

# 基于亲水胶体改性和混料设计优化传统粘豆包的配方

杨新标<sup>1,2</sup>, 郑明珠<sup>1,2\*</sup>, 任宇航<sup>1,2</sup>, 肖瑜<sup>1,2</sup>, 林楠<sup>1,2</sup>

(1. 吉林农业大学食品科学与工程学院, 长春 130118; 2. 小麦和玉米深加工国家工程实验室, 长春 130118)

**摘要:** **目的** 用亲水胶体改性和混料设计来优化传统粘豆包的配方, 改善其食用品质。 **方法** 选用 3 种食品工业中常用的亲水胶体, 卡拉胶、黄原胶和瓜尔豆胶, 对糯玉米与糯大黄米淀粉进行改性, 通过快速粘度分析仪和质构仪比较回生值和硬度的变化, 筛选出复配糯玉米粉和复配大黄米粉作为粘豆包的制作原料, 然后利用混料设计优化粘豆包配方。 **结果** 卡拉胶、黄原胶、瓜尔豆胶对糯性谷物淀粉有着良好的抗老化作用, 回生值都明显变小, 尤其瓜尔豆胶效果最明显; 通过混料设计发现当糯大黄米为 33%, 糯玉米粉为 24%, 红豆馅为 43% 时感官评分最高。 **结论** 利用混料设计优化传统粘豆包的生产配方, 感官评分高, 传统粘豆包品质得到改善。

**关键词:** 亲水胶体; 粘豆包; 混料设计

## Optimization of traditional sticky bean bun formula based on hydrophilic colloid modification and mixture design

YANG Xin-Biao<sup>1,2</sup>, ZHENG Ming-Zhu<sup>1,2\*</sup>, REN Yu-Hang<sup>1,2</sup>, XIAO Yu<sup>1,2</sup>, LIN Nan<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. National Engineering Laboratory on Wheat and Corn Further Processing, Changchun 130118, China)

**ABSTRACT: Objective** Using hydrophilic colloid and mixing design to optimize the formula of traditional sticky bean buns to improve their eating quality. **Methods** Three kinds of hydrophilic colloids commonly (carrageenan, xanthan gum and guar gum) used in food industry were selected for the modification of waxy corn and the rhubarb rice starch, and the retrogradation value and the change of hardness were compared by a fast viscosity analyzer and a texture analyzer. The compounded glutinous corn flour and the compounded rhubarb rice flour were selected as the raw materials for the sticky bean bag, and then the mixed bean design was optimized by the mixture design. **Results** Carrageenan, xanthan gum and guar gum had good anti-aging effects on waxy cereal starch, and the retrogradation value was obviously smaller, especially the effect of guar gum was the most obvious. Through mixing design, it was found that when the panicum miliaceum flour was 33%, the waxy corn flour was 24%, and the red bean filling was 43%, the sensory score was the highest. **Conclusion** The mixing design is used to optimize the production formula of the traditional sticky bean bag, the sensory score is high, and the quality of the traditional

基金项目: 十三五国家重点研发专项(2016YFD0400401)

Fund: Supported by the 13th Five-year National Key Research and Development Program (2016YFD0400401)

\*通讯作者: 郑明珠, 副教授, 主要研究方向为粮食深加工。E-mail: zhengmzhu@163.com

\*Corresponding author: ZHENG Ming-Zhu, Associate Professor, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China. E-mail: zhengmingzhu@163.com

sticky bean bag is improved.

**KEY WORDS:** hydrocolloid; sticky bean bun; mixture design

## 1 引言

粘豆包作为我国传统特色美食, 常见于北方, 其粘糯的口感、特有的香味、特殊的意义深受消费者的喜爱, 且营养均衡, 是粗粮细作食品的典型代表<sup>[1]</sup>。传统粘豆包是由糯大黄米按照一定比例添加玉米面进行发酵, 然后制皮包裹红豆馅蒸制而成, 常在冬天制作, 制成后可在室外保存, 再次食用时需再次蒸制。但是传统粘豆包在保存过程中常由于淀粉老化导致口感变差<sup>[2]</sup>, 因此可用亲水胶体作为抗老化剂缓解粘豆包老化。亲水胶体属于非淀粉类多糖, 具有良好的保鲜、老化性能<sup>[3]</sup>, 多在淀粉类食品中作为抗老化剂使用<sup>[4]</sup>。亲水胶体在淀粉糊化过程中增加淀粉糊峰值粘度和终值粘度<sup>[5,6]</sup>, 在糊化后常与直链淀粉分子发生缠绕, 形成稳定的网络结构, 使得直链淀粉难以聚集, 降低凝沉的速度, 从而有效减缓淀粉凝胶的老化<sup>[7-9]</sup>。卡拉胶、黄原胶和瓜尔豆胶是食品工业中常用的添加剂, 周杨等<sup>[10]</sup>、Kim 等<sup>[11]</sup>、Achayuthakan 等<sup>[12]</sup>、Heyma 等<sup>[13]</sup>的研究都表明这 3 种胶体对糯性谷物淀粉都具有良好的抗老化作用。外部添加抗老化剂可有效改善食品品质<sup>[14]</sup>, 对传统粘豆包配方的改良具有重要意义。本研究通过筛选食品工业中常用的 3 种亲水胶体来改善传统粘豆包的口感, 缓解由于长期保存出现的因老化致口感变差的情况, 参照民间传统的粘豆包生产方式, 利用混料设计优化传统粘豆包的生产配方, 以期保证民间传统粘豆包制作工艺的保留, 对我国传统美食的推广产生积极意义。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

大黄米、糯米、糯玉米、红豆、白砂糖为市售。

卡拉胶、瓜尔豆胶、黄原胶(上海源叶生物科技有限公司)。

RVA-TecMasterTM 快速粘度分析仪(澳大利亚 Perten 公司); TA-Xtplus 食品物性测试仪(质构仪)(英国 Stable Micro Systems 公司); DHG-9146A 型电热鼓风干燥箱(上海试验仪器厂有限公司)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 亲水胶体对不同糯性谷物糊化性质的影响

用粘度仪(rapid viscosity analyzer, RVA)快速测定, 使用热循环窗口(thermal cycle for windows, TCW)配套软件, 进行数据采集及分析。测定过程为称样品量 3.5 g(以干基计)加入测试用铝罐, 向铝罐中加入 25.0 mL 蒸馏水, 测定开始时罐内温度在 50 °C 下保持 1 min, 随后以 12 °C/min

上升到 95 °C, 在 95 °C 条件下保持 2.7 min, 逐渐降温至 50 °C 并在此温度下保持 2.0 min。测试的前 10 s 内搅拌桨转速为 960 r/min, 随后搅拌桨转速维持在 160 r/min。每个样品进行 3 次平行试验, 取平均值<sup>[15]</sup>。

#### 2.2.2 亲水胶体对不同糯性谷物质构性质的影响

质构仪(texture profile analyser, TPA)测试参照 AACC74-09 测试方法, 探头型号为 P36/R, 测前速度 5 mm/s, 测中速度 2 mm/s, 测后速度 5 mm/s, 压缩距离 40%<sup>[16]</sup>。每组样品进行 3 次平行试验, 取平均值。

#### 2.2.3 粘豆包的加工方法

粘豆包生产的工艺流程:

水	红豆馅
↓	↓
原料→研磨→烘干→和面→发酵→成型(包馅)→蒸制	
参考董小涵等 <sup>[17]</sup> 、任宇航等 <sup>[18]</sup> 粘豆包加工方法进行改良, 操作要点如下:	

(1) 将干净无沙的糯大黄米和糯玉米用磨粉机粉碎, 全过 80 目筛子, 置干燥箱烘干 8 h 后密封保存。

(2) 将得到的大黄米粉、玉米粉与一定比例的亲水胶体进行混匀。

(3) 向 100 g 粉中缓慢加入 80 g 冷水和面, 在加水过程中不断搅拌, 水全部加入后开始揉制, 直至得到一个光滑的面团。

(4) 在室温环境下发酵 2 h, 面团略有酸味。

(5) 将隔夜浸泡的红豆加入 2 倍的水进行蒸制, 待水分熬至红豆开花放入料理机打成豆蓉, 加入占红豆 40% 质量的白砂糖进行加热搅拌, 熬到泥状, 制成红豆馅。

(6) 切取适量面团作为剂子, 包入适量红豆馅, 团成豆包状, 总重为 40 g, 放在笼屉纸上。

(7) 将制作好的粘豆包依次码入笼屉中, 水开后加盖蒸制 20 min。

(8) 粘豆包蒸制完成后, 室温下冷却 15 min。

#### 2.2.4 感官评分

感官评价属性界限有一定的模糊性, 难以量化评价, 易受到感官评价者主观因素的干扰<sup>[15,16]</sup>, 因此邀请 10 位不同社会背景, 对粘豆包有一定了解的感官评定人员, 满分记为 100 分, 以硬度、粘度、咀嚼性、表皮光滑程度、风味、色泽、爽滑性 7 个方面进行感官评价(红豆馅因个人原因对粘豆包感官评分影响较大, 本试验不考虑红豆馅的甜度和加工方式对于粘豆包的影响, 因此不把红豆馅的风味感官作为感官评分的标准), 按照标准对不同参数下制作的粘豆包样品进行评价, 通过感官评分确定糯玉米粘豆包最优工艺条件。感官评分标准及分值分配见表 1。

表 1 粘豆包制作工艺试验感官评价表  
Table 1 Viscous bean bun production process test sensory evaluation form

指标	分值	评分标准
硬度	25	软硬适中, 牙齿咬穿不费力 21~25 分; 较软, 牙齿无明显受力 10~20 分; 较硬, 需要费力咬穿 1~9 分
粘度	15	粘度适宜 11~15 分; 粘度过大 6~10 分; 粘度过小 1~5 分
咀嚼性	10	咀嚼两至三次可吞咽 7~10 分; 咀嚼四至六次 4~6 分; 咀嚼六次以上 1~3 分
表皮光滑度	10	表皮光滑, 无裂纹 7~10 分; 表皮稍有裂纹 4~6 分; 裂纹较多可见内陷 1~3 分
气味、滋味	20	气味纯正, 有明显玉米香味 16~20 分; 无异常气味, 无玉米香味 10~15 分; 带有明显生面味, 口感发苦 1~9 分
色泽	10	颜色明黄, 鲜亮 7~10 分; 颜色不鲜亮 4~6 分; 颜色泛白 1~3 分
爽滑性	10	口感细腻顺滑 7~10 分; 无颗粒感但不顺滑 4~6 分; 明显颗粒感, 口感粗糙 1~3 分

### 2.2.5 混料设计

本文选取复配黄米粉、复配米粉、红豆馅为原料, 根据前期试验结果对原料进行限制来设计混料设计, 采用 DESIGN-EXPORT 中 optimal design-mixture-optimal 进行分析, 以感官评分为响应值, 见表 2。

表 2 影响因素与水平  
Table 2 Factors and levels

因素	三水平原料	用量范围
A	复配糯大黄米	0~0.8
B	复配糯玉米	0~0.8
C	红豆馅	0.2~0.6

注:  $A+B \geq 0.4$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同亲水胶体对不同糯性谷物加工性质的影响

#### 3.1.1 对糊化性质的影响

由表 3 可以发现, 卡拉胶、黄原胶、瓜尔豆胶 3 种亲水胶体均降低了糯大黄米和糯玉米的衰减值、回生值和糊化温度, 表明亲水胶体促进了二者的糊化, 且都有明显的抗老化作用。衰减值下降说明淀粉耐剪切性能增加, 糊化温度下降但与不添加亲水胶体的空白样相差不大, 蔡旭冉等<sup>[5]</sup>发现黄原胶能降低玉米淀粉的衰减值和糊化温度, 具有良好的热稳定性说明在粘豆包加工过程中, 亲水胶体的添加有助于粘豆包的口感和生产。由于淀粉和亲水胶体的种类不同, 回生值会出现不同, 高群玉等<sup>[19]</sup>研究表明黄原胶、卡拉胶、瓜尔豆胶均可以降低甘薯淀粉的回生值, 说明 3 种胶体对淀粉都具有良好的抗老化作用。其中瓜尔豆胶对糯玉米和糯大黄米抗老化性都优于卡拉胶和黄原胶, 回生值明显降低, 糯大黄米在瓜尔豆胶添加量为 0.15% 时为最优, 糯玉米在瓜尔豆胶添加量为 0.05% 时为最优, 无论糯玉米还是糯大黄米, 瓜尔豆胶在添加量为 0.05% 和 0.15% 上回生值变化都不明显, 说明瓜尔豆胶添加量在

0.05%~0.15% 之间对糯玉米和糯大黄米回生值影响不大。

#### 3.1.2 质构性质的影响

卡拉胶、黄原胶、瓜尔豆胶 3 种亲水胶体对面团质构特性(texture profile analysis, TPA)的影响如图 1 所示, 糯玉米和糯大黄米随着亲水胶体的添加量增加, 硬度都先下降, 再上升。这是由于淀粉糊化后亲水胶体与溶解到水中的直链淀粉分子之间发生缠绕, 通过形成一种稳定的网络结构使得淀粉/卡拉胶共混体系的析水率较低、凝沉速度慢, 有效缓解淀粉的老化<sup>[7]</sup>, 从而硬度开始下降; 随着亲水胶体量的增多, 亲水胶体分子通过自身结合表现出一定的凝胶特性, 因此面团硬度不再下降, 开始升高。通过对比发现, 瓜尔豆胶对糯玉米和糯大黄米抗老化性更好, 硬度下降更大, 都在 0.10% 达到最优。周扬等<sup>[10]</sup>在研究麻糍抗老化过程中, 利用质构硬度作为评价指标对比了卡拉胶、黄原胶、瓜尔豆胶 3 种亲水胶体对麻糍储藏过程中的抗老化效果时也发现瓜尔豆胶抗老化效果最好, 结果相同。根据表 3 的结果和分析发现糯玉米和糯大黄米在瓜尔豆胶添加量为 0.05% 和 0.15% 时变化不大, 因此选用 0.10% 的瓜尔豆胶与糯玉米粉和糯大黄米粉进行复配。

### 3.2 混料设计结果及分析

#### 3.2.1 混料试验设计结果

根据表 2 设计方案, 以感官评分为响应值, 对粘豆包配方进行优化, 感官评分见表 4。可以发现, 当复配糯大黄米粉为 0.3% 左右, 复配糯玉米粉为 0.3% 左右, 红豆馅为 0.4% 左右时, 感官评分最高。

#### 3.2.2 回归模型的建立与显著性分析

由表 5 看出, 模型  $P < 0.0001$ , 说明模型极显著, 失拟项  $P = 0.1156 > 0.05$ , 说明失拟项不显著, 粘豆包的传统配方受其他未知因素影响较小, 其负相关系数  $R^2 = 0.9647$ , 矫正后的  $R_{adj}^2$  为 0.9479, 说明变量 A(糯大黄米)、B(糯玉米)、C(红豆馅)是粘豆包的感官评显著的影响因素。实验结果进行二次多项式回归拟合得到回归方程:

$$R = 37.74264A + 32.79005B + 19.19046C + 58.20335 \times AB + 24.30577 \times AC + 222.34850 \times BC$$

表3 亲水胶体对不同糯性谷物糊化性质的影响( $n=3$ )  
Table 3 Effect of hydrophilic colloid on gelatinization characteristics of different waxy grain flour ( $n=3$ )

类型	大黄米			糯玉米		
	衰减值	回生值	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$	衰减值	回生值	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$
空白	282±3	276±10	76.57±0.02	251±11	499±5	75.00±0.15
卡拉胶 0.05%	269±5	260±9	76.14±0.06	172±1	445±5	72.55±0.26
卡拉胶 0.15%	257±2	255±3	75.97±0.16	178±5	458±8	72.66±0.21
卡拉胶 0.25%	270±5	263±6	75.85±0.25	186±2	498±7	73.21±0.35
黄原胶 0.05%	255±5	247±9	75.81±0.03	178±11	434±25	72.69±0.45
黄原胶 0.15%	245±3	249±10	76.00±0.21	189±10	443±12	71.50±0.22
黄原胶 0.25%	260±6	264±7	75.60±0.04	205±6	480±8	70.56±0.40
瓜尔豆胶 0.05%	246±3	242±6	75.57±0.03	160±8	402±9	71.71±0.21
瓜尔豆胶 0.15%	240±2	239±3	75.52±0.04	174±4	429±16	71.51±0.10
瓜尔豆胶 0.25%	255±3	251±8	75.45±0.05	188±3	471±6	72.42±0.11

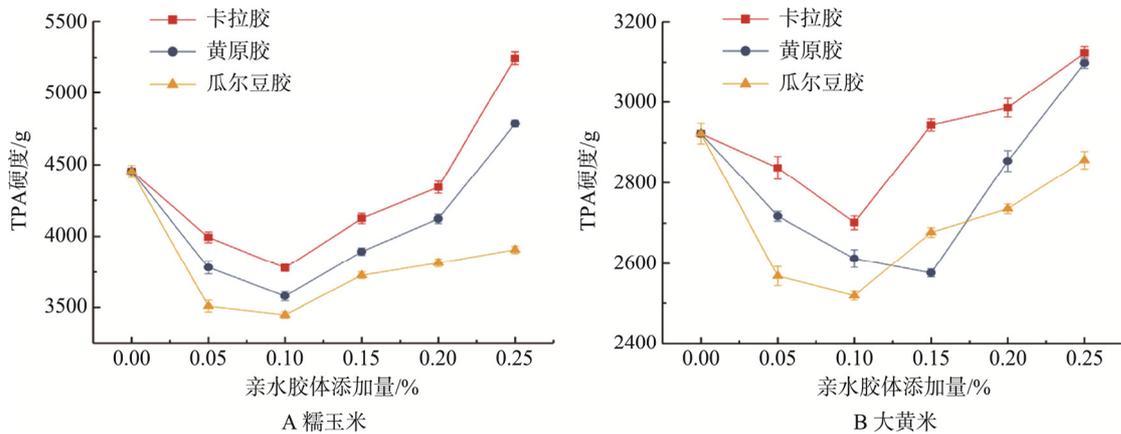


图1 亲水胶体对面团质构特性的影响( $n=3$ )  
Fig.1 Effect of hydrophilic colloid on texture characteristics of dough ( $n=3$ )

表4 粘豆包配方混料设计组合设计表  
Table 4 Mixture design matrix for sticky bean bun

序号	A 复配糯大黄米粉 /g	B 复配糯玉米粉 /g	C 红豆馅 /g	R 感官评分
1	0.53	0.27	0.20	79
2	0.40	0.40	0.20	75
3	0.00	0.40	0.60	77
4	0.00	0.40	0.60	78
5	0.40	0.00	0.60	82
6	0.80	0.00	0.20	69
7	0.53	0.00	0.47	83
8	0.30	0.30	0.40	90
9	0.80	0.00	0.20	71
10	0.00	0.60	0.40	81
11	0.00	0.80	0.20	67
12	0.30	0.30	0.40	88
13	0	0.8	0.2	65

续表4

序号	A 复配糯大黄米粉 /g	B 复配糯玉米粉 /g	C 红豆馅 /g	R 感官评分
14	0.27	0.53	0.2	74
15	0.15	0.45	0.4	85
16	0.53	0	0.47	84

### 3.2.3 响应面分析

响应面图形是针对各个配方所得到的响应值,图2中a为等高线图,b为曲面图,响应值为感官评分,感官评分越高说明配方越好<sup>[20,21]</sup>,因此曲面呈凸形。图2表明A(糯大黄米)、B(糯玉米米)、C(红豆馅)对粘豆包的感官评分的影响显著,各个因素中的交互影响显著。红豆馅在含量为0.4左右时感官评分达到最大;当糯大黄米含量较低糯玉米含量较高时,其风味发生明显变化,与传统粘豆包有明显的差异,因此粘豆包评分较低;当糯玉米含量较低糯大黄米含量较高时,粘豆包的成型性不好,容易在蒸熟后发生坍塌,因此评分较低。

表 5 二次逐步回归模型方差表  
Table 5 Variance analysis of the stepwise regression quadratic model

	平方和	自由度 <i>df</i>	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	
模型	796.8177	5	159.3635319	54.60957843	< 0.0001	显著
线性混合模型	326.6742	2	163.3370779	55.97120535	< 0.0001	
<i>AB</i>	156.5676	1	156.567573	53.65147883	< 0.0001	
<i>AC</i>	247.7316	1	247.7315834	84.89092314	< 0.0001	
<i>BC</i>	207.2427	1	207.2426615	71.01646307	< 0.0001	
残差	29.18234	10	2.918234062			
失拟项	22.18234	5	4.436468124	3.168905803	0.1156	不显著
纯误差	7	5	1.4			
总和	826.00	15				

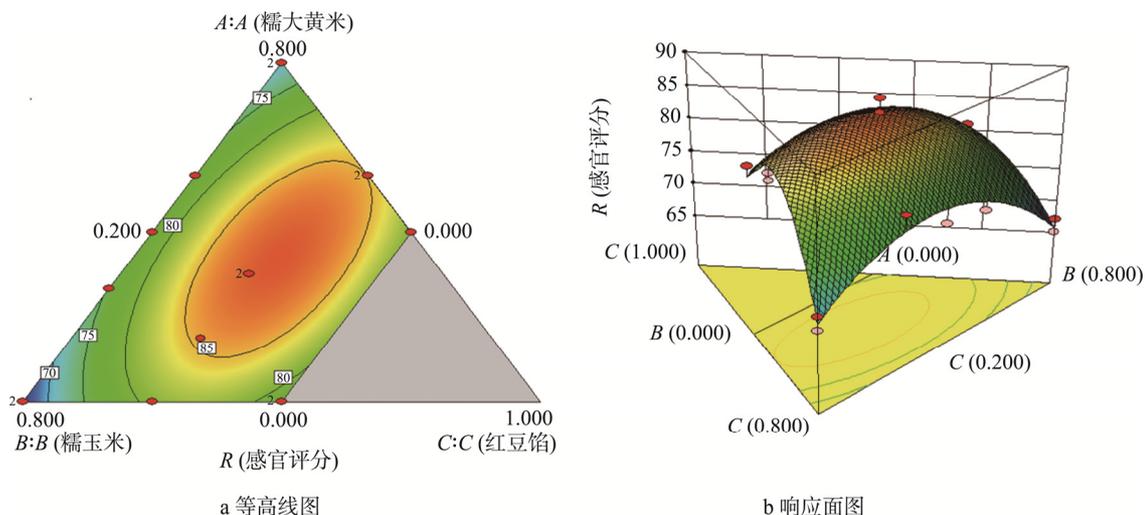


图 2 响应面图  
Fig.2 The response surface figure

3.2.4 混料设计优化结果

根据混料设计结果得出糯玉米粘豆包抗老化剂的最优配方: 复配糯大黄米 33.6%、复配糯玉米为 23.7%、红豆馅为 42.7%, 为便于生产将配方优化为, 复配糯大黄米 33%, 复配糯玉米为 24%, 红豆馅为 43%。

4 结 论

本研究分析不同亲水胶体对糯性谷物加工性质的影响可以发现, 瓜尔豆胶比卡拉胶和黄原胶有着更好的抗老化作用。通过混料试验得出最优配方为 0.10%瓜尔豆胶复配糯大黄米 33%, 0.10%瓜尔豆胶复配糯玉米为 24%, 红豆馅为 43%。

参考文献

[1] 孙大庆, 李洪飞, 杨健, 等. 东北粘豆包中一株罗伊氏乳杆菌的分离、鉴定与益生性质研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, 27(5):

106-110, 115.  
Sun DQ, Li HF, Yang J, et al. Isolation, identification and characterization of a lactobacillus reuteri in northeast Niandoubao [J]. J Heilongjiang Bayi Agric Univ, 2015, 27(5): 106-110, 115.  
[2] 田晓琳. 高压糊化玉米、糯玉米和糜子淀粉重结晶过程中性质和结构变化研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2014.  
Tian XL. Retrogradation properties of maize, waxy maize and proso millet starches gelatinized by ultra high pressure [D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2014.  
[3] 吕哲娟. 新型阴米年糕的研制与老化、消化特性分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.  
Lv ZJ. Development, ageing and digestion properties of yin rice cake [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.  
[4] 张飞. 淀粉老化及不同添加剂对老化的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(21): 216-220.  
Zhang F. Starch retrogradation and effect of different additives on the retrogradation of starch [J]. Food Res Dev, 2017, 38(21): 216-220.  
[5] 蔡旭冉, 赵传家, 徐忠东, 等. 玉米淀粉与黄原胶复配体系糊化及回生

- 特性的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 73-76.
- Cai XR, Zhao CJ, Xu ZD, *et al.* Study on the pasting and retrogradation properties of corn starch/xanthan gum combinations [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 35(11): 73-76.
- [6] 刘敏, 赵欣, 阚建全, 等. 黄原胶对莲藕淀粉糊化性质及流变与质构特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 45-50.
- Liu M, Zhao X, Kan JQ, *et al.* Effect of xanthan gum on pasting, rheological and texture properties of lotus root starch [J]. *Food Sci*, 2018, 39(6): 45-50.
- [7] 苏晓芳. 紫薯淀粉与卡拉胶混体系特性的研究与应用[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
- Su XF. Research and application on properties of purple sweet potato starch/carrageenan mixed systems [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015.
- [8] 贺圣凌, 陈朝军, 刘永翔. 黄原胶对马铃薯淀粉回生影响[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 293-297.
- He SL, Chen CJ, Liu YX. The effect of xanthan gum on the retrogradation of potato starch [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(5): 293-297.
- [9] 林鸳鸯, 曾绍校, 张怡, 等. 瓜尔豆胶对莲子淀粉糊特性影响的研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(2): 87-90.
- Lin YY, Ceng SX, Zhang Y, *et al.* Influence of guar gum on the characteristics of lotus-seed starch paste [J]. *J Chin Ins Food Sci Technol*, 2011, 11(2): 87-90.
- [10] 周杨, 张慧慧, 郑建仙. 响应面法优化抗麻糍老化改良剂的试验研究[J]. 中国食品添加剂, 2013, (5): 142-149.
- Zhou Y, Zhang HH, Zheng JX. Study on optimization of the anti-aging additives for mochi by response surface methodology [J]. *China Food Add*, 2013, (5): 142-149.
- [11] Kim DD, Lee YS, Yoo B. Rheological properties of waxy rice starch-gum mixtures in steady and dynamic shear [J]. *J Food Sci Nutr*, 2009, 14(3): 233-239.
- [12] Achayuthakan P, Suphantharika M. Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 71(1): 9-17.
- [13] Heyman B, De VWH, Depyere F, *et al.* Guar and xanthan gum differentially affect shear induced breakdown of native waxy maize starch [J]. *Food Hydrocolloid*, 2014, 35: 546-556.
- [14] 郭晓娟, 刘成梅, 吴建永, 等. 亲水胶体对淀粉理化性质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 25-29.
- Guo XJ, Liu CM, Wu JY, *et al.* Review on the effects of hydrocolloid on physicochemical properties of starch [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(6): 25-29.
- [15] 龙明秀, 吴凤玉, 田竹希, 等. 魔芋胶对甘薯淀粉流变学特性及粉条品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(12): 26-33.
- Long MX, Wu FY, Tian ZX, *et al.* Effect of konjac gum on rheological properties of sweet potato starch and qualities of starch noodles [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2018, 34(12): 26-33.
- [16] 艾志录, 安阳, 李真, 等. 胖大海胶对微波用速冻汤圆品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 162-166.
- Ai ZL, An Y, Li Z, *et al.* Effect of malva nut gum on the quality of microwave-cooked quick-frozen sweet dumpling [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(5): 162-166.
- [17] 董小涵, 周茜, 牛佳卉, 等. 营养预制黄米豆包加工工艺研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(12): 221-227.
- Dong XH, Zhou Q, Niu JH, *et al.* Processing technology of nutritious-prepared millet bun [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2017, 33(12): 221-227.
- [18] 任宇航, 郑明珠, 杨新标, 等. 糯玉米粘豆包抗老化剂配方的优化[J]. 食品研究与开发, 2019, 11(26): 55-70.
- Ren YH, Zheng MZ, Yang XB, *et al.* Optimization of anti-retrogradation agent formula for waxy corn sticky bean bun [J]. *Food Res Dev*, 2019, 11(26): 55-70.
- [19] 高群玉, 吴磊, 赵升熙. 食品胶对甘薯淀粉糊粘度性质的影响[J]. 现代化工, 2008, 28(S2): 231-234.
- Gao QY, Wu L, Zhao SX. Effects of food gums on viscosity properties of sweet potato starch paste [J]. *Mod Chem Ind*, 2008, 28(S2): 231-234.
- [20] 易宇文, 范文教, 乔明锋, 等. 基于模糊数学与智能感官评价的鱼香调味汁配方优化研究[J]. 中国食品添加剂, 2017, (11): 132-139.
- Yi YW, Fan WJ, Qiao MF, *et al.* Research on the formula optimization of yuxiang sauce based on fuzzy mathematics and intelligence sensory evaluation [J]. *China Food Add*, 2017, (11): 132-139.
- [21] 吴芳彤, 曹倩荣, 吴广枫, 等. 基于模糊数学感官评价法和混料设计优化紫薯莜麦酒配方[J]. 食品与发酵工业, 2019, 35(7): 39-41.
- Wu FT, Cao QR, Wu GF, *et al.* Fuzzy mathematics sensory evaluation and mixture design for formulation optimization of purple sweet potato and naked oats wine [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 35(7): 39-41.

(责任编辑: 王 欣)

## 作者简介



杨新标, 硕士, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: 905844479@qq.com



郑明珠, 副教授, 主要研究方向为粮食深加工。

E-mail: zhengmzhu@163.com