

基于模糊数学法与 D - 最优混料设计 优化青瓜紫薯川北凉粉配方

王 林

(四川旅游学院 烹饪学院, 四川 成都 610100)

摘 要: 在传统四川小吃川北凉粉制作工艺的基础上,用模糊数学感官评价法结合 D - 最优混料设计的方法,以青瓜汁、紫薯淀粉、水和卡拉胶为主要原料,对青瓜紫薯川北凉粉配方进行优化,建立各原料的比例与感官评分之间的回归模型,考察各原料之间的相互效应。结果表明(按质量百分比计):当青瓜汁 14.4%、紫薯淀粉 17.0%、水 67.6%、卡拉胶 1.0% 时,川北凉粉感官评分最高,具有色泽均匀、弹性较好、入口细腻的特点。

关键词: 青瓜;紫薯;模糊数学;混料设计;工艺配方

中图分类号: TS 972.142.71

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2020)03-0059-05

川北凉粉是一种淀粉类凝胶类食品,是淀粉类原料与适量的水一起加热糊化后冷却形成的胶状凝固物,具有晶莹剔透、嫩滑爽口的特点。^[1]川北凉粉是夏季避暑的首选风味小吃,深受本地人和游客的喜爱,被民间誉为“四川十大名小吃”之一。青瓜又名黄瓜,葫芦科一年生蔓生或攀援草本植物。青瓜富含水溶性维生素 C 和维生素 B₂ 以及钙、磷、铁等微量元素,另因富含能促进人体新陈代谢功能的黄瓜酶,具有一定的抗氧化作用,^[2]从而具有延缓衰老和美容养颜的效果;紫薯属旋花科甘薯属,果肉呈紫色,富含人体多种必需氨基酸、硒元素和花青素,^[3]具有很强的清除自由基能力,对延缓衰老和提高人体免疫力有一定的效果,目前备受人们广泛关注。^[4]

本试验运用模糊数学感官评价法结合 D - 最优混料设计的方法,^[5]以青瓜汁、紫薯淀粉、卡拉胶和水为主要原料,以淀粉膨胀度、溶解度和凉粉感官评价为指标,用 Design Expert 软件对青瓜紫薯川北凉粉配方进行优化,建立各原料的比例与感官评分之间的回归模型,考察各原料之间的相互效应,为标准化和工业化生产提供一定的数据参考,^[6]其结果可以运用于中央厨房批量加工,

为连锁餐饮门店节约成本。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与设备

1.1.1 材 料

青瓜:市售;紫薯淀粉:四川紫金都市农业有限公司;卡拉胶:郑州天顺食品添加剂有限公司;D - 异抗坏血酸钠(食品级):安徽远征生物工程有限公司。

1.1.2 主要设备及器具

S2 - A81 型多用途榨汁机:九阳股份有限公司;EK813 型高精度电子秤:广东香山衡器集团股份有限公司;DK - 2000 - L 型数显恒温水浴锅:天津市泰斯特仪器有限公司;Topsizer Plus 激光粒度分析仪:珠海欧美克仪器有限公司;SB - 32000DTDN 超声波清洗机:宁波新芝生物科技股份有限公司;海尔电冰箱:青岛海尔集团产品;食品加工用不锈钢盆和直方盘:成都精工厨房设备有限公司。

1.2 试验方 法

1.2.1 青瓜紫薯凉粉工艺流程

青瓜紫薯凉粉工艺流程如下:^[7]

收稿日期:2020-05-14

基金项目:四川省教育厅川菜发展研究中心项目(CC17Z12);四川省教育厅自然科学基金项目(18ZB0499)

作者简介:王 林,男,四川旅游学院烹饪学院副教授,从事烹饪科学与食品加工研究。

青瓜→榨汁→过滤取滤液→加水搅拌均匀→溶胶→水浴加热→搅动→冷却→定型→成品。

紫薯粉→↓
卡拉胶→↑

1.2.2 操作要点

榨汁:将新鲜无虫害青皮青瓜洗净,去除瓜瓤后切成3 cm的小块与0.05%的D-异抗坏血酸钠混合,按青瓜与水按质量比1:1的比例放入榨汁机中打浆,再用0.18 mm的纱布过滤取滤汁。

紫薯粉处理:将紫薯淀粉经称重后用35℃的温开水搅拌均匀与青瓜汁充分混合备用。

卡拉胶处理:卡拉胶使用前应在纯净水中浸泡1 h后在75℃条件下加热进行溶胶备用。^[8]

溶胶:混合物在100℃恒温水浴锅里加热(加热过程中要沿顺时针方向不停地搅动),待淀粉混合物呈半透明流体凝固状物时停止(加热时间为45 min),倒入模具中自然凝固备用。

1.2.3 混料设计

采用Design Expert 8.0.6软件选取最优D-Optional方法进行混料设计,^[9]试验采用Excel和

IBM.SPSS 22.0软件进行数据分析,设定青瓜汁(A)、紫薯淀粉(B)、水(C)和卡拉胶(D)为4个参数,其中, $A+B+C+D=100%$,以感官评分作为响应值,建立回归方程对配方进行优化分析,^[10]经预试验后青瓜汁、紫薯淀粉、水和卡拉胶的质量选定范围如表1所示。

表1 混料设计因素及目标范围

因素	低值/%	高值/%
A	5	15
B	10	25
C	60	75
D	0.1	1

1.2.3 感官评定

感官评分标准参照王锦云等^[11]的试验方法并做适当修改。本试验选取10名具有烹饪从业经历的专家,从参评样品的色泽、形态、气味和质地4个方面进行感官评定,在评定时各成员之间不能交流,对样品进行编号且同一样品重复3次评分取平均值,满分100分,具体评定标准如表2所示。

表2 青瓜紫薯凉粉感官评定标准

指标	评定标准/分			
	优	良	中	差
色泽 (22分)	成品透明度好,色泽呈亮紫色,外表光滑(17~22)	成品呈半透明状,色泽呈紫色,外表光滑度一般(12~16)	成品透明度较差,色泽呈浅紫色,外表不光润(7~11)	成品透明度差,色泽呈浅黑色,外表粗糙(1~6)
形态 (28分)	成品外形完整,无气泡,凝胶均匀,无水析出(22~28)	成品外形较完整,气泡较少,无析水现象(15~21)	成品成形较差,有气泡,黏手,有析水现象(8~14)	成品成形差,有气泡,黏手,析水现象严重(1~7)
气味 (21分)	成品具有青瓜和紫薯的气味,无异味(16~21)	成品中青瓜和紫薯的气味较弱,无异味(11~15)	成品无青瓜和紫薯香气,无异味(6~10)	成品无青瓜和紫薯气味,有异味(1~5)
质地 (29分)	成品入口细嫩,有弹性(22~29)	成品口感较细嫩,弹性一般(15~21)	成品口感一般,较爽滑,弹性较弱(8~14)	成品口感一般,无爽滑,弹性差(1~7)

1.3 紫薯淀粉理化指标测定

1.3.1 淀粉粒度测定

参照赵敏^[12]的方法进行测定。

1.3.2 溶解度及膨胀度测定

参照赵敏^[12]的方法并作适当修改。准确量取 m_1/g 的淀粉样品,将其配置成2%的淀粉乳制品,并在90℃的环境中加热30 min,然后进行离心处理(4℃环境下3500 r/min离心20 min),分

别称取上清液的质量 m_2/g 及沉淀的质量 m_3/g ,将上清液烘干至粉末状恒重,计其质量为 m_4/g 。溶解度及膨胀度则可以通过以下公式计算得到。

溶解度(S)= $m_4 \div m_1 \times 100%$,膨胀度(B)= $m_3 \div m_1 (1 - S) \times 100%$ 。

1.4 模糊数学评定模型的建立

1.4.1 评价因素集U的确定

青瓜紫薯凉粉评价因素集 $U = \{U_1, U_2, U_3, \dots\}$

U_4 }, U_1 代表色泽、 U_2 代表形态、 U_3 代表气味、 U_4 代表质地。

1.4.2 评价等级集 V 的确定

评价等级集 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$, V_1 代表优、 V_2 代表良、 V_3 代表中、 V_4 代表差, 对应分数为 90、80、70、60, 即 $V = \{90, 80, 70, 60\}$ 。

1.4.3 评价权重集 X 的确定

色泽、形态、气味、质地是构成感官评价川北凉粉的因素。根据“主观赋权法”得到权重 $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\} = \{0.22, 0.28, 0.21, 0.29\}$ 。

1.4.4 模糊评定矩阵的建立

对各组指标数据结果建立隶属度矩阵, 根据模糊变换原理 $Y = XR$, 获取各实验组的结果。

1.4.5 评定结果

对各个模糊矩阵的结果进行赋值。其中优、良、中、差分别代表 90 分、80 分、70 分、60 分。将模糊向量单值化排序与赋值结果相乘后求和, 最终得到每个实验组的得分。^[13]

1.5 数据分析

数据采用 IBM. SPSS 17.0 进行单因素方差分析, 数据结果以平均值 \pm 标准差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 紫薯淀粉的颗粒直径、膨胀度及溶解度测定结果

紫薯淀粉的颗粒直径、膨胀度及溶解度的测定结果见表 3。

表 3 紫薯淀粉粒径及膨胀度、溶解度结果

表面积平均 粒径/ μm	体积平均 粒径/ μm	$D_{50}/\mu\text{m}$	$D_{90}/\mu\text{m}$	$D_{10}/\mu\text{m}$	$(D_{90} - D_{10})/D_{50}/\mu\text{m}$	溶解度/%	膨胀度/%
23.17 \pm 0.17	30.21 \pm 0.20	27.33 \pm 0.45	45.08 \pm 1.45	17.11 \pm 0.21	1.02 \pm 0.11	27.37 \pm 1.30	36.43 \pm 1.06

由表 3 可以看出紫薯淀粉的中心粒径为 27.33 μm 、粒径分布的宽窄为 1.02、溶解度为 27.37%、膨胀度为 36.43%。溶解度是指一定温度及时间条件下溶解在水中的淀粉占总淀粉含量的百分比, 溶解度越多凝胶产品的出品率越高; 膨胀度则是指离心后的沉淀物占淀粉总重量的百分比, 膨胀度越大, 形成的凝胶产品越柔软爽滑。

2.2 感官评定的方法与结果

根据 Design Expert8.0.6 混料试验选取 D - 最优配方设计方案进行试验, 10 位感官评定专家分别对凉粉色泽、形态、气味和质地 4 个考察指标进行感官评定,^[5] 第 1 小组的评定结果见表 4。

表 4 第 1 小组评定结果

感官指标	评 定 等 级			
	优	良	中	差
色泽	4	4	2	0
形态	3	6	1	0
气味	5	4	1	0
质地	5	2	2	1

由试验结果可知, 感官评定小组中有 4 位专家认为第 1 小组青瓜紫薯凉粉色泽等级为优, 4 位认为青瓜紫薯凉粉成品色泽为良, 2 位认为青瓜紫薯川北凉粉成品色泽为中, 0 人认为差。所

以 $R_{\text{色泽}} = (0.4, 0.4, 0.2, 0)$, 同理可得 $R_{\text{形态}} = (0.3, 0.6, 0.1, 0)$, $R_{\text{风味}} = (0.5, 0.4, 0.1, 0)$, $R_{\text{口感}} = (0.5, 0.2, 0.2, 0.1)$ 。将以上指标转化为矩阵^[12], 即:

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \end{pmatrix} \quad \text{根据模糊变化原}$$

理 $Y = XR$, 对于实验组 1 的评价结果可得到:

$$Y_1 = X \times R_1 = \{0.22, 0.28, 0.21, 0.29\} \times \begin{pmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \end{pmatrix} = (0.422, 0.398, 0.151, 0.029)$$

将第 1 小组数据模糊向量单值化及赋值得到其得分为 82.13 分。以该方法对 20 个实验组进行综合模糊评判, 结果见表 5。

2.3 模型的建立与显著性分析

通过对最优秀 D - 混料试验结果进行分析, 获得感官评分 (Y) 与青瓜汁 (A)、紫薯淀粉 (B)、水 (C)、卡拉胶 (D) 的回归方程如下:

$$Y = 52.61A + 74.28B + 72.67C + 1639.76D + 65.09AB + 42.00AC - 1544.69AD + 61.24BC - 1733.65BD - 1661.43CD。$$

二次回归方程模型的方差分析结果见表6。

表5 青瓜紫薯凉粉混料设计试验安排与结果

试验序号	A:青瓜汁/%	B:紫薯淀粉/%	C:水/%	D:卡拉胶/%	感官评分(Y)
1	9.50	14.50	75.00	1.00	82.13
2	14.00	10.00	75.00	1.00	76.38
3	8.00	18.00	73.00	1.00	82.44
4	5.00	25.00	69.00	1.00	70.01
5	15.00	25.00	59.00	1.00	72.20
6	15.00	25.00	59.00	1.00	73.24
7	12.94	13.94	72.32	0.80	83.77
8	5.00	19.40	75.00	0.60	74.92
9	5.00	19.40	75.00	0.60	74.29
10	15.00	17.50	66.90	0.60	85.79
11	15.00	17.50	66.90	0.60	85.68
12	10.00	25.00	64.40	0.60	74.39
13	10.00	25.00	64.40	0.60	74.40
14	7.94	21.44	70.22	0.40	81.19
15	12.94	21.44	65.22	0.40	83.17
16	14.80	10.00	75.00	0.20	71.05
17	10.96	17.96	70.88	0.20	83.59
18	10.96	17.96	70.88	0.20	84.64
19	5.00	25.00	69.80	0.20	71.89
20	15.00	25.00	59.80	0.20	72.09

表6 二次回归方程模型方差分析表

变异源	平方和	自由度	均方	F值	Prob > F	显著性
模型	590.57	9	65.62	182.65	<0.0001	***
线性混合	114.05	3	38.02	105.82	<0.0001	***
AB	109.81	1	109.81	305.65	<0.0001	***
AC	54.34	1	54.34	151.27	<0.0001	***
AD	3.01	1	3.01	8.39	0.0159	**
BC	274.07	1	274.07	762.87	<0.0001	***
BD	3.77	1	3.77	10.50	0.0089	**
CD	3.48	1	3.48	9.69	0.0110	**
残差误差	3.59	10	0.36			
失拟项	2.30	5	0.46	1.77	0.2729	*
纯误差	1.30	5	0.26			
所有项	594.16	19				

确定系数 $R^2 = 0.9940$; 校正确定系数 $R^2_{Adj} = 0.9885$; 变异系数 $CV(\%) = 0.77$

注:***表示差异极显著($P < 0.01$);**表示差异显著($P < 0.05$);*表示差异不显著($P > 0.05$)。

通过表4可以得知,配方的二次回归模型的 P 值 < 0.0001 ,达到显著性水平($P < 0.01$)。判定系数 $R^2 = 0.9940$,说明变量 Y 是由 99.4% 的变量(A、B、C、D)引起的,表明模型方程很好地拟合指标与配方比例关系。

2.4 交互因子的响应面分析

在完成回归模型分析的基础上,根据青瓜汁、紫薯淀粉、水和卡拉胶的交互作用对成品感官评定的影响三维等高图(图1)可以直观地观察青瓜紫薯凉粉各原料之间的变化对感官分值的影响,在固定卡拉胶占比1%的条件下分析青瓜汁、紫薯淀粉、水三者之间交互作用的影响。由图1可知,随着青瓜汁、紫薯淀粉水的含量的增加,青瓜汁、紫薯凉粉的感官评分逐渐升高($P < 0.05$),直至感官评分出现峰值;当各原料含量继续增加时,青瓜汁、紫薯凉粉的感官评分呈下降趋势($P < 0.05$)。从图1中可以看到,三维等高图为曲面图,说明各因素交互作用明显($P < 0.05$),在可变范围之内,模糊感官评分出现极值,与回归方程方差表的结果一致。其中曲面图波动受青瓜汁、紫薯淀粉的影响比较大,曲面较陡($P < 0.01$)。

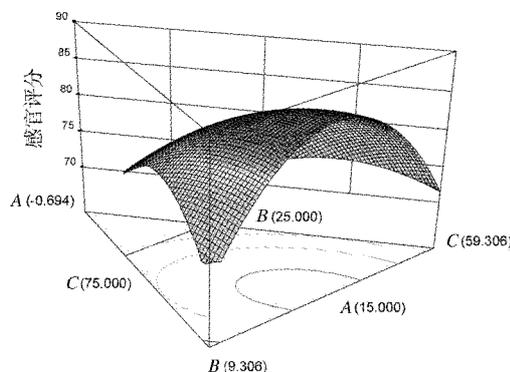


图1 青瓜汁、紫薯淀粉、水的交互作用对产品感官质量的影响

2.5 配方验证优化

通过以上4种主要原料在所规定的范围内对回归模型进行分析,从而预测出最佳配比方案为:(按质量百分比计)青瓜汁14.38%、紫薯淀粉16.95%、水67.60%、卡拉胶1.00%,在该方案下所得理论最大感官评价得分为88.84分。

为方便实际操作对响应因素值进行修正,各原料配比调整为青瓜汁14.4%、紫薯淀粉17.0%、水67.6%、卡拉胶1.0%,最终感官评分结果为90.80分与理论最大感官评价得分相对误

差仅为 0.21%，说明模型所得的最佳配比参数和相关预测是有效和可靠的。^[14]

3 结论

在传统四川小吃川北凉粉的制作工艺基础上,以青瓜紫薯凉粉感官评分为指标,采用模糊数学评定法与混料试验 D - 最优设计方法相结合的设计方案,考察青瓜汁(A)、紫薯淀粉(B)、水(C)、卡拉胶(D)等原材料之间影响因素,建立具有显著性水平的线性回归方程: $Y = 52.61A + 74.28B + 72.67C + 1639.76D + 65.09AB + 42.00AC - 1544.69AD + 61.24BC - 1733.65BD - 1661.43CD$ 。该方程可以很好地预测各个因素水平与感官指标之间的关系,同时也验证了该模型的可靠性。该方法获得青瓜紫薯川北凉粉的最佳配比如配方(按质量百分比计):青瓜汁 14.4%、紫薯淀粉 17.0%、水 67.6%、卡拉胶 1.0%,在此条件下试验拟合度较好,感官评价分数为 90.80 分,经验证实验,真实有效,其数据结果可为传统同类产品标准化、工业化生产提供参数借鉴。

参考文献:

- [1] 韩文凤,邱泼,孙庆杰,等. 淀粉凝胶研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2006(7):26-29.
[2] 李岳平,梁开杰,李美婷,等. 黄瓜的营养成分、作用

及嫁接技术[J]. 上海农业科技, 2015(1):89.

- [3] 秦琦,陈艳,徐乔伊,等. 紫甘薯营养成分分析及休闲食品开发[J]. 浙江万里学院学报, 2009,22(5):58-62.
[4] 袁利鹏,刘波,黄梓钿,等. 紫薯冰皮月饼的皮料工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(9):4096-4098.
[5] 吕新河. 模糊评定法结合混料设计优化全蛋糊配方[J]. 美食研究, 2018,35(1):24-27.
[6] 乔学彬,王林. 红薯热凉粉的加工工艺研究[J]. 现代食品, 2019(16):86-88.
[7] 张晓蒙,姜瑞,刘红娜. 豌豆凉粉工艺优化及物性特征的研究[J]. 农产品加工, 2019(6):41-46.
[8] 龙勃,黄克霞,邹严,等. 黄瓜米凉糕的研制[J]. 农产品加工, 2018(11):17-20.
[9] 李安章,绍凡,周戴维,等. 桑椹五味子复合功能性酸奶的研制[J]. 食品工业, 2017(10):42-47.
[10] 吴佳丽,李莹,周剑忠,等. 混料设计在即食文蛤调味液配方研究中的应用[J]. 食品研究与开发, 2017(8):114-117.
[11] 王锦云,陈芄,肖洪,等. 正交试验优化薄荷绿豆凉粉的制作工艺[J]. 粮食与油脂, 2018(3):65-67.
[12] 赵敏. 淀粉类凝胶食品制备及特性研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2014.
[13] 张荣春. 模糊数学感官评价法优化青团制作工艺[J]. 美食研究, 2018,35(3):36-40.
[14] 董芝杰. 基于响应面法的牛蹄筋低压涨发工艺优化[J]. 美食研究, 2019,36(1):45-48.

Optimization of cucumber and purple sweet potato Chuanbei jelly formula based on fuzzy mathematics and D - optimal mixture design

WANG Lin

(College of Cuisine, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China)

Abstract: On basis of the traditional Sichuan snack Chuanbei jelly production process, taking cucumber juice, purple potato starch, water and carrageenan as the main raw materials, the combination of fuzzy mathematics sensory evaluation and the D - optimal mixture design was applied to optimize the formula, and the regression model between the ratio of the raw materials and the sensory score was established to investigate the interaction between the raw materials. The results showed that cucumber juice of 14.4%, purple potato starch of 17.0%, water of 67.6%, and carrageenan of 1.0% to give the product the highest score, with uniform color, good elasticity, and delicate mouthfeel.

Key words: cucumber; purple sweet potato; fuzzy mathematics; mixture design; process formula

(责任编辑:赵 勇)