

响应面法优化液熏罗非鱼的加工工艺

包宇婷, 王维民*, 谌素华, 钟思燕, 姚文婷, 张 珂

(广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

摘 要:以冷冻罗非鱼片为原料, 采用本实验室精制的桉树烟熏液进行熏制。以感官评价以及色差、质构、酸度和系水力等为指标, 在单因素实验结果的基础上, 选择烟熏液添加量、液熏时间、干燥时间(进行三因素三水平的中心组合实验, 利用Design-Expert 8.0进行响应面分析。结果表明: 桉树液熏罗非鱼的最佳工艺为: 桉树烟熏液添加量为6%, 液熏时间为66min, 干燥时间为68min。在此工艺条件下得到的液熏罗非鱼口感风味最佳, 验证性实验综合得分为42.25分。

关键词:液熏, 罗非鱼肉, 桉树烟熏液, 响应面

Optimization of smoked processing of tilapia through response surface method

BAO Yu-ting, WANG Wei-min*, CHEN Su-hua, ZHONG Si-yan, YAO Wen-ting, ZHANG Ke

(College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The liquid smoked process of frozen tilapia was studied in this paper. The sensory evaluation and the measurement of color, textural, acidity and water-holding capacity were used as indexes. A central composite experiment of three factors and three levels, including the additive amount of smoked liquid, liquid smoke time, drying time was designed based on the results of single factor experiments. And the results were analyzed by response surface methodology with Design-Expert 8.0 software. The results showed that the optimum liquid smoked process conditions of smoked tilapia were eucalyptus smoked liquid additive amount of 6%, liquid smoke time of 66min, drying time of 68min. The comprehensive mark was 42.25 point which obtained by the parallel verified experiment used the optimum process.

Key words: liquid smoked; tilapia; eucalyptus smoked liquid; response surface

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)14-0275-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.14.048

液熏技术作为保存肉类和鱼类的方法已经被人类沿用了几百年, 不仅赋予高蛋白食品以独特风味和色泽, 而且在食品中还扮演着抑菌剂和抗氧化剂的角色^[1]。但传统的食品液熏方法受到质疑^[2-3], 如何采用科学的方法来生产不含多环芳烃或基本不含多环芳烃的烟熏液成了亟待解决的问题。液熏法是近年来为解决传统液熏肉制品含有以3,4-苯并芘为主的致癌物而新兴的一种液熏方法, 其原理是使木材发烟然后冷凝成粗制烟熏液, 再经过精制去除液熏原液中的3,4-苯并芘等致癌物的烟熏液。

桉树是全球性的速生工业原料林树种, 2013年8月统计表明我国桉树人工林面积约450万公顷, 其中广东种植面积达136.7万公顷, 广西种植面积达万202.7万公顷, 而湛江处于两广交界处, 可见湛江桉树资源之丰富^[4-5]。而现在我国桉树资源大部分用于

建材木材、木浆、纤维板、改性材等, 利用率附加价值较低, 而用桉树制烟熏液来熏制食品不仅丰富了液熏食品的口味, 也增加了桉树的利用价值, 为创造更高的经济效益提供依据^[6-7]。本项目组经过长期研制出液体烟熏液(“一种无致癌物食品烟熏液的制备方法”, 发明专利号: ZL201110280315.2), 以此进行液熏食品, 可以得到具有良好液熏风味, 无致癌物的食品。

液熏罗非鱼或其他肉制品已有研究, 但关于桉树烟熏液用以液熏罗非鱼产品鲜有报道, 所以为丰富桉树液熏产品, 增加液熏新风味, 本研究采用本实验室自制桉树烟熏液对罗非鱼片进行液熏, 分析不同的工艺条件对液熏罗非鱼综合品质的影响, 从而确定最佳的液熏工艺条件, 为实际生产提供理论依据。

收稿日期: 2014-09-15

作者简介: 包宇婷(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与贮藏。

* 通讯作者: 王维民(1958-), 男, 教授, 研究方向: 食品加工与贮藏。

基金项目: 广东省科技计划项目(2011B020310010); 广东海洋大学“质量强校”项目(GDOU2013041103)。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

罗非鱼 挑选重量为200g左右的尼罗罗非鱼活鱼,肉质要有弹性,鱼鳃呈淡红色或暗红色,外观完整,无鳞片脱落之现象;蔗糖、酱油、蔗糖、五香粉、食盐等 广东湛江昌大超市;亚硝酸钠(食品级) 四川金山制药有限公司;硫酸铜、硫酸钾、硫酸、硼酸、甲基红指示剂、氢氧化钠、乙醇、石油醚、高氯酸、盐酸、三氯乙酸、EDTA、硫代巴比妥酸 广东光华科技股份有限公司;以上试剂 均为分析纯;烟熏液 用本实验室研制的桉树烟熏液(采用干馏工艺制备,方法参考专利^[8]);调味液(均为体积分数) 食盐3%、酱油5%、蔗糖4%、五香粉0.7%。

SZF-06A型粗脂肪测定仪 上海洪纪仪器设备有限公司;TMS-PRO型质构仪 美国FTC公司;UV-3200型紫外分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;日本岛津UX420H型电子天平 日本岛津公司;80-2型电动离心机 金坛市富华仪器有限公司;MP511型精密pH计 德国赛多利斯公司;GZX-9240MBE型数显鼓风干燥箱 常州诺基仪器有限公司;KDN-08C型数控消化炉 上海新嘉电子有限公司;DZ280/2SE型真空包装机 上海易诺包装材料有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 冷冻罗非鱼(活鱼取肉后于-28℃贮藏)→流水解冻→整形(将鱼片切成长4cm、宽2cm、高2cm的小块)→调味液熏(将鱼块置于5%浓度液熏调味液(鱼肉质量与调味液质量比1:1)中浸渍1h)→热风干燥(液熏后的罗非鱼置于20目筛子放在热风干燥箱中,干燥温度60℃,干燥时间60min)→真空包装(将干燥后的液熏罗非鱼用RCPP包装带真空包装。真空度0.08MPa)→蒸煮熟制(常压)→贮藏。

1.2.2 质构测定^[9-10] 采用TMS-PRO质构仪对液熏罗非鱼进行质构剖面分析(TPA)分析,条件参数为:探头选取P50,直径5mm;起始力0.5N;测试速度60mm/min;形变量50%。将液熏罗非鱼样品置于探头底座上,每组平行测3个样品,选择硬度(N)、内聚性(Ratio)、弹性(mm)、胶粘性(N)、咀嚼性(mJ)作为质构指标。

1.2.3 色差测定^[11-12] 采用色差计测色计测定产品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值,光源为D65。分光测色计采用Lab表色系统表示产品的色泽,其中 L^* 表示样品的亮度, $L^*=0$ 为黑色, $L^*=100$ 为白色, L^* 越大,表明样品表面越亮。

a^* 代表红绿度,正 a^* 表示红色, a^* 值越大,样品表面越红; b^* 值代表黄蓝度,正 b^* 值表示黄色; b^* 值越大,黄色越深,每个样品重复测定5次。

1.2.4 硫代巴比妥酸(TBA)测定^[13] 取10.00g绞碎的肉样于烧杯中,加入40mL冰冷的5%(质量分数)三氯乙酸(TCA)溶液,然后在13800r/min的转速下均质1min,然后离心分离,取上清液加入5%TCA溶液定容到50mL,用移液枪吸取5mL滤液于比色管中,加入5mL(0.02mol/L)的TBA试剂,将塞子封口,振荡混匀,置于沸水浴中35min,取出冷却至室温,用5mL蒸馏水和5mL(0.02mol/L)的TBA作对照,于538nm处测定吸光度A。

1.2.5 系水力的测定^[10] 将鱼块分割成3~4g的小块,记其质量为 M_1 (精确到0.001g),用60目纱绢兜住,放在50mL离心管中3000r/min离心10min取出,肉块离心后重量为 M_2 。系水力W计算公式为:

$$W(\%) = M_2/M_1 \times 100.$$

1.2.6 蒸煮率的测定^[10] 准确称量鱼肉块蒸煮前质量为 M_1 (精确到0.001g),蒸煮充分冷却后肉块质量 M_2 ,蒸煮率R计算公式为:

$$R(\%) = M_2/M_1 \times 100$$

1.2.7 其他理化指标的测定 脂肪含量测定:参照GB/T 14772-2008测定^[14];蛋白质含量测定:参照GB 5009.5-2010测定^[15];挥发性盐基氮(TVB-N)测定:参照SC/T 3032-2007测定^[16];pH的测定^[10]:采用精密pH计测定;水分含量的测定^[10]:采用快速水分测定仪测定;感官评价^[10]:选择10名经过培训,年龄在22~28岁之间的研究生的组成感官评定小组,采用喜好性检验法,分别对样品的咸味、酸味、液熏味、组织、色泽进行评定。感官评定标准如表1所示。

1.2.8 实验设计

1.2.8.1 单因素实验设计 以感官评分为主要指标,再结合系水力、pH、色差、硬度等指标。

a.选取烟熏液添加量(1%、3%、5%、7%、9%、11%)为单因素,液熏时间1h,烘干时间60min,烘干温度60℃,蒸煮温度100℃。

b.选取液熏时间(20、40、60、80、100、120min)为单因素,烟熏液添加量5%,烘干时间60min,烘干温度60℃,蒸煮温度100℃。

c.选取烘干时间(0、20、40、60、80、100min)为单因素,烟熏液添加量5%,液熏时间1h,烘干温度60℃,蒸煮温度100℃。

表1 液熏罗非鱼感官评分标准

Table 1 Standards of sensory score for smoked tilapia

评价指标	9~10分	7~8分	5~6分	5分以下
咸味	咸味适宜,非常喜欢	咸味稍咸/淡,比较喜欢	咸味较咸/淡,可以接受	咸味很咸/淡,不能接受
酸味	基本没有酸味,很喜欢	有点酸味,比较喜欢	酸味较明显,可以接受	酸味较重,回味酸,不喜欢
液熏味	产品液熏风味浓郁,非常喜欢	液熏味略有不足/比较喜欢	液熏味比较浓/不足,可以接受	液熏味太浓/没有液熏味,不能接受
组织	组织细腻,含水量高	肉质不太细腻,比较喜欢	无新鲜鱼肉质的鲜嫩,可以接受	组织粗糙,肉质发柴,不能接受
色泽	颜色金黄,色泽均匀有光泽	颜色稍浅/稍深,稍有光泽	颜色较深/较浅,无光泽	深褐色/肉白色,无光泽

d.选取烘干温度(40、50、60、70、80、90℃)为单因素,烟熏液添加量5%。液熏时间1h,烘干时间60min,蒸煮温度100℃。

e.选取蒸煮温度(50、60、70、80、90、100℃)为单因素,烟熏液添加量5%,液熏时间1h,烘干时间60min,烘干温度60℃。

1.2.8.2 响应面实验设计 在单因素实验基础上,以感官评分为指标,选择烟熏液添加量、液熏时间、烘干时间进行三因素三水平的Box-Behnken的中心组合实验设计,实验因素水平见表2,利用Design-Expert 8.0软件(STATEASE公司)进行响应面分析,确定液熏罗非鱼肉的最优加工工艺。

表2 Box-Behnken实验设计因素水平
Table 2 Experiment design and variables levels for Box-Behnken

水平	因素		
	A 烟熏液添加量(%)	B 液熏时间(min)	C 干燥时间(min)
1	8	90	90
0	5	60	60
-1	2	30	30

1.3 数据处理

数据使用Excel 2007(微软公司),JMP 9.0(SAS公司)进行处理和显著性分析,结果以平均值±标准偏差(Mean values分析,)表示。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验结果与分析

2.1.1 烟熏液添加量对液熏罗非鱼品质的影响 方差分析显示,烟熏液添加量对感官评分、pH、系水力以及硬度影响显著($p<0.05$)。由图1可看到当烟熏液添加量在5%时感官评分最高,口感及风味较其他处理组好。当添加量为1%和3%时液熏风味淡薄,当添加量达到7%及以上时出现酸味,且添加量越高酸味越明显,肉质变粗糙,无新鲜鱼肉的口感。鱼肉的失水率一般与鱼肉的pH、离子强度、僵直程度和蛋白的氧化以及蛋白的水解有密切关系^[9],随着烟熏液添加量的增加,其系水力呈递减趋势(图2),这可能是因

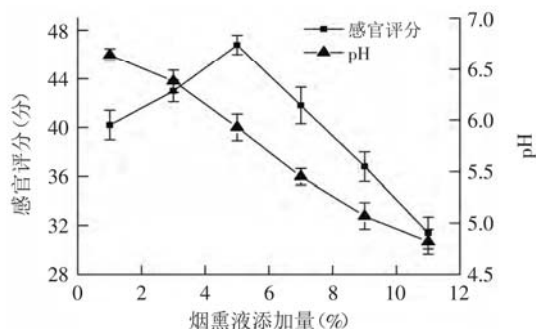


图1 烟熏液添加量对液熏罗非鱼感官评分和pH的影响
Fig.1 Effect of liquid smoke additions on smoked tilapia sensory score and pH

为烟熏液pH较低为1.9,随着添加量增加,整体调味料液pH逐渐下降接近鱼肉蛋白质等电点,从而导致系水力下降。pH高的鱼肉,往往呈现柔软多汁和非常嫩的质构,这与感官品评表现是一致的,随着烟熏液添加量的增加,pH逐渐下降,硬度逐渐增加(图2),这使肉质变硬且口感变差。综合来看,当烟熏液添加量较低时,pH相对较高,系水力高,所以肉质鲜嫩多汁,但过于软嫩,不利于包装,且液熏风味淡薄;当烟熏液添加量较高时,pH和系水力都较低,肉质发柴,无新鲜鱼肉口感,且酸味明显,所以烟熏液添加量为5%较为适宜。

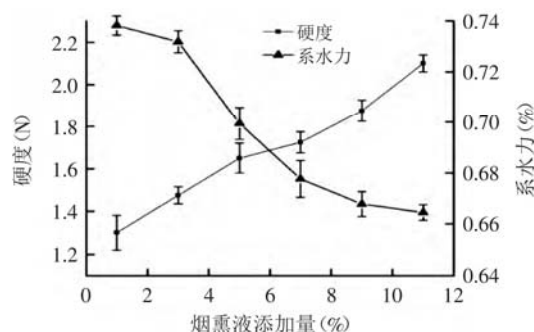


图2 烟熏液添加量对液熏罗非鱼系水力和硬度的影响
Fig.2 Effect of liquid smoke additions on smoked tilapia water-holding capacity and hardness

2.1.2 液熏时间对液熏罗非鱼品质的影响 液熏时间对系水力、硬度的影响不显著($p>0.05$),对感官评分和pH影响显著($p<0.001$)。当液熏时间为20min时,烟熏液和调味料液风味未完全浸透,咸味及液熏味较寡淡。随着液熏时间延长,其风味逐渐渗透肉内部,但当液熏80min及以上时咸味无变化,但肉质变柴,口味发酸,这与pH的变化趋势是一致的(图3)。这可能是由于烟熏液逐渐渗透到肉内部,改变肌肉的空间结构,使原有空间中保留的水被排除,而且,随着pH下降,分子中氢键增多,改变了原有维持水分的力^[10,15],所以导致肉质发柴,感官评分下降(图3)。所以综合来说液熏时间60min最为适宜,在保证产品品质的前提下,选择较短的工艺时间。

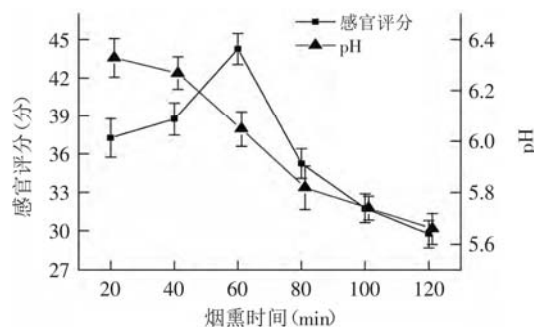


图3 液熏时间对液熏罗非鱼感官评分和pH的影响
Fig.3 Effect of liquid smoke time on smoked tilapia sensory score and pH

2.1.3 干燥温度对液熏罗非鱼品质的影响 干燥温

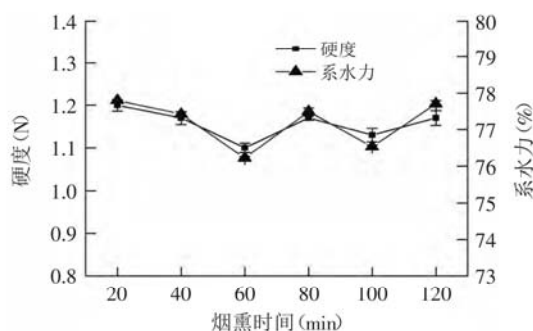


图4 液熏时间对液熏罗非鱼系水力和硬度的影响

Fig.4 Effect of liquid smoke time on smoked tilapia water-holding capacity and hardness

度对液熏罗非鱼硬度、水分含量以及色差值中的 L^* 、 a^* 、 b^* 的单因素方差分析中 p 均小于0.01,说明干燥温度对这些指标的影响均极显著($p<0.01$)。而且随着干燥温度的升高,液熏罗非鱼水分含量逐渐降低,硬度逐渐增加。作为液熏罗非鱼产品来说,水分含量越高,感官品质越好,但是水分含量过高肉质太软嫩,咀嚼性欠佳,罗非鱼肉的变性温度为 60°C ,当干燥高于 60°C 时,表面肉质较干硬。烟熏液若要使食品发色必须要与食品表面有足够的接触时间,还有较高的接触温度和较低的食品湿度才能充分氧化、脱水,而且食品表面在烟熏液成分中醛和酚的作用下形成一层棕黄色干燥光泽的薄膜,产生液熏食品特有的风味、色泽与口感,而且可阻止后续的微生物繁殖和氧化变质,从而延长食品保质期^[7]。可以看出随着干燥

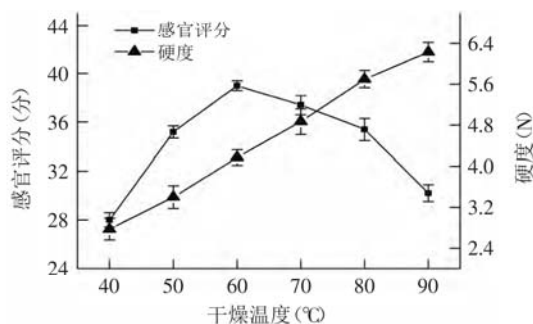


图5 干燥温度对液熏罗非鱼感官评分和硬度的影响

Fig.5 Effect of dry temperature on smoked tilapia sensory hardness content

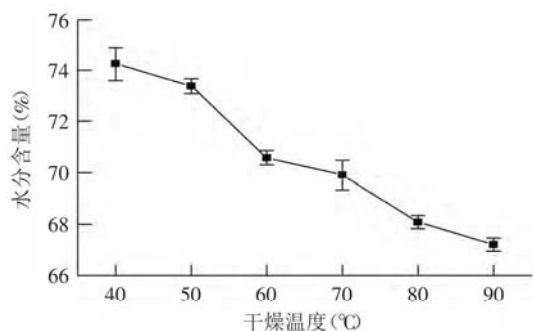


图6 干燥温度对液熏罗非鱼水分含量的影响

Fig.6 Effect of dry temperature on smoked tilapia score and moisture

温度的增加色差值 a^* 、 b^* 均增加(表3),这可能是由于干燥温度越高,氧化作用越明显,美拉德反应越快,液熏色泽表面积累越多,这与Yeo^[18]和盛金凤^[9]的研究结果是一致的。由图5可看到当干燥温度为 60°C 时,感官评分最高,因为在此条件下液熏罗非鱼色泽金黄, a^* 、 b^* 分别为6.84和25.78,这与黄静芬^[10]通过喷雾与浸渍相结合使罗非鱼片 a^* 、 b^* 达到9.77和26.43是相近的。且温度大于 60°C 时,表面蛋白质变性,不利于后续熟化。综合考量来看,干燥温度 60°C 时感官品质最好,色泽金黄略发棕色,此时液熏罗非鱼肉水分含量为70.91%。

表3 干燥温度对液熏罗非鱼色差的影响

Table 3 Effect of dry temperature on smoked tilapia chromatism

干燥温度 ($^{\circ}\text{C}$)	色差值		
	L^*	a^*	b^*
40	45.87 ± 2.17^c	6.19 ± 0.30^c	26.30 ± 4.59^c
50	46.06 ± 2.60^c	6.77 ± 0.75^c	23.46 ± 1.47^c
60	49.09 ± 3.60^{bc}	6.84 ± 1.84^c	25.78 ± 3.49^c
70	49.18 ± 2.77^{bc}	6.42 ± 0.85^c	31.24 ± 2.52^b
80	46.73 ± 1.52^c	9.28 ± 1.09^b	31.56 ± 2.30^b
90	50.58 ± 3.33^{ab}	14.57 ± 0.96^a	39.65 ± 3.86^a

注:同列不同小写字母表示差异显著;表4、表5同。

2.1.4 干燥时间对液熏罗非鱼品质的影响 方差分析表明,干燥时间对感官评分、 L^* 、 a^* 、 b^* 都具有显著影响($p<0.05$)。烟熏液若要使食品发色必须要与食品表面有足够的接触时间,而且还有较高的接触温度和较低的食品湿度,色泽并不会马上出现,必须与空气充分接触,才能充分氧化、脱水,而且食品表面在烟熏液成分中醛和酚的作用下形成一层棕黄色干燥光泽的薄膜,产生液熏食品特有的风味、色泽与口感,而且可阻止后续的微生物繁殖和氧化变质,从而延长食品保质期^[9]。从表4可以看到,随着干燥时间的延长, a^* 、 b^* 呈增大的趋势,但并不是越大越好,结合感官评价的标准,当干燥时间达到100min时,表面薄膜较硬,口感较差,且颜色不再是金黄,而是棕黑色,接受度下降。所以,感官评分综合色差值来看,干燥时间为60min和80min时感官评分都较高,但实际生产中为节约生产时间,应选择干燥60min,其产品色差 a^* 、 b^* 分别为7.05和31.62。

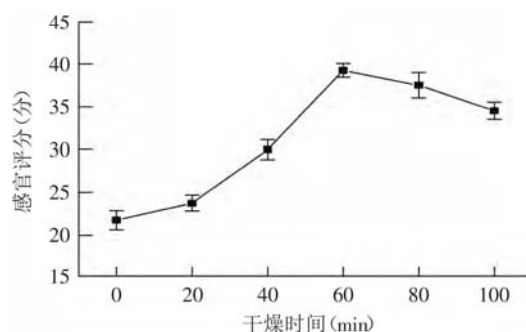


图7 干燥时间对液熏罗非鱼感官品质的影响

Fig.7 Effect of dry time on smoked tilapiasensory score

表4 干燥时间对液熏罗非鱼色差值的影响

Table 4 Effect of dry time on smoked tilapia chromatism

干燥时间 (min)	色差值		
	L^*	a^*	b^*
0	51.66±2.93 ^b	3.44±0.30 ^c	24.53±2.02 ^c
20	59.39±0.53 ^a	4.82±0.59 ^d	27.40±2.48 ^{bc}
40	55.08±3.07 ^b	6.15±0.60 ^e	30.77±2.27 ^a
60	53.87±3.37 ^b	7.05±0.64 ^{bc}	31.62±3.15 ^a
80	52.55±2.62 ^b	8.08±1.30 ^{ab}	30.15±1.90 ^{ab}
100	45.62±2.74 ^a	8.73±1.10 ^a	31.14±2.75 ^a

2.1.5 蒸煮温度对液熏罗非鱼品质的影响 在单因素方差分析中蒸煮温度对蒸煮率和色差值 L^* 均影响显著($p<0.05$)。热加工会使蛋白质发生变性,其规律是随温度上升变性速度加快。蛋白质变性的原因可能是维持空间构象的疏水键、氢键等受热破坏而断裂,使肽键与能量低的氢键或盐键结合,造成疏水集团转移到表面,分子外部亲水基团转移到分子内部^[20],用这一原理可以解释熟化肉所表现出来的纤维性,以及鱼肉和鱼皮易分离的现象。鱼肉在熟化过程中硬度变化为先增加后减小,这是由于在加热到50℃时由于肌原纤维蛋白变性、肌动球蛋白脱水缩合导致硬度增加,而随着温度上升到60℃,胶原蛋白会变成凝胶,从而使硬度下降,肉质变软嫩^[21-22]。这与感官评价的结果是相类似的,随着蒸煮温度上升感官评分逐渐增加(图8)。

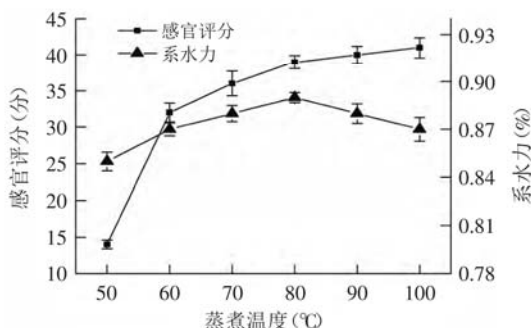


图8 蒸煮温度对液熏罗非鱼感官评分和系水力的影响

Fig.8 Effect of cooking temperature on smoked tilapia and water holding capacity

由图9可以看到,随着蒸煮温度的升高,蒸煮率逐渐下降,这可能是因为随温度上升,通过蛋白质变性温度(60℃)的速度变快,变性的胶原蛋白还没有足够的时间充分吸附水分子,所以导致蒸煮率呈下降趋势。随着温度增加,烟熏液上色越明显(表5), a^* 、 b^* 都呈上升的趋势,颜色向良好的焦黄的液熏色泽变化。综合来看,虽然100℃蒸煮率较低,但其感官评分最好,肉质最鲜嫩,且液熏风味悠长,颜色具有良好的液熏色,所以选择蒸煮温度100℃为最佳。

2.2 响应面结果与分析

2.2.1 回归模型的建立与分析 在上述5个单因素中,各个因素对感官评分影响的显著性如表6所示,其中烟熏液添加量、液熏时间、干燥时间对其影响显

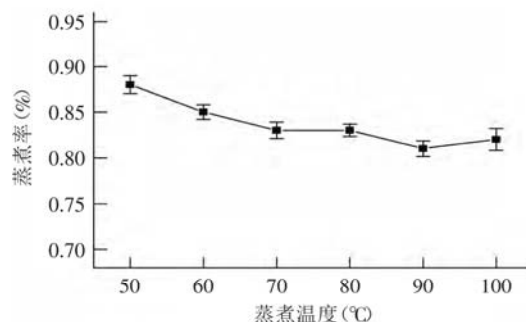


图9 蒸煮温度对液熏罗非鱼蒸煮率的影响

Fig.9 Effect of cooking temperature on smoked sensory score tilapia cooking rate

表5 蒸煮温度对液熏罗非鱼色差值的影响

Table 5 Effect of cooking temperature on smoked tilapia chromatism

蒸煮温度 (°C)	色差值		
	L^*	a^*	b^*
50	56.64±3.78 ^b	5.84±1.10 ^{abc}	22.61±0.92 ^b
60	63.50±2.49 ^a	5.60±1.19 ^{bc}	23.86±1.45 ^{ab}
70	65.04±2.94 ^a	5.14±0.91 ^c	22.86±1.70 ^b
80	63.34±1.44 ^a	6.81±1.88 ^{ab}	22.61±1.10 ^b
90	62.07±4.41 ^a	6.95±1.27 ^{ab}	23.58±1.27 ^{ab}
100	60.72±4.82 ^{ab}	7.34±0.62 ^a	24.63±0.74 ^a

表6 各因素对感官评分影响显著性

Table 6 The important degree of various factors

因素	p	显著性
烟熏液添加量	4.2418×10^{-5}	**
液熏时间	0.001379	**
干燥温度	0.195173	
干燥时间	0.004357	**
蒸煮温度	0.123517	

注:“(*)”($p<0.05$)为显著,“(**)”($p<0.01$)为极显著。

著,所以选取这三个因素做三因素三水平的响应面实验。

响应面设计与分析结果见表7,相应的回归系数显著性见表8,利用软件Design-Expert 8.0进行烟熏液添加量、液熏时间、干燥时间3个因素对液熏罗非鱼的感官评分影响的多元回归拟合分析,建立二次多项式模型为:

$$Y = 39.883 + 1.969A + 2.413B + 1.771C - 0.813AB + 0.625AC - 2.613BC - 5.167A^2 - 3.779B^2 - 2.717C^2 \quad (R^2 = 0.9478, R^2_{Adj} = 0.8539)$$

从表8可以看出,回归方程显著($p<0.01$),失拟项具有不显著性($p>0.05$),预测值与实验值具有高度相关性($R^2=0.9478$)。拟合程度>90%,说明模型能反应响应值的变化,可以用该实验方法对液熏罗非鱼产品的综合评分进行较好的分析和预测。由表8还可以看出因素A、B、C、BC、A²、B²、C²对液熏罗非鱼的综合评分有显著的影响($p<0.05$),A²、B²对液熏罗非鱼的综合评分的影响极显著($p<0.01$)。

表7 响应面设计及实验结果

Table 7 Box-Behnken design matrix and the experimental results

实验号	A	B	C	感官评分(分)
1	0	0	0	40.25
2	0	1	1	36.05
3	-1	0	-1	30.75
4	-1	1	0	31.25
5	0	-1	-1	25.50
6	0	0	0	39.25
7	0	0	0	40.15
8	1	1	0	35.50
9	0	1	-1	35.50
10	-1	0	1	31.25
11	0	-1	1	36.50
12	1	0	1	34.50
13	1	-1	0	32.25
14	-1	-1	0	24.75
15	1	0	-1	31.50

表8 回归系数显著性

Table 8 The significance text of regression coefficients

方差来源	自由度	平方和	均方	F值	p值	显著性
回归模型	9	294.54	32.73	10.09	0.0102	*
A	1	31.01	31.01	9.56	0.0271	*
B	1	46.56	46.56	14.35	0.0128	*
C	1	28.31	28.31	8.73	0.0317	*
AB	1	2.64	2.64	0.81	0.4083	
AC	1	1.56	1.56	0.48	0.5186	
BC	1	27.30	27.30	8.42	0.0338	*
A ²	1	98.56	98.56	30.38	0.0027	**
B ²	1	52.73	52.73	16.26	0.0100	**
C ²	1	27.25	27.25	8.40	0.0339	*
残差	5	16.22	3.24			
失拟项	3	15.61	5.20	17.16	0.0556	
净误差	2	0.61	0.30			
总和	14	310.76				

注：“*” $p < 0.05$ 为显著，“**” $p < 0.01$ 为极显著。

2.2.2 液熏罗非鱼最佳液熏工艺条件的确定和验证实验 根据回归模型通过Design-Expert 8.0软件分析得出,液熏罗非鱼的最佳液熏工艺条件为:烟熏液添加量5.57%、液熏时间66.15min、干燥时间68.11min,在此条件下得到的液熏罗非鱼的综合评分为40.57。为考虑实际情况选取烟熏液添加量6%、液熏时间66min、干燥时间68min进行验证,通过3组平行实验

得到液熏罗非鱼的综合评分平均值为42.25分,误差在5%以内。因此所建模型与实际基本吻合,说明响应面法可适用于液熏罗非鱼工艺的优化研究。

2.3 理化指标

液熏罗非鱼质构指标、理化成分指标及色差值的检测结果分别见表9~表11。

由表9质构的测定结果可以看出液熏后的罗非鱼硬度变大,弹性变小,这可能是因为烟熏液中的有机酸使蛋白质变性,蛋白质分子结构改变,而内聚性、胶粘性、咀嚼性无明显变化,说明液熏前后罗非鱼肉质改变不大,仍可保持鲜罗非鱼新鲜的口感。

由表10理化成分分析可知,液熏前后蛋白质无

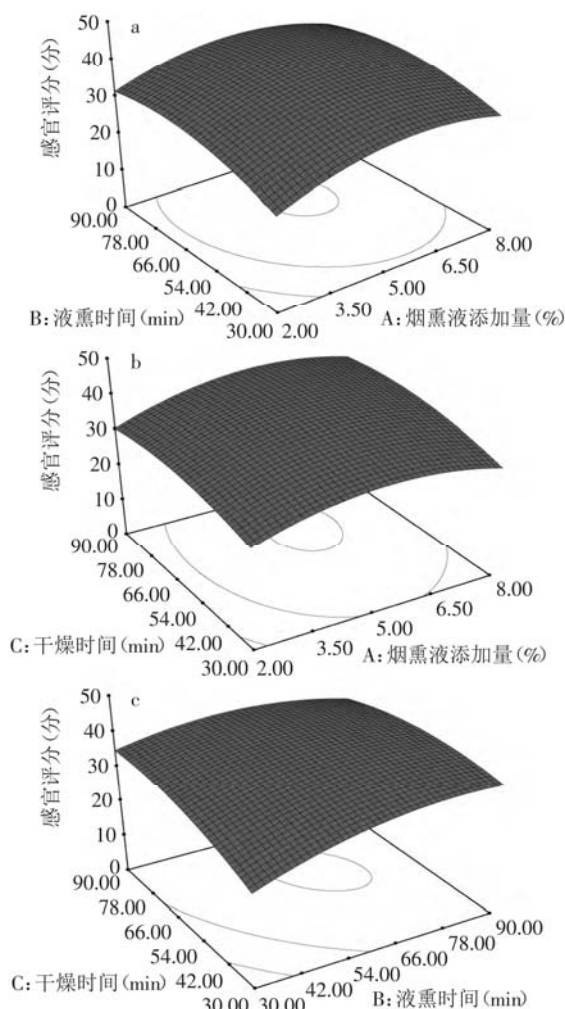


图10 烟熏液添加量、液熏时间、干燥时间的交互作用对液熏罗非鱼感官评分的影响

Fig.10 Interaction effect of the liquid smoke additions, smoking time and drying time on the sensory score of smoked tilapia

表9 质构指标测定结果

Table 9 The results of texture index of enema

类别	质构特征值				
	硬度(N)	内聚性(Ratio)	弹性(mm)	胶粘性(N)	咀嚼性(mJ)
未熏罗非鱼	1.57±0.25	0.27±0.04	2.53±0.33	0.43±0.06	1.09±0.20
液熏罗非鱼	1.77±0.38	0.23±0.09	1.83±0.41	0.41±0.07	1.07±0.18

明显变化,说明液熏过程不会影响其蛋白质的变化。液熏后脂肪含量略有下降,其肌肉脂肪的损失主要是甘油三酯的流失引起的,这可能是因为热加工过程中部分油滴从肉中流出,液熏后的鱼肉水分流失较大,甘油三酯随滴水流出,也可能是因为烟熏液使磷脂双分子层遭到破坏,对油脂的包裹能力下降,导致脂肪含量流失^[23-24]。液熏后水分含量会减少,这是由于烟熏液改变了蛋白质分子间的力,使分子间存水空间变小,导致蛋白质失水。液熏后pH略有下降,这是因为烟熏液pH较低(1.9)从而使肉pH下降,但下降不明显。TVB-N是评价鱼类鲜度的重要指标,由于酶和细菌的作用蛋白质在贮藏过程中分解产生氨及胺类等含氮物质使肉类品质下降。TBA是脂肪氧化酸败程度的重要指标。液熏后的罗非鱼TVB-N及TBA值都下降,表明烟熏液中酚类等物质的抗氧化作用,抑制了食品的腐败变质,这与刘辉^[25]和胡武^[26]的研究结论是一致的。

表10 理化指标测定结果

Table 10 The result of physical and chemical compositions

理化指标	未熏罗非鱼	液熏罗非鱼
水分含量(g/100g)	72.29±1.46	68.48±0.84
蛋白质含量(g/100g)	21.86±0.42	21.47±0.30
脂肪含量(g/100g)	5.17±0.97	4.83±0.94
有效酸度(pH)	6.65±0.01	6.48±0.09
TVB-N(mg/100g)	16.31±0.16	13.32±0.18
TBA(mg/100g)	2.17±0.15	1.02±0.08

由表11的色差值可以看出液熏后的罗非鱼 L^* 值下降,表示白度下降, a^* 、 b^* 值增加,表示红度值和黄度值均增加,这是因为烟熏液中的醛和酚在熏制品表面聚合成光泽干燥的茶褐色薄膜,而且在干燥过程中伴随着少量的美拉德反应,而形成特有的液熏色泽。

表11 色差值 L^* 、 a^* 、 b^* 测定结果Table 11 The results of tilapia chromatism L^* 、 a^* 、 b^*

类别	色差值		
	L^*	a^*	b^*
未熏罗非鱼	54.81±4.55	3.12±0.83	24.94±1.36
液熏罗非鱼	44.58±3.79	9.94±1.79	30.18±2.24

3 结论

在单因素的基础上,利用Design-Expert 8.0软件进行了分析,采用响应面法对液熏罗非鱼的工艺条件建立了多项式数学模型,确定了最佳的液熏工艺条件为:烟熏液添加量6%、液熏时间66min、干燥时间68min,在此工艺条件下得到液熏罗非鱼的感官评分为42.25分,实际值与理论值误差在5%内,表明所建液熏罗非鱼数学模型建立成功,对实际生产有指导意义。对最优工艺所生产的液熏罗非鱼进行了理化及质构指标及色差值的测定,参考腌腊鱼地方标准(DB 43/344-2007)卫生标准^[27],本研所得液熏罗

非鱼的各项指标均符合此标准。

参考文献

- [1] Margatetepohlmann, Alexander Hitzel. Influence of different smoke generation on the contents of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in Frankfurter-type sausages[J]. Food Control, 2013 (34): 347-355.
- [2] Vincent Varlet, Carole Prost, Thierry Serot. Volatile aldehydes in smoked fish: Analysis methods, occurrence and mechanisms of formation[J]. Food Chemistry, 2007 (105): 1536-1556.
- [3] GLira, KWBarros Silva, BCFigueiredo, et al. Impact of smoking on the lipid fraction and nutritional value of seabobshrimp [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014 (58): 183-187.
- [4] 祁述雄. 中国桉树[M]. 第二版. 北京: 中国林业出版社, 2002: 4-5.
- [5] 陈少雄, 陈小菲. 我国桉树经营的技术问题与思考[J]. 桉树科技, 2013 (30): 52-59.
- [6] 陈胜军, 王剑河, 李来好, 等. 液熏技术在水产品加工中的应用[J]. 食品科学, 2007, 28 (7): 569-571.
- [7] 谢姣, 王华, 任廷远, 等. 液熏技术的研究[J]. 肉类工业, 2011 (1): 54-57.
- [8] 王维民, 谌素华, 蒲晓华, 等. 一种无致癌物食品烟熏液的制备方法: 中国, ZL201110280315[P]. 2013-07-14.
- [9] 盛金凤, 刘小玲, 何虹, 等. 熏制即食罗非鱼片的色泽优化工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33 (10): 238-242.
- [10] 黄静芬. 罗非鱼液熏加工工艺及其产品保藏特性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [11] Huff-Lonerger E, Lonergan S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes[J]. Meat Science, 2005, 71 (1): 194-204.
- [12] Juan Miguel Rodriguez Patino, Ana M R Pilosof. Protein-polysaccharide interactions at fluid interfaces[J]. Food Hydrocolloids, 2011 (25): 1925-1937.
- [13] 夏玉宇. 食品卫生质量检验与监督[M]. 北京: 北京工业出版社, 1993: 370-372.
- [14] GB/T 14772-2008. 食品中粗脂肪的测定[S]. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2008.
- [15] GB 5009.5-2010. 食品中蛋白质的测定[S]. 中华人民共和国卫生部, 2010.
- [16] SC/T 3032-2007. 水产品中挥发性盐基氮的测定[S]. 中华人民共和国农业部, 2007.
- [17] Dagbjorn Skipnes, Merete Lund Ostby, Marc EHendrickx. A method for characterizing cooking loss and water holding capacity in heat treated cod (Gadus norhua) muscle[J]. Food Engineering, 2007 (80): 1078-1085.
- [18] Yeo H, Shibamoto T. Effects of moisture content on the Maillard browning model system upon microwave irradiation[J]. Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39 (10): 1860-1862.
- [19] 余和平. 液体液熏香料及其在食品工业中的应用[J]. 食品与机械, 2000 (5): 29-30.
- [20] 冯雨薇. 三中海水小杂鱼其罐头制品的营养特性和热加工对鱼肉品质的影响[D]. 太原: 山西大学, 2013.

(下转第286页)

为18.72%~19.04%，平均值为18.85%，与理论预测值相比，其相对误差为0.32%，差异不显著($p=0.4354>0.05$)，说明该模型应用于柠檬酸法提取血柚皮果胶具有一定的实际指导意义。

3 结论

以果胶得率为指标，利用响应面分析法中的Box-Behnken实验设计，对提取工艺条件进行了分析，得到了柠檬酸浓度、提取温度、液料比、提取时间四个因素的二项式回归模型。该模型能较好地对比血柚皮果胶得率进行预测与分析，得到预测修正最佳工艺条件为：柠檬酸浓度1.5%，提取温度82℃、液料比32:1mL/g、提取时间99min，在此条件下进行5次平行实验，实际得率为18.85%，相对误差为0.32%，说明该模型对血柚皮果胶的提取条件优化合理可行，为工业化生产血柚皮果胶提供了一定的理论依据。

参考文献

- [1] 陈文娟, 陈建福. 超声辅助提取血柚皮多糖工艺优化及其对自由基的清除作用[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2014, 37(1): 141-146.
- [2] 黄日升, 蔡振平. 平和县红肉蜜柚优质丰产栽培技术[J]. 中国南方果树, 2014, 43(3): 127-128.
- [3] Huang R L, Gao M, Guo H, et al. Enhanced ethanol production from pomelo peel waste by integrated hydrothermal treatment, multienzyme formulation, and fed-batch operation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(20): 4643-4651.
- [4] Prakash Maran J, Sivakumar V, Thirugnanasambandham K, et al. Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 97(2): 703-709.
- [5] 张妍楠, 姚晓玲, 张国真, 等. 超声波辅助提取工艺对胡柚果胶品质的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(3): 44-47.
- [6] 田宝明, 彭林, 吴金松, 等. 柚皮果胶理化性质的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 313-317.
- [7] 张妍楠, 姚晓玲, 张国真, 等. 胡柚果胶提取工艺的综合评价[J]. 食品科技, 2013, 38(11): 232-235.
- [8] 陈文娟, 陈建福. 漳州血柚皮总黄酮超声辅助提取工艺研究[J]. 常熟理工学院学报, 2012, 26(4): 57-63.
- [9] 赵红英, 文海涛, 林励, 等. 化州柚不同栽培品种总黄酮及柚皮苷含量的比较研究[J]. 中药新药与临床药理, 2010, 21(2): 183-186.
- [10] 耿敬章, 刘军海, 刁宇清, 等. 响应面法优化超声波辅助提取橘皮中果胶类化合物[J]. 食品工业科技, 2009(12): 250-253.
- [11] 李建凤, 任磊, 王真, 等. 响应曲面法用于超声波提取柠檬皮渣果胶研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 267-269.
- [12] 刘晓霞, 苏平, 吴秋敏. 响应面分析法优化黄秋葵中果胶的提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 270-273.
- [13] Minjares-Fuentes R, Femenia A, Garau M C, et al. Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: A response surface methodology approach[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 106(7): 179-189.
- [14] Kulkarni S G, Vijayanand P. Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(7): 1026-1031.
- [15] Chen H, Fu X, Luo Z. Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water[J]. Food Chemistry, 2014, 168(2): 302-310.
- (上接第281页)
- [21] 项建琳, 吴少军, 陈洁. 鲤鱼肌肉ATP酶生化特性研究[J]. 食品工业科技, 1999, 20(3): 11-13.
- [22] RGM van der Sman. Moisture transport during cooking of meat: An analysis based on Flory-Rehner theory [J]. Meat Science, 2007(76): 730-738.
- [23] 郭月红. 腊肉中脂肪氧化变化及其影响因素研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [24] SCHEEDER M, CASUTT M, ROULIN M, et al. Fatty acid composition, cooking loss and texture of beef patties from meat of bulls fed different fats[J]. Meat Science, 2001, 58(3): 321-328.
- [25] 刘辉. 不同原料烟熏液的制备、精制及灌肠液熏工艺的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011.
- [26] 胡武. 新型食品烟熏液的制备及两种液熏肉制品的工艺研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.
- [27] DB 43/344-2007. 腌腊鱼地方标准[S]. 湖南: 湖南省质量技术监督局, 2007.

欢迎光临我们的网站

www.spgykj.com