

亲水胶体对苦荞冻糕的抗老化作用

白菊红¹, 康建平^{1,2}, 张星灿², 刘建¹, 华苗苗¹, 杨建¹, 钟雪婷¹

(1. 四川东方主食产业技术研究院, 四川 成都 611130;

2. 四川省食品发酵工业研究设计院, 四川 成都 611130)

摘要:以感官评价和硬度为指标, 研究单一亲水胶体(黄原胶、瓜尔胶、海藻酸钠、羟丙基甲基纤维素、卡拉胶)对苦荞冻糕抗老化作用的影响, 筛选出抗老化效果良好的3种亲水胶体, 在此基础上以硬度为指标, 采用响应面分析法确定苦荞冻糕最佳复配亲水胶体抗老化剂。结果表明, 最优抗老化剂配方为0.13%黄原胶、0.17%海藻酸钠、0.24%卡拉胶(以浆液总重计), 经实验验证, 在-4℃条件下添加了复配亲水胶体的苦荞冻糕贮藏时间可延长至原来的2倍(14d)。

关键词:苦荞冻糕; 抗老化; 响应面; 亲水胶体

中图分类号: TS210.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2019)04-0012-07

Anti-aging effect of hydrocolloid on tartary buckwheat parfait

BAI Ju-hong¹, KANG Jian-ping^{1,2}, ZHANG Xing-can², LIU Jian¹,
HUA Miao-miao¹, YANG Jian¹, ZHONG Xue-ting¹

(1. Sichuan Oriental Staple Food Industry Technology Research Institute, Chengdu Sichuan 611130;

2. Sichuan Food and Fermentation Industry Research & Design Institute, Chengdu Sichuan 611130)

Abstract: The effects of mono-hydrophilic colloid (xanthan gum, guar gum, sodium alginate, hydroxypropyl methylcellulose and carrageenan) on the anti-aging of tartary buckwheat parfait were studied with sensory evaluation and hardness as indexes, and three kinds of hydrophilic colloid with better anti-aging effect were screened out. Based on this, the optimal anti-aging agent of tartary buckwheat parfait was determined by response surface analysis method. The results showed that the optimal anti-aging agent formula was 0.13% of xanthan gum, 0.17% of sodium alginate and 0.24% of carrageenan (calculated by total slurry weight). The storage time of tartary buckwheat parfait with compound hydrophilic colloids was prolonged by 2 times (14 days) of that without hydrocolloid at -4℃.

Key words: tartary buckwheat parfait; anti-aging; response surface; hydrocolloid

冻糕, 又名冻粑, 是四川著名的地方特色美食之一^[1]。苦荞冻糕是冻糕的一种创新产品, 以稻米、苦荞麦为主要原料, 经磨浆、调味、蒸煮等工艺制作而成。苦荞冻糕营养价值高, 品质柔软, 富有弹性和韧性, 味道可口, 深受广大消费者的欢迎。然而鲜苦荞冻糕在冷冻贮藏过程中,

易出现龟裂干硬、口感粗糙、掉渣等老化劣变现象, 严重影响产品品质, 制约产品的进一步推广。

亲水胶体能充分水化形成黏稠、滑腻或胶冻状液体的大分子物质, 属于水溶性聚合物, 是一类能够提高食品黏度或者形成凝胶的食品添加剂。近年来, 亲水胶体作为抗老化因子已被广泛应用于食品工业。研究表明, 通过筛选复配合理的亲水胶体抗老化剂, 可延缓蛋糕、方便面、面包、馒头等产品老化, 提升产品的食用品质^[2-5]。而亲水胶体对苦荞冻糕抗老化作用的相关研究尚

收稿日期: 2019-02-18

基金项目: 优质川稻(米)绿色化种植与精深加工技术集成研究与产业化示范(2017NZ0062)

作者简介: 白菊红, 1989年, 女, 硕士, 工程师。

通讯作者: 康建平, 1966年出生, 男, 硕士, 教授级高级工程师。

未见报道。本实验选用几种常见的不同类型亲水胶体（黄原胶、瓜尔胶、海藻酸钠、羟丙基甲基纤维素、卡拉胶）研究其对苦荞冻糕的抗老化作用，筛选出良好的复配抗老化剂，对提高产品品质，增加当地经济效益具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 原辅料

苦荞、粳米、籼米：四川省绵阳仙特米业有限公司；酵母粉：安琪酵母股份有限公司；白砂糖：广州福正东海食品有限公司；猪油：四川溢洲食品有限公司。

1.1.2 食品添加剂

黄原胶：淄博中轩生物有限公司；海藻酸钠：青岛明月海藻集团有限公司；卡拉胶：滕州市香凝生物工程有限责任公司；瓜尔胶：广饶六合化工有限公司；羟丙基甲基纤维素：上海申光食品化学有限公司；碳酸氢钠：山东海天生物化工有限公司；柠檬酸：日照金禾博源生化有限公司。

1.1.3 仪器设备

DM-Z100A 型磨浆机：沧州铁狮磨浆机械有限公司；HH.S21-8 型数显恒温水浴锅：上海博讯实业有限公司医疗设备厂；550 型充氮包装机：上海义光包装设备制造有限公司；BCD-221TMBA 型冷冻冰箱：青岛海尔股份有限公司制造；Universal TA 型质构仪：上海腾拔仪器科技有限公司；ME204E 型分析天平：梅特勒-托利多国际贸易（上海）有限公司。

1.2 方法

1.2.1 冻糕制作方法

工艺流程：原料→浸泡→磨浆→发酵→调配→蒸制→包装→冷冻贮藏。

操作要点：适量称取原料（苦荞、粳米、籼米的质量比=0.3：1：1），淘洗并沥干水分，加入等量清水浸泡，待米粒中心白芯消失（约 15 h）进行磨浆。以浆液为基准，添加 0.3%酵母和 8%白砂糖，30 ℃恒温水浴发酵约 6 h，待发酵风味浓郁，气孔均匀时，再添加辅料（8%白砂糖、12%猪油、0.15%小苏打、0.05%柠檬酸和适量的亲水胶体），搅拌均匀，倒入蛋挞铝箔，沸水蒸制

20 min，冷却，充氮包装，置于-4 ℃冰箱贮藏。

1.2.2 实验设计

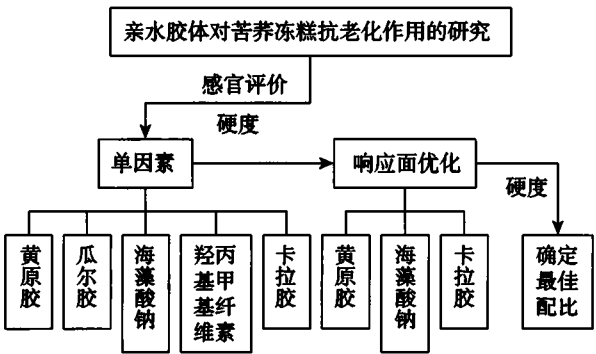


图 1 实验设计

1.2.2.1 单因素实验 在苦荞冻糕制作调配工艺中按表 1 分别添加亲水胶体（以稻米总量百分比计），以不添加亲水胶体为空白对照组，-4 ℃贮藏 7 d，测定相关指标，筛选出对苦荞冻糕抗老化效果较好的 3 种亲水胶体。

表 1 不同亲水胶体添加量水平

名称	添加量/%				
黄原胶	0	0.10	0.15	0.20	0.25
瓜尔胶	0	0.10	0.20	0.30	0.40
海藻酸钠	0	0.10	0.15	0.20	0.25
羟丙基甲基纤维素	0	0.10	0.20	0.30	0.40
卡拉胶	0	0.10	0.20	0.30	0.40

1.2.2.2 响应面优化实验 根据单因素实验结果，以筛选出的 3 种亲水胶体为因素并分别确定 3 个水平，进行 Box- Behnken 试验设计，建立 3 种亲水胶体对苦荞冻糕硬度影响的数学模型，确定其最佳复配比例。

1.2.3 测定方法

1.2.3.1 感官评价^[6] 由 8 名食品专业人员组成品评小组，实验前，让品评员提前确认苦荞冻糕的感官特性，评价项目包括硬度、黏性、气味、滋味、咀嚼性、组织结构和色泽。评定标准见表 2。

1.2.3.2 硬度测定^[7-8] 样品前处理：将-4 ℃冰箱放置 7 d 的样品，沸水蒸制 10 min，自然冷却，切成 3 cm×3 cm×3 cm 正方块；形变测定参数：P/0.25S 型探头，测试前速度 2.00 mm/s，测试速度 1.00 mm/s，测试后速度 1.00 mm/s，压缩深度

表 2 苦荞冻糕感官评价标准

指标	分值/分	标准
硬度	15.0	硬度适中（9.0~15.0）；稍硬或稍软（5.0~8.0）；过硬或过软（0~4.0）
黏性	15.0	爽口有黏性，不黏牙（9.0~15.0）；有黏性，稍黏牙（5.0~8.0）；黏性过大黏牙或无黏性（0~4.0）
气味	15.0	苦荞稻香气适中（9.0~15.0）；苦荞稻香气偏重或偏淡（5.0~8.0）；无苦荞稻香气且有异味（0~4.0）
滋味	15.0	苦荞滋味较佳（9.0~15.0）；苦荞滋味偏重或偏淡（5.0~8.0）；无苦荞稻香滋味且有异味（0~4.0）
咀嚼性	15.0	咀嚼时间适中，有嚼劲（9.0~15.0）；咀嚼时间稍长，较有嚼劲（5.0~8.0）；咀嚼时间过长（0~4.0）
组织结构	15.0	结构均匀，细腻（9.0~15.0）；结构稍均匀，有塌陷（5.0~8.0）；结构不均匀，不成型（0~4.0）
色泽	10.0	色正，易被接受（8.0~10.0）；色稍偏暗或偏淡（5.0~7.0）；色不正，有杂色（0~4.0）

30%，间隔 10 s，压缩 2 次，每个样品平行测定 3 次，取平均数。

1.2.4 数据分析

采用 Excel、Design-Expert 6.0.5 和 SPSS21.0 等软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 单一亲水胶体对苦荞冻糕抗老化作用

2.1.1 黄原胶对苦荞冻糕抗老化作用

由图 2 可知，黄原胶对苦荞冻糕的硬度、黏性、咀嚼性影响较大，对风味、滋味、色泽影响较小，添加 0.15%黄原胶的苦荞冻糕，硬度和黏性适中。由图 3 可知，随黄原胶添加量的增加，苦荞冻糕感官评价得分先升高后降低，硬度先降

低后再升高；当添加量为 0.15%时，感官评价得分最大为 78.9，最小硬度为 121.0 g。说明添加适量的黄原胶可延缓苦荞冻糕老化，改善质构。适量的黄原胶可充塞到膨胀的冻糕淀粉分子三维网络组织中形成膜壁，阻止淀粉分子羟基之间的氢键连接，延缓了淀粉分子的重新结晶，从而改善冻糕感官品质^[8]，但过量的黄原胶可能会引起胶质感增加，影响产品口感。

2.1.2 瓜尔胶对苦荞冻糕抗老化作用

由图 4 可知，瓜尔胶对苦荞冻糕色泽、黏性、咀嚼性的影响较大，对硬度、风味、滋味影响较小。图 5 表明，随瓜尔胶添加量的增加，苦荞冻糕感官评价总分先升高后降低，硬度降低后再升高。当添加量为 0.10%时，感官评价得分最大为 77.0，硬度为 154.5 g。

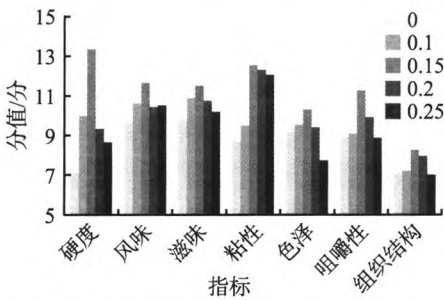


图 2 黄原胶对苦荞冻糕感官评价的影响

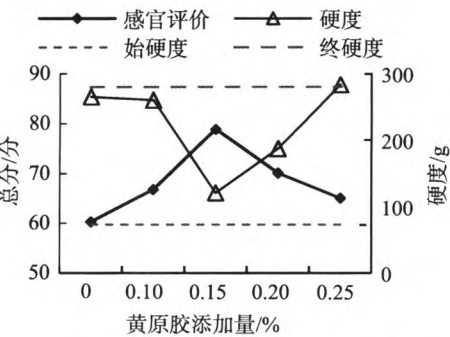


图 3 黄原胶对苦荞冻糕感官评价总分与硬度的影响

注：始硬度，指无添加亲水胶体苦荞冻糕新鲜的硬度 73.0g；终硬度，指无添加亲水胶体苦荞冻糕已无法食用的硬度（280.0g）；下同。

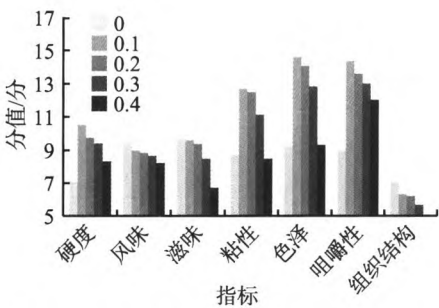


图 4 瓜尔胶对苦荞冻糕感官评价的影响

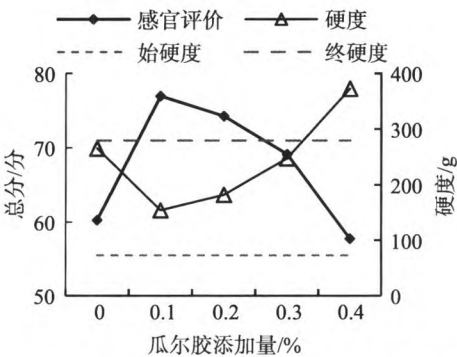


图 5 瓜尔胶对苦荞冻糕感官评价总分与硬度的影响

2.1.3 海藻酸钠对苦荞冻糕抗老化作用

由图 6 可知，海藻酸钠对苦荞冻糕的硬度、黏性、咀嚼性影响较大，对风味、滋味、色泽、组织结构影响较小，添加 0.15%海藻酸钠的苦荞冻糕感官评价得分均高于其他处理组。由图 7 可知，随海藻酸钠添加量的增加，苦荞冻糕感官评价得分先升高后降低，当添加量为 0.15%时，感官评价得分最大为 82.2，硬度为 105.2g。添加适量的海藻酸钠可延缓苦荞冻糕老化程度。

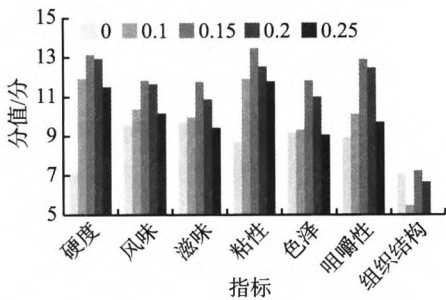


图 6 海藻酸钠对苦荞冻糕感官评价的影响

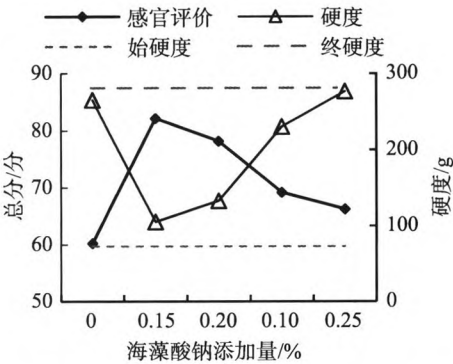


图 7 海藻酸钠对苦荞冻糕感官评价总分与硬度的影响

2.1.4 羟丙基甲基纤维素对苦荞冻糕抗老化作用

由图 8 可知，羟丙基甲基纤维素对苦荞冻糕风味和咀嚼性的影响较大。由图 9 可知，随羟丙基甲基纤维素添加量的增加，产品的感官评价总分逐渐降低，硬度逐渐增加。原因可能是由于羟丙基甲基纤维素的粒径大小，只有少量的羟丙基

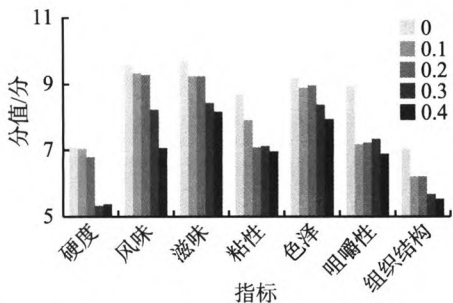


图 8 羟丙基甲基纤维素对苦荞冻糕感官评价的影响

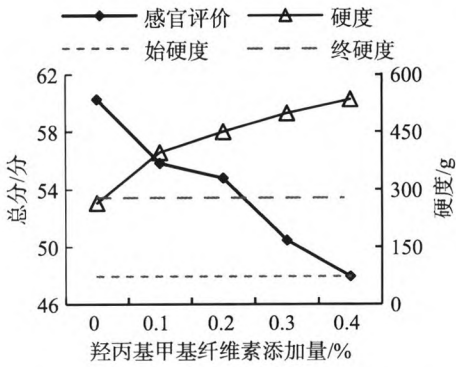


图 9 羟丙基甲基纤维素对苦荞冻糕感官评价总分与硬度的影响

甲基纤维素分子迁入苦荞冻糕中，绝大部分附着产品表面加速其老化。

2.1.5 卡拉胶对苦荞冻糕抗老化作用

由图 10 可知，添加不同量的卡拉胶对苦荞冻糕的硬度、黏性、色泽影响较大。添加 0.20%卡拉胶的苦荞冻糕，硬度、黏性、色泽均适中。由图 11 可知，随卡拉胶添加量的增加，苦荞冻糕感官评价得分先升高后降低，硬度先降低后增加；当添加量为 0.15%时，感官评价得分最大为 80.2，硬度为 115.4 g。说明少量的卡拉胶易与苦荞冻糕淀粉相结合，延缓苦荞冻糕的老化，改善产品的质构。

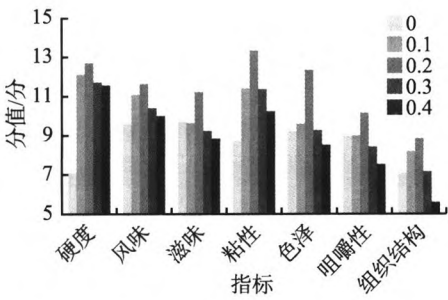


图 10 卡拉胶对苦荞冻糕感官评价的影响

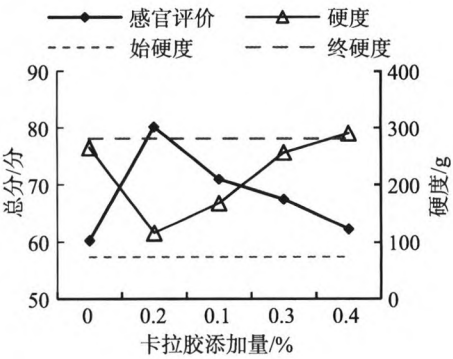


图 11 卡拉胶对苦荞冻糕感官评价总分与硬度的影响

综上所述，在一定程度上，羟丙基甲基纤维

素加速了苦荞冻糕的老化，而适量的黄原胶、瓜尔胶、海藻酸钠、卡拉胶可延缓苦荞冻糕的老化。

2.2 响应面优化实验

经 Pearson 检验，苦荞冻糕感官评价总分与硬度的相关系数为-0.9021，且极显著 ($P<0.01$)，考虑实际操作中测定硬度的偶然误差比感官评价总分小，所以选择硬度作为苦荞冻糕复配亲水胶体抗老化剂的筛选指标。

2.2.1 实验回归模型

根据上述单因素实验结果，以黄原胶、海藻酸钠、卡拉胶作为自变量 (A, B, C)，以硬度为响应值 (Y)，采用 3 因素 3 水平进行 Box-Behnken 试验设计 (因素水平见表 3)，得到 17 个实验组合点，其中析因部分实验 12 次，为估计整个实验误差，中心点[0.15%，0.15%，0.20%]重复实验 5 次，实验方案与结果见表 4。

表 3 Box-Behnken 设计因素水平编码

因素	编码及水平		
	-1	0	1
黄原胶 (A) /%	0.10	0.15	0.20
海藻酸钠 (B) /%	0.10	0.15	0.20
卡拉胶 (C) /%	0.10	0.20	0.30

表 4 响应面设计的实验方案与结果

实验号	黄原胶 (A) /%	海藻酸钠 (B) /%	卡拉胶 (C) /%	硬度 (Y) /g
1	0	0	0	93.6
2	0	0	0	98.6
3	1	1	0	170.2
4	1	-1	0	171.3
5	0	1	1	130.3
6	1	0	1	201.1
7	0	0	0	120.8
8	0	-1	1	198.7
9	0	0	0	81.0
10	0	0	0	108.2
11	-1	0	-1	250.5
12	0	-1	-1	182.8
13	0	1	-1	252.7
14	-1	1	0	119.1
15	-1	0	1	148.7
16	-1	-1	0	153.3
17	1	0	-1	150.8

注：苦荞冻糕-4℃贮藏 7 d，沸水复蒸 10 min，测得硬度。

应用 Design-Expert 8.0.7 软件对表 2-16 实验结果进行多元回归拟合分析，可得到硬度 (Y) 与各因素 $A、B、C$ 之间的二次多项模型： $Y=966.90-4944.10A-2581.10B-2800.70C+9937.00A^2+11\ 277.00B^2+6\ 249.25C^2+3\ 310.00AB+7\ 605.00AC-6\ 915.00BC$ 回归方程方差分析结果见表 5。

表 5 回归模型方差分析及显著性检验

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	38 571.43	9	4 285.71	9.54	0.003 5	**
A	59.40	1	59.40	0.13	0.726 8	—
B	142.81	1	142.81	0.32	0.590 4	—
C	3 120.50	1	3 120.50	6.95	0.033 6	*
A^2	2 598.53	1	2 598.53	5.79	0.047 1	*
B^2	3 346.60	1	3 346.60	7.45	0.029 4	*
C^2	16 443.42	1	16 443.42	36.61	0.000 5	**
AB	273.90	1	273.90	0.61	0.460 4	—
AC	5 783.60	1	5 783.60	12.88	0.008 9	**
BC	4 781.72	1	4 781.72	10.65	0.013 8	*
剩余	3 143.86	7	449.12			
失拟项	2 241.03	3	747.01	3.31	0.138 9	—
纯误差	902.83	4	225.71			
总离差	41 715.29	16				
R^2	0.924 6					
RSN	8.760					
R^2 Adj	0.827 7					
R^2 Pred	0.106 6					
CV/%	13.69					

注：**表示差异极显著 ($P<0.01$)；*表示差异显著 ($P<0.05$)；“—”表示不显著。

由表 5 可知，根据 F 值和 P 值，因素对产品硬度 (Y) 的影响依次为 $C^2>AC>BC>B^2>C>A^2>AB>B>A$ ，其中因素 C^2 和 AC 影响极显著 ($p<0.01$)，因素 $BC、B^2、C$ 和 A^2 影响显著 ($P<0.05$)，其余因素影响不显著 ($P>0.05$)。该回归模型 $P<0.01$ ，表明该方程模型极显著；模型失拟项不显著 ($P=0.1389>0.05$)，即该方程拟合较好；模型相关系数 $R^2=0.9246$ 大于 0.9，模型高度相关；信噪比 $RSN=8.760$ 大于 4，说明模型设计合理，可用于预测。

2.2.2 因素间交互作用对苦荞冻糕硬度的影响

根据回归分析的结果，利用建立的数学模型，绘制响应面和高线图像，如图 12 所示。

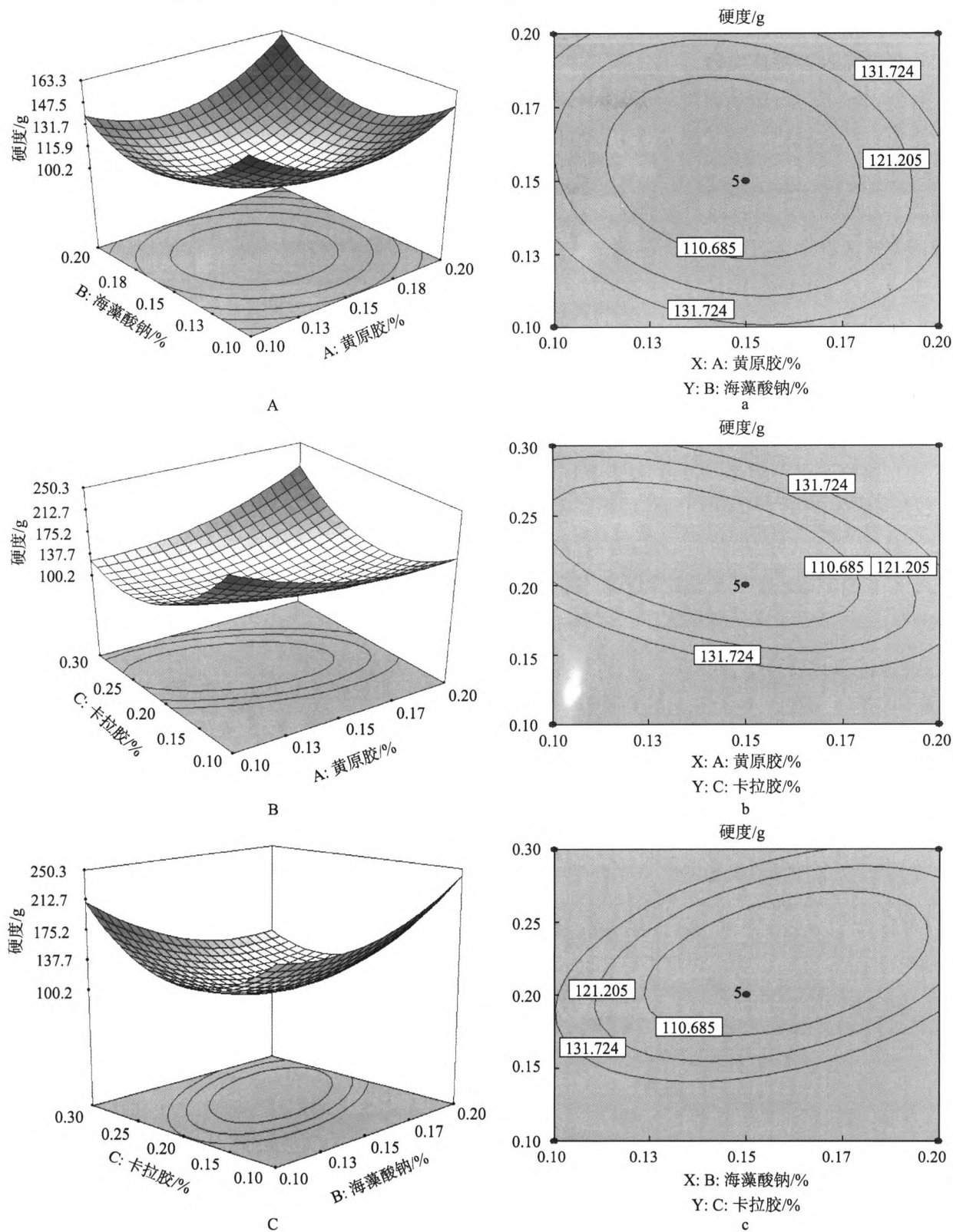


图 12 交互作用对苦荞冻糕的响应面和等高线图

图 12 分析的是硬度对应黄原胶、海藻酸钠、卡拉胶添加量为自变量构成的一个三维空间图，可以直观地反映各自变量对硬度的影响，等高线的形状可以反映出交互效应的强弱。图 a 中近似圆形的椭圆等高线，表明黄原胶与海藻酸钠的交

互作用弱；图 b 明显的椭圆，表明黄原胶与卡拉胶交互作用强，其中黄原胶等高线比较密集，更靠近椭圆中心区域，说明在两者的交互作用中黄原胶的作用强于卡拉胶；图 c 椭圆，说明海藻酸钠与卡拉胶交互作用较强，在交互作用中海藻酸

钠作用更大。

2.2.3 最适条件及验证实验

对 Design-Expert 分析得到的优化回归方程求解极小值, 结果表明, 当黄原胶、海藻酸钠、卡拉胶添加量分别为 0.13%, 0.17%, 0.24%, 苦荞冻糕-4℃贮藏 7 d, 复蒸冷却后的硬度为 95.3 g。为验证方案的有效性, 在此条件下进行 3 次重复验证实验, 平均硬度为 101.4 g, 标准偏差为 7.45, 在模型标准误差 (9.47) 允许范围内。继续贮藏, 测定硬度, 结果见表 6。与空白对照组相比, 添加了复配亲水胶体的苦荞冻糕贮藏时间延长至原来的 2 倍。故采用响应面 Box-Behnken 优化获得的苦荞冻糕抗老化方案准确可靠, 对工业化生产具有实际的指导意义。

表 6 复配抗老化亲水胶体对苦荞冻糕硬度的影响

处理组	贮藏时间/d					
	0	7	9	11	13	15
空白	73.2	265.3	290.8	—	—	—
复配	73.6	101.4	150.7	210.9	275.4	302.8

注: “—”表示未测定。

3 结论

在一定程度上, 羟丙基甲基纤维素加速了苦

荞冻糕的老化; 而适量得黄原胶、瓜尔胶、海藻酸钠和卡拉胶可延缓苦荞冻糕的老化。

最优复配抗老化剂配方为 0.13%黄原胶、0.17%海藻酸钠、0.24%卡拉胶, 在-4℃条件下可将苦荞冻糕贮藏时间延长至原来的 2 倍 (14 d)。

参考文献:

[1] 马雨熙, 程蕾, 刘雄. 传统发酵冻糕直投发酵条件的探索[J]. 食品工业科技, 2016, 37(18): 224-229.

[2] 宋臻善, 李嘉瑜, 周雪松. 亲水胶体对海绵蛋糕品质的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2206-2210.

[3] 金野, 马浩然, 姚开, 等. 亲水胶体对非油炸杂粮方便面品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(4): 147-152.

[4] 王雨生, 陈海华, 王坤. 亲水胶体对面包品质和面团流变学特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 105-109.

[5] 赵露华. 亲水胶体对高配比马铃薯馒头品质和体外消化的影响[D]. 陕西师范大学, 2017.

[6] 贾春利, 黄卫宁. 美国杏仁月饼的感官与质构特性研究[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 34-40.

[7] 崔丽琴, 崔素萍, 马平, 等. 豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88.

[8] 白亚丁. 高水分米糕的抗老化研究[D]. 无锡: 江南大学食品学院, 2009. ❷