

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.06.023

基于感官评价和微观结构的恩施玉米粑粑 工艺优化及质量评价

潘旭芳^{1,2}, 朱玉昌^{1,2*}, 周大寨^{1,3}, 张涛^{1,3}, 周浩瀚^{1,3}, 余晓雪^{1,3}, 田科文^{1,3}

(1. 湖北民族大学生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 湖北恩施 445000; 2. 湖北民族大学生物科学与技术学院, 湖北恩施 445000; 3. 湖北民族大学林学院园艺学院, 湖北恩施 445000)

摘要: 恩施玉米粑粑是以玉米、糯米和白砂糖为原料经轻微自然发酵制得的特色产品, 融合了玉米的清香和糯米的黏性, 备受消费者的喜爱。为了实现其工业化生产, 在单因素试验的基础上进行响应面实验, 以感官评分为主要参考指标, 结合质构特性和微观结构, 优化得到恩施玉米粑粑的最优配方和工艺: 以经过预处理的玉米面[玉米面: 水=2:5 (g/mL)混合加热至糊状]200 g为基重, 添加白砂糖 12 g和耐高糖酵母 0.09 g, 在 29 °C发酵 3 h, 再添加常温泡制 12 h的糯米 100.0 g, 装模后于 100 °C蒸制 30 min, 冷却包装后即得成品。经该工艺制得的恩施玉米粑粑质地柔软、色泽金黄, 有玉米的清香和轻微的发酵风味, 口感细腻, 感官评分为 80, 弹性为 0.603 mm, 硬度为 6 331.51 N, 咀嚼性为 2 994.807 N, 黏性为-244.932 N, 且工艺简便易操作, 适用于工业化生产。

关键词: 恩施玉米粑粑; 特色产品; 工艺优化; 感官评价; 微观结构

Process Optimization and Quality Assessment of Enshi Corn Pancake Based on Sensory Evaluation and Microstructure

PAN Xufang^{1,2}, ZHU Yuchang^{1,2*}, ZHOU Dazhai^{1,3}, ZHANG Tao^{1,3}, ZHOU Haohan^{1,3}, YU Xiaoxue^{1,3},
TIAN Kewen^{1,3}

(1. Hubei Key Laboratory of Biologic Resources Protection and Utilization, Hubei Minzu University, Enshi 445000, Hubei, China; 2. College of Biological Sciences and Technology, Hubei Minzu University, Enshi 445000, Hubei, China; 3. School of Forestry and Horticulture, Hubei Minzu University, Enshi 445000, Hubei, China)

Abstract: Enshi corn pancake, a distinctive product made from corn, glutinous rice and white granulated sugar by mild natural fermentation, combines the fragrance of corn with the stickiness of glutinous rice and is very popular among local consumers. In order to achieve its industrial production, a response surface experiment was carried out on the basis of single-factor experiment. The sensory score was used as the main reference index, and the textural characteristics and microstructure were combined to optimize the optimal formula and process of Enshi corn pancake. Specifically, with 200 g of pretreated corn flour [mix corn flour and water at a ratio of 2:5 (g/mL) and heat until a paste form] as the base weight, 12 g of white granulated sugar and 0.09 g of high-sugar-tolerant yeast were added, fermented at 29 °C for 3 h, and then 100.0 g of glutinous rice, soaked at room temperature for 12 h, and steamed at 100 °C for 30 min after loading into the mold. After cooling and packaging, the final product can be obtained. The Enshi corn pancake prepared by this process was soft in texture, golden in color, with corn fragrance and slight fermentation flavor. It had a delicate taste, with a sensory score of 80, elasticity of 0.603 mm, hardness of 6 331.51 N, chewiness of 2 994.807 N, and stickiness of -244.932 N. The process was simple and easy to operate, which was suitable for industrial production.

Key words: Enshi corn tsamba; characteristic product; process optimization; sensory evaluation; microstructure

基金项目:恩施州科技计划项目(XYJ202000022);生物资源保护与利用湖北省重点实验室开放基金项目(PT012015);2021年湖北民族大学生物科学与技术学院研究生科研创新项目(YX202109001)

作者简介:潘旭芳(1997—),女(土家),硕士研究生在读,研究方向:粮食、油脂及植物蛋白工程。

*通信作者:朱玉昌(1979—),女(汉),副教授,研究生,研究方向:农产品质量与食品安全。

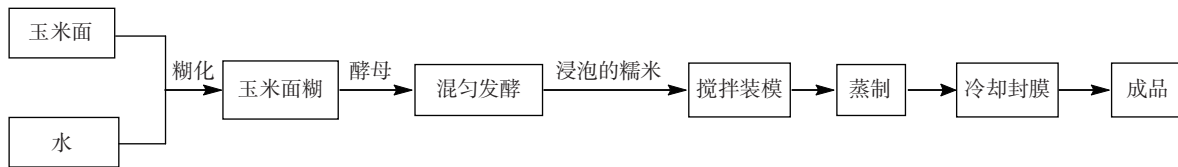
引文格式:

潘旭芳,朱玉昌,周大寨,等.基于感官评价和微观结构的恩施玉米粑粑工艺优化及质量评价[J].食品研究与开发,2024,45(6):167-173,189.

PAN Xufang, ZHU Yuchang, ZHOU Dazhai, et al. Process Optimization and Quality Assessment of Enshi Corn Pancake Based on Sensory Evaluation and Microstructure[J]. Food Research and Development, 2024, 45(6): 167-173, 189.

恩施玉米粑粑是湖北省恩施州的特产,当地又俗称“苞谷粑粑”^[1],是以玉米和糯米为主要原料,添加适量白砂糖后经轻微自然发酵而得,其融合了玉米的清香和糯米的软糯,深受消费者喜爱。但目前大部分为传统的小作坊式生产,产品质量不稳定、保存期短且存在一定的食品安全隐患。

随着人们生活水平的提高、健康理念的逐渐深入,粗粮逐渐受到现代人的青睐^[2-4],《中国居民膳食指南(2022)》中也强调食物要多种多样、粗细要合理搭配^[5]。作为粗粮的玉米,营养物质丰富多样^[6],可预防多种疾病^[7],已有玉米粥、玉米饼、玉米窝窝等多种的产品形式出现在餐桌^[8],关于恩施玉米粑粑这一特色产品的报道则较少。本文基于感官评价及微观结构对恩施传统玉米粑粑进行工艺优化,并对其进行质量评价,预期得到一款色泽风味俱佳、软糯香甜的恩施玉米粑粑,以期为工业化生产提供参考。



玉米面的糊化:用小火慢慢煮制黏稠状,用筷子挑起呈不间断滴落状态。

糯米的浸泡:糯米完全浸没水中于室温下泡制12 h,达到完整而酥状态,尽量沥干后再混合。

装模蒸制:将搅拌好的半成品分装至模具中,每个约50 g,于100℃蒸30 min。

冷却封膜:自然冷却至温凉后塑封,冷冻保存。

1.3.2 玉米面预处理方式与发酵菌种的筛选

结合作坊调研及预试验,发现玉米面的不同预处理及3种酵母对成品的风味及结构影响较大,将不同前处理的玉米面[常温下泡制12 h的玉米面、以玉米面:水=2:5(g/mL)加热至糊状]与3种酵母(耐高糖酵母、耐低糖酵母、高活性干酵母)混合发酵得到的成品进行冷冻干燥,再进行微观结构的观察。

1.3.3 单因素设计

以筛选的预处理方式得到的糊化玉米面200 g为基重,分别设置发酵时间为1、2、3、4、5 h,发酵温度为29、31、33、35、37℃,糯米添加量为100、150、200、250、300 g,酵母添加量为0.05、0.07、0.09、0.11、0.13 g,白砂

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

糯米:舒城县食为天米有限公司;玉米面:濮安惠丰粮油有限公司;耐高糖酵母、耐低糖酵母、高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;白砂糖:南宁糖业股份有限公司。

1.2 仪器与设备

恒温水浴锅(HH-W600):上海助蓝仪器科技有限公司;全质构分析(texture profile analysis, TPA)质构仪(TA-XTplus):上海润玢国际贸易有限公司;生物光学显微镜(Eclipse E200):上海衡浩仪器有限公司;冷冻干燥机(ALPH2-4LSC):上海能共实业有限公司;医用超低温箱(MDF-U52V):上海佐明机械设备贸易有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

糖添加量为2、6、10、14、18 g,考虑这5个因素对感官评分及质构的影响。

1.3.4 响应面设计

根据单因素试验结果,利用Box-Behnken设计选取白砂糖、糯米、酵母的添加量及发酵温度这4个因素进行响应面分析,得出最优工艺。以感官评分为响应值(Y),建立四因素三水平中心组合试验,共包括29个试验组合,其中24个分析试验点,5个中心试验点,用以计算试验误差。响应面试验因素与水平如表1所示。

表1 响应面试验因素与水平

Table 1 Factors and levels used for response surface experiment

水平	因素			
	A 白砂糖添加量/g	B 糯米添加量/g	C 酵母添加量/g	D 发酵温度/℃
-1	6	100	0.09	29
0	10	150	0.11	31
1	14	200	0.13	33

1.3.5 感官评价标准

参照文献[9-10],结合玉米粳粩成品的特性,制得感官评价表。由至少10名食品专业人员对玉米粳粩的色泽、风味、质地以及甜度等指标进行感官评分,玉米粳粩感官评分标准见表2。

表2 玉米粳粩感官评分标准

Table 2 Sensory scoring standards for Enshi corn pancake

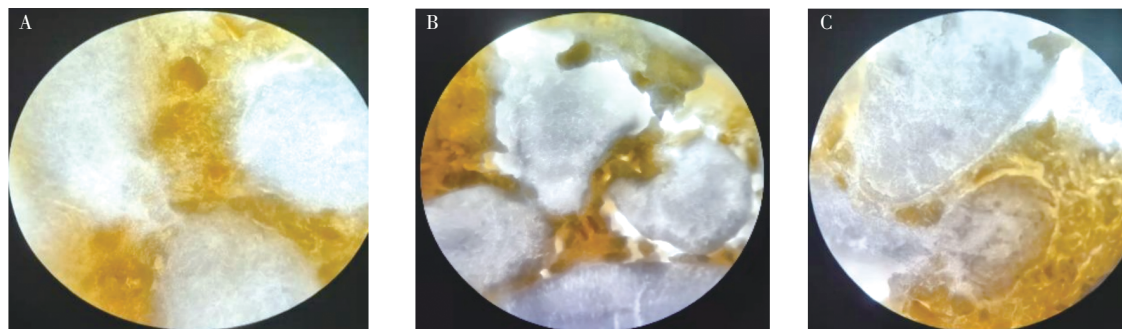
指标/分值	评价标准	评分
色泽(10)	颜色金黄	6~10
	颜色淡黄	4~<6
	颜色偏白	1~<4
风味(20)	有玉米清香及发酵的风味	12~20
	玉米清香及发酵风味较弱	6~<12
	有酸味,有异味	1~<6
质地(25)	玉米面柔软细腻,糯米软硬适中	17~25
	玉米面颗粒感较弱,糯米较软	8~<17
	玉米面颗粒感较重,口感粗糙,糯米较硬	1~<8
甜度(25)	甜度适中	17~25
	有甜度	8~<17
	过甜(返酸)	1~<8
黏度(20)	可接受	12~20
	不黏,不黏牙	6~<12
	过黏,黏牙	1~<6

1.3.6 质构的测定

参照文献[11-12]略作修改,将制得的成品置于TPA质构仪载样台中央,测前速度1 mm/s,测试速度1 mm/s,测后速度2 mm/s,间隔时间5 s,压缩程度65%,选用P50平底圆柱形探头,通过仪器分析,从数据显示屏上获得硬度(N)、弹性(mm)、咀嚼性(N)、黏性(N)4个质构参数。

1.3.7 微观结构的观察

将制得的成品放入冰箱冷冻30 min后取出,用手术刀切成0.01 mm薄的薄片,置于-80℃的超低温冰箱15 min后取出真空冷冻干燥12 h,于生物光学显微镜下观察其结构并拍照^[13-14],黄色部分为玉米面,白色部分为糯米。



A. 耐低糖酵母;B. 高活性干酵母;C. 耐高糖酵母。

图2 添加耐低糖酵母、高活性干酵母、耐高糖酵母的成品2倍结构图

Fig 2 Two-fold structure diagram after adding low-sugar-tolerant yeast, high active dry yeast and high-sugar-tolerant yeast

1.3.8 质量评价

将最优工艺参数制得的产品送至恩施土家族苗族自治州公共检验检测中心,检测主要营养成分的含量。

1.4 数据处理

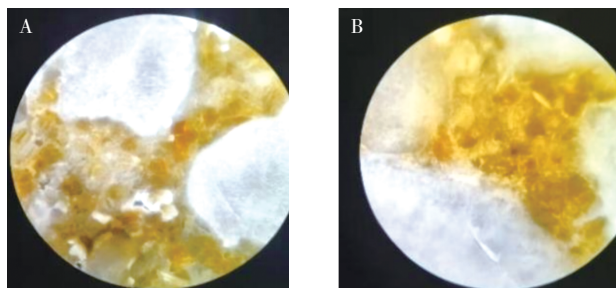
运用 Design-Expert 8.0.6、Origin 2018、SPSS 等分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 玉米面前处理的方式与酵母菌种选择的筛选

2.1.1 玉米面不同前处理所得成品的微观结构

玉米面不同前处理所得成品的微观结构如图1所示。



A. 泡制;B. 煮制。

图1 泡制、煮制的玉米粳粩2倍结构图

Fig.1 Two-fold structure diagram of boiled and soaked corn pancake

由图1可知,在光学显微镜同样放大倍数下观察,泡制后的玉米面与糯米结合较松散,且可看到明显的颗粒,食用时有明显的颗粒感,说明泡制后的玉米面质地仍较硬;玉米面经煮制后能与糯米较紧密地结合,食用时没有颗粒感,成品质地较软,说明其组织结构松软。泡制玉米面的复水性不及煮制的玉米面,从而导致泡制玉米面所得的产品具有明显的颗粒感,因而玉米面的前处理以玉米面:水=2:5(g/mL)混合加热至糊状,冷却备用。

2.1.2 不同酵母发酵制得成品的微观结构

不同酵母发酵制得成品的微观结构如图2所示。

由图2可知,使用不同酵母发酵制得的成品的微观结构存在较明显的差异,使用耐高糖酵母时,产品中玉米面与糯米结构明显,纹路清晰,其次为耐低糖酵母、高活性干酵母,这可能与3种酵母菌的耐糖性有关。糖作为酵母菌的碳源与能源,在一定范围内能加快耐低糖酵母和高活性干酵母的生长,过量则会改变体系的渗透压^[15],影响耐低糖酵母和高活性干酵母生长繁殖,致使玉米粳粩的疏松程度不同,发酵风味物质减少^[16]。耐高糖酵母

受渗透压影响较小,让玉米面与糯米很好地结合,使得成品外观紧密,且成品发酵风味好,疏松程度也较好^[17],所以在选择发酵菌种时选择耐高糖酵母的菌种。

2.2 单因素试验结果分析

2.2.1 不同发酵时间对玉米粳粩感官评分及质构的影响

不同发酵时间制得的玉米粳粩的感官评分及质构如表3所示。

表3 不同发酵时间制得的玉米粳粩的感官评分及质构

Table 3 Sensory scores and texture of corn pancakes prepared at different fermentation times

发酵时间/h	硬度/N	弹性/mm	黏性/N	咀嚼性/N	感官评分
1	14 413.16±313.16 ^a	0.55±0.04 ^a	-411.45±14.54 ^a	2 509.30±420.73 ^a	68.5
2	10 082.34±485.06 ^b	0.47±0.01 ^b	-478.13±33.33 ^b	1 842.99±378.41 ^b	74.5
3	8 043.23±1 070.15 ^c	0.51±0.03 ^{ab}	-530.91±34.59 ^c	935.96±116.70 ^c	76.3
4	10 345.15±208.54 ^b	0.39±0.04 ^c	-551.58±11.26 ^c	1 392.43±166.93 ^{bc}	72.7
5	10 798.75±229.13 ^b	0.48±0.02 ^b	-534.71±16.27 ^c	1 686.95±135.03 ^b	71.3

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表3可知,在发酵时间为1h时,硬度最大,随着发酵时间延长,硬度呈先下降后上升的趋势,至3h时最小,咀嚼性最低。原因可能是随着发酵时间延长,酵母在3h时产生的风味物质最多,酵母发酵产生二氧化碳,进而产生空隙^[18-19],使得咀嚼性最低,感官评分最高;而当发酵时间超过3h后,发酵过度产生的酸

味使得感官评分逐渐降低,综合选择3h作为本次工艺优化的最适发酵时间。

2.2.2 不同发酵温度对玉米粳粩感官评分及质构的影响

不同发酵温度制得玉米粳粩感官评分及质构如表4所示。

表4 不同发酵温度制得的玉米粳粩感官评分及质构

Table 4 Sensory score and texture of corn pancake prepared at different fermentation temperatures

发酵温度/°C	硬度/N	弹性/mm	黏性/N	咀嚼性/N	感官评分
29	17 744.69±859.77 ^a	0.47±0.03 ^{ab}	-432.30±6.06 ^b	2 517.54±169.97 ^a	77.4
31	16 468.99±1 248.07 ^a	0.43±0.05 ^{ab}	-365.49±0.78 ^a	2 400.92±173.68 ^a	77.6
33	13 894.46±711.93 ^a	0.37±0.09 ^b	-528.36±5.88 ^c	1 502.36±159.37 ^b	76.7
35	6 507.86±4 841.40 ^b	0.42±0.04 ^{ab}	-429.76±6.04 ^b	1 358.99±192.37 ^b	76.2
37	16 313.49±244.41 ^a	0.50±0.03 ^a	-363.81±12.16 ^a	2 503.47±330.40 ^a	75.3

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表4可知,当发酵温度为31°C时,感官评分最高,随着发酵温度的增加,感官评分呈下降趋势,其可能原因是较高的发酵温度使酵母活性逐渐降低^[20],其发酵能力减弱,生成风味物质减少^[21],导致感官评分降低,而在35°C时其咀嚼性最低,硬度最低,黏性较大,

综合选择29、31、33°C作为响应面的3个水平。

2.2.3 不同糯米添加量对玉米粳粩感官评分及质构的影响

不同糯米添加量对玉米粳粩感官评分及质构如表5所示。

表5 不同糯米添加量制得的玉米粳粩的感官评分及质构

Table 5 Sensory scores and texture of corn pancake prepared with different glutinous rice additions

糯米添加量/g	硬度/N	弹性/mm	黏性/N	咀嚼性/N	感官评分
100	7 094.95±75.49 ^d	0.58±0.02 ^a	-382.75±12.49 ^a	1 019.78±54.96 ^c	76.3
150	8 322.50±399.46 ^c	0.53±0.03 ^a	-342.36±9.76 ^a	2 151.33±247.26 ^a	77.6
200	6 659.39±370.01 ^d	0.57±0.05 ^a	-335.82±9.90 ^a	1 996.12±504.63 ^{ab}	76.1
250	11 932.39±1 008.70 ^b	0.46±0.00 ^a	-407.48±24.47 ^b	1 590.30±133.77 ^b	71.9
300	15 666.45±291.10 ^a	0.55±0.13 ^a	-327.91±13.86 ^a	2 351.36±37.57 ^a	70.0

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表5可知,当糯米添加量为100 g时,其硬度较低,弹性最大。随着糯米添加量增加,硬度整体上逐渐增加,其弹性没有显著性差异,可能原因是糯米的添加导致其硬度增大,影响口感,使感官评分降低,综上选择100、150、200 g作为响应面的3个水平。

2.2.4 不同酵母添加量对玉米粳粑感官评分及质构的影响

不同酵母添加量制得的玉米粳粑的感官评分及质构如表6所示。

由表6可知,当酵母添加量为0.09 g时,其硬度较

表6 不同酵母添加量制得的玉米粳粑的感官评分及质构

Table 6 Sensory score and texture of corn pancake prepared with different yeast additions

酵母添加量/g	硬度/N	弹性/mm	黏性/N	咀嚼性/N	感官评分
0.05	11 762.29±2 159.10 ^a	0.60±0.01 ^b	-436.84±10.10 ^b	1 662.45±246.32 ^b	77.1
0.07	11 798.98±745.75 ^a	0.61±0.01 ^b	-506.42±5.95 ^c	1 935.41±25.97 ^a	73.7
0.09	9 344.35±924.44 ^b	0.53±0.03 ^d	-526.83±0.83 ^c	1 153.34±51.24 ^c	75.7
0.11	11 440.32±271.13 ^a	0.67±0.01 ^a	-373.01±12.22 ^a	2 064.08±73.12 ^a	76.6
0.13	9 045.46±418.36 ^b	0.57±0.02 ^c	-506.54±60.43 ^c	1 163.86±68.66 ^c	76.7

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

小,咀嚼性最小,达到0.13 g时,感官评分相对较高,黏性趋于中等。原因可能是随着酵母添加量的增加,在同等时间内产生的风味物质越多,因而感官评分较高,同时此时的弹性为0.53 mm,结合黏性、硬度、咀嚼性、弹性综合评价,选择酵母添加量为0.09、0.11、0.13 g进

行响应面分析。

2.2.5 不同白砂糖添加量对玉米粳粑感官评分及质构的影响

不同白砂糖添加量对玉米粳粑感官评分及质构的如表7所示。

表7 不同白砂糖添加量制得的玉米粳粑的感官评分及质构

Table 7 Sensory scores and texture of corn pancake prepared with different white granulated sugar additions

白砂糖添加量/g	硬度/N	弹性/mm	黏性/N	咀嚼性/N	感官评分
2	11 208.80±393.00 ^{bc}	0.53±0.07 ^a	-424.07±3.75 ^b	1 776.18±62.43 ^b	67.6
6	10 853.03±679.07 ^c	0.46±0.02 ^{ab}	-552.88±25.58 ^c	1 489.15±100.82 ^a	70.9
10	11 666.04±517.90 ^{bc}	0.48±0.03 ^{ab}	-329.19±6.03 ^a	2 317.64±157.09 ^a	77.8
14	11 939.30±581.22 ^b	0.43±0.01 ^b	-446.61±14.75 ^b	1 684.39±84.09 ^b	78.6
18	13 374.24±34.37 ^a	0.44±0.02 ^b	-449.83±12.92 ^b	1 754.17±35.52 ^b	82.3

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表7可知,随着白砂糖添加量的增加,感官评分呈上升趋势,硬度整体上也呈上升趋势,弹性则整体上呈下降趋势,咀嚼性整体呈先上升后下降的趋势,可能是因为随着白砂糖添加量的增加,渗透压增大,限制了酵母菌生长发育;当白砂糖添加量为18 g时,感官评分达到82.3,可能原因是感官评价人员更偏爱甜度较

高的食物。根据弹性、黏性、感官评分、硬度选择白砂糖添加量为6、10、14 g进行响应面分析。

2.3 响应面优化试验

2.3.1 响应面试验结果及方差分析

响应面试验结果如表8所示,回归模型及方差如表9所示。

表8 响应面试验结果

Table 8 Result of response surface experiment

序号	A/g	B/g	C/g	D/°C	Y 感官评分	弹性/mm	硬度/N	黏性/N	咀嚼性/N
1	10	200	0.13	31	72	0.442	9 800.59	-553.746	1 026.10
2	10	150	0.11	31	75	0.589	12 299.60	-361.742	2 246.12
3	10	100	0.11	33	75	0.428	9 023.69	-424.422	1 186.58
4	10	150	0.13	29	76	0.452	7 928.52	-459.874	778.61
5	10	200	0.11	29	74	0.461	7 143.25	-496.086	772.52
6	6	100	0.11	31	75	0.712	11 410.70	-324.941	1 977.45
7	10	150	0.09	33	71	0.537	9 899.55	-460.960	1 387.09
8	6	150	0.11	29	72	0.540	7 716.51	-392.019	1 029.47
9	6	150	0.11	33	69	0.546	11 001.80	-448.149	1 727.99
10	14	200	0.11	31	78	0.519	15 321.80	-651.390	2 669.12

续表8 响应面试验结果

Continue table 8 Result of response surface experiment

序号	A/g	B/g	C/g	D/°C	Y 感官评分	弹性/mm	硬度/N	黏性/N	咀嚼性/N
11	10	150	0.09	29	73	0.460	6 145.25	-482.273	702.98
12	14	150	0.09	31	80	0.496	13 907.50	-420.815	2 076.22
13	6	150	0.09	31	75	0.487	14 832.50	-475.280	2 184.73
14	6	200	0.11	31	67	0.495	11 249.30	-262.701	1 662.87
15	10	150	0.13	33	72	0.519	9 896.12	-442.215	1 339.68
16	14	150	0.13	31	74	0.442	10 847.80	-448.059	1 319.75
17	10	200	0.09	31	73	0.387	9 469.21	-424.180	1 056.54
18	14	100	0.11	31	72	0.510	14 351.60	-361.618	2 364.91
19	10	200	0.11	33	75	0.493	11 874.50	-883.965	1 435.40
20	14	150	0.11	33	73	0.591	14 843.90	-432.709	2 846.41
21	10	100	0.11	29	76	0.531	6 714.78	-429.669	959.80
22	6	150	0.13	31	61	0.429	14 685.60	-533.586	2 047.51
23	10	100	0.13	31	70	0.533	20 497.90	-252.982	4 029.88
24	10	150	0.11	31	76	0.534	13 967.50	-418.749	1 834.78
25	10	100	0.09	31	77	0.588	14 212.80	-310.269	2 294.98
26	14	150	0.11	29	79	0.508	7 713.55	-433.194	1 023.36
27	10	150	0.11	31	71	0.569	10 203.80	-383.637	1 403.03
28	10	150	0.11	31	75	0.510	12 330.40	-415.333	1 605.83
29	10	150	0.11	31	75	0.440	14 793.70	-462.937	1 944.61

表9 回归模型及方差

Table 9 Regression model and analysis of variance

变异源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	221.12	14	15.79	14.50	<0.000 1	**
A	117.5	1	117.5	107.89	<0.000 1	**
B	13.61	1	13.61	12.50	0.003 3	**
C	14.41	1	14.41	13.23	0.002 7	**
D	22.85	1	22.85	20.98	0.000 4	**
AB	23.28	1	23.28	21.38	0.000 4	**
AC	1.96	1	1.96	1.80	0.201 1	
AD	1.80	1	1.80	1.65	0.220 0	
BC	3.52	1	3.52	3.23	0.094 0	
BD	0.10	1	0.10	0.094	0.763 6	
CD	7.02	1	7.02	6.45	0.023 6	*
A ²	5.42	1	5.42	4.98	0.042 5	*
B ²	3.43×10 ⁻³	1	3.43×10 ⁻³	3.15×10 ⁻³	0.956 0	
C ²	11.16	1	11.16	10.25	0.006 4	**
D ²	1.39	1	1.39	1.28	0.277 5	
残差	15.25	14	1.09			
失拟项	12.69	10	1.27	1.98	0.266 0	不显著
纯误差	2.56	4	0.64			
总和	236.37	28				

注:*表示影响显著(P<0.05);**表示影响极显著(P<0.01)。

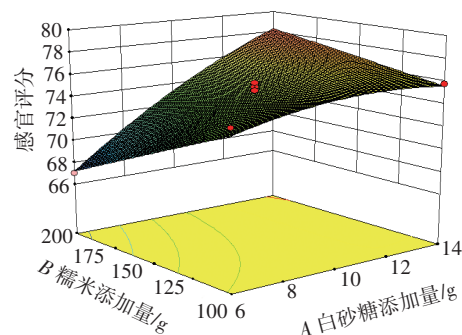
对各因素进行回归拟合,得到回归方程: $Y=74.77+3.13A-1.06B-1.10C-1.38D+2.41AB-0.70AC-0.67AD+0.94BC+0.16BD-1.32CD-0.91A^2-0.023B^2-1.31C^2-0.46D^2$,如表9所示,模型 $P<0.000 1$,拟合获得的方程极显著,回归模型与实测值拟合程度好,可用该模拟方程代替

试验真实值对结果进行分析。失拟项 $P=0.266 0>0.05$,失拟项不显著,模型中的A、B、C、D的P值小于0.01表示影响极显著。各因素对玉米粳粩感官评分的影响顺序为白砂糖添加量>发酵温度>酵母添加量>糯米添加量。交互项AB的P值<0.01,AB相互作用对包谷粳粩的感官评分影响极显著,交互项CD的P值小于0.05,其相互作用对玉米粳粩的感官评分影响显著。C²的P值小于0.01,表明C²对粳粩的感官评分影响极显著,B²、D²的P值均大于0.05,其对玉米粳粩的感官评分影响不显著。模型的决定系数 $R^2=0.935 5$,校正系数决定 $R_{Adj}^2=0.871 0$ 。

2.3.2 响应面分析

因素间交互作用的响应面如图3所示。

由图3可知,随着A(白砂糖添加量)和B(糯米添加量)的增大,两者相互影响,玉米粳粩成品的感官评分明显提高,其可能原因是甜味较大更容易被人们喜爱。随着酵母添加量增加、发酵温度升高,感官评分呈现先增大后减小的趋势,可能原因是随着酵母的增加,



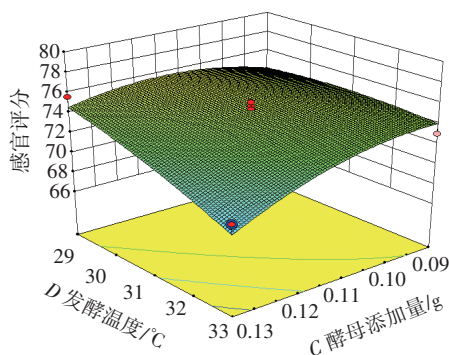


图3 因素间交互作用的响应面图

Fig.3 Response surface diagram of interaction between factors

酵母发酵产生的风味物质,使得感官评分增大,但随着酵母的添加过多,酵母发酵产生酸味物质影响其口感,使得感官评分减小。

2.3.3 验证试验

根据响应面分析得到的恩施玉米粑粑的最适工艺条件为预处理玉米面 200 g、糯米(常温浸泡 12 h) 100 g、白砂糖 11.46 g、耐高糖酵母 0.09 g、发酵温度 29.0 °C、发酵时间 3 h,此工艺条件下最高理论感官评分为 79.2。为方便实际生产加工,将白砂糖添加量调整为 11.0 g,进行最优配方的验证试验,重复试验 3 次,得平均感官评分为 80,硬度为 6 331.51 N、弹性为 0.603 mm、咀嚼性为 2 994.807 N、黏性为 -244.932 N,与理论值接近。说明该数学模型可靠,可用于玉米粑粑最佳工艺参数的预测。对其进行微观结构的观察,结构如图 4 所示。

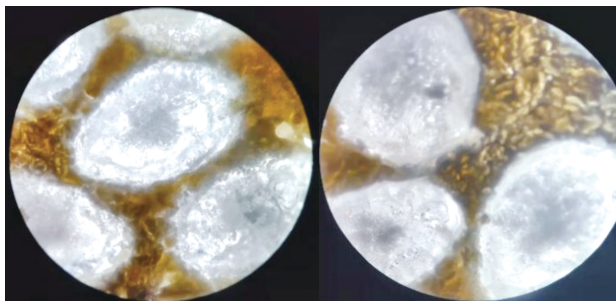


图4 最优配方产品的2倍微观结构图

Fig.4 Two-fold microstructure diagram of the optimal formulation products

由图 4 可知,与未经优化的相比较,其结构排列整齐,轮廓明显。

2.4 质量评价结果

玉米粑粑营养成分如表 10 所示。

表 10 玉米粑粑营养成分

Table 10 Nutritional composition of corn pancake

项目	能量/ (kJ/100 g)	蛋白质/ (g/100 g)	脂肪/ (g/100 g)	碳水化合物/ (g/100 g)	钠/ (mg/100 g)
含量	741	3.7	0	39.9	129
参考值	9	6	0	13	6

由表 10 可知,最优工艺制得的玉米粑粑中未测出脂肪,表明该产品符合健康低脂的健康理念,而蛋白质、碳水化合物含量较高,能满足营养和能量需求。

3 结论

为优化恩施玉米粑粑工业化生产加工工艺,基于响应面法对恩施传统玉米粑粑进行感官评价及微观结构分析,得到最优工艺条件为预处理玉米面 200 g、糯米(常温浸泡 12 h) 100 g、白砂糖 11.0 g、耐高糖酵母 0.09 g、发酵温度 29.0 °C、发酵时间为 3 h。实际测得玉米粑粑感官评分 80,弹性为 0.603 mm、硬度为 6 331.51 N、咀嚼性为 2 994.807 N、黏性为 -244.932 N。测得试验值与模型回归值一致性良好,试验误差小,可以用此模型分析、预测各因素对恩施玉米粑粑感官评分值的影响,为后续工业化的生产提供理论支撑。

参考文献:

- 朱芸锋. 包谷粑粑[J]. 红岩春秋, 2016(11): 80.
ZHU Yunfeng. Corn tsamba[J]. Red Rock Spring and Autumn, 2016 (11): 80.
- 刘可. 精致生活离不了粗粮[J]. 药物与人, 2012, 25(6): 68-69.
LIU Ke. Exquisite life is inseparable from coarse grains[J]. Medicine & People, 2012,25(6): 68-69.
- BORNEO R, LEÓN A E. Whole grain cereals: Functional components and health benefits[J]. Food & Function, 2012, 3(2): 110-119.
- POUTANEN K. Past and future of cereal grains as food for health [J]. Trends in Food Science & Technology, 2012, 25(2): 58-62.
- 张聪. 中国营养学会发布《中国居民膳食指南(2022)》[J]. 食品安全导刊, 2022(14): 4.
ZHANG Cong. China Nutrition Society issued 'dietary guidelines for China residents (2022)'[J]. China Food Safety Magazine, 2022 (14): 4.
- 粗细巧搭配 营养又健康[J]. 黑龙江粮食, 2011(2): 54.
The thickness and fine match, Nutrition and health[J]. Heilongjiang Grain, 2011(2):54.
- 袁秀芬. 玉米——长寿抗癌粗粮[J]. 养生大世界, 2003 (6): 30.
YUAN Xiufen. Corn: Longevity and anti-cancer coarse grain[J]. Wellness World, 2003(6): 30.
- 城里. 营养粗粮主食——玉米饼[J]. 农产品加工, 2010(6): 63.
CHENG Li. Nutritional coarse grains staple food-tortillas[J]. Farm Products Processing, 2010(6):63.
- 王改芳, 王涛. 响应面法优化苦荞蛋糕配方工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(15): 152-157.
WANG Gaifang, WANG Tao. Optimization of the formulation of tartary buckwheat cake by the response surface method[J]. Food Research and Development, 2022, 43(15):152-157.
- 解殿伟, 王慧俐, 吴祖芳. 响应面法优化蜂蜜甜面包制作工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(4): 95-100,145.
XIE Dianwei, WANG Huili, WU Zufang. Optimization of honey sweet bread making process by response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2020, 41(4): 95-100, 145.
- 王明. 面包品质与质构特性的研究[D]. 成都: 西华大学, 2013.
WANG Ming. A study on quality and texture characteristics of bread[D]. Chengdu: Xihua University, 2013.
- 曹森, 化志秀, 童斌, 等. 响应面法优化酸角海绵蛋糕的制作工

(下转第 189 页)

- skin[J]. *Oncology*, 1996, 53(4): 341-344.
- [9] 余洋洋, 毛雅莹, 余元善. 菠萝真空渗糖工艺的优化及其对品质的影响[J]. *农产品加工*, 2019(15): 38-42.
YU Yangyang, MAO Yaxuan, YU Yuanshan. Optimization of vacuum sugar infiltration process of pineapple and its effect on quality[J]. *Farm Products Processing*, 2019(15): 38-42.
- [10] 李勤勤, 李佳慧, 马晓敏, 等. 果脯渗糖工艺研究进展[J]. *食品工业*, 2021, 42(6): 362-366.
LI Qinqin, LI Jiahui, MA Xiaomin, et al. Research progress in sugar permeation technology of preserved fruits[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(6): 362-366.
- [11] 王振帅. 不同干燥工艺朝鲜蓟粉的品质研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
WANG Zhenshuai. Study on the quality of artichoke powder with different drying technology[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [12] 刘广平, 李定宴, 王凯, 等. 山丹干无硫护色工艺研究[J]. *延安大学学报(自然科学版)*, 2020, 39(2): 76-80.
LIU Guangping, LI Dingyan, WANG Kai, et al. Study on sulphur-free color protection technology of dried lily[J]. *Journal of Yanan University (Natural Science Edition)*, 2020, 39(2): 76-80.
- [13] 熊素琴, 李丹, 杨森, 等. 川明参无硫护色工艺[J]. *食品工业*, 2020, 41(5): 68-72.
XIONG Suqin, LI Dan, YANG Sen, et al. The non-sulfur color protection technology of *Chuanmingshen violaceum*[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(5): 68-72.
- [14] 孙海涛, 邵信儒, 姜瑞平, 等. 长白山野生软枣猕猴桃低糖果脯真空渗糖工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(14): 67-70.
SUN Haitao, SHAO Xinru, JIANG Ruiping, et al. Optimization of vacuum sugar permeability process for Changbai Mountain wild *Actinidia arguta* low-sugar preserved fruit[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(14): 67-70.
- [15] 吴佩佩, 谭强, 曾文红, 等. 改善低糖菠萝果脯质量的研究[J]. *保鲜与加工*, 2019, 19(3): 78-83.
WU Peipei, TAN Qiang, ZENG Wenhong, et al. Study on improving the quality of low-sugar pineapple preserved fruits[J]. *Storage and Process*, 2019, 19(3): 78-83.
- [16] 蒋变玲, 华碧禾, 孙雪洁, 等. 姜味低糖番茄果脯加工工艺研究[J]. *兰州文理学院学报(自然科学版)*, 2019, 33(3): 53-56.
JIANG Bianling, HUA Bihe, SUN Xuejie, et al. Study on processing technology of ginger-flavored low-sugar preserved tomato[J]. *Journal of Lanzhou University of Arts and Science (Natural Science Edition)*, 2019, 33(3): 53-56.
- [17] 邓茹月, 曾海英, 叶双全, 等. 真空糖渍对刺梨果脯品质及风味的影响[J]. *食品与机械*, 2014, 30(4): 220-223.
DENG Ruyue, ZENG Haiying, YE Shuangquan, et al. Effect of vacuum sugar permeability technology on flavors and quality of *Rosa roxburghii* Tratt fruit[J]. *Food & Machinery*, 2014, 30(4): 220-223.
- [18] 隋勇, 施建斌, 蔡沙, 等. 响应面法优化低糖甘薯果脯制作工艺[J]. *食品工业*, 2021, 42(5): 83-87.
SUI Yong, SHI Jianbin, CAI Sha, et al. Optimization of processing conditions for low-sugar preserved sweet potato using response surface methodology[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(5): 83-87.
- [19] 李莎, 吴民富, 潘丽媚. 真空渗糖加工低糖雪梨果脯工艺研究[J]. *中国果菜*, 2019, 39(8): 7-11.
LI Sha, WU Minfu, PAN Limei. Processing technology of low sugar le-ping melon preserved by vacuum conserve permeability [J]. *China Fruit & Vegetable*, 2019, 39(8): 7-11.

加工编辑:张昱

收稿日期:2022-10-06

(上接第 173 页)

- 艺[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(12): 164-169.
CAO Miao, HUA Zhixiu, TONG Bin, et al. Optimization of preparation technology of tamarind sponge cake by response surface methodology[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(12): 164-169.
- [13] CHAN P N A. Chemical properties and applications of food additives: Flavor, sweeteners, food colors, and texturizers[M]//CHEUNG P, MEHTA B. *Handbook of Food Chemistry*. Berlin: Springer, 2015: 101-129.
- [14] 王玉娇, 陈晓红, 李伟, 等. 青梅汁酸凝豆腐质构优化及显微结构分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(6): 40-43.
WANG Yujiao, CHEN Xiaohong, LI Wei, et al. Textural properties and microstructure of tofu coagulated by plum juice[J]. *Food Science*, 2014, 35(6): 40-43.
- [15] VYAS D, UWIZEYE A, MOHAMMED R, et al. The effects of active dried and killed dried yeast on subacute ruminal acidosis, ruminal fermentation, and nutrient digestibility in beef heifers[J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(2): 724-732.
- [16] 冷越, 王学东, 吕庆云, 等. 不同酵母在发酵面制品中的应用研究[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(11): 20-25.
LENG Yue, WANG Xuedong, LÜ Qingyun, et al. Application of different yeasts on flour fermented foods[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(11): 20-25.
- [17] 楚炎沛. 高糖高活性干酵母的发酵力及烘焙特性研究[J]. *现代面粉工业*, 2015, 29(3): 30-34.
CHU Yanpei. Study on fermentation ability and baking characteristics of dry yeast with high sugar content and high activity[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2015, 29(3): 30-34.
- [18] 何贝. 几种典型面食酵母的发酵适应性研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015.
HE Bei. Research on fermentative adaptability of several typical yeast used in wheaten food[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2015.
- [19] LIU H L, SUN B G. Effect of fermentation processing on the flavor of Baijiu[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(22): 5425-5432.
- [20] SAERENS S M G, VERBELEN P J, VANBENEDEN N, et al. Monitoring the influence of high-gravity brewing and fermentation temperature on flavour formation by analysis of gene expression levels in brewing yeast[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, 80(6): 1039-1051.
- [21] ZHU W H, LUAN H W, BU Y, et al. Flavor characteristics of shrimp sauces with different fermentation and storage time[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 110: 142-151.

加工编辑:孟琬星

收稿日期:2022-08-09