sup>#</sup>—4<sup>#</sup>样品耐揉搓性的优劣主要与材质结构有关,具有良好柔韧性的塑料高分子材料耐外力揉搓破坏的能力优于金属铝,因此,2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>样品的耐揉搓性高;与4<sup>#</sup>样品相比,1<sup>#</sup>样品较差的耐揉搓性主要是由铝箔层针孔缺陷多、厚度薄等因素引起的<sup>[18-19]</sup>。

## 2.2 拉伸性能及抗穿刺性能

具有良好拉伸性能的包装材料在抽真空过程中具有较强的抗形变能力,即发生形变后仍能保持较好的性能。较高的抗穿刺性能可以使包装材料在受到外力穿刺作用时不发生破袋。这2项性能对防止因包装袋体表面出现不易察觉的针孔而引起肉制品出现霉变、胀袋等问题具有重要意义。6种样品拉伸性能参数及1<sup>#</sup>—4<sup>#</sup>样品穿刺强度测试结果见表3。

从表3可以看出,4<sup>#</sup>样品的拉伸性能与抗穿刺性能均较为优异,其次为3<sup>#</sup>;与1<sup>#</sup>样品相比,2<sup>#</sup>样品的拉伸性较高,穿刺强度较低;与6<sup>#</sup>样品相比,5<sup>#</sup>样品的拉伸性能较好,6<sup>#</sup>样品的拉伸性能较差,特别是横向的断裂伸长率仅达到28.4%。市场上质量良好的烧鸡、猪蹄包装材料的断裂伸长率、抗拉强度基本处于

60%~140% ,35~110 MPa 之间,抗穿刺强度分别基本在 7, 10 N 以上;常见肉肠包装材料的断裂伸长率、抗拉强度在 70%~440% ,30~85 MPa 之间。综合而言,1<sup>#</sup>—5<sup>#</sup>样品的拉伸性能及抗穿刺性能均能够满足烧鸡、猪蹄、肉肠的包装要求,抽真空、骨头的穿刺作用等均不易使包装破袋,而 6<sup>#</sup>样品由于拉伸性能较差、形变率低,在包装肉肠时,尤其用作拉伸包装时

易发生破袋、漏气或者材料性能变差的问题,稍受外力挤压、跌落则发生破袋。样品上述拉伸性能、抗穿刺性能的差异主要与材料结构、厚度、生产工艺等因素有关。

## 2.3 包装完整性

6 种样品热封强度及密封性能测试结果见表 4。

表 3 试样拉伸性能及穿刺强度测试结果  
Tab.3 Tensile property and puncture strength of the samples

样品	断裂伸长率/%				拉伸强度/MPa				穿刺强度/N	
	纵向		横向		纵向		横向		平均值	标准偏差
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差		
1 <sup>#</sup>	94.1	2.47	83.7	2.32	49.5	1.74	37.8	0.78	10	1.01
2 <sup>#</sup>	94.6	2.31	101.7	3.68	51.3	1.71	56.2	1.84	7.2	0.71
3 <sup>#</sup>	112.4	2.59	76.9	2.51	65.2	1.48	78.3	1.99	15.1	1.37
4 <sup>#</sup>	106.1	3.89	77.1	2.46	76.3	1.61	81.6	2.1	15.8	1.03
5 <sup>#</sup>	88.1	2.18	94.5	2.87	64.8	1.93	83.7	2.34		
6 <sup>#</sup>	74.1	2.23	28.4	1.38	47.1	1.58	66.9	2.19		

表 4 包装完整性测试结果  
Tab.4 Packaging integrity test results

试验性能	热封强度/(N·(15 mm) <sup>-1</sup> )		密封性能
	平均值	标准偏差	
1 <sup>#</sup>	49.1	3.41	1个试样在-85 kPa下于袋体褶皱处漏气, 其余4个样品在-90 kPa下未漏气
2 <sup>#</sup>	36.8	1.37	
3 <sup>#</sup>	50.7	3.89	-90 kPa下未漏气、未出现渗水现象
4 <sup>#</sup>	61.7	5.86	
5 <sup>#</sup>	29.7	0.89	
6 <sup>#</sup>	5.7	0.47	1个试样在袋体及封口处漏气,其余4个试样在封口处漏气, 漏气压力范围为-75~-87 kPa

GB/T 10004 对采用不同杀菌工艺的包装规定了相应的热封强度指标值,普通级(包装使用温度不高于 80 °C)≥7 N/15 mm,水煮级(使用温度 80~100 °C)≥13 N/15 mm,半高温蒸煮级(使用温度 100~121 °C)≥25 N/15 mm,高温蒸煮级(使用温度 121~145 °C)≥35 N/15 mm。参考该标准,6 种样品中,1<sup>#</sup>—5<sup>#</sup>样品的热封强度均较高,达到了半高温蒸煮级、高温蒸煮级的要求,能够保证热封口的密封性;6<sup>#</sup>样品的热封强度较低,甚至未满足普通级的标准要求,气体容易从封口处向包装内渗透,引起肉肠发霉、胀袋。样品热封强度对包装密封性能的影响在密封性能试验中得到很好的印证,密封完好的包装在-90 kPa 及保压过程中应不发生漏气与渗水,表 4 中密封性能试验

结果显示,2<sup>#</sup>—5<sup>#</sup>样品在-90 kPa 下未发生漏气和渗水现象,说明这 4 种样品的密封性能良好;1<sup>#</sup>样品的 5 个试样中,1 个试样因材料的耐揉搓性差(见 2.1 节)而在袋体的折皱处发生漏气;6<sup>#</sup>样品的 5 个试样均在热封口处发生漏气,其中 1 个试样在袋体处发生的漏气现象主要与样品的拉伸性能较差(见 2.2 节)有关。对于密封性能较差的样品,外界气体会从包装的密封薄弱处向内部渗透,导致烧鸡、肉肠氧化变质,引起微生物生长、繁殖,出现酸败、发霉、胀袋等问题。

在热封强度试验过程中,6<sup>#</sup>样品所检测试样均从两侧热封层的封合处完全分开,这说明该样品的热封强度值偏低与热封温度、热封压力、热封时间

等热封参数设置偏低有关。此外,热封层厚度也会影响封口的热封强度,适当增加热封层厚度,有利于提高热封层间的融合程度,能够对夹杂在热封处的液滴、颗粒等异物形成有效包裹,从而改善封口的密封效果。

### 3 结语

根据6种样品所包装肉类食品自身结构形态的不同,针对性测试并分析了因包装材料而引起的胀袋问题相关影响因素。整体而言,1#样品具有较差的耐揉搓性,进而易导致所包装的烧鸡出现一定比例的胀袋现象;6#样品因拉伸性能与热封强度较差易导致包装的肉肠在短时间内出现大批量胀袋现象;与4#样品相比,若保质期设定过长,2#,3#,5#样品因阻氧性偏低而易出现缓慢胀袋现象。综上所述,选择合适的包装材料并根据包材设置合适的保质期,对包材入厂及成品包装出厂时的质量进行严格把关与检测,是减少肉类食品出现质量问题的有效途径。

#### 参考文献:

- [1] 马华丽, 宋永朋, 刘志明. 引起牦牛肉冷藏过程中变质的原因[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 127—129.  
MA Hua-li, SONG Yong-peng, LIU Zhi-ming. Yak Meat During Refrigerated Cause Deterioration Reasons[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(6): 127—129.
- [2] KEUN T L. Quality and Safety Aspects of Meat Products as Affected by Various Physical Manipulations of Packaging Materials[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 138—150.
- [3] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 16S rDNA 和 RCP-DGGE 技术分析水晶肘花胀袋的微生物原因[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 356—360.  
GAO Peng, WANG Yan, HUANG Min, et al. Microbiological Causes of Swollen Bag in Pork Jelly Analyzed by 16S rDNA and RCP-DGGE[J]. Food Science, 2013, 34(14): 356—360.
- [4] 岳阳, 王德梅, 于雷. 不同包装材料对冷鲜牛肉品质的影响[J]. 肉类工业, 2013(2): 29—33.  
YUE Yang, WANG De-mei, YU Lei. Effects of Different Packing Materials on Quality of Chilled Beef[J]. Meat Industry, 2013(2): 29—33.
- [5] CAROLINE E R, BEGONYA M. Active and Intelligent Packaging Systems for a Modern Society[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 404—419.
- [6] MARI A T, MIANNE D, ANNEMARIE G, et al. Case Studies of Packaging and Processing Solutions to Improve Meat Quality and Safety[J]. Meat Science, 2018, 144: 149—158.
- [7] 金钟, 孔保华. 实用新型软包装五香酱牛肉加工技术[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2004(1): 75—76.  
JIN Zhong, SUN Bao-hua. Flexible Application of a New Proccession Technology Spiced Beef Sauce[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2004(1): 75—76.
- [8] 丁相军. 软包装肉类食品胀袋原因分析[J]. 肉类工业, 2010(5): 10—11.  
DING Xiang-jun. Reasons for Bulging of Flexible Packaged Meat Food[J]. Meat Industry, 2010(5): 10—11.
- [9] 董同力嘎, 张晓燕, 王立立, 等. PPC/PVA/PPC 复合膜制备及其在冷鲜肉包装的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 19—23.  
DONG Tungalag, ZHANG Xiao-yan, WANG Li-li, et al. Preparation of PPC/PVA/PPC Multilayer Film and Its Application in Chilled Meat Packaging[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 19—23.
- [10] GB/T 1038—2000, 塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法[S].  
GB/T 1038—2000, Plastics-film and Sheeting-determination of Gas Transmission-differential-pressure Method[S].
- [11] ASTM F392/F392M—11(2015), Standard Practice for Conditioning Flexible Barrier Materials for Flex Durability[S].
- [12] QB/T 2358—1998, 塑料薄膜包装袋 热合强度试验方法[S].  
QB/T 2358—1998, Plastic Film Packaging Bags Test Method for Thermal Bonding Strength[S].
- [13] GB/T 1040.3—2006 塑料 拉伸性能的测定 第3部分: 薄塑和薄片的试验条件[S].  
GB/T 1040.3—2006, Plastics-Determination of Tensile Properties, Part 3: Test Conditions for Thin Plastics and Thin Sheets[S].
- [14] GB/T 10004—2008, 包装用塑料复合膜、袋干法复合、挤出复合[S].  
GB/T 10004—2008, Plastic Laminated Films and Pouches for Packaging, Dry Laminated and Extrusion Laminated[S].
- [15] GB/T 15171—1994, 软包装件密封性能试验方法[S].  
GB/T 15171—1994, Test Method for Leaks in Sealed Flexible Packages[S].
- [16] ONUR O, FUNDA T. Barrier Properties of Corn Zein Nanocomposite Coated Polypropylene Films for Food

- Packaging Applications[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 114(4): 505—513.
- [17] 梁晓红, 呼和, 王羽, 等. 高阻隔复合膜对冷鲜肉货架期的影响[J]. *食品科技*, 2015, 40(5): 150—153.  
LIANG Xiao-hong, HU He, WANG Yu, et al. The Impact of High Barrier Composite Film on the Shelf Life of Chilled Meat[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(5): 150—153.
- [18] 魏保花, 陆佳平. 微小缺陷对铝塑复合软包装材料阻隔性影响的研究[J]. *包装工程*, 2009, 30(9): 13—15.  
WEI Bao-hua, LU Jia-ping. Research on Effects of Small Defects on Barrier Properties of Aluminum-polymer Composite Packaging Film[J]. *Packaging Engineering*, 2009, 30(9): 13—15.
- [19] 陈登斌, 施文良, 侯志文, 等. 铝箔针孔缺陷形成的原因及其预防措施[J]. *轻合金加工技术*, 2018, 46(1): 20—25.  
CHEN Deng-bin, SHI Wen-liang, HOU Zhi-wen, et al. Causes of the Pinhole Defects in Aluminum Foil and Prevention Measures[J]. *Light Alloy Fabrication Technology*, 2018, 46(1): 20—25.