

# 真空微波干燥重组鱼丸的研究

陈凤杰, 张 慇\*

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:** 以鱼肉为主要原料,采用真空微波膨化技术制作松脆脱水重组鱼丸。通过大量单因素实验,研究了各种辅料和蒸煮时间对重组鱼丸膨化率和感官品质的影响;进一步采用真空微波膨化技术,研究了微波功率、真空度对重组鱼丸干燥速率、膨化率和感官品质的影响。结果表明,重组鱼丸的适宜配方和工艺条件为:鱼肉(经过预处理)100 g,糯米粉 10 g,猪肥膘 4 g,食盐 2 g,白砂糖 6 g,葱姜蒜粉 0.6 g;蒸煮时间为 6 min,真空微波炉的真空度和微波功率分别为  $-0.095$  MPa 和 180 W,干燥时间为 15 min,得到的成品表面呈现均匀的淡黄色,有鲜美的鱼肉味,口感细腻、松脆。

**关键词:** 重组鱼丸;真空微波膨化;配方;工艺条件

**中图分类号:** TS 254.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1689(2012)07-0703-08

## The Study of Vacuum Microwave Drying Re-Structured Fish Balls

CHEN Feng-jie, ZHANG Min\*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** with the flesh of fish as main raw material the crisp dehydrated re-structured fish balls was prepared by the vacuum microwave puffing technology in this study. The effects of different kinds of auxiliary materials and cooking time on the expansion ratio and organoleptic quality of the re-structured fish balls were studied by single factor experiments, furthermore, the effect of microwave power and vacuum degree on the drying rate, expansion ratio and organoleptic quality of the re-structured fish ball were also determined and listed as follows: flesh of fish(after pretreatment) 100 g, glutinous rice flour 10 g, pig fat 4 g, salt 2 g, white sugar 6 g, chives, ginger and garlic seasoning 0.6 g, cooking time 6 min, the vacuum degree  $-0.095$  MPa and microwave power 180 W, drying time 15 min. Under the optimum conditions, the products from this process demonstrated that a uniform faint yellow, the flavour of raw materials, and taste exquisite and crisp.

**Key words:** re-structured fish balls, vacuum microwave puffing, formula, craft conditions

中国是世界淡水养殖大国,淡水产品产量居世界第一。发达国家的水产品加工率在 80% 以上,而我国的水产品加工率不足 30%,其中淡水鱼加工率

不到 10%<sup>[1]</sup>,主要有两方面的原因:第一:淡水鱼固有的土腥味给加工带来了难度,第二:水产品加工技术和设备相对落后。

收稿日期: 2011-09-23

基金项目: 国家 863 计划项目(2011AA100802)。

\* 通信作者: 张慇(1962-),男,浙江平湖人,工学博士,教授,博士研究生导师,主要从事农产品加工及贮藏工程研究。

Email: min@jiangnan.edu.cn

白鲢鱼是我国四大淡水鱼类之一,属鲤形目,鲤科,鲢亚科,鲢属,富含水分、蛋白质、脂肪,还含有糖类、钙、磷、铁、硫胺素、核黄素、尼克酸等营养物质。由于其容易喂养、成长较快、成本很低,一直受到广大养殖户的青睐,产量居淡水鱼首位,并且白鲢鱼具有肉质白嫩、含脂少、易于消化的特点,适合制作鱼类食品。不过白鲢鱼市场售价较低,经济效益不高。为了提高淡水鱼的加工率以及经济效益,满足人们对于方便化、营养化和具有保健功能的鱼类加工食品的需要,必须在淡水鱼的加工方面加大研究力度。而鱼肉可以加工成许多食品,除传统的鱼片、鱼干、鱼松、鱼罐头等制品外,目前国内发展较快的是鱼糜类制品,其中鱼丸是生产量较大的一种鱼糜制品<sup>[2]</sup>。但是传统鱼丸因水分含量很高,保存时间比较短。为提高鱼丸的货架寿命,作者以白鲢鱼为主要原料,研究了真空微波干燥重组鱼丸的配方和工艺条件。通过真空微波脱水的方法使得物料在真空环境下进行脱水防止其与氧气接触,能够最大限度保持原料原有的色泽、风味和营养物质。另外,由于真空环境降低了水的沸点以及微波加热使得热效率显著提高,所以防止了鱼丸因局部过热而出现焦黑点<sup>[3]</sup>,并且使得干燥时间大为缩短,同时干燥之后产品呈多孔性结构,产品的松脆性很好,最终获得高品质的即食松脆脱水重组鱼丸产品。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料和试剂

白鲢鱼:购于无锡雪浪农贸市场;糯米粉、猪肥膘:食品级,购于无锡大润发超市;食盐、白砂糖、葱姜蒜粉:食品级,购于无锡欧尚超市。

碳酸氢钠:食品纯,国药集团化学试剂有限公司产品;海砂:化学纯,国药集团化学试剂有限公司产品。

### 1.2 试验仪器

真空泵:南京真空泵厂有限公司产品;MVD-1型真空干燥器:江南大学研制;电热恒温鼓风干燥箱:上海跃进医疗器械厂产品;C20S05电磁炉:浙江绍兴苏泊尔生活电器有限公司产品;PL203型电子天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产品;HH-S型水浴锅:郑州长城科工贸有限公司产品;

SQ2010多功能食品加工机:上海帅佳电子科技有限公司产品;

### 1.3 微波试验指标与测定方法

**1.3.1 试样体积和膨化率的测定** 体积的测定,采用置换法,置换介质是海砂,如式(1)所示。

物料的体积( $\text{cm}^3$ )=海砂与物料的总体积( $\text{cm}^3$ )-海砂的体积( $\text{cm}^3$ ) (1)

膨化率计算如式(2)所示。

产品膨化率(%)= $\frac{\text{膨化后体积}}{\text{膨化前体积}} \times 100\%$  (2)

**1.3.2 含水率的测定** 采用常压烘箱干燥法(GB5009.3-2003),各时期含水率通过定时取样,迅速称重后经烘干,并换算得出湿基含水率。每样重复3次取其平均值,计算如式(3)所示。

湿基含水率  $W = \frac{(\text{样品质量} - \text{干品恒质量})}{\text{样品质量}} \times 100\%$  (3)

**1.3.3 感官评定方法** 采用10分法评定,即由训练有素的感官评定人员10人组成评价小组进行品尝,将外观、色泽、质地和风味用分数表示,由得分进行综合评定。评定标准如下<sup>[3]</sup>:

1)外观、色泽:满分3分。外形圆,膨化均匀,无大气泡,呈淡黄色,色泽均匀,3分;外形较圆,膨化较均匀,基本无大气泡,呈白中略带黄色,色泽均匀,2分;膨化不均或收缩,表面有大气泡,呈黄褐色,色泽不均匀,1分。

2)质地:满分3分。质地酥脆、细腻,膨化适中3分;质地较酥脆,脆度一般,较细腻,膨化较好,2分;膨化不好,柔软不松脆,不细腻,1分。

3)风味:满分4分。香、脆适口,有浓郁的鱼肉味,无异味,入口无颗粒感,4分;香脆适口,入口稍有颗粒感,有鱼肉味,无异味,3分;风味一般,可以接受,入口稍有颗粒感,有淡的鱼肉味,2分;脆性和风味较差,入口有烧焦气味或有苦味等异味,1分。

### 1.4 工艺流程

原料鱼→前处理→水洗→采肉→精滤(除去皮、骨、刺)→漂洗→脱水→擂溃(加辅料)→成型→凝胶化→加热→真空微波干燥→冷却包装。

### 1.5 操作要点

原料验收:采用新鲜或者冰鲜鱼,鱼体完整,角膜透明,骨肉紧密连接,鳃色鲜红,肌肉富有弹性,鲜度要符合一级鲜度。

**原料处理:**用清水冲洗鱼体,除去鱼鳞、鱼头、尾、内脏、腹腔内黑膜、污血等物,再用 10℃ 以下清水冲洗鱼体,以保证鱼肉鲜度,防止蛋白质变性。

**采肉、精滤:**原料鱼处理后,进行采肉,除去鱼皮、骨刺、腹膜。

**漂洗:**漂洗是指用水或水溶液对所采的鱼肉进行洗涤,以除去鱼肉中的水溶性蛋白质(包括蛋白质分解酶)、有腥臭味的低级含氮物质、色素、气味和脂肪成分,提高盐溶性蛋白的相对含量,从而提高蛋白质的热稳定性和胶凝的形成能力,改善鱼丸的膨化质量,并使弹性和白度都有明显提高。作者以稀碱盐水(1 g/dL  $\text{NaHCO}_3$  + 0.4 g/dL  $\text{NaCl}$ )漂洗鱼肉,按照鱼肉:稀碱盐水 = 1 g : 5 mL 的比例使鱼肉和水混合,慢速搅拌 5 min,静置 25 min 使鱼肉沉淀,倾去表面漂洗液,第 2 次用自来水漂洗约 10 min。

**擂溃:**操作过程可分为空擂、盐擂和调味擂溃 3 个阶段。擂溃是鱼糜制品生产的一个重要工序。擂溃分 3 阶段进行。第 1 阶段:脱水后的鱼肉放入擂溃机内擂溃,进一步破坏鱼肉的肌肉纤维组织,为防止温度过度升高,要加适量的冰,擂溃时间为 2 min;第 2 阶段:加入鱼肉质量 2% 的食盐,把盐均匀分散撒入肉糜中,擂溃时间为 4 min 至浆体发亮均匀度升高,引起蛋白质变性,在盐擂的过程中加入冰块进行降温,使浆体温度控制在 10℃ 以下;第 3 阶段:边搅拌边加入配料,擂溃过程中及时加入冰块降温,避免破坏产品的最终口味和松脆性,擂溃时间为 3 min,整个擂溃过程中温度控制在 10℃ 以下<sup>[4]</sup>。

**成型:**将擂溃后的鱼糜做成直径约为 1.3 cm 的鱼丸。成型操作要与擂溃操作连接进行,两者之间不能长时间间隔,否则擂溃后的鱼糜在室温下放置会因凝胶化现象而失去粘性和塑性而无法成型。

**凝胶化:**鱼糜在成型之后加热之前,一般需要较低的温度条件下放置一段时间,以增强鱼糜制品的弹性和保水性,这一过程叫凝胶化。鱼糜成丸后在水浴锅中凝胶化,加热至 40℃ 后,保温 30 min。

**加热:**鱼丸凝胶化后使用蒸锅在微波炉上煮熟,蒸煮时间约为 6 min。

**真空微波干燥:**将熟化后的鱼丸放入微波炉内与真空泵连接的容器中,开启真空泵,调节控制阀门获得相应的真空度,再调节微波炉至相应的功率和时间,启动微波进行加热,得到真空微波加工鱼丸,然后

测定鱼丸的膨化率和脆度,再进行感官评定。

**冷却、包装、冷藏:**微波干燥后的制品经过冷却,然后在无菌室用真空包装机封口。制品需在干燥低温环境下保存。

## 2 结果与分析

### 2.1 淀粉的选择

**2.1.1 不同淀粉的膨化效果** 鱼肉中分别加入鱼肉质量 10% 的马铃薯淀粉、糯米粉和其他辅料,制成成品,分析其膨化效果。

表 1 不同淀粉的膨化效果

Tab. 1 Puffing effect of different kind of starch

| 淀粉种类  | 支链淀粉质量分数/% | 膨化效果 |
|-------|------------|------|
| 马铃薯淀粉 | 78         | 一般   |
| 糯米粉   | 100        | 明显   |

糯米粉中几乎全部是支链淀粉,而支链淀粉具有较好的伸展性,与相对分子质量较小的直链淀粉相比,它的相对分子质量较大,链状分支构造在适当条件下经糊化后充分伸展,分子相互之间搭接、桥连,形成复杂的网状结构,结构强而不易崩塌,并且在膨化过程中容易形成气泡的包裹体<sup>[5]</sup>,再加上支链淀粉不易老化,这些条件均利于膨化。支链淀粉含量越多,膨化效果越好。因此以糯米粉为辅料制出的产品膨化效果好,况且糯米粉要比马铃薯淀粉价格更加便宜,可以减少生产成本。而马铃薯淀粉的支链淀粉含量比糯米粉要低很多,所以膨化效果比糯米的较差。综合以上因素选择糯米粉作为试验产品的辅料较好。

### 2.1.2 糯米粉加入量对重组鱼丸品质影响的研究

表 2 糯米粉加入量对产品品质的影响

Tab. 2 Effect of glutinous rice flour amount on the product quality

| 试验号 | 添加质量分数/% | 膨化倍率 | 感官分值 |
|-----|----------|------|------|
| 1   | 6        | 2.4  | 6.8  |
| 2   | 8        | 2.9  | 8.0  |
| 3   | 10       | 3.2  | 9.1  |
| 4   | 12       | 3.0  | 8.4  |
| 5   | 14       | 2.9  | 7.9  |

注:糯米粉加入量分别是指占鱼肉质量的百分比。

由上表可知,随着糯米粉加入量的增加,产品的膨化率呈现先增加后降低的趋势,由于糯米粉中几乎全部都是支链淀粉,而支链淀粉有较好的伸展性,有利于膨化,但是添加量增加到一定程度,由于一定量的鱼肉中水分含量一定,导致糯米粉因水分不足而糊化不完全,形成的网络结构不好,从而使重组鱼丸膨化率降低。结合感官评定结果可知,当淀粉加入量为质量分数 10% 时,产品的膨化率和感官品质相对较好。

## 2.2 油脂的选择

**2.2.1 油脂对重组鱼丸品质的影响** 分别加入鱼肉质量 3% 的芝麻香油和猪肥膘作为辅料,制得产品并分析其膨化效果和感官品质。

表 3 油脂对产品品质的影响

Tab. 3 Effect of grease kind on the product quality

| 油脂种类 | 膨化倍率 | 口感          | 感官分值 |
|------|------|-------------|------|
| 空白对照 | 3.2  | 干硬,腥味较淡,无香味 | 8.1  |
| 芝麻油  | 2.5  | 干硬,无腥味,香味较好 | 7.5  |
| 猪肥膘  | 3.0  | 细腻,无腥味,香味一般 | 8.7  |

油脂的加入会减弱微波的加热效果,且随着油含量的增加,温升速率逐渐减小,在同样的加热时间和微波功率条件下,使得产品的膨化率和膨化速率减小。油脂抑制膨化的原因可能是:一,油脂抑制淀粉糊化;二,油脂的介电损耗因子要远比水低,因此将油脂添加到物料中会导致物料复合介电特性的下降,微波加热效率降低,且随着加入量的增加,下降程度越大<sup>[6]</sup>。样品的温升速率随着油含量的增加而降低,且需要相对较长的时间才能达到膨化所需温度。

加入猪肥膘可以明显改善产品的口感,使成品口感细腻,感官品质较高,并且加入肥膘的膨化率接近于空白对照。综合考虑选用猪肥膘效果要比芝麻油要好,而且有利于降低生产成本。

## 2.2.2 猪肥膘加入量对重组鱼丸品质影响的研究

加入适量的肥膘有利于改善成品的口感和成型性。但是随着肥膘加入量的增加,成品膨化效果逐渐变差,膨化率变低,结果见表 4。原因可能是油脂中的脂肪酸对淀粉有较强的吸附作用,在淀粉糊化过程中可与淀粉分子形成复合物,而使糊化温度升高,淀粉糊化不充分以使淀粉粘度下降,从而使膨

化受到影响。同时,油脂对淀粉糊化的抑制,使得成品口感变差,比如有沙粒感。另外,过多的油脂使淀粉粘度下降,反而不利于成型。综合考虑,当肥膘加入量为质量分数 4% 时,膨化效果和口感较好,可以获得较为满意的感官品质。

表 4 猪肥膘加入量对产品品质的影响

Tab. 4 Effect of pig fat amount on the product quality

| 试验号 | 添加量/% | 膨化倍率 | 口感         | 感官分值 |
|-----|-------|------|------------|------|
| 1   | 0     | 2.7  | 不细腻,无香味,较腥 | 6.9  |
| 2   | 2     | 2.4  | 不细腻,香味淡,稍腥 | 7.5  |
| 3   | 4     | 2.3  | 细腻,香味适口,无腥 | 9.3  |
| 4   | 6     | 2.1  | 有沙粒感,偏香,无腥 | 7.2  |

## 2.3 加盐量的选择

由表 5 可以见,随着盐加入量的增加,成品膨化率有较大的提高。原因是食盐可作为介电常数增强剂添加到物料中,从而使物料的复合介电损耗增加,有利于物料吸收微波能,因而使得膨化速率加快,缩短膨化所需时间,提高膨化率<sup>[7,11]</sup>。作者以口感、膨化率、感官分值确定盐的加入量,经多次实验,确定添加盐量为质量分数 2% 较好。

表 5 食盐加入量对产品品质的影响

Tab. 5 Effect of different salt amount on the product quality

| 试验号 | 添加量/% | 膨化倍率 | 口感  | 感官分值 |
|-----|-------|------|-----|------|
| 1   | 0     | 0    | 无咸味 | 3.0  |
| 2   | 1     | 1.2  | 较淡  | 5.8  |
| 3   | 2     | 2.2  | 适口  | 8.7  |
| 4   | 3     | 2.5  | 稍咸  | 8.0  |

## 2.4 加糖量的选择

由表 6 可知,加入适量的糖能够有效地改善成品的感官品质,但是加量过多会使膨化率大幅降低。究其原因,首先可能是因为蔗糖分子中含有多个羟基,结合水的能力很强,向淀粉生料中加入含糖溶液后,糖分子与淀粉中的含水区域作用,会影响淀粉分子的吸水、膨润及伸展,抑制糊化过程中淀粉结合和吸收水分,从而间接影响微波膨化。另外,由上述实验研究表明,蔗糖的添加会使物料的温升速率增大,在很短的时间内就使物料温度达到 95℃ 以上。在此时,由于蔗糖分子具有类似液体的



流动性,且粘度较低,在停止微波加热后,膨化产品仍较软,在瞬间的冷却过程中产品会发生弯曲、卷折或变形,外形回缩严重,使得测定得到的膨化率较小<sup>[8,11]</sup>。

表 6 白糖加入量对产品品质的影响

Tab. 6 Effect of different white sugar amount on the product quality

| 试验号 | 添加量/% | 膨化倍率 | 口感   | 感官分值 |
|-----|-------|------|------|------|
| 1   | 0     | 2.5  | 无甜味  | 7.6  |
| 2   | 3     | 2.4  | 甜味淡  | 8.1  |
| 3   | 6     | 2.2  | 甜味适中 | 9.3  |
| 4   | 9     | 1.9  | 偏甜   | 7.2  |
| 5   | 12    | 1.5  | 甜味重  | 6.4  |

此外,糖在高温下发生焦化,使产品随糖含量增加色泽加深,至糖质量分数为 12% 时,产品中心处已变为褐黄色。经过综合考虑,蔗糖质量分数为 6% 时,成品的膨化率和感官品质都较好。

## 2.5 葱姜蒜粉加入量的选择

葱姜蒜粉的加入量对膨化效果基本上没有影响,但对口感方面有一定的影响,也是本制品松脆鱼丸的重要的原料之一。

表 7 葱姜蒜粉不同加入量对产品品质的影响

Tab. 7 Effect of chives, ginger and garlic seasoning amount of on the product quality

| 试验号 | 添加量/% | 口感        | 感官分值 |
|-----|-------|-----------|------|
| 1   | 0     | 较腥,无葱姜蒜味  | 5.9  |
| 2   | 0.2   | 较腥,葱姜蒜味淡  | 7.0  |
| 3   | 0.4   | 较腥,葱姜蒜味稍淡 | 7.9  |
| 4   | 0.6   | 不腥,葱姜蒜味适口 | 8.8  |
| 5   | 0.8   | 不腥,葱姜蒜味稍重 | 8.0  |

由上表口感和感官分值可知,葱姜蒜粉加入量为质量分数 0.6% 左右时产品感官品质较好。

## 2.6 蒸煮时间的选择

蒸煮可以使鱼肉熟化和淀粉糊化,而蒸煮时间能够影响食品的质构以及营养成分的保存<sup>[13,14]</sup>。蒸煮时间不同,蛋白质的变性程度也不同,随着蒸煮时间的加长,蛋白质变性加重,变性导致其失去

亲水、黏着、盐溶等加工性能,起酥性能降低,膨化率降低。同时加热也会使肌肉蛋白质收缩,硬度增加。另外,随着蒸煮时间变长,淀粉糊化超过 95% 后使得膨化率降低<sup>[12]</sup>。因此蒸煮时间不可太长,但是太短会使熟化不完全,淀粉糊化度也比较低,所以专门研究了蒸煮时间对于鱼丸膨化和感官品质的影响。由表 8 可知蒸煮时间选择 6 min 时,产品膨化率最大,感官品质相对较好。

表 8 蒸煮时间对产品品质的影响

Tab. 8 Effect of cooking time on the product quality

| 试验号 | 蒸煮时间/min | 膨化倍率 | 感官分值 |
|-----|----------|------|------|
| 1   | 0        | 0    | 3.2  |
| 2   | 3        | 2.9  | 8.4  |
| 3   | 6        | 3.1  | 8.8  |
| 4   | 9        | 2.6  | 7.6  |

## 2.7 微波功率对重组鱼丸干燥速率和品质的影响

鱼丸经过熟化后,固定微波炉的真空气度为 -0.095 MPa,在 180、126、90 W 3 个不同的微波功率下进行真空微波实验,其干燥曲线如图 1。根据不同的微波功率,在各个微波功率下设置不同的加热时间。经过预实验可知,鱼丸在 180 W 下分别加热 9、11、13、15、17 min,在 126 W 下分别加热 15、18、21、24、27 min,在 90 W 下分别加热 20、24、28、32、36 min。实验结果如图 2 和图 3。

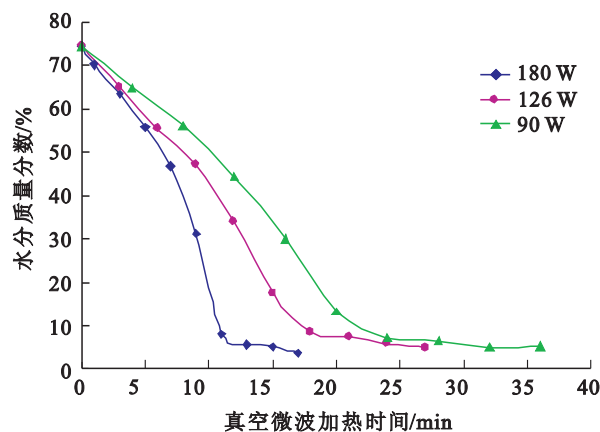


图 1 重组鱼丸在不同微波功率下的干燥曲线

Fig. 1 Drying curves of re-structured fish balls under different microwave power

如图 1 所示,相同时刻下,微波功率越大,重组鱼丸的水分含量下降越明显,干燥速度越快,能在

更短的时间内达到所需的水分含量。增大微波功率,能使重组鱼丸内部水分子在单位时间内吸收的能量增加,水能在更短时间内由液态转变成气态,因此加速干燥进程<sup>[9]</sup>,缩短了干燥时间,节约了能量。要达到水分质量分数在 7% 左右,在微波功率分别为 180、126、90 W 时加热时间分别需要 11、21、24 min,提高微波功率可以显著缩短加热时间,这也是真空微波加热的优势所在。

由图 2 可知,重组鱼丸在 180 W 和 126 W 下膨化率有较大的变化,在较短的时间内会使膨化率发生很大改变,而在 90 W 下重组鱼丸膨化率变化不如前两者明显,此外,鱼丸在 90 W 下的最大膨化率也最低,但是在高微波功率下可以在最短时间内达到最大的膨化率,从而减少了加热时间。这主要是因为同样的初始水分含量下,微波功率越高,在单位时间内产生的热量越多,鱼丸内水分的温度上升越快,产生的气体也就越多,鱼丸内气体压力也就越大,产生了更大的膨化率。而微波功率太低时,食品内气体压力较小,对膨化不利<sup>[10]</sup>。另外,感官评分在较高的微波功率 180 W 时也是最大的(见图 3),所以要提高生产效率和重组鱼丸感官品质,应该选择最大的微波功率 180 W。

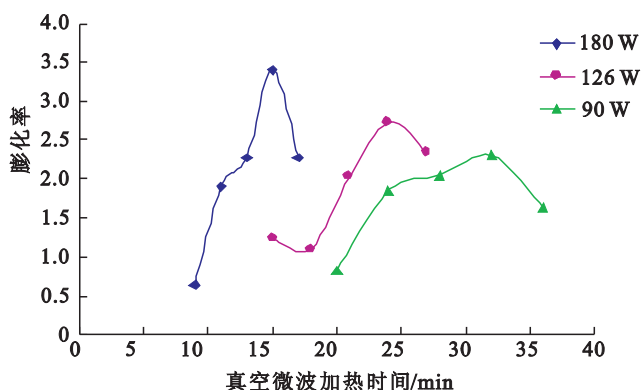


图 2 微波功率对重组鱼丸膨化率的影响

Fig. 2 Effect of microwave power on the re-structured fish balls expansion ratio

## 2.8 真空度对重组鱼丸干燥速率和品质的影响

微波功率设定为 180 W,调节微波炉的真空度分别为 -0.055、-0.075、-0.095 MPa,进行真空微波实验,其干燥曲线如图 4。在 3 个不同真空度下,分别在加热时间为 9、11、13、15、17 min 时,测定重组鱼丸的膨化率和感官分值,实验结果如图 5 和图 6。

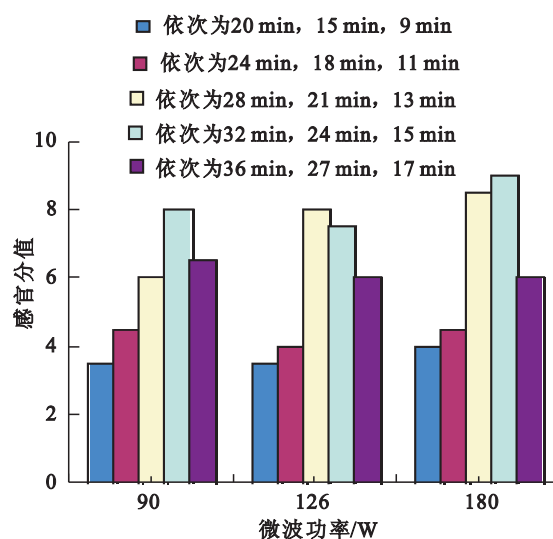


图 3 微波功率和加热时间对重组鱼丸感官分值的影响

Fig. 3 Effect of microwave power and heating time on the sensory scores of re-structured fish balls

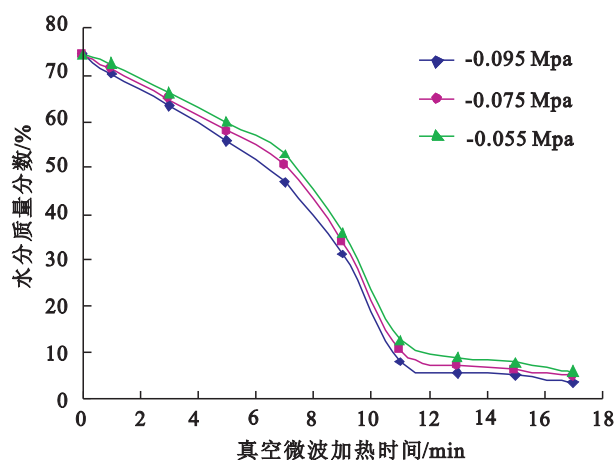


图 4 重组鱼丸在不同真空度下的干燥曲线

Fig. 4 Drying curves of re-structured fish balls under different vacuum degree

如图 4 所示,在微波功率为 180 W 以及 -0.055、-0.075、-0.095 MPa 3 个不同真空度下的干燥曲线趋势大致相同,没有明显差异。随着真空度的增加,重组鱼丸的干燥速率增大,能在更短的时间内达到所需的水分含量,并且更高的真空度可以使重组鱼丸最终水分含量降低。主要原因是物料外部所在环境的真空度越高,水的沸点越低,干燥过程的传质推动力也就越大,水分汽化、蒸发就越迅速,水分更容易从鱼肉中扩散到周围环境,同时,在高真空度下,干燥介质中的各种气体均处于低浓度(包括水蒸气),这也有利于物料中的水向

周围介质迁移。由图 5 可以看出,不同的真空度对重组鱼丸膨化率有着不同的影响,在真空度为  $-0.055$  MPa 时,重组鱼丸的膨化率上升较为缓慢,且最大膨化率不高;但是在  $-0.075$ 、 $-0.095$  MPa 时重组鱼丸的膨化率变化趋势大致相同,都是先上升,在加热时间为  $15$  min 时达到最大值,随后开始下降。3 个不同真空度下的膨化率相比,在真空度为  $-0.095$  MPa 时最大膨化率最大,并且可在最短时间内达到最大值。这是因为在较高的真空度下,水的沸点低,可较快的集中蒸发,因而可以获得较大的膨化率。另外从图 6 可见,  $-0.095$  MPa 下重组鱼丸的感官分值也均较高。这主要是因为高真空度下鱼丸内水分蒸发更迅速,微波产能作用不能在鱼丸的某一处高度集中,因而就较大程度上避免了鱼丸出现烧焦点,从而使得鱼丸的感官得分更高。

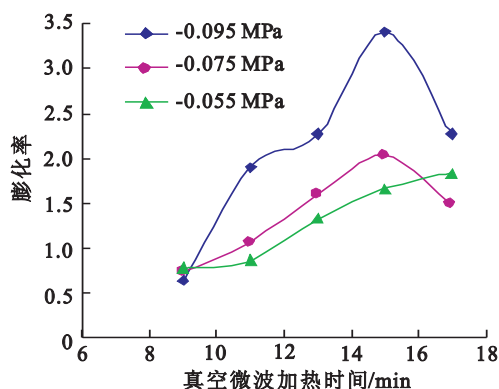


图 5 真空度对重组鱼丸膨化倍率的影响

Fig. 5 Effect of vacuum degree on the re-structured fish balls expansion ratio

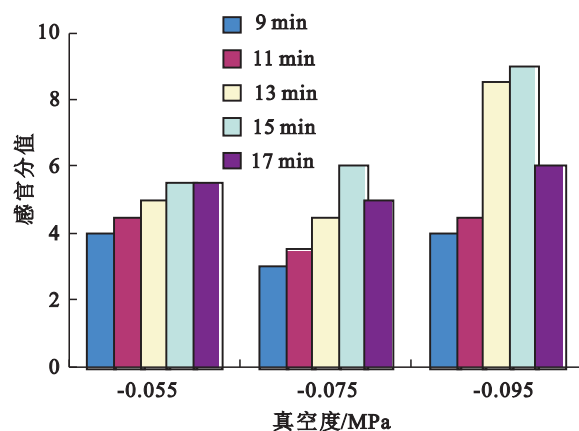


图 6 真空度和加热时间对重组鱼丸感官分值的影响

Fig. 6 Effect of vacuum degree and heating time on the sensory scores of re-structured fish balls

### 3 结 语

通过试验和分析可知,重组鱼丸的适宜配方为:鱼肉(经过预处理)100 g,糯米粉 10 g,猪肥膘 4 g,食盐 2 g,白砂糖 6 g,葱姜蒜粉 0.6 g;适宜工艺条件为:蒸煮时间为 6 min,真空微波干燥器的真空度和功率分别为  $-0.095$  MPa 和 180 W,真空微波干燥时间为 15 min,得到的成品表面呈现均匀的淡黄色,有鲜美的鱼肉味,口感细腻、酥脆。

采用真空微波干燥重组鱼丸提供了一种新的鱼糜加工技术,所得产品营养价值高、方便携带,适合大众化食用,生产成本比较低,市场前景广阔。

### 参考文献(References):

- [1] 张慙,段振华,汤坚. 低值淡水鱼加工利用研究进展[J]. 渔业现代化,2003,3:30—31.  
ZHANG Min,DUAN Zhen-hua,TANG Jian. The research development of the processing and using of low value fresh water fish[J]. *Fishery Modernization*,2003,3:30—31. (in Chinese)
- [2] 孔保华,王辉兰,王明丽. 鲢鱼鱼丸最佳配方及工艺的研究[J]. 食品工业科技,2000,21(2):43—45.  
KONG Bao-hua,WANG Hui-lan,WANG Ming-li. The study of optimum formula and technology of silver carp fish ball [J]. *Science and Technology of Food Industry*,2000,21(2):43—45. (in Chinese)
- [3] ZHANG Jun,ZHANG Min,SHAN Liang. Microwave-vacuum heating parameters for processing savory crisp bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) slices[J]. *Journal of Food Engineering*,2007,79:885—891.
- [4] 吴文龙. 罗非鱼鱼丸的加工工艺研究[J]. 食品科技,2006,2:39—41.  
WU Wen-long. Study on processing technology of tilapia surimi [J]. *Food Science and Technology*,2006,2:39—41. (in Chinese)

- [5] 杨志娟,冯嘉诚.用小虾肉制作香辣脆片的加工工艺研究[D].湛江:广东海洋大学,2009.
- [6] 张立彦,芮汉明,李作为.油脂对淀粉物料微波膨化的影响[J].中国粮油学报,2002,17(1):34—37.  
ZHANG Li-yan, RUI Han-ming, LI Zuo-wei. Effects of palm oil on expansion of starch heated by microwave [J]. *Journal of the Chinese cereals and Oils Association*, 2002, 17(1): 34—37. (in Chinese)
- [7] 张立彦,芮汉明,李作为,等.食盐对淀粉物料微波膨化的影响研究[J].粮食与饲料工业,2001,12:42—44.  
ZHANG Li-yan, RUI Han-ming, LI Zuo-wei, et al. The study of the effects of salt on expansion of starch heated by microwave [J]. *Food and feed industry*, 2001, 12: 42—44. (in Chinese)
- [8] 张立彦,芮汉明,李作为,等.蔗糖对淀粉物料微波膨化的影响研究[J].食品工业科技,2001,22(3):19—21.  
ZHANG Li-yan, RUI Han-ming, LI Zuo-wei, et al. The study of the effects of sugar on expansion of starch heated by microwave [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2001, 22(3): 19—21. (in Chinese)
- [9] 杨毅,段振华,徐成发.罗非鱼片真空微波干燥特性及其动力学研究[J].食品科技,2010,35(11):102—103.  
YANG Yi, DUAN Zhen-hua, XU Cheng-fa. Characteristics of vacuum-microwave drying of tilapia fillets and its drying kinetics [J]. *Food science and Technology*, 2010, 35(11): 102—103. (in Chinese)
- [10] 滕建文.微波膨化香蕉脆片的加工[J].广西轻工业,2002,(1):27—29.  
TENG Jian-wen. Processing of microwave drying banana chips [J]. *Guang Xi light industry*, 2002, (1): 27—29. (in Chinese)
- [11] WANG Rui, ZHANG Min, Arun S. Mujumdar. Effect of salt and sucrose content on dielectric properties and microwave-freeze drying behavior of re-structured potato slices [J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 106: 290—297.
- [12] 张立彦,芮汉明.淀粉的种类及性质对微波膨化的影响[J].食品与发酵工业,2000,27(3):21—25.  
ZHANG Li-yan, RUI Han-ming. Effects of the varieties and properties of starch on puffing under microwave irradiation [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2000, 27(3): 21—25. (in Chinese)
- [13] 张飞,张懋,徐保国,等.重组海芦笋脆片配方及加工工艺研究[J].食品与生物技术学报,2011,30(1):25—31.  
ZHANG Fei, ZHANG Min, XU Bao-guo, et al. Study on the Formula and the Processing Technology of recombinant Salicornia bigelovii Torr. Chips [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2011, 30(1): 25—31. (in Chinese)
- [14] 芮汉明,贺丰霞,刘锋.重组型香蕉脆片关键技术研究[J].食品与发酵工业,2008,34(10):84—88.  
RUI Han-ming, HE Feng-xia, LIU Feng. The key technology's research of reorganization banana crisp piece [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2008, 34(10): 84—88. (in Chinese)