

# 可食性魔芋葡甘聚糖耐水耐高温复合膜的 制备及性能研究

杨 君<sup>1,2</sup>, 孙远明<sup>1</sup>, 雷红涛<sup>1</sup>, 吴 青<sup>1</sup>

(11 华南农业大学; 21 广东农工商职业技术学院)

摘 要: 以魔芋胶(KG)即魔芋葡甘聚糖(KGM)为基材,在碱性条件下加热制备耐水耐高温膜,采用 5 因素(162 实施)二次正交旋转组合设计研究了石蜡、硬脂酸、乳化剂、甘油和聚乙二醇 400 对膜水蒸气透过系数(WVP)、耐破度(BS)、抗张强度(TS)和伸长率(E)的影响,得到相应单指标二次回归模型。分析表明:5 个因素的一次项、二次项及交互项对膜的WVP、BS、TS 和 E 均有不同程度的影响。得出了各因子对膜性能的影响规律。

关键词: 可食性膜; 魔芋葡甘聚糖; 耐水耐高温膜

中图分类号: S377 文献标识码: A 文章编号: 100226819(2002)0320106207

魔芋葡甘聚糖(KGM),即魔芋胶(KG)在食品工业中一般作为食品原料及食品添加剂。近年来,在 KGM 用作水果和蔬菜的涂膜保鲜方面进行了不少的研究<sup>[1,2]</sup>,结果表明经 KGM 涂膜处理,能大大提高果蔬的保鲜效果,降低其在贮运过程中的腐烂与损失,同时也显示了 KGM 具有较好的成膜性。根据食品发展的需要,如微波食品应防止水分过分散失,快餐饭盒的涂层需既能防水又能抗热等,需要研究耐水耐高温的可食性膜,这也是当今可食膜研究中存在的一大难题<sup>[3]</sup>。本文以 KGM 为主要原料,根据 KGM 溶胶在弱碱性条件下加热形成热不可逆凝胶的独特性能,制备耐水耐高温复合膜,以期制备微波、焙烤、油炸食品的包被膜<sup>[4,5]</sup>,火腿肠衣膜<sup>[6]</sup>,快餐饭盒的涂层膜,以及某些食品的可食性包装等提供基础性资料和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

魔芋胶(KG):深圳协力食品有限公司生产;甘油、聚乙二醇 400(PEG2400)、石蜡、硬脂酸、乳化剂均为食用级。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 试验设计与膜的制备

以 KG(浓度为 0.18%)为基料,选用石蜡、硬脂酸两种阻湿剂,甘油、聚乙二醇 400 两种增塑剂和乳

化剂蔗糖酯作为试验因子,采用 5 因子(162 实施)二次正交旋转组合设计<sup>[7]</sup>(表 1、表 2)进行试验,研究它们对膜性能的影响。整个试验重复 3 次。

表 1 耐水耐高温膜试验因素水平编码

Table 1 The experimental factors' level coding of the water and high temperature resistant film					
编码	石蜡	硬脂酸	乳化剂	甘油	聚乙二醇
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	
-2	0	0	0	0	0
-1	115	115	110	410	018
0	310	310	210	810	116
1	415	415	310	1210	214
2	610	610	410	1610	312

膜制作工艺流程如下:

原料混合 加水溶胀 加热并搅拌均匀 均质 加碱液调 pH 值 加热 离心脱气 倒板制膜 于一定的温度下烘干 均湿回软 揭膜 贮藏待测 制样 性能测试

#### 1.2.2 膜的性能指标测试方法

参照《造纸工业产品试验方法标准汇编》<sup>[8]</sup>中的有关方法进行。膜的厚度(Thickness, T):用 YQ 2Z2 10 型厚度测定仪测定,取中心点与边缘均匀分布的 6 个点测量,计算其平均值。

水蒸气透过系数(Water Vapor Permeability, WVP),是描述膜透湿性的一种常用方法。即指单位面积、单位厚度的膜在单位水蒸气压差下水蒸气的迁移速度。以  $g \cdot m / (d \cdot m^2 \cdot Pa)$  表示。

耐破度(Bursting Strength, BS):指膜在单位面积上所能承受的均匀增大的最大压力(其作用压力与膜表面垂直),以  $MPa$  表示。置于 ZP21000 型耐破度仪以上,测定时重复 6 次,取平均值。

收稿日期: 2001212217  
基金项目: 广东省自然科学基金项目(990897)资助  
作者简介: 杨 君(1966- ),女,硕士,讲师,广东农工商职业技术学院管理系,510507  
通讯作者: 孙远明(1956- ),男,教授,博士,博士生导师,广州市五山 华南农业大学食品科学系,510642

抗张强度(Tensile Strength, TS): 将膜裁成长×宽为 100 mm × 15 mm 的长条, 实验长度为 100 mm, 置于 TH1 型抗张强度测定仪上测定, 读取膜断裂时的张力  $F$  (单位:  $N \cdot m^{-2}$ ), 膜抗张强度以膜单位面积的抗张力(M Pa)表示。

伸长率(Elongation Rate, E): 是指膜受到张力

至断裂时所伸长度与原试样长度之比, 用以评价膜的拉伸弹性及韧性, 可从抗张强度仪上直接读出。

## 2 结果与分析

试验结果见表 2。

表 2 各参试因子试验结构矩阵及结果

Table 2 The experimental structural matrix and results of all the factors

试验号	参试因子					$Y_W$	$Y_T$	$Y_E$	$Y_B$	耐水耐酸 耐热性
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	(WVP)	(TS)	(E)	(BS)	
1	- 1	- 1	- 1	- 1	1	01164 1	131290	291503	3 34110	A
2	- 1	- 1	- 1	1	- 1	01258 7	81913	1041470	2 29617	A
3	- 1	- 1	1	- 1	- 1	01112 4	161660	01604	3 54118	A
4	- 1	- 1	1	1	1	01267 1	61981	901530	1 64410	A
5	- 1	1	- 1	- 1	- 1	01098 6	81320	771138	1 90814	B
6	- 1	1	- 1	1	1	01230 7	61870	791296	1 36914	B
7	- 1	1	1	- 1	1	01099 8	101093	331696	2 79719	B
8	- 1	1	1	1	- 1	01180 2	61552	801399	1 60517	B
9	1	- 1	- 1	- 1	- 1	01102 1	111293	431893	2 12819	A
10	1	- 1	- 1	1	1	01238 7	61180	711701	1 55515	A
11	1	- 1	1	- 1	1	01090 1	91771	481010	2 84319	A
12	1	- 1	1	1	- 1	01201 3	71568	1381970	1 37812	A
13	1	1	- 1	- 1	1	01098 8	61360	371152	2 25811	B
14	1	1	- 1	1	- 1	01160 1	41875	891705	1 25015	B
15	1	1	1	- 1	- 1	01052 1	91417	311275	1 32413	B
16	1	1	1	1	1	01182 8	51350	961303	1 07914	B
17	2	0	0	0	0	01093 2	51853	681139	1 76918	A
18	- 2	0	0	0	0	01189 7	91773	821876	1 81818	A
19	0	2	0	0	0	01081 2	41795	661343	1 20017	B
20	0	- 2	0	0	0	01194 2	101298	681436	2 31212	A
21	0	0	2	0	0	01090 7	91864	711095	1 91715	A
22	0	0	- 2	0	0	01154 3	71777	641457	1 82919	A
23	0	0	0	2	0	01283 7	81585	031364	1 31816	A
24	0	0	0	- 2	0	01056 3	181436	111338	3 50915	B
25	0	0	0	0	2	01168 1	81304	721380	1 69317	A
26	0	0	0	0	- 2	01101 4	101415	811780	1 36017	A
27	0	0	0	0	0	01117 4	91688	751611	1 79216	A
28	0	0	0	0	0	01128 1	101319	721050	2 29919	A
29	0	0	0	0	0	01113 5	81099	681606	1 76916	A
30	0	0	0	0	0	01119 6	91807	791870	1 78813	A
31	0	0	0	0	0	01134 7	91345	711405	1 65512	A
32	0	0	0	0	0	01128 7	91613	781500	1 90419	A
33	0	0	0	0	0	01121 3	91321	651660	1 79819	A
34	0	0	0	0	0	01119 6	91087	691264	1 97714	A
35	0	0	0	0	0	01104 2	111138	781130	1 98218	A
36	0	0	0	0	0	01112 1	101515	691530	1 85910	A

$Y_W$ : 水蒸气透过系数,  $g \cdot m^{-1} \cdot d^{-1} \cdot Pa^{-1}$ ;  $Y_B$ : 耐破度,  $MPa \cdot m^{-2}$ ;  $Y_T$ : 抗张强度, M Pa;  $Y_E$ : 伸长率, %。A: 于 pH2 及更强的强酸溶液中, 100 长时间(30 min 以上), 膜仍完好。B: 该膜在冷水中(pH7)浸泡后逐渐吸涨分散。

### 2.1.1 膜的耐水耐热耐酸耐碱性

直接用 KG 在碱性条件下加热制成的膜也能耐水耐热耐酸, 但此膜阻湿性能较差, 且在水中会收缩变形, 影响了它的应用。按表 2 配方制备的膜, 多数(表 2 中标注 A 者)具有良好的耐水耐热耐酸碱性能, 即该膜浸入水中不溶解不分散不变形, 即使加热

至沸 30 min 以上, 膜仍完好, 此膜于 pH2, pH10 的溶液中 100 加热 30 min 以上仍完好, 仅膜表面的脂会部分溶出, 内部膜不受影响。

有部分膜(表 2 中标注 B 者), 当硬脂酸 415 g/L 时, KG 也能成膜, 但这部分膜不耐酸, 且在水中浸泡一段时间后膜会吸涨, 最后失去强度。

212 各参试因子与膜WVP 的关系

21211 模型的建立与检验

用表 2 中  $Y_W$  栏的数据可模拟出膜WVP 与参试因子之间的二次回归模型

$$Y_W = 01119\ 66-01020\ 17X_1-01023\ 40X_2-01012\ 37X_3+01057\ 27X_4+01014\ 35X_5+01007\ 18X_1^2+01006\ 24X_2^2+01002\ 92X_3^2+01014\ 99X_4^2+01006\ 03X_5^2+01004\ 08X_1X_2+01001\ 83X_1X_3-01001\ 45X_1X_4-01001\ 29X_1X_5+01000\ 62X_2X_3-01005\ 82X_2X_4+01002\ 48X_2X_5+01003\ 38X_3X_4-01000\ 99X_3X_5+01001\ 93X_4X_5 \quad (1)$$

式(1)失拟性检验  $F_1=21821 < F_{0105}(6, 9)=3137$ , 说明模型无失拟因素存在, 显著性检验  $F_2=421568 > F_{0101}(20, 15)=3137$ , 达 0101 极显著水平, 说明此模型可信度好。

$F$  检验的结果表明:  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  均在 0101 水平上差异显著, 说明 5 个因素对水蒸气透过系数均有极显著的影响。在交互项中,  $X_2X_4$  在 011 水平上差异显著, 说明硬脂酸与甘油的交互作用对膜的WVP 影响较大,  $X_1X_2$  在 012 水平上  $X_3X_4$  在 013 水平上差异显著, 说明石蜡与硬脂酸、乳化剂与甘油的交互作用对膜的WVP 也存在一定的影响。

21212 影响膜WVP 的主因子效应分析

由式(1)用“降维法”可得出各参试组分对膜WVP 影响的偏回归解析子模型, 根据子模型作出图 1。从图 1 看出, 石蜡、硬脂酸和乳化剂均使膜的WVP 下降, 0 水平以上时, 下降趋势较为缓慢; PEG2400 和甘油使膜的WVP 明显升高, 特别是甘油的加入, 使膜的透湿性大大提高。

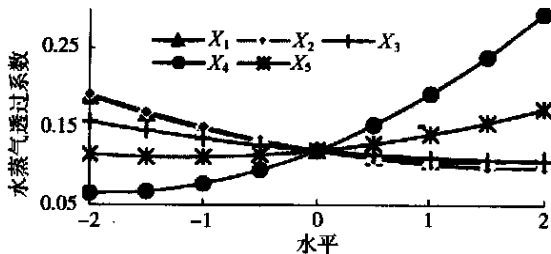


图 1 以WVP 为指标的主因子效应

Fig 1 The principal factor effect of the indicatorWVP

21213 影响膜WVP 的双因子效应分析

由式(1)可得  $X_1X_2$  的偏回归解析子模型(略), 子模型分析表明, 随着石蜡与硬脂酸用量的增加, WVP 逐渐下降, 且当石蜡与硬脂酸处于较低水平(0 水平以下)时,WVP 下降较快(图 2)。

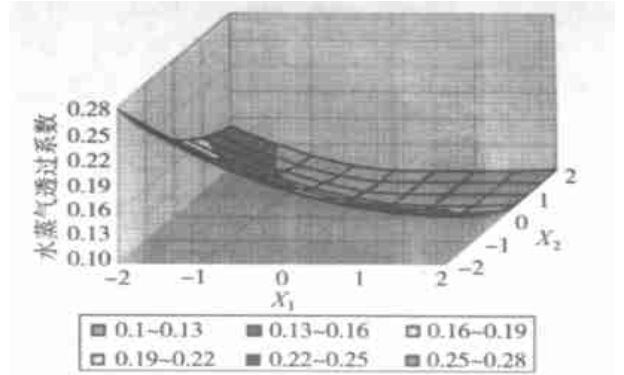


图 2 以WVP 为指标的石蜡( $X_1$ )与硬脂酸( $X_2$ )双因子交互效应

Fig 2 The double factors mutual effect of the paraffin ( $X_1$ ) and stearic acid ( $X_2$ ) on indicatorWVP

同样由式(1)可得到  $X_2X_4$  的偏回归解析子模型(略), 子模型分析表明, 随着甘油用量的增加, WVP 迅速上升, 且甘油用量越大上升幅度也越大; 而随硬脂酸用量的增加,WVP 呈下降趋势, 但硬脂酸水平越高, 下降趋势越平缓(图 3)。

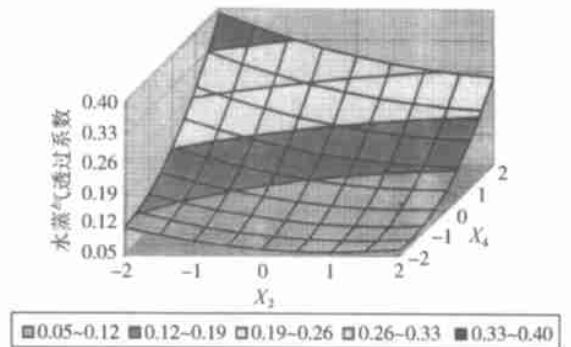


图 3 以WVP 为指标的硬脂酸( $X_2$ )与甘油( $X_4$ )双因子交互效应

Fig 3 Double factors mutual effect between the stearic acid ( $X_2$ ) and glycerol ( $X_4$ ) of indicatorWVP

213 各参试因子与膜BS 的关系

21311 模型的建立与检验

用表 2 中  $Y_B$  栏的数据可模拟出膜的BS 与参试因子之间的二次回归模型

$$Y_B = 1\ 8781399\ 0-2011203\ 3X_1-3091391\ 5X_2+111540\ 2X_3-5191422\ 5X_4+891068\ 9X_5+01266\ 2X_1^2-91196\ 3X_2^2+251403\ 8X_3^2+1621016\ 1X_4^2-621199\ 1X_5^2+781259\ 6X_1X_2-721738\ 3X_1X_3+861894\ 5X_1X_4+1181510\ 8X_1X_5-91808\ 1X_2X_3+1261689\ 5X_2X_4+851794\ 7X_2X_5-1021986\ 6X_3X_4-281063\ 7X_3X_5-2031033\ 3X_4X_5 \quad (2)$$

式(2)失拟性检验  $F_1=21999 < F_{0105}(6, 9)=3137$ , 说明模型无失拟因素存在, 显著性检验  $F_2=111296 > F_{0101}(20, 15)=3137$ , 达 0101 显著水平, 说明此模型可信度好。  $F$  检验的结果表明:  $X_1, X_2, X_4$  均在 0101 水平上差异显著;  $X_5$  在 011 水平上差异显著; 在交互项中,  $X_4X_5$  在 0101 水平,  $X_2X_4$  在 0105 水平上差异显著;  $X_1X_5$  在 011 水平,  $X_1X_4, X_2X_5, X_3X_4$  在 012 水平上差异显著。

21312 影响膜BS的主因子效应分析

由式(2)用“降维法”可得出各参试组分对膜BS影响的偏回归解析子模型, 根据子模型作出图 4。

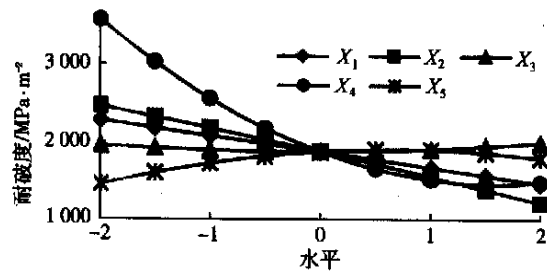


图 4 以BS为指标的主因子效应

Fig 4 The principal factor effect of the indicator BS

从图 4 可看出, 随着石蜡与硬脂酸用量的增加, 膜的BS 迅速下降; 甘油也使膜的BS 下降, 在 0 水平以上, 下降趋势趋于平缓; PEG2400 使膜的BS 先增加而后又略有降低; 乳化剂对膜的BS 影响不大。

21313 影响膜BS的双因子效应分析

由式(2)可得  $X_2X_4$  的偏回归解析子模型(略), 当硬脂酸处于较低水平时, 随着甘油用量的增加, 膜的BS 迅速下降, 当硬脂酸处于较高水平时, 随甘油的增加, 膜的BS 先降低然后又略有升高; 膜的BS 随硬脂酸的增多而迅速下降, 当甘油处于较高水平时, 膜的BS 随硬脂酸的变化不大(图 5)。

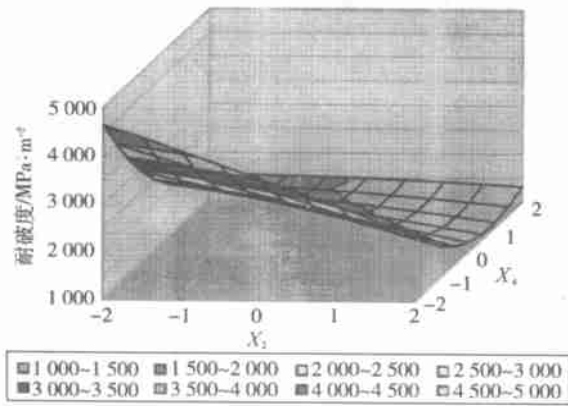


图 5 以BS为指标的硬脂酸( $X_2$ )与甘油( $X_4$ )双因子交互效应

Fig 5 Double factors mutual effect between the stearic acid ( $X_2$ ) and glycerol ( $X_4$ ) of indicator BS

由式(2)可得  $X_4X_5$  的偏回归解析子模型(略), 子模型分析表明, 随 PEG2400 的增大, 膜的BS 迅速升高, 但甘油为 0 水平以上时, 随 PEG2400 的增大, 膜的BS 变化不大; 当 PEG2400 为较低水平时, 甘油对膜的BS 影响不大, 当 PEG2400 为较高水平时, 膜的BS 随甘油用量的增加而急剧下降(图 6)。

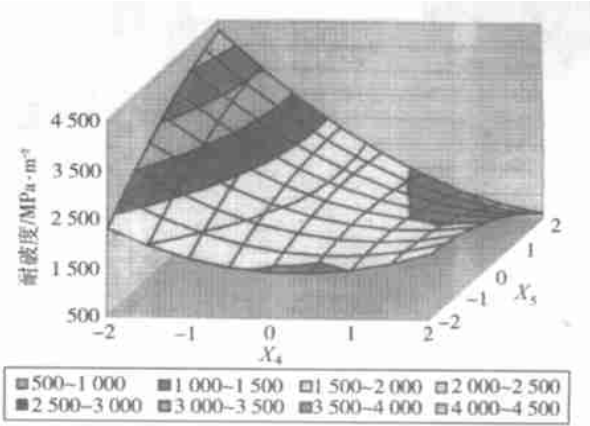


图 6 以BS为指标的甘油( $X_4$ )与聚乙二醇( $X_5$ )双因子交互效应

Fig 6 Double factors mutual effect between the glycerol ( $X_4$ ) and PEG2400 ( $X_5$ ) of indicator BS

214 各参试因子与膜TS的关系

21411 模型的建立与检验

用表 2 中  $Y_T$  栏的数据可模拟出膜的TS 与参试因子之间的二次回归模型

$$\begin{aligned} Y_T = & 91192.71 - 11041.23X_1 - 11424.11X_2 + \\ & 01443.61X_3 - 21179.49X_4 - 01546.15X_5 - \\ & 01607.47X_1^2 - 01674.09X_2^2 - 01320.14X_3^2 + \\ & 01871.21X_4^2 - 01183.22X_5^2 + 01364.44X_1X_2 + \\ & 01066.35X_1X_3 + 01393.98X_1X_4 - \\ & 01136.16X_1X_5 + 01199.61X_2X_3 + \\ & 01686.11X_2X_4 + 01481.62X_2X_5 - \\ & 01450.24X_3X_4 - 01472.34X_3X_5 + \\ & 01230.90X_4X_5 \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)失拟性检验  $F_1=01771 < F_{011}(6, 9)=2155$ , 说明模型无失拟因素存在, 显著性检验  $F_2=201467 > F_{0101}(20, 15)=3137$  达 0101 极显著水平, 说明此模型可信度好。  $F$  检验表明:  $X_1, X_2, X_4, X_5$  均在 0101 水平上差异显著,  $X_3$  在 0102 水平上差异显著, 说明 5 种因素对抗张强度均有显著的影响。在交互项中,  $X_2X_4$  在 0101 水平,  $X_2X_5, X_3X_4, X_3X_5$  在 0105 水平上差异显著, 说明硬脂酸与甘油、硬脂酸与 PEG2400、乳化剂与甘油、乳化剂与 PEG2400 的交互作用对膜的WVP 影响较大,  $X_1X_3, X_1X_4$  在 011 水平,  $X_4X_5$  在 013 水平上差异显著, 说明石蜡与硬脂酸、石蜡与甘油、甘油与 PEG2400 的交互作

用对膜的抗张强度也存在一定的影响。

21412 影响膜 TS 的主因子效应分析

由式(3)用“降维法”可得出各参试组分对膜 TS 影响的偏回归解析子模型, 根据子模型作出图 7。

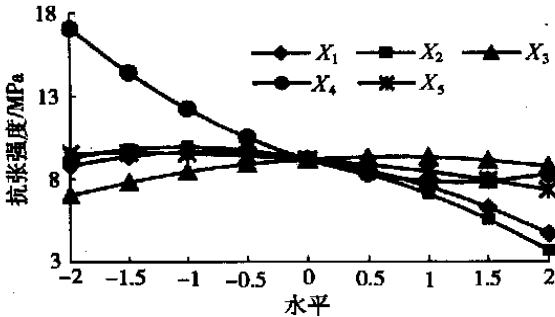


图 7 以 TS 为指标的主因子效应

Fig 7 The principal factor effect of the indicator TS

从图 7 看出, 石蜡和硬脂酸均使膜的 TS 下降, 当二者处于 0 水平以下时, 下降幅度较小; 乳化剂在低水平时, 使膜的 TS 增加, 但在较高水平时, 却使膜的 TS 呈下降趋势; 甘油和 PEG2400 也均使膜的 TS 下降, 但当甘油处于 0 水平以上时, TS 变化不大, PEG2400 使膜的 TS 呈缓慢下降的趋势。

21413 影响膜 TS 的双因子效应分析

由式(3)可得  $X_2X_4$  的偏回归解析子模型(略), 子模型分析表明, 膜的 TS 随甘油用量的增加而降低, 但当硬脂酸处于较高水平时, 先缓慢下降, 然后又略有上升; 膜的 TS 随硬脂酸的增加而下降, 当甘油为较高水平时, TS 下降较为平缓(图 8)。

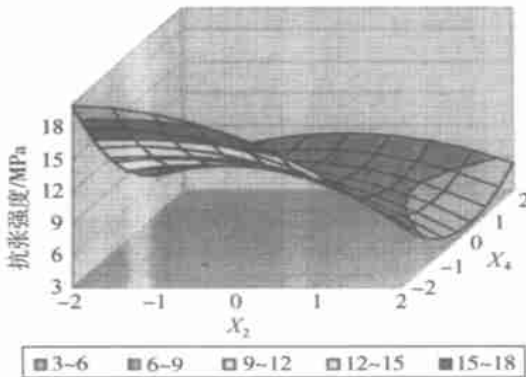


图 8 以 TS 为指标的硬脂酸( $X_2$ )与甘油( $X_4$ )双因子交互效应

Fig 8 Double factors mutual effect between the stearic acid ( $X_2$ ) and glycerol ( $X_4$ ) of indicator WVP

由式(3)可得  $X_3X_5$  的偏回归解析子模型(略), 当乳化剂处于较低水平时, 随着 PEG2400 用量的增加膜的 TS 略有上升, 当乳化剂处于较高水平时, TS 急剧下降; 当 PEG2400 处于较低水平时, 膜的 TS 随乳化剂用量的增加而迅速增加, 当 PEG2400 处于较高水平时, 膜的 TS 变化不大(图 9)。

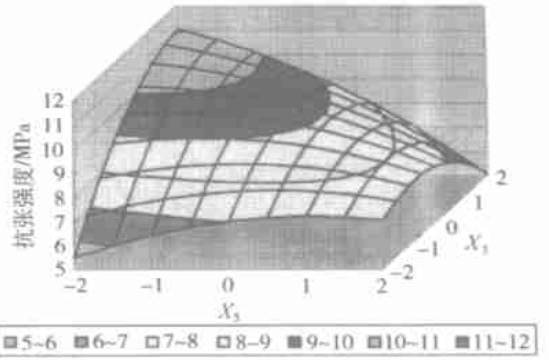


图 9 以 TS 为指标的乳化剂( $X_3$ )与聚乙二醇( $X_5$ )双因子交互效应

Fig 9 Double factors mutual effect between the emulsifier ( $X_3$ ) and PEG2400 ( $X_5$ ) of indicator WVP

215 各参试因子与膜 E 的关系

21511 模型的建立与检验

用表 2 中  $Y_E$  栏的数据可模拟出膜的 E 与参试因子之间的二次回归模型

$$Y_E = 731518.39 + 01097.32X_1 - 11556.64X_2 + 11277.85X_3 + 251495.74X_4 + 51444.73X_5 + 01470.38X_1^2 - 11559.12X_2^2 - 11214.79X_3^2 - 31859.14X_4^2 + 11145.22X_5^2 - 31820.77X_1X_2 + 81281.48X_1X_3 + 31352.51X_1X_4 + 01496.87X_1X_5 - 61561.70X_2X_3 - 51548.14X_2X_4 + 21992.91X_2X_5 + 61649.48X_3X_4 + 51448.41X_3X_5 - 21611.79X_4X_5 \quad (4)$$

式(4)失拟性检验  $F_1 = 21536 < F_{011}(6, 9) = 2155$ , 说明模型无失拟因素存在, 显著性检验  $F_2 = 281164 > F_{0101}(20, 15) = 3137$ , 达 0101 极显著水平, 说明此方程可信度好。

F 检验的结果表明:  $X_4, X_5$  在 0101 水平上差异显著, 说明 5 个因素中甘油与 PEG2400 对膜的 E 有极显著影响,  $X_2$  在 013 水平上差异显著, 说明硬脂酸对 E 也有一定的影响; 在交互项中,  $X_1X_3, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4, X_3X_5$  在 0101 水平,  $X_1X_2, X_1X_4$  在 0105 水平上差异显著, 说明石蜡与乳化剂、硬脂酸与乳化剂、硬脂酸与甘油、乳化剂与甘油、乳化剂与 PEG2400、石蜡与硬脂酸、石蜡与甘油的交互作用对膜的 E 有显著影响,  $X_2X_5$  在 011 水平,  $X_4X_5$  在 012 水平上差异显著, 说明硬脂酸与 PEG2400、甘油与 PEG2400 的交互作用对膜的 E 也有一定的影响。

21512 影响膜 E 的主因子效应分析

由式(4)用“降维法”可得出各参试组分对膜 E 影响的偏回归解析子模型, 根据子模型作出图 10。

从图 10 可看出, 甘油使膜的 E 迅速上升, 在 0

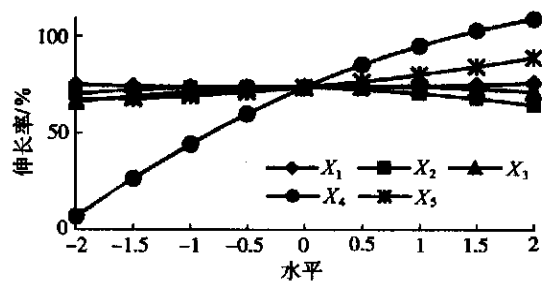


图 10 以 E 为指标的主因子效应

Fig. 10 The principal factor effect of the indicator E  
水平前升幅较大; 少量的硬脂酸和乳化剂使 E 略有上升, 当用量增加到一定程度, E 又有所下降; 而 PEG2400 对耐水耐高温复合膜的 E 影响不大。

21513 影响膜 E 的双因子效应分析

由式(4)可得  $X_1X_3$  的偏回归解析子模型(略), 子模型分析表明, 当石蜡处于较低水平时, 随乳化剂用量的增加膜的 E 迅速下降, 当石蜡处于较高水平时, E 上升; 同样, 乳化剂处于较低水平时, 膜的 E 随石蜡用量增加而呈现下降趋势, 当乳化剂处于较高水平时, 膜的 E 随石蜡的增加逐渐上升(图 11)。

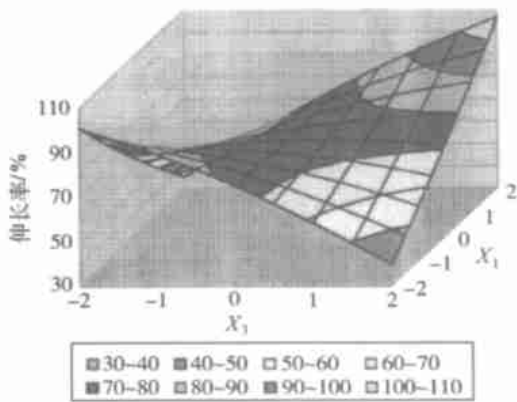


图 11 以 E 为指标的石蜡( $X_1$ )与乳化剂( $X_3$ )双因子交互效应

Fig. 11 Double factors mutual effect between the paraffin ( $X_1$ ) and emulsifier ( $X_3$ ) of indicator BS

由式(4)可得  $X_3X_4$  的偏回归解析子模型(略), 膜的 E 随甘油用量的增加而上升, 且乳化剂为较高水平时, 上升幅度较大; 当甘油较低水平时, 膜的 E 随乳化剂用量的增加略有下降, 当甘油较高时膜的 E 随乳化剂用量的增加而有所升高(图 12)。

3 讨 论

食用膜的阻湿性、耐破度、抗张强度和伸长率是重要的性能指标。KGM 是一种水溶性多糖, 粘度极高, 在较低的浓度下也能形成高强度的膜, 但吸湿性强, 遇水即溶, 应用范围受到一定限制。KGM 在碱性加热条件下能脱去分子中的乙酰基团, 形成热稳

定凝胶, 在 100 下重复加热, 其凝胶强度变化不大, 即使加热到 200 , 其凝胶也仍然保持稳定<sup>[9]</sup>。本文则利用其原理制备耐水耐高温膜。但在预试中发现, KGM 溶胶在碱性加热条件下所制成的膜, 阻湿性仍不够理想, 且遇水会收缩, 故本文重点探讨了阻湿剂<sup>[10~14]</sup>、增塑剂<sup>[15]</sup>和乳化剂等对 KGM 碱性溶胶成膜及膜阻湿性能、强度和伸长率的影响。

阻湿剂选择的是石蜡和硬脂酸, 因其极性低, 具有良好的阻湿性<sup>[16]</sup>。两者的阻湿效果基本相当(图 1), 但膜的 BS 和 TS 却因此而下降(图 4, 图 7), 其原因可能是由于石蜡和硬脂酸影响了 KGM 分子间氢键形成和凝胶网络结构的致密性所致。此外, 少量硬脂酸的加入使膜 E 有所提高, 但用量增加到一定程度膜的 E 又会下降, 这可能是由于这些分子的加入在一定程度上削弱了膜原有刚性结构的缘故。值得注意的是, 当硬脂酸用量 415 g/L 时, 不但膜的强度受影响, 而且膜耐水耐酸性也减弱, 在水中浸泡一段时间后膜会吸涨, 最后失去强度, 这是由于在成膜过程中硬脂酸成盐反应消耗部分碱所致。在实际应用中, 硬脂酸用量不宜过大或适当多加入碱液。

增塑剂选择的是甘油和 PEG2400。两者的加入使膜柔韧, 这是由于削弱了 KGM 分子间的作用力, 软化了膜的刚性结构, 增加了链的流动性, 因而使膜的 E 升高, 但它们的加入使膜结构变得疏松, 故使膜的强度下降<sup>[17]</sup>。虽然甘油使膜伸长率的提高比 PEG2400 更显著(图 10), 但甘油对膜吸湿性的增加幅度、强度的降低幅度比 PEG2400 也大得多, 这可能与两者的分子结构、分子大小及醇羟基数量不同有关。与 PEG2400 相比, 甘油分子量小, 醇羟基比例大, 吸湿性强。在实际应用中应优先考虑 PEG2400 作为增塑剂, 以保证膜有足够的强度与阻湿性。但在研究中发现, 甘油对膜的耐水性起着重要作用, 若不

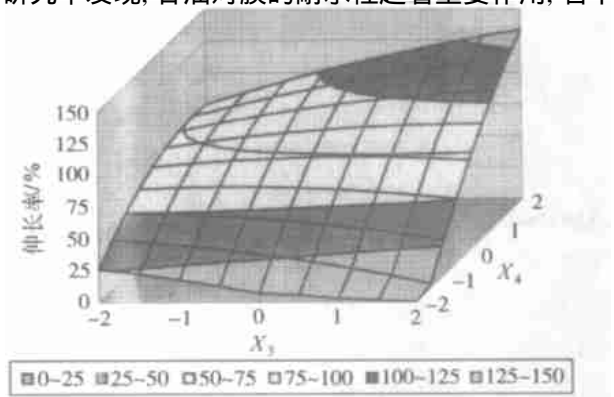


图 12 以 E 为指标的乳化剂( $X_3$ )与甘油( $X_4$ )双因子交互效应

Fig. 12 Double factors mutual effect between the emulsifier ( $X_3$ ) and glycerol ( $X_4$ ) of indicator BS

加甘油, KGM 碱性溶胶成膜及膜的强度不受影响, 但膜在水中逐渐吸涨, 最后失去强度。所以, 在实际应用中甘油与 PEG2400 应适当搭配。

乳化剂分子内有亲水和亲油基团, 易在水与油的界面形成吸附层, 使形成均匀的分散体<sup>[18]</sup>, 故乳化剂蔗糖酯的加入使石蜡与硬脂酸油性物质在魔芋水溶胶中均匀分散, 有利于成膜和提高膜的阻湿性(图 1, 图 4)。但乳化剂分子本身会影响原分子间的键力, 所以当乳化剂用量增大到一定程度会使膜的 TS 下降(图 7), 故乳化剂用量也应适度。

#### [参 考 文 献]

- [1] 孙 波, 尉 芹, 杨晓燕 葡甘聚糖涂膜保鲜剂的研制及应用[J]. 农牧产品开发, 1997, 30(3): 10~ 12
- [2] 尉 芹, 马希汉, 陈本文等 改性魔芋葡甘聚糖对葡萄等保鲜效果的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(4): 72~ 75
- [3] 章继华 可食性包装的发展[J]. 包装, 1996, (6): 34~ 35
- [4] Mallikarjunan P, Chinnan M S Edible coatings for keep fat frying of starchy products[J]. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 1997, 30(7): 709~ 714
- [5] Balasubramaniam V M, Chinnan M S The effect of edible film on oil uptake and moisture retention of a deep fat fried poultry product[J]. Journal of Food Process Engineering, 1997, 20(1): 17~ 29
- [6] Frinault A, Gallant D J. Preparation of casein films by a modified wet spinning process[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 744~ 747.
- [7] 丁希泉 农业应用回归设计[M]. 吉林: 科学技术出版社, 1986
- [8] 国家标准总局 造纸工业产品试验方法标准汇编[S]. 技术标准出版社, 1980
- [9] 孙远明, 黄晓钰, 吴 青, 等 魔芋葡甘聚糖的结构、食品学性质及保健功能[J]. 食品与发酵工业, 1999, 25(5): 47~ 51.
- [10] Kester Fennema Edible films and coatings: a review [J]. Food Technology, 1986, (10): 47~ 59
- [11] Krochta Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities[J]. Food Technology, 1997, 51(2): 60~ 74
- [12] Park J W. Development and property enhancement of bi-layer edible films produced from corn zein and methylcellulose [J]. Dissertation Abstracts International, 1996, B 56(9): 4663
- [13] Lai H M, Padua G W, Wei L S Properties and microstructure of zein sheet plasticized with palmitic and stearic acids [J]. Cereal Chemistry, 1997, 74(1): 83~ 90
- [14] Shellhammer T H, Krochta J M. Whey protein emulsion film performances as affected by lipid type and amount[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(2): 390~ 394
- [15] Kwang H J, Hyun J P, Soon T J, Water vapor permeability and mechanical properties of soy protein films as affected by plasticizer, solvent, pH and salt [J]. Foods and Biotechnology, 1996, 5(3): 243~ 248
- [16] 何建山译 食品涂膜保藏[J]. 食品科学, 1989, (12): 17~ 23
- [17] 杨国文 塑料助剂作用原理[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1991
- [18] 凌关庭, 王亦芸, 唐述潮 食品添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1993

## Preparation and Characteristics of Edible Konjac Glucomannan Complex Film Resistant to Water and High Temperature

Yang Jun<sup>1,2</sup>, Sun Yuanning<sup>1</sup>, Wu Qing<sup>1</sup>, Lei Hongtao<sup>1</sup>

(1. Department of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. Normal Institute of Industry, Agriculture and Commerce, Guangzhou 510507, China)

**Abstract:** Konjac gum (KG) can form the edible film by heating the KG solution in the presence of alkali. The film was resistant to water and high temperature. Adopting 5 factors (162 in practice) quadratic orthogonal and rotational combination design, the effects of paraffin, stearic acid, emulsifier, glycerol and PEG2400 on Water Vapor Permeability (WVP), Bursting Strength (BS), Tensile Strength (TS) and Elongation Rate (E) of the film were studied and relevant quadratic regression models were developed. The model analyses show all single, quadratic and mutual term of the five factors affect the film properties. The effects of each of the five factors on the capability of films were explored and laws were found.

**Key words:** edible film; konjac glucomannan; water and high temperature resistant film