

## 探究温度对复合膜阻隔性和力学性能的影响

谭国静<sup>1</sup>, 杨凯<sup>2</sup>, 褚学军<sup>2</sup>

(1.青岛黄海学院, 山东 青岛 266000; 2.青岛市产品质量检验研究院, 山东 青岛 266000)

**摘要:** **目的** 探究温度变化对几种包装用复合膜阻隔性和力学性能的影响。**方法** 采用4种不同材质的复合膜为研究对象, 通过调节温度变化, 分别对复合膜进行拉伸强度、断裂伸长率、穿刺强度、直角撕裂力、氧气透过量、水蒸气透过量测试。**结果** 随着温度的升高, 复合膜的拉伸强度、穿刺强度、直角撕裂力呈现逐渐变小的趋势, 断裂伸长率呈现先增大后减小的趋势, 氧气透过量、水蒸气透过量呈现逐渐变大的趋势。温度从15℃升至55℃, BOPP/EVOH复合膜的力学性能和阻隔性能受温度影响小, 其中拉伸强度降低了5.2 MPa, 断裂伸长率增加了10%, 穿刺强度降低了4.4 N, 直角撕裂力降低了5.0 N, 水蒸气透过量提高了2.34 g/(m<sup>2</sup>·d), 氧气透过量增加了12.5 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa)。**结论** 根据实验探究, 温度是影响包装复合材料性能的重要因素, 为不同温度条件下不同材质复合膜的性能变化提供了数据指导, BOPP/EVOH复合膜的综合性能受温度变化影响最小。

**关键词:** 温度; 复合膜; 阻隔性; 力学性能

**中图分类号:** TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)13-0049-06

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.13.007

## Effect of Temperature on the Barrier and Mechanical Properties of Composite Films

TAN Guo-jing<sup>1</sup>, YANG Kai<sup>2</sup>, CHU Xue-jun<sup>2</sup>

(1. Qingdao Huanghai University, Shandong Qingdao 266000, China;

2. Qingdao Product Quality Testing Research Institute, Shandong Qingdao 266000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to explore the effect of temperature change on the barrier and mechanical properties of several packaging composite films. Four kinds of different composite films were used as the research object. By adjusting the temperature, the tensile strength, elongation at break, puncture strength, right-angle tearing force, oxygen permeability and water vapor permeability of composite films were tested respectively. With the increase of temperature, the tensile strength, puncture strength and right-angle tearing force of composite films decreased gradually, the elongation at break increased firstly and then decreased, and the oxygen permeability and water vapor permeability increased gradually. When the temperature increased from 15 °C to 55 °C, the mechanical properties and barrier properties of BOPP/EVOH composite film were less affected by temperature, with tensile strength decreasing by 5.2 MPa, elongation at break increasing by 10 %, puncture strength decreasing by 4.4 N, right-angle tearing force decreasing by 5.0 N, water vapor permeability increasing by 2.34 g/(m<sup>2</sup>·d), and oxygen permeability increasing by 12.5 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa). According to the experimental research, the temperature is an important factor affecting the properties of packaging composite film and the research results provide guidance for the application of composite films in packaging field. The comprehensive properties of BOPP/EVOH composite film is least affected by temperature change.

**KEY WORDS:** temperature; composite film; barrier property; mechanical property

收稿日期: 2022-12-12

作者简介: 谭国静(1991—), 女, 硕士, 助教, 主要研究方向食品包装材料、无机-有机复合材料。

随着人们生活水平的提高,食品需求的多样化也随之越来越大,对塑料软包装提出了更高的要求,食品包装材料要同时满足力学、阻隔、耐热、印刷等多种功能的需求<sup>[1]</sup>。复合膜结合了多种材料的优异性能,各组分相互结合各自的优势、相互弥补各自的缺陷,使得复合膜在使用时展现出的优越的力学性能和阻隔性能,是延长食品保质期的重要保证<sup>[2]</sup>。阻隔性是衡量包装内部食品受外界水蒸气、气体、微生物等环境因素影响的关键指标<sup>[3-4]</sup>,是包装食品的新鲜度、保质期、风味的重要保障<sup>[5]</sup>。食品包装良好的力学性能可以保证其在运输、储存中不破裂。随着包装材料和技术的不断优化,对食品包装的力学及阻隔性能的研究也越来越多,新技术、新材料、新工艺成为复合膜性能研究的重要趋势<sup>[6-9]</sup>。塑料包装的阻隔性主要分为阻气性和阻湿性,阻隔性是阻止空气环境中的氧气、氮气、二氧化碳、水蒸气、有机物和微生物等对象,这些小分子通过吸附、渗透、扩散、解吸几个过程从薄膜的一侧到达另一侧,使食品产生氧化变质<sup>[10-12]</sup>。不同的食品对包装材料的力学性能、阻隔性要求不同,使用环境的不同也对包装材料的性能产生不同的影响<sup>[13-15]</sup>。复合薄膜的耐穿刺力是包装材料的重要指标,对复合膜进行穿刺强度性能指标的检测,能够有效分析复合膜的物理性能,以减少外界因素变化使材料性能变差易损,从而使内装物变质或泄漏<sup>[16]</sup>。复合膜在食品包装应用过程中,必然面临温度环境的问题,温度因素对复合膜各方面性能有很大的影响。选择食品包装材料时,除了考虑食品与材料的适用性、物理性能、货架期设计等因素外,产品所处的温度环境也是不容忽视的重要考虑因素。科学合理的搭配包装材料,不仅能够降低包装成本,还能根据当地气候的变化选择更适宜的材料,更好地保证食品品质。为了更好地了解温度因素对不同类型的包装复合膜的性能影响趋势及规律,引导食品包装材料厂家改善包装材料的组成,本文从不同的温度因素入手,采用4种不同材质的复合膜,分别为双向拉伸聚酰胺(BOPA)/聚乙烯(PE)复合膜、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)/PE复合膜、双向拉伸聚丙烯(BOPP)/镀铝聚丙烯(VMCPP)复合膜、BOPP/(乙烯/乙醇共聚物)(EVOH)复合膜。探究4种复合膜的拉伸强度、断裂伸长率、穿刺强度、直角撕裂力、氧气透过量、水蒸气透过量受温度变化的影响,为科学合理地使用复合膜提供参考。

## 1 实验

### 1.1 材料与设备

主要材料: BOPA/PE 复合膜, 公称厚度为 80  $\mu\text{m}$ ,

工业级, 青岛海德包装有限公司; PET/PE 复合膜, 公称厚度为 80  $\mu\text{m}$ , 工业级, 青岛海德包装有限公司; BOPP/VMCPP 复合膜, 公称厚度为 80  $\mu\text{m}$ , 工业级, 青岛海德包装有限公司; BOPP/EVOH 复合膜, 公称厚度为 80  $\mu\text{m}$ , 工业级, 青岛海德包装有限公司。

主要设备: CH-1-ST 千分台式薄膜测厚仪, 上海六菱仪器厂有限公司; VAC-V2 压差法气体渗透仪, 济南兰光机电技术有限公司; W3/0120 水蒸气透过率测试仪, 济南兰光机电技术有限公司; UTM-1432 万能试验机, 承德市金建检测仪器有限公司; XLS-05A 电子拉力试验机, 承德市金建检测仪器有限公司; GDW-150L 高低温试验箱, 天津爱斯匹克试验设备有限公司。

### 1.2 方法

1) 拉伸强度、断裂伸长率测试。依据 GB/T 1040.3—2006《塑料拉伸性能的测定 第3部分: 薄膜和薄片的试验条件》进行拉伸强度、断裂伸长率测试。将薄膜裁成 150 mm×15 mm 的 2 型试样, 拉伸速度为 200 mm/min, 每组测试 5 个试样。

2) 穿刺强度测试。依据 GB/T 10004—2008《包装用塑料复合膜、袋 干法复合、挤出复合》进行穿刺强度测试。将薄膜裁成直径为 100 mm 的试片, 钢针运行速度为 50 mm/min, 测试片数 5 个以上。

3) 直角撕裂力测试。依据 QB/T 1130—1991《塑料直角撕裂性能试验方法》进行直角撕裂力测试。将薄膜裁成直角形试样, 拉伸速度为 200 mm/min, 每组测试 5 个试样。

4) 水蒸气透过量测定。依据 GB/T 1037—2021《塑料薄膜与薄片水蒸气透过性能测定 杯式增重与减重法》测定水蒸气透过量。将样品裁成合适大小进行测试, 设置相对湿度为 90%, 温度分别设置为 15、25、35、45、55  $^{\circ}\text{C}$ , 每种测试 3 个试样。

5) 氧气透过量测定。依据 GB/T 1038—2000《塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法》测定氧气透过量。温度分别设置为 15、25、35、45、55  $^{\circ}\text{C}$ , 每种测试 3 个试样。

### 1.3 样品制备

1) 取样时, 按表 1 复合膜组成采购样品, 去掉成品膜卷表面 10 层, 取表面平整, 无斑点、瑕疵的样品进行研究。

2) 选取 4 种材质复合膜分别放置于温度为 15、25、35、45、55  $^{\circ}\text{C}$  的高低温试验箱中 4 h, 调节后 10 s 内从试验箱中取出进行力学性能测试。

3) 取步骤 2 中调节后样品, 将压差法气体渗透仪、水蒸气透过率测试仪的温度分别设置为 15、25、35、45、55  $^{\circ}\text{C}$ , 然后进行测试。

表 1 不同材质复合膜组成及厚度  
Tab.1 Composition and thickness of different composite films

复合膜组成	厚度/ $\mu\text{m}$	外层厚度 (BOPA 或 PET 或 BOPP) / $\mu\text{m}$	内层厚度 (PE 或 VMCPP 或 EVOH) / $\mu\text{m}$
BOPA/PE	80	15	65
PET/PE	80	15	65
BOPP/VMCPP	80	15	65
BOPP/EVOH	80	15	65

## 2 结果与讨论

### 2.1 温度变化对不同材质复合膜拉伸强度的影响

4 种材质复合膜的拉伸强度随温度变化见表 2。由表 2 可以看出, 4 种材质的复合膜拉伸强度都出现逐渐降低的趋势, 主要原因是随着温度升高, 分子链的热运动增强, 分子链间的作用力逐渐减小, 受外力拉伸时, 更易断裂。温度从 15  $^{\circ}\text{C}$  升至 55  $^{\circ}\text{C}$ , BOPA/PE 复合膜的拉伸强度由 42.9 MPa 逐渐降低至 36.8 MPa, 减小了 6.1 MPa; PET/PE 复合膜的拉伸强度由 41.3 MPa 逐渐降低至 35.6 MPa, 减小了 5.7 MPa; BOPP/VMCPP 复合膜的拉伸强度由 55.4 MPa 逐渐降低至 46.9 MPa, 减小了 8.5 MPa; BOPP/EVOH 复合膜的拉伸强度由 81.5 MPa 降低至 76.3 MPa, 减少了 5.2 MPa。可以看出, 温度升高, 拉伸强度变小, BOPP/EVOH 复合膜拉伸强度受温度影响最小, 而 BOPP/VMCPP 材质的复合膜受温度影响最大, 这是由于复合膜的 2 层组分对复合膜的拉伸强度贡献不一样, 在 BOPA/PE、PET/PE 2 种复合膜中对拉伸强度起主要作用的是外层 BOPA 和 PET, 在 BOPP/VMCPP、BOPP/EVOH 这 2 种复合膜中起主要作用的是内层 VMCPP 和 EVOH。温度升高, VMCPP 镀铝层附着力下降, 拉伸强度下降最大, 而 EVOH 分子间作用力下降最小, 拉伸强度下降最小。

### 2.2 温度变化对不同材质复合膜断裂伸长率的影响

4 种材质复合膜的拉伸强度随温度变化见表 3。由表 3 可以看出, 温度从 15  $^{\circ}\text{C}$  升至 55  $^{\circ}\text{C}$ , 4 种材质复合膜的断裂伸长率都出现先升高后降低的趋势, 复合膜

的断裂伸长率在 45  $^{\circ}\text{C}$  最大, 主要原因是温度升高, 分子间相互作用力变小, 分子链间的自由体积增大, 柔顺性增加, 受外力作用时, 应变能够随应力变化而变化, 断裂伸长率增加, 当温度高于 45  $^{\circ}\text{C}$  时, 材料分子间作用力进一步破坏, 材料易断裂。从 15  $^{\circ}\text{C}$  升至 45  $^{\circ}\text{C}$ , 4 种材质复合膜的断裂伸长率都逐渐变大, BOPA/PE 复合膜的断裂伸长率由 124% 升高至 138%, PET/PE 复合膜的断裂伸长率由 84% 升高至 95%, BOPP/VMCPP 复合膜的断裂伸长率由 78% 升高至 85%, BOPP/EVOH 复合膜的断裂伸长率由 86% 升高至 96%, 分别升高了 14%、11%、7%、10%。综合分析, 温度升高, 复合膜的断裂伸长率先升高后降低, BOPP/VMCPP 材质的断裂伸长率受温度变化影响最小, 而 BOPA/PE 复合膜影响最大。这主要是因为温度对几种复合膜的分子间作用力影响幅度不一样导致。

### 2.3 温度变化对不同材质复合膜穿刺强度的影响

4 种材质复合膜的穿刺强度随温度变化趋势见表 4。由表 4 可以看出, 温度从 15  $^{\circ}\text{C}$  升至 55  $^{\circ}\text{C}$ , 4 种材质的复合膜穿刺强度都逐渐减小。这是由于穿刺强度与材料的韧性有关, 温度升高, 分子间作用力减小, 韧性强度变差, 当材料受到外力冲击时, 分子链之间更容易分离。从 15  $^{\circ}\text{C}$  升至 55  $^{\circ}\text{C}$ , BOPA/PE 复合膜的穿刺强度由 8.7 N 降低至 3.8 N, PET/PE 复合膜的穿刺强度由 6.9 N 降低至 3.2 N, BOPP/VMCPP 复合膜的穿刺强度由 11.4 N 降低至 6.9 N, BOPP/EVOH 复合膜的穿刺强度由 12.5 N 降低至 8.1 N, 穿刺强度分别降低了 4.9、3.7、4.5、4.4 N。可以看出, 温度升高, 复合膜穿刺强度变小, PET/PE 复合膜穿刺强度受温度变化影响最小, 而 BOPA/PE 复合膜穿刺强度受温度变化影响最大。

表 2 温度变化对复合膜拉伸强度的影响  
Tab.2 Effect of temperature change on tensile strength of different composite films

温度/ $^{\circ}\text{C}$	BOPA/PE		PET/PE		BOPP/VMCPP		BOPP/EVOH	
	拉伸强度/MPa	标准误差	拉伸强度/MPa	标准误差	拉伸强度/MPa	标准误差	拉伸强度/MPa	标准误差
15	42.9	0.56	41.3	0.62	55.4	0.41	81.5	0.54
25	41.8	0.44	40.0	0.58	53.4	0.50	79.2	0.58
35	40.0	0.50	36.9	0.60	52.3	0.48	78.5	0.49
45	38.6	0.43	35.9	0.49	49.8	0.61	77.6	0.50
55	36.8	0.40	35.6	0.51	46.9	0.54	76.3	0.52

表3 温度变化对复合膜断裂伸长率的影响  
Tab.3 Effect of temperature change on elongation at break of different composite films

温度/°C	BOPA/PE		PET/PE		BOPP/VMCPP		BOPP/EVOH	
	断裂伸长率/%	标准误差	断裂伸长率/%	标准误差	断裂伸长率/%	标准误差	断裂伸长率/%	标准误差
15	124	1.47	84	1.70	78	0.89	86	1.24
25	126	1.54	88	1.61	80	0.90	92	1.38
35	131	1.50	91	1.49	82	0.91	93	1.41
45	138	1.61	95	1.45	85	1.01	96	1.34
55	135	1.48	92	1.62	83	0.89	90	1.42

表4 温度变化对复合膜穿刺强度的影响  
Tab.4 Effect of temperature change on puncture strength of different composite films

温度/°C	BOPA/PE		PET/PE		BOPP/VMCPP		BOPP/EVOH	
	穿刺强度/N	标准误差	穿刺强度/N	标准误差	穿刺强度/N	标准误差	穿刺强度/N	标准误差
15	8.7	0.27	6.9	0.32	11.4	0.32	12.5	0.24
25	7.6	0.24	6.4	0.28	10.8	0.21	11.0	0.29
35	6.5	0.29	6.2	0.27	9.6	0.28	9.9	0.24
45	5.2	0.24	4.5	0.29	7.4	0.27	8.5	0.23
55	3.8	0.19	3.2	0.26	6.9	0.26	8.1	0.20

## 2.4 温度变化对不同材质复合膜直角撕裂力的影响

4种材质复合膜的直角撕裂力随温度变化见表5。由表5可以看出,当温度从15℃升至55℃时,4种材质的复合膜直角撕裂力都呈现逐渐减小的趋势。这是因为复合膜的直角撕裂力主要与分子间作用力及分子结构有关,温度升高,分子间作用力变小,应力更容易集中在撕裂点,表现为直角撕裂力下降。从15℃升至55℃,BOPA/PE复合膜的直角撕裂力由10.2 N降低至4.3 N,PET/PE复合膜的直角撕裂力由

9.7 N降低至3.7 N,BOPP/VMCPP复合膜的直角撕裂力由8.2 N降低至2.8 N,BOPP/EVOH复合膜的直角撕裂力由13.4 N降低至8.4 N,直角撕裂力分别降低了5.9、6.0、5.4、5.0 N。由此可以看出,温度升高,复合膜的直角撕裂力变小,PET/PE复合膜的直角撕裂力受温度升高影响最大,而BOPP/EVOH复合膜直角撕裂力受温度升高影响最小。当复合膜受到外力按一定速度拉伸时,复合膜表现为脆性破坏,因此分子间作用力受温度升高下降多的PET/PE复合膜的直角撕裂力受温度影响最大,而BOPP/EVOH复合膜直角撕裂力受温度影响最小。

表5 温度变化对复合膜直角撕裂力的影响  
Tab.5 Effect of temperature change on right-angle tearing force of different composite films

温度/°C	BOPA/PE		PET/PE		BOPP/VMCPP		BOPP/EVOH	
	直角撕裂力/N	标准误差	直角撕裂力/N	标准误差	直角撕裂力/N	标准误差	直角撕裂力/N	标准误差
15	10.2	0.18	9.7	0.22	8.2	0.21	13.4	0.24
25	9.6	0.22	8.4	0.18	7.4	0.20	12.2	0.21
35	8.1	0.19	6.6	0.20	5.8	0.18	10.3	0.20
45	6.4	0.22	5.3	0.19	4.8	0.21	9.4	0.21
55	4.3	0.19	3.7	0.21	2.8	0.20	8.4	0.19

## 2.5 温度变化对不同材质复合膜氧气透过量的影响

4种材质复合膜的氧气透过量随温度变化如图1所示。从图1可以清楚地看出, 4种类型的复合膜的氧气透过量随温度的变化趋势基本一致。对于同一样品, 当温度升高时, 氧气透过量逐渐变大, 在15~35℃内, 氧气透过量增长趋势平缓; 在35~55℃变动范围内, 氧气透过量增长趋势较明显。这是因为随着温度的升高, 氧气分子的热运动加剧, 运动能增加, 同时复合膜的分子链运动加快, 自由体积增加, 氧气分子更容易通过复合膜。温度越高, 氧气分子的热运动增加的幅度越大, 所以氧气透过量增长趋势更明显。当温度从15℃升高到55℃时, BOPA/PE复合膜的氧气透过量由41.5 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa)增大至125.4 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa), PET/PE复合膜的氧气透过量由70.6 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa)增大至178.5 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa), BOPP/VMCPP复合膜的氧气透过量由9.4 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa)增大至30.8 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa), BOPP/EVOH复合膜的氧气透过量由3.3 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa)增大至15.8 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa), 氧气透过量分别增大了83.9、107.9、21.4、12.5 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa)。由此可以看出, 温度升高, 4种复合膜氧气透过量都变大, 阻隔性变差。PET/PE复合膜氧气透过量受温度变化影响最大, 而BOPP/EVOH复合膜氧气透过量受温度变化影响最小。这是因为PET/PE复合膜对氧气起阻隔作用的主要是PET层, PET分子中含有苯环等刚性基团, 温度升高对PET分子链的柔顺性影响最大, 而BOPP/EVOH复合膜中起阻隔作用的EVOH分子柔顺性受温度影响变化最小。

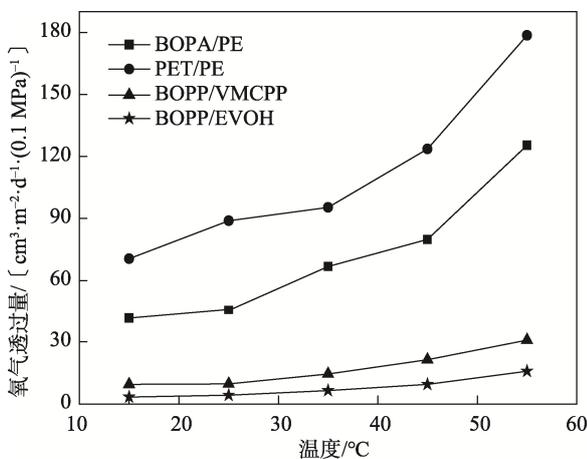


图1 温度变化对不同材质复合膜氧气透过量的影响

Fig.1 Effect of temperature change on oxygen permeability of different composite films

## 2.6 温度变化对不同材质复合膜水蒸气阻隔性的影响

表6数据为温度对4种材质复合膜水蒸气透过量的影响。可以清楚地看到, 随着温度的逐渐升高, 4种材质复合膜的水蒸气透过量逐渐变大。这是因为温度升高, 水蒸气分子的热运动加剧, 更容易吸附在复合膜表面, 溶解量增大并渗透过薄膜; 同时温度升高, 分子链运动加剧, 自由体积变大, 导致复合膜水蒸气透过性能增高。当温度从15℃升高到55℃时, BOPA/PE复合膜的水蒸气透过量由2.73 g/(m<sup>2</sup>·d)增大至7.22 g/(m<sup>2</sup>·d), PET/PE复合膜的水蒸气透过量由2.22 g/(m<sup>2</sup>·d)增大至6.56 g/(m<sup>2</sup>·d), BOPP/VMCPP复合膜的水蒸气透过量由1.11 g/(m<sup>2</sup>·d)增大至3.11 g/(m<sup>2</sup>·d), BOPP/EVOH复合膜的水蒸气透过量由1.22 g/(m<sup>2</sup>·d)增大至3.56 g/(m<sup>2</sup>·d)。水蒸气透过量的提高值分别为4.49、4.34、2.00、2.34 g/(m<sup>2</sup>·d)。由此可以看出, 温度升高, 水蒸气透过量变大, 水蒸气阻隔性变差。复合膜的水蒸气透过量受温度影响从大到小的顺序为BOPA/PE、PET/PE、BOPP/EVOH、BOPP/VMCPP。BOPA/PE复合膜的水蒸气透过量受温度变化影响最大, 而BOPP/VMCPP复合膜的水蒸气透过量受温度变化影响最小。

表6 温度变化对复合膜水蒸气透过量的影响  
Tab.6 Effect of temperature change on water vapor permeability of different composite films

温度/°C	水蒸气透过量/(g·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )			
	BOPA/PE	PET/PE	BOPP/VMCPP	BOPP/EVOH
15	2.73	2.22	1.11	1.23
25	3.07	2.89	1.25	1.56
35	3.53	3.18	1.38	1.78
45	5.36	4.45	2.02	2.34
55	7.22	6.56	3.11	3.56

## 3 结语

当温度因素发生变化时, 不同材质的复合膜的拉伸强度、断裂伸长率、穿刺强度、直角撕裂力、水蒸气透过量、氧气透过量产生的影响不同。当温度从15℃升至55℃时, 拉伸强度、穿刺强度和直角撕裂力逐渐减小, 断裂伸率先增大后减小, 水蒸气透过量和氧气透过量逐渐变大。复合膜的拉伸强度受温度因素变化影响从大到小的顺序为BOPP/VMCPP、BOPA/PE、PET/PE、BOPP/EVOH; 复合膜的断裂伸长率受温度因素变化影响从大到小的顺序为BOPA/PE、PET/PE、BOPP/EVOH、BOPP/VMCPP; 复合膜的穿刺强度影响受温度因素变化影响从大到小的顺序为

BOPA/PE、BOPP/VMCPP、BOPP/EVOH、PET/PE；复合膜的直角撕裂力受温度因素变化影响从大到小的顺序为PET/PE、BOPA/PE、BOPP/VMCPP、BOPP/EVOH；复合膜的氧气透过量受温度因素变化影响从大到小的顺序为PET/PE、BOPA/PE、BOPP/VMCPP、BOPP/EVOH；复合膜的水蒸气透过量受温度影响从大到小的顺序为BOPA/PE、PET/PE、BOPP/EVOH、BOPP/VMCPP。综合分析，BOPP/EVOH复合膜的力学性能和阻隔性能受温度影响小；在温度变化大，同时没有特定应用目标时，BOPP/EVOH复合膜是一种可供选择的理想包装材料。

### 参考文献：

- [1] 徐萌, 高达利, 张师军. 食品包装高分子材料技术进步与升级[J]. 中国塑料, 2021, 35(3): 74-82.  
XU Meng, GAO Da-li, ZHANG Shi-jun. Progress and Upgrade of Food Packaging Polymer Materials[J]. China Plastics, 2021, 35(3): 74-82.
- [2] 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): 183-195.
- [3] 刘钊, 万富, 刘洋, 等. 不同材质食品包装用塑料袋阻透性研究[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(6): 26-28.  
LIU Zhao, WAN Fu, LIU Yang, et al. Study on Permeability of Plastics with Different Materials for Food Packaging[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(6): 26-28.
- [4] 祝爱萍, 麦伟明, 林锡康. 几种食品包装用塑料膜阻透性能比较[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 74-78.  
ZHU Ai-ping, MAI Wei-ming, LIN Xi-kang. Comparison of Barrier Properties of Several Plastic Films for Food Packaging[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 74-78.
- [5] ATALLAH A A, EL-DEEB A M, MOHAMED E N. Shelf-Life of Domiati Cheese under Modified Atmosphere Packaging[J]. Journal of Dairy Science, 2021, 104(8): 8568-8581.
- [6] 刘秋菊, 李旭阳, 陈国伟, 等. 阻隔性高分子复合材料研究与应用进展[J]. 塑料科技, 2013, 41(7): 104-108.  
LIU Qiu-ju, LI Xu-yang, CHEN Guo-wei, et al. Research and Application Progress on Barrier Polymer Composites[J]. Plastics Science and Technology, 2013, 41(7): 104-108.
- [7] 刘容宏, 王微山, 宋亚光. 不同材质食品包装用塑料膜、袋透氧性研究[J]. 塑料包装, 2011, 21(1): 40-43.  
LIU Rong-hong, WANG Wei-shan, SONG Ya-guang. Study on Oxygen Permeability of Plastic Films and Bags for Food Packaging with Different Materials[J]. Plastics Packaging, 2011, 21(1): 40-43.
- [8] 孙滔, 杨青, 胡健, 等. 聚(乳酸-乙醇酸)薄膜制备及其性能研究[J]. 中国塑料, 2022, 36(2): 33-40.  
SUN Tao, YANG Qing, HU Jian, et al. Preparation and Properties of Poly(lactic acid-co-glycolic acid) Film[J]. China Plastics, 2022, 36(2): 33-40.
- [9] 宋志勇, 李乃状, 张蕾, 等. 改性二氧化硅对SiO<sub>2</sub>/PLA复合膜性能的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(15): 142-148.  
SONG Zhi-yong, LI Nai-zhuang, ZHANG Lei, et al. Effect of Modified Silica on Properties of SiO<sub>2</sub>/PLA Composite Films[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(15): 142-148.
- [10] GINZBURG V V, SINGH C, BALAZS A C. Theoretical Phase Diagrams of Polymer/Clay Composites: the Role of Grafted Organic Modifiers[J]. Macromolecules, 2000, 33(3): 1089-1099.
- [11] 汪钰文, 李亚娜, 林勤保, 等. 高密度聚乙烯基高阻隔性包装膜的研究[J]. 塑料科技, 2021, 49(10): 1-5.  
WANG Yu-wen, LI Ya-na, LIN Qin-bao, et al. Research of High Barrier Packaging Film Based on High Density Polyethylene[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(10): 1-5.
- [12] 刘莉丹, 于小斐, 魏文松, 等. 软包装材料阻隔性对红烧肉品质特性的影响研究[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 119-124.  
LIU Li-dan, YU Xiao-fei, WEI Wen-song, et al. Study on the Influence of Barrier Property of Soft Packaging Materials on the Quality Characteristics of Braised Pork[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(7): 119-124.
- [13] 郭风, 刘容宏, 吴艳凤. 不同温湿度下几种软包装膜力学性能的研究[J]. 中国塑料, 2019, 33(3): 87-92.  
GUO Feng, LIU Rong-hong, WU Yan-feng. Study on Mechanical Properties of Several Flexible Packaging Films at Different Temperature and Humidity[J]. China Plastics, 2019, 33(3): 87-92.
- [14] 毛凯. 食品包装用塑料复合膜、袋透氧的性能[J]. 现代食品, 2017(1): 118-119.  
Mao Kai. Food Packaging with Plastic Composite Film, Bag Oxygen Permeability Performance[J]. Modern Food, 2017(1): 118-119.
- [15] 梁晓红, 呼和, 王羽, 等. 乙烯-乙醇醇共聚物复合膜的力学、热学及阻隔性能研究[J]. 塑料科技, 2015, 43(6): 21-24.  
LIANG Xiao-hong, HU He, WANG Yu, et al. Study on Mechanical, Thermal and Barrier Properties of EVOH Composite Films[J]. Plastics Science and Technology, 2015, 43(6): 21-24.
- [16] 褚雄燕, 杭雅娟, 胡习祯. EVOH高阻隔材料在食品包装中的应用[J]. 轻工科技, 2012, 28(4): 22-23.  
CHU Xiong-yan, HANG Ya-juan, HU Xi-zhen. Application of EVOH High Barrier Material in Food Packaging[J]. Light Industry Science and Technology, 2012, 28(4): 22-23.