

液熏高水分挤压组织化植物蛋白加工工艺优化

李家磊¹, 管立军¹, 高扬¹, 严松¹, 王昆仑¹, 王春丽², 李晓娟³,
卢淑雯^{1*}, 李波¹, 周野¹

¹黑龙江省农业科学院食品加工研究所 哈尔滨 150086

²哈尔滨市农产品质量安全检验检测中心 哈尔滨 150070

³黑龙江省农业科学院生物技术研究所 哈尔滨 150028)

摘要 以高水分挤压组织化植物蛋白为原料,感官综合评分为指标,运用单因素结合响应面法对其液熏工艺进行优化,确定了最佳工艺参数:液熏温度 45℃,液熏时间 150 min,烟熏液体积份数 5.7%,在此条件下感官综合评分 87.4 分,制备的液熏高水分挤压组织化植物蛋白呈有光泽的烟熏色,组织紧密,富有弹性,且烟熏味浓郁。品质分析表明,液熏后的高水分挤压组织化植物蛋白主要营养成分无明显变化;理化性质发生一定程度的变化,色差的 L^* 值下降, a^* 值和 b^* 值均增加,呈有光泽的烟熏色,有效酸度略有下降,质构的硬度、胶黏性和咀嚼性有所降低,而弹性略有增加。挥发性风味物质中增加酚类化合物等 6 类物质,其中,酚类化合物相对含量为 17.668%,而其它类化合物在种类和相对含量上有一定的变化,改善了产品的品质。液熏前、后的安全指标无明显变化,菌落总数均较低,大肠菌群和苯并芘均未检出。结论:制备的液熏高水分挤压组织化植物蛋白具有较高的品质。

关键词 高水分; 挤压组织化蛋白; 植物; 液熏; 加工工艺; 品质分析

文章编号 1009-7848(2022)11-0214-14 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.11.023

近年来,随着人们健康意识的增强和素食主义的盛行,人们日常餐桌上摄入植物源蛋白的比例日益增高^[1]。植物源蛋白自然资源十分丰富,易于获得,成本低廉,且营养价值接近于动物源蛋白,其必需氨基酸组成比例更接近人体所需,更易被人体消化吸收^[2-3]。此外,部分植物源蛋白还具有降血压、降胆固醇、抗氧化、抗肿瘤和改善心脑血管疾病等诸多生理功能^[4-5],植物源蛋白的价值优势日益突显,市场开发前景十分广阔,因而,利用植物源蛋白进行产品加工变得尤为重要^[6]。

挤压组织化植物蛋白是被广泛关注的植物蛋白的重要加工形式,它是以植物蛋白(大豆分离蛋白、小麦面筋蛋白、花生蛋白以及豌豆蛋白等)为原料,水为塑化剂,在挤压机产生的机械能、热能和高压的多重作用下植物蛋白形成可塑化的熔融体,并沿着挤出方向重新交联排列,进而形成质地

均匀,层状或纤维状,类似于动物肌肉的组织化植物蛋白制品^[7-9]。根据挤压组织化植物蛋白含水比例不同,可分为低水分挤压组织化植物蛋白(含水比例通常为 20%~40%)和高水分挤压组织化植物蛋白(含水比例通常为 40%~80%)^[10-11]。较之于低水分挤压组织化植物蛋白,高水分挤压组织化植物蛋白具有组织化程度高,纤维状结构明显,质地均匀一致,营养活性成分损失少,食用方便,原料成本低以及经济附加值高等优点^[12-13]。因此,高水分挤压组织化植物蛋白被认为是实现植物蛋白高值化利用的一条重要途径。然而,目前高水分挤压组织化植物蛋白产品处于市场萌芽阶段,生产规模较小,产品形式单一,消费者接受程度低,如何扩大市场规模,丰富产品形式,研发出受消费者喜爱的产品成为摆在从业者面前必须面对的问题^[14]。

烟熏是一种具有悠久历史的食品加工贮藏方法,它不但可以赋予食物特有的风味和色泽,还可以有效防止食物脂肪氧化和抑制细菌病毒的滋生^[15-17]。然而,随着现代食品科学技术的快速发展,烟熏工艺的弊端越来越突显,熏制时间长,熏制不均匀,环境污染大,易产生强致癌物质苯并芘和难

收稿日期: 2021-11-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD2100902);
黑龙江省博士后科研启动金资助项目(LBH-Q18132)

第一作者: 李家磊,男,博士,副研究员

通信作者: 卢淑雯 E-mail: shuwenl@sina.com

以实现机械化连续生产等都成为制约产业发展的瓶颈问题^[18-19]。为了寻求解决这些问题的办法,液熏法在烟熏法基础上逐渐发展起来,它是利用去除苯并芘等致癌物的烟熏液替代烟气进行食品熏制的一种非烟熏加工技术,具有操作简便、清洁卫生、安全可靠、环境友好、适用范围广、产品质量高和工业化程度高等优点^[20-22],目前被广泛应用于牲畜、鱼贝类肉制品的熏制加工^[23-24]。鉴于此,本研究以高水分挤压组织化植物蛋白为原料,感官综合评分为指标,运用单因素结合响应面法对其液熏工艺进行优化。在此基础上,对制备的液熏高水分挤压组织化植物蛋白进行品质分析,以期实现该类植物蛋白的高值化利用,同时丰富产品形式,为面向市场推广高水分挤压组织化植物蛋白产品提供试验数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

高水分挤压组织化植物蛋白,实验室自制(大豆分离蛋白和谷朊粉按照 7:3 比例混合通过双螺杆挤压机制备,真空包装和高压蒸汽灭菌后常温贮藏);大豆分离蛋白,哈高科大豆食品有限责任公司;谷朊粉,陕西聚梁食品有限公司;食盐、蔗糖、酱油、五香粉和料酒,哈尔滨满克隆超市;山楂核烟熏香味料 II-普通,济南华鲁食品有限公司;所用化学试剂均为分析纯级。

FMHE-50 型双螺杆挤压机,湖南富马科食品工程技术有限公司;TA-XT plus 型质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;DK-98IIA 型电热恒温水浴锅,天津泰斯特仪器有限公司;XS204 型电子分析天平、HB43-S 型快速水分测定仪、Seven-Compact 型 pH 计,瑞士 METTLER TOLEDO 公司;FEI QUANTA 200 型环境扫描电镜,荷兰 FEI 公司;D-1 型全自动高压蒸汽灭菌锅,北京发恩科贸有限公司;SW-CJ-2D 型双人净化工作台,南昌苏净科技有限公司;Kjeltec8400 型全自动凯氏定氮仪,丹麦 FOSS 公司;DHP-9082 型电热恒温培养箱,上海一恒科学仪器有限公司;CM-5 型分光测色仪,日本 KONICA MINOLTA 公司;DZ-600/2S 型真空包装机,诸城亿康食品包装机械有限公司;DC-B 型智能箱式高温炉,北京独创科技有限

公司;3-18K 型冷冻离心机,德国 SIGMA 公司;U3000 型高效液相色谱仪,美国 Thermo Fisher 公司;7890A-5975C 型气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程 液熏制备高水分挤压组织化植物蛋白的工艺流程如图 1 所示。

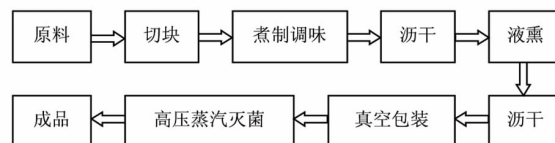


图 1 工艺流程图

Fig.1 The process flow diagram

1.2.2 操作要点

1.2.2.1 切块 将制备的高水分挤压组织化植物蛋白切成大小均一的条形方块。

1.2.2.2 煮制调味 把切好的高水分挤压组织化植物蛋白放入调味液中,小火煮制 40 min;调味液配比:食盐 4%、蔗糖 4%、酱油 6%、五香粉 1%、料酒 1%。

1.2.2.3 液熏 将煮制入味的高水分挤压组织化植物蛋白放入一定浓度烟熏液中,在一定温度下液熏一定时间。

1.2.2.4 真空包装 把熏制完的高水分挤压组织化植物蛋白放入耐高温蒸煮袋中进行真空包装。

1.2.2.5 高压蒸汽灭菌 将包装好的高水分挤压组织化植物蛋白放入高压蒸汽灭菌锅中,121 ℃灭菌 30 min。

1.2.3 感官评价 选择 10 名评定人员对不同液熏工艺参数下制备的高水分挤压组织化植物蛋白的色泽、质地以及烟熏味的感官指标进行评分,三者所占感官综合评分的比例依次为 30%,30%和 40%,以所获得 10 个分数的平均值为最终感官综合评分,表 1 为感官评分标准^[25]。

1.2.4 高水分挤压组织化植物蛋白的液熏工艺优化

1.2.4.1 单因素实验设计 通过查找文献和前期试验,确定影响液熏工艺的因素为液熏温度、液熏时间和烟熏液体积分数。因此,以感官综合评分为指标,考察单因素液熏温度(25,30,35,40,45,50

表1 感官评定标准

Table 1 The sensory evaluation standard

指标(权重)	评分标准		
	80~100分	60~80分	0~60分
色泽(30%)	有光泽,呈类似烟熏色	稍有光泽,烟熏色较浅	无光泽,无烟熏色
质地(30%)	组织紧密,富有弹性	组织较紧,弹性一般度	组织松散,弹性差
烟熏味(40%)	烟熏味浓郁	烟熏味较淡	无烟熏味或烟熏味刺鼻

℃)、液熏时间(30,60,90,120,150,180 min)和烟熏液体积分数(2%,3%,4%,5%,6%,7%)对液熏工艺的影响^[26-27]。

1.2.4.2 响应面设计 在单因素实验基础上,以液熏温度、液熏时间和烟熏液体积分数为考察因素,感官综合评分为指标,选用响应面 Box-Behnken 试验设计对液熏高水分挤压组织化植物蛋白的工艺参数进行优化。

1.2.5 产品品质分析

1.2.5.1 主要营养成分分析 水分的测定参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的方法^[28];粗蛋白的测定参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的方法^[29];粗脂肪的测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的方法^[30];灰分的测定参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的方法^[31]。

1.2.5.2 理化性质分析

1) 有效酸度(pH值)的测定 称取10g绞碎完全的液熏的高水分挤压组织化植物蛋白,放入装有90mL蒸馏水的烧杯中,10000 r/min高速均质30s,静置30min后过滤,取滤液进行pH值的测定^[32]。

2) 色差的测定 利用色彩色差计,采用 CIELAB 表色系统测定 L^* 、 a^* 、 b^* 值^[33]。

3) 质构特性测定 利用质构仪测定产品的硬度、弹性、咀嚼度、凝聚力、胶黏性、黏附性和黏弹性等。采用 TPA 模式,用 P/35 探头,探头测前下降速度 2.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测后回程速度 2.0 mm/s,下压程度 50%,间隔时间 5 s,往复运动两次。得到样品的硬度、弹性和咀嚼度等重复测定 10 次,去掉两个最大值和最小值,结果用平均值表示^[27]。

4) 挥发性风味物质测定 采用 SPME-GC-

MS 法进行测定,样品在 60℃下平衡 60 min,然后把萃取头插入顶空进样瓶中,萃取 30 min,搅拌速度设为 250 r/min,接着拔出萃取头,并置于 250℃的进样口中解吸 2 min。气相色谱条件:DB-5ms 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.50 μm);进样量 1 μL;载气为 He;流速 1 mL/min;进样口温度 250℃;柱初始温度 40℃,保持 3 min,以 5℃/min 升至 120℃,保持 3 min,再以 10℃/min 升至 200℃,保持 5 min。质谱条件:电离方式 EI,电子能量 70 eV,离子源温度为 230℃,四极杆温度为 150℃,全扫描方式,扫描范围为 30~440 m/z;根据计算机谱库(NIST08.L,demo.l)进行化合物的质谱鉴定,选择匹配度大于 80 作为鉴定结果,用峰面积归一化法确定物质的相对含量^[25]。

1.2.5.3 安全指标分析 菌落总数测定参照 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》中的方法^[34],大肠菌群的测定参照 GB 4789.3-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》中的方法^[35];苯并芘的测定参照 GB 5009.27-2016《食品安全国家标准 食品中苯并(a)芘的测定》中的方法^[36]。

1.3 数据处理

每组试验都进行 3 次平行试验,所得数据以平均值±标准差表示,采用 Origin 8.5 进行统计分析和软件作图,响应面 Box-Behnken 试验采用 Design-Expert V8.0.6.1 软件进行设计与分析。

2 结果与分析

2.1 高水分挤压组织化植物蛋白的液熏工艺确定

2.1.1 单因素对感官综合评分的影响

2.1.1.1 液熏温度对感官综合评分的影响 选取液熏时间 120 min,烟熏液体积分数 5%,考察不同液熏温度对液熏高水分挤压组织化植物蛋白的感

官综合评分的影响,结果如图 2 所示。在设定的液熏温度范围内,感官综合评分随着液熏温度的升高先增大后缓慢下降,当液熏温度为 40℃时,感官综合评分最高。这可能是由于随着温度的升高,有效地促进了烟熏液呈色、呈味物质分子向高水分挤压组织化植物蛋白的渗透,而当温度过高时,一方面使得烟熏液中风味物质易挥发,烟熏味道减弱,另一方面降低了高水分挤压组织化植物蛋白的硬度和弹性。因此,最适宜的液熏温度为 40℃。

2.1.1.2 液熏时间对感官综合评分的影响 选取液熏温度 40℃,烟熏液体积分数 5%,考察不同液熏时间对液熏高水分挤压组织化植物蛋白的感官综合评分的影响,结果如图 3 所示。在设定的液熏时间范围内,感官综合评分随着液熏时间的升高先增大后缓慢下降,当液熏时间为 120 min 时,感官综合评分最高。这可能是由于随着液熏时间的增加,有效的促进了烟熏液呈色、呈味物质分子向高水分挤压组织化植物蛋白的渗透,而当液熏时间超过 120 min 时,这种渗透趋于平衡,并且长时间的液熏会降低高水分挤压组织化植物蛋白的硬度和弹性。因此,最适宜的液熏时间为 120 min。

2.1.1.3 烟熏液体积分数对感官综合评分的影响

选取液熏温度 40℃,液熏时间 120 min,考察不同烟熏液体积分数对液熏高水分挤压组织化植物蛋白的感官综合评分的影响,结果如图 4 所示。在设定的烟熏液体积分数范围内,感官综合评分随着烟熏液体积分数的升高先增大后下降,当烟熏液体积分数为 5%时,感官综合评分最高。这可能是由于随着烟熏液体积分数的增大,有效的促进了烟熏液呈色、呈味物质分子向高水分挤压组织化植物蛋白的渗透,而当烟熏液体积分数过大时,使得产品酸涩味、烟熏味道明显。因此,最适宜的烟熏液体积分数为 5%。

2.1.2 响应面法确定最佳工艺参数

2.1.2.1 响应模型的建立与分析 在单因素实验结果的基础上,进行响应面 Box-Behnken 试验设计,用自变量 A、B、C 分别代表液熏温度、液熏时间和烟熏液体积分数 3 个因素,每个因素设计最小值(-1)、中间值(0)、最大值(1)3 个水平,以响应值 Y 代表感官综合评分,响应面试验方案与结

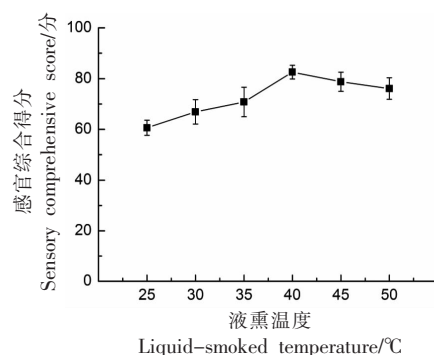


图 2 液熏温度对感官综合评分的影响

Fig.2 Effect of liquid-smoked temperature on sensory comprehensive score

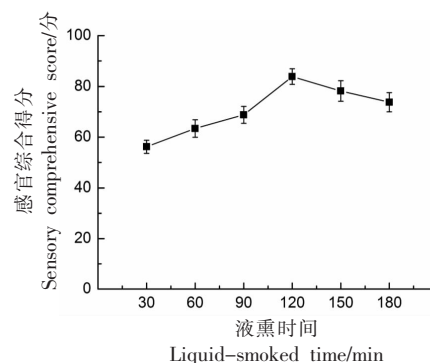


图 3 液熏时间对感官综合评分的影响

Fig.3 Effect of liquid-smoked time on sensory comprehensive score

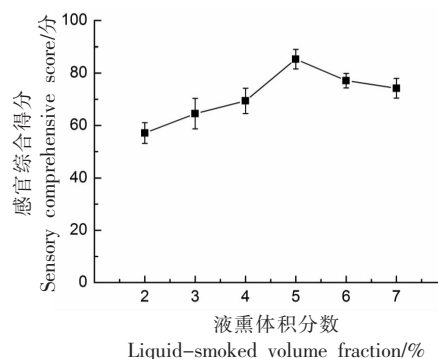


图 4 烟熏液体积分数对感官综合评分的影响

Fig.4 Effect of volume fraction of liquid-smoked on sensory comprehensive score

果如表 2 所示。

利用 Design-Expert V 8.0.6.1 软件对所得试验结果进行回归模型方程拟合,获得回归模型方程为 $Y = 82.36 + 3.84A + 4.61B + 2.55C + 1.15AB + 1.27AC + 2.87BC - 1.81A^2 - 3.35B^2 - 4.88C^2$ 。然后

表2 响应面试验方案与结果

Table 2 The design and result of response surface methodology

试验号	液熏温度 (A)/°C	液熏时间 (B)/min	烟熏液体 积分数 (C)/%	感官综合 评分(Y)/ 分	试验号	液熏温度 (A)/°C	液熏时间 (B)/min	烟熏液体 积分数 (C)/%	感官综合 评分(Y)/ 分
1	40(0)	120(0)	5(0)	80.6	10	40(0)	150(1)	4(-1)	72.2
2	35(-1)	90(-1)	5(0)	70.1	11	40(0)	120(0)	5(0)	81.7
3	45(1)	90(-1)	5(0)	74.4	12	35(-1)	150(1)	5(0)	77.7
4	40(0)	120(0)	5(0)	81.4	13	40(0)	120(0)	5(0)	85.5
5	40(0)	120(0)	5(0)	82.6	14	40(0)	90(-1)	4(-1)	69.4
6	35(-1)	120(0)	6(1)	71.8	15	40(0)	150(1)	6(1)	84.6
7	40(0)	90(-1)	6(1)	70.3	16	45(1)	150(1)	5(0)	86.6
8	45(1)	120(0)	4(-1)	77.0	17	45(1)	120(0)	6(1)	83.1
9	35(-1)	120(0)	4(-1)	70.8					

对回归模型方程进行方差分析,结果如表3所示。从表3可以看出,模型的 P 值为0.0004,差异显著,而失拟项 P 值为0.5790,差异不显著,模型确定系数 $R^2=0.9721$,模型调整确定系数 $R^2_{adj}=0.9124$,说明该模型拟合度较高、试验误差较小,表明该模型能够准确地反映响应值的变化。 P 值的

大小可判定因素的显著性,而 F 值的大小可以判定因素的影响程度,由表3回归模型方差分析可知, A 、 B 、 C 、 B^2 、 C^2 为极显著因素, BC 为显著因素, AB 、 AC 、 A^2 为不显著因素,影响程度主次顺序为 $B>A>C^2>C>B^2>BC$ 。

表3 回归模型方差分析

Table 3 The variance analysis of regression model

来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	561.92	9	62.44	19.51	0.0004**
A	117.81	1	117.81	36.82	0.0005**
B	170.20	1	170.20	53.19	0.0002**
C	52.02	1	52.02	16.26	0.0050**
AB	5.29	1	5.29	1.65	0.2394
AC	6.50	1	6.50	2.03	0.1970
BC	33.06	1	33.06	10.33	0.0148*
A^2	13.72	1	13.72	4.29	0.0772
B^2	47.39	1	47.39	14.81	0.0063**
C^2	100.27	1	100.27	31.34	0.0008**
残差	22.40	7	3.20		
失拟项	8.03	3	2.68	0.74	0.5790
误差	14.37	4	3.59		
总和	584.32	16			
$R^2=0.9721$	$R^2_{adj}=0.9124$				

注:*. $P<0.05$,显著差异;**. $P<0.01$,极显著差异。

利用 Design-Expert V 8.0.6.1 软件对试验结果作等高线和响应面图,固定一个因素为中间值,考察其它两个因素对感官综合评分的交互影响。

图5为其中任意两个因素交互作用对感官综合评分影响的等高线和响应面图,由图5可以看出,因素 B 和 C 对感官综合评分的交互作用显著,而因

素 A 和 B、因素 A 和 C 对感官综合评分的交互作用不显著,这与回归模型方差分析的结果相一致,

并且感官综合评分最优值落在在试验考察的区域范围之内。

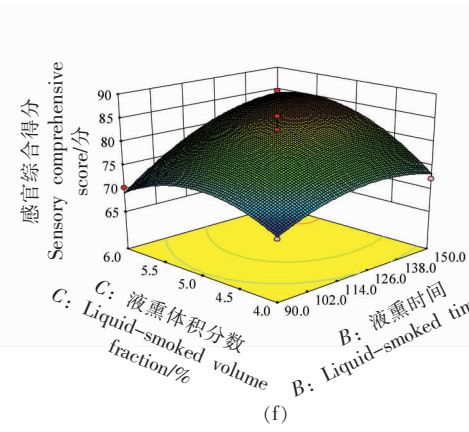
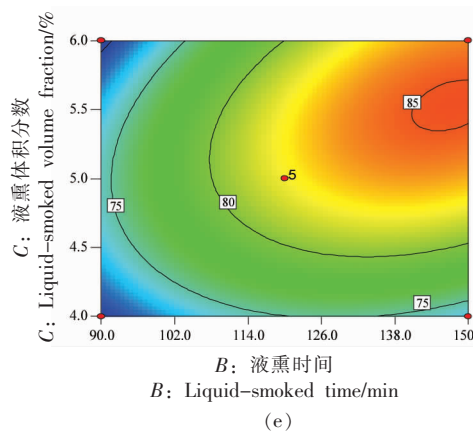
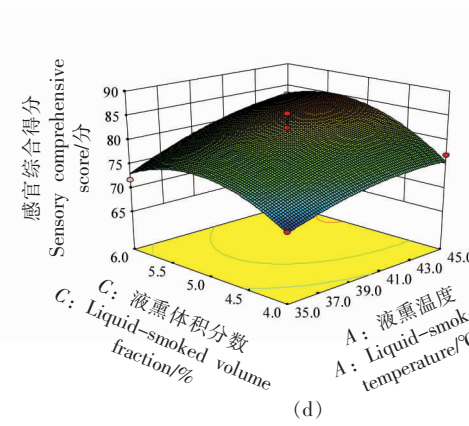
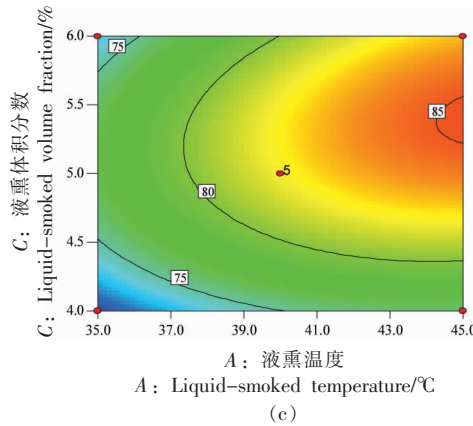
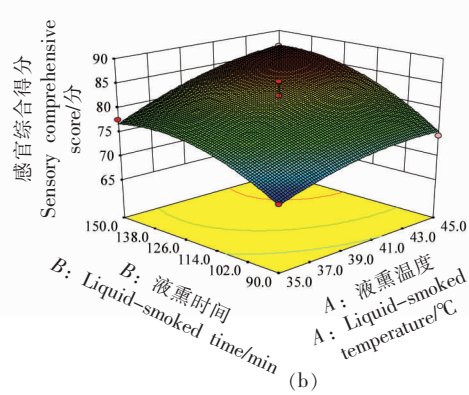
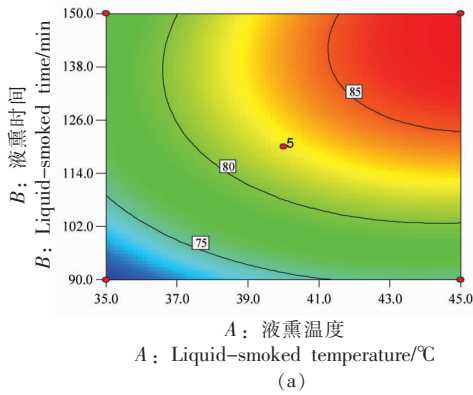


图 5 任意 2 个因素交互作用对感官综合评分影响的等高线和响应面图

Fig.5 The contour plots and response surface chart of the interactive effects of any two factors on sensory comprehensive score

2.1.2.2 最佳工艺参数的确定及验证 通过 Design-Expert V 8.0.6.1 软件对液熏最佳工艺参数提出求解方程,并考虑实际可操作性,确定最佳工艺参数条件为:液熏温度 45 °C,液熏时间 150 min,烟熏液体积分数 5.7%。在最佳工艺参数下进

行验证试验,感官综合评分的预测值和实测值分别为 89.1 分和 87.4 分,预测误差为 1.91%,预测值和实际值基本吻合,表明该预测模型具有一定的准确性和实用性。在此最佳工艺参数条件下,制备的液熏高水分挤压组织化植物蛋白有光泽的烟

熏色、组织紧密、富有弹性、且烟熏味浓郁。

2.2 产品品质分析

2.2.1 主要营养成分 为了考察液熏前、后高水分挤压组织化植物蛋白主要营养成分的变化情况,分别测定了水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分等营养指标,结果如表4所示,由表4可知,较之于液熏前,液熏后的高水分挤压组织化植物蛋白的主要营养成分相差细微,水分稍有减少,这可能是由于烟熏液部分改变了蛋白质分子间的作用力,使

得其锁水能力变弱,进而导致产品水分含量降低;粗蛋白和粗脂肪含量有些许上升,这可能是由于液熏后的高水分挤压组织化植物蛋白中含水率降低而变相导致粗蛋白和粗脂肪的浓缩;灰分含量稍有升高,这可能是由于液熏过程中调味液中的无机盐和矿物质渗透到高水分挤压组织化植物蛋白中所致。综上,液熏工艺对高水分挤压组织化植物蛋白主要营养成分的影响不明显。

表4 主要营养成分测定结果

Table 4 The determination results of main nutritional components

类别	水分含量/%	粗蛋白含量/%	粗脂肪含量/%	灰分含量/%
液熏前	63.80 ± 2.08	32.57 ± 0.88	0.82 ± 0.02	1.98 ± 0.08
液熏后	61.26 ± 1.74	33.83 ± 1.05	0.88 ± 0.03	2.24 ± 0.07

2.2.2 理化性质 为了考察液熏前、后高水分挤压组织化植物蛋白理化性质的变化情况,分别测定了色差、有效酸度、质构和挥发性风味物质等理化指标,结果如表5、表6和表7所示。

由表5 色差和有效酸度的测定结果可知,较之于液熏前,液熏后的高水分挤压组织化植物蛋白色差的 L^* 值下降, a^* 值和 b^* 值均增加,这表示

白度下降、红度和黄度增加,这可能是由于烟熏液中的酚类和醛类物质与部分蛋白质反生反应在产品表面形成光泽的茶褐色薄膜,并且煮制调味过程中还可能伴有少量的美拉德反应的发生,最终使得产品呈现出具有光泽的烟熏色;有效酸度却略有下降,这可能是由于烟熏液中的酚类物质和酸类物质降低了产品的 pH 值。

表5 色差值和有效酸度测定结果

Table 5 The determination results of color difference and valid acidity

类别	色差值			有效酸度
	L^*	a^*	b^*	
液熏前	63.88 ± 2.08	4.96 ± 0.12	19.98 ± 0.79	7.96 ± 0.03
液熏后	47.03 ± 0.87	8.61 ± 0.21	21.66 ± 0.74	6.85 ± 0.02

由表6 质构测定结果可知,较之于液熏前,液熏后的高水分挤压组织化植物蛋白质构的硬度、胶黏性和咀嚼性有所降低,而弹性略有增加,这可能是由于液熏工艺中的煮制调味过程使得水分损失和蛋白质热变性,进而改变了产品的质构。未液

熏的高水分挤压组织化植物蛋白的硬度、胶黏性和咀嚼性相对较大,从适口性角度考虑,硬度、胶黏性和咀嚼性适度降低,弹性适度增加更易被消费者接受。

表6 质构指标测定结果

Table 6 The determination results of texture index

类别	质构特征值			
	硬度/N	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
液熏前	18 459.71 ± 599.92	0.86 ± 0.03	14 402.10 ± 528.78	12 443.88 ± 323.11
液熏后	16 267.38 ± 356.24	0.94 ± 0.04	12 411.47 ± 343.80	11 618.22 ± 289.36

由表7 挥发性风味物质检测结果可知,较之于液熏前,液熏后的高水分挤压组织化植物蛋白

的挥发性风味物质的种类和相对含量都有一定程度的变化。液熏前,检出醛类物质1种(相对含量

1.707%),醇类物质1种(相对含量3.266%),醚类物质1种(相对含量2.642%),酸类物质1种(相对含量32.447%),呋喃类物质1种(相对含量2.971%)和烷烃类物质3种(相对含量8.481%);液熏后,检出酚类物质5种(相对含量17.668%),醛类物质4种(相对含量8.582%),醇类物质2种(相对含量0.821%),醚类物质1种(相对含量

8.262%),酮类物质2种(相对含量1.034%),酸类物质2种(相对含量14.795%),酯类物质1种(相对含量0.448%),呋喃类物质2种(相对含量1.137%),烷烃类物质2种(相对含量0.344%),萜烯类物质3种(相对含量0.991%),吡嗪类物质6种(相对含量2.224%)和其它物质1种(相对含量0.542%)。

表7 挥发性风味物质分析结果

Table 7 The analysis results of volatile flavor compounds

类别	化学物	相对含量/%		风味
		液熏前	液熏后	
酚类	2-甲氧基-4-甲基苯酚	-	6.350	辛香
	3-甲酚	-	1.475	-
	2-甲氧基-3-烯丙基苯酚	-	3.548	丁香
	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	-	2.376	丁香、辛香、烟熏味
	2,6-二甲氧基苯酚	-	3.919	木香、烟熏味
醛类	己醛	1.707	0.139	青草香、果香
	糠醛	-	5.576	烘烤香、蒜香
	苯甲醛	-	0.600	杏仁味
	5-甲基呋喃醛	-	2.267	焦香
醇类	3,6,9,12-四氧十四烷-1-醇	3.266	-	-
	乙醇	-	0.269	醇香
	糠醇	-	0.552	焦糖香
醚类	18-冠醚-6	2.642	-	-
	茴香脑	-	8.262	茴香味
酮类	甲基环戊烯醇酮	-	0.248	焦糖香、烟熏味
	3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮	-	0.786	-
酸类	乙酸	-	0.543	醋酸味
	棕榈酸	32.447	14.252	酸奶香
酯类	苯甲酸甲酯	-	0.448	蜂蜜香、花香
呋喃类	2-正戊基呋喃	2.971	0.513	豆香、青草香
	2-乙酰基呋喃	-	0.624	焦糖香
烷烃类	六甲基环三硅氧烷	5.306	-	杏仁味
	八甲基环四硅氧烷	2.111	0.104	-
	十甲基环五硅氧烷	1.064	-	-
	十八烷	-	0.240	-
萜烯类	α -柏木烯	-	0.159	-
	δ -杜松烯	-	0.227	-
	α -姜黄烯	-	0.605	-
吡嗪类	2,5-二甲基-3-(3-甲基丁基)吡嗪	-	0.249	-
	2-甲基吡嗪	-	0.204	坚果香、玉米香
	2,5-二甲基吡嗪	-	0.811	烘烤坚果香
	2-乙基-5-甲基吡嗪	-	0.467	坚果香
	2,3,5-三甲基吡嗪	-	0.316	焦香
	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	-	0.177	-
其它	甲氧基苯基胂	-	0.542	-

在所鉴定的化合物中,酚类化合物、酮类化合物、酯类化合物、萜烯类化合物、吡嗪类化合物以及其它物质(甲氧基苯基胍)都为液熏后新检出物质,酚类化合物是重要的特色性烟熏风味物质来源,同时还具有抗菌活性以及抗氧化性^[37],检出酚类化合物相对含量为17.668%,在所检出的酚类化合物中,4-乙炔基-2-甲氧基苯酚和2,6-二甲氧基苯酚为明确的呈烟熏味物质;酮类化合物多数被认为对产品的色泽起到关键作用,而对风味主要起辅助作用^[16],在所检出的酮类化合物中,甲基环戊烯醇酮具有焦糖香^[38];酯类化合物一般都具有水果香气,在所检出的酯类化合物中,苯甲酸甲酯具有蜂蜜香和花香^[39];萜烯类化合物为植物挥发性物质的主要成分^[40],所检出的萜烯类化合物可能来自于煮制调味过程中添加的植物香辛料;吡嗪类化合物是许多香味的中间体,具有典型的坚果烤香和焦香,在所检出的吡嗪类化合物中,2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2-乙基-5-甲基吡嗪和2,3,5-三甲基吡嗪具有明确的吡嗪类化合物香味特征^[19]。醛类化合物、醇类化合物、醚类化合物、酸类化合物、呋喃类化合物和烷烃类化合物在种类和相对含量上存在一定的变化,较之于液熏前,液熏后的醛类化合物增加3种,且相对含量有所增加,主要物质为糠醛,其可有效中和烟熏味中的刺激味^[25];醇类化合物种类发生变化,相对含量有所减少,新产生的乙醇和糠醇分别具有醇香和焦糖香味^[41];醚类化合物种类发生变化,相对含量有所增加,产生了具有茴香味的茴香脑,它可能

来自于煮制调味过程中添加的植物香辛料;酸类化合物增加了具有醋酸味的乙酸^[42],而棕榈酸含量明显减少,棕榈酸已被证明可以引起机体血脂和胆固醇的升高^[43];呋喃类化合物增加了具有焦糖香的2-乙酰基呋喃^[44],而具有豆香、青草香的2-正戊基呋喃相对含量有所减少^[45],这可能是由于组成高水分挤压组织化植物蛋白的原料主要为大豆分离蛋白,而液熏工艺减少了大豆分离蛋白自有的特殊味道;烷烃类化合物种类发生变化,相对含量有所减少,烷烃类化合物香味阈值较高,对直接风味的贡献度不高,但可有助提升产品的整体风味^[46]。根据以上结果可以看出,液熏工艺使得高水分挤压组织化植物蛋白产生特有的烟熏风味,并一定程度上改善了产品的品质。

2.2.3 安全指标 为了考察液熏前、后高水分挤压组织化植物蛋白安全指标的变化情况,分别测定了菌落总数、大肠菌群和苯并芘等安全指标,结果如表8所示。液熏前、后产品的菌落总数均较低,符合 $\leq 30\ 000$ CFU/g的国家标准,大肠菌群的方法检出限为 <3.0 ,液熏前、后产品的大肠菌群均未检出^[47],这可能是由于一方面烟熏液中的酚类、酸类和醛类等物质具有一定的杀菌作用,另一方面液熏工艺中的真空包装和高压蒸汽灭菌过程可有效的抑制细菌滋生和杀死细菌;苯并芘的方法检出限为 <0.2 ^[48],液熏前、后产品的苯并芘均未检出,这可能是由于烟熏液不存在苯并芘,液熏工艺也不会产生苯并芘。因而,液熏前后的高水分挤压组织化植物蛋白都具有较高的安全品质。

表8 微生物和苯并芘测定结果

Table 8 The determination results of microbiology and benzopyrene

类别	微生物		苯并芘/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
	菌落总数/CFU $\cdot\text{g}^{-1}$	大肠菌群/CFU $\cdot\text{g}^{-1}$	
国家标准	$\leq 30\ 000$	≤ 10	≤ 5.0
液熏前	2	未检出	未检出
液熏后	1	未检出	未检出

3 结论

本研究以感官综合评分为考察指标,采用单因素结合响应面法对高水分挤压组织化植物蛋白的液熏工艺进行优化,确定最佳工艺参数:液熏温度45℃,液熏时间150min,烟熏液体积分数

5.7%,在此条件下感官综合评分87.4分,与预测值89.1分相比,预测误差为1.91%,表明优化结果可靠,在此工艺条件下制备的液熏高水分挤压组织化植物蛋白有光泽的烟熏色、组织紧密、富有弹性、且烟熏味浓郁。通过考察液熏前、后高水分挤

压组织化植物蛋白主要营养成分、理化性质和安全指标的变化情况,对产品品质进行分析,结果表明,较之于液熏前,液熏后的高水分挤压组织化植物蛋白主要营养成分无明显变化;理化性质发生了一定程度的变化,色差的 L^* 值下降, a^* 值和 b^* 值均增加,使其呈现出具有光泽的烟熏色,有效酸度略有下降,使其更有利于贮藏,质构的硬度、胶黏性和咀嚼性有所降低,而弹性略有增加,使其适口性增强,挥发性风味物质增加酚类化合物、酮类化合物、酯类化合物、萜烯类化合物和吡嗪类化合物等,其中,酚类化合物相对含量为 17.668%,而醛类化合物、醇类化合物、醚类化合物、酸类化合物、呋喃类化合物和烷烃类化合物在种类和相对含量上存在一定的变化,使其产生特有的烟熏的特有风味,并一定程度上改善了产品品质;液熏前、后的安全指标无明显变化,菌落总数均较低,大肠菌群和苯并芘均为检出,产品具有较高的安全品质。目前,高水分挤压组织化植物蛋白是国内外研究热点,本研究可为高水分挤压组织化植物蛋白的开发利用以及市场推广提供一定的数据支撑。

参 考 文 献

- [1] ANDERSON C A M, RYAN B. The potential of novel plant protein foods to improve dietary patterns and markers of cardiovascular health[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2020, 112(5): 1151-1152.
- [2] ISMAIL B P, SENARATNE-LENAGALA L, STUBE A, et al. Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production[J]. *Animal Frontiers*, 2020, 10(4): 53-63.
- [3] GORISSEN S H M, CROMBAG J J R, SENDEN J M G, et al. Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates[J]. *Amino Acids*, 2018, 50(12): 1685-1695.
- [4] HERTZLER S R, LIEBLEIN-BOFF J C, WEILER M, et al. Plant proteins: Assessing their nutritional quality and effects on health and physical function[J]. *Nutrients*, 2020, 12(12): 3704.
- [5] AHNEN R T, JONNALAGADDA S S, SLAVIN J L. Role of plant protein in nutrition, wellness, and health[J]. *Nutrition Reviews*, 2019, 77(11): 735-747.
- [6] 郭顺堂, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 我国植物蛋白资源高效利用途径与技术创新[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(6): 8-15.
GUO S T, XU T T, LIU X R, et al. Efficient utilization and technological innovation of plant-based protein resources in China[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(6): 8-15.
- [7] 欧雨嘉, 郑明静, 曾红亮, 等. 植物蛋白肉研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(12): 299-305.
OU Y J, ZHENG M J, ZENG H L, et al. Advance in plant-based meat research[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(12): 299-305.
- [8] 吴元浩, 徐婧婷, 刘欣然, 等. 植物基仿肉原料的应用与加工现状[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(17): 5955-5963.
WU Y H, XU J T, LIU X R, et al. Application and processing status of plant-based meat analogue ingredients[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(17): 5955-5963.
- [9] 曾艳, 郝学财, 董婷, 等. 植物蛋白肉的原料开发、加工工艺与质构营养特性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(3): 338-345, 350.
ZENG Y, HAO X C, DONG T, et al. Research progress on raw material development processing technology and nutritional properties of plant based meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(3): 338-345, 350.
- [10] 朱嵩, 刘丽, 张金闯, 等. 高水分挤压组织化植物蛋白品质调控及评价研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(19): 280-286.
ZHU S, LIU L, ZHANG J C, et al. Advances in quality control and evaluation of high moisture textured vegetable protein[J]. *Food Science*, 2018, 39(19): 280-286.
- [11] 张波, 张金闯, 张玮, 等. 原料理化特性对挤压组织化植物蛋白质量的影响[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(12): 155-163.
ZHANG B, ZHANG J C, ZHANG W, et al. The effect of raw physicochemical properties on the quality of extruded texturized vegetable protein[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(12): 155-163.

- [12] ESTELL M, HUGHES J, GRAFENAUER S. Plant protein and plant-based meat alternatives: Consumer and nutrition professional attitudes and perceptions[J]. Sustainability, 2021, 13(3): 1478.
- [13] MICHEL F, HARTMANN C, SIEGRIST M. Consumers' associations, perceptions and acceptance of meat and plant-based meat alternatives[J]. Food Quality and Preference, 2021, 87: 104063.
- [14] 江连洲, 张鑫, 窦薇, 等. 植物基肉制品研究进展与未来挑战[J]. 中国食品学报, 2020, 20(8): 1-10. JIANG L Z, ZHANG X, DOU W, et al. Advance and challenges in plant-based meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(8): 1-10.
- [15] 顾赛麒, 彭玲玲, 丁玉庭, 等. 烟熏鲑鱼粉复合酶解过程中的品质变化[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 180-185. GU S Q, PENG L L, DING Y T, et al. Quality changes of smoked skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) processing byproduct during enzymatic hydrolysis[J]. Food Science, 2017, 38(5): 180-185.
- [16] 赵冰, 王静, 戚彪, 等. 烟熏工艺对清真牛肉香肠品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 23-29. ZHAO B, WANG J, QI B, et al. Effects of smoking methods on the quality of muslim beef sausages[J]. Food Science, 2014, 35(2): 23-29.
- [17] 赵冰, 任琳, 陈文华, 等. 烟熏工艺对熏肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 180-187. ZHAO B, REN L, CHEN W H, et al. Effects of different smoking methods on volatile flavor compounds in bacon[J]. Food Science, 2013, 34(6): 180-187.
- [18] NITHIN C T, JOSHY C G, CHATTERJEE N S, et al. Liquid smoking as a method for addressing polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in traditional masmin[J]. India J Fish, 2018, 65(3): 84-94.
- [19] 宋丽, 陈星星, 谷凤林, 等. GC-MS与电子感官结合对烟熏液风味物质的分析[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 193-201. SONG L, CHEN X X, GU F L, et al. Flavor components of liquid smoke analyzed by GC-MS combined with electronic sensory systems[J]. Food Science, 2020, 41(16): 193-201.
- [20] 郭园园, 娄爱华, 沈清武. 烟熏液在食品加工中的应用现状与研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 339-344, 351. GUO Y Y, LOU A H, SHEN Q W, et al. Application status and research progress of smoke liquid in food processing[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(17): 339-344, 351.
- [21] 赵冰, 李素, 王守伟, 等. 苹果木烟熏液的品质特性[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 108-114. ZHAO B, LI S, WANG S W, et al. Quality characteristics of liquid smoke flavoring obtained from apple wood[J]. Food Science, 2016, 37(8): 108-114.
- [22] ARAUJO I B, RAUL L J, MACIEL M I S, et al. Effect of traditional and liquid smoke on the quality of sea catfish sausages (*Sciades herzbergii*, Bloch, 1794)[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2020, 29(6): 553-566.
- [23] NITHIN C T, JOSHY C G, CHATTERJEE N S, et al. Liquid smoking - A safe and convenient alternative for traditional fish smoked products[J]. Food Control, 2020, 113: 107186.
- [24] 姚嘉莉, 石文娟, 杨万根. 液熏技术对腊肉理化和感官品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(17): 220-225. YAO J L, SHI W J, YANG W G. Effects of liquid smoke technology on physicochemical and sensory quality of bacon[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(17): 220-225.
- [25] 桂萌, 林佳, 马长伟, 等. 液熏鲟鱼片生产工艺优化与品质影响分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(6): 235-241. GUI M, LIN J, MA C W, et al. Optimization of liquid smoking processing and its effect on quality of sturgeon fillets[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(6): 235-241.
- [26] RUIZ-ALONSO S A, GIRÓN-HERNÁNDEZ L J, LÓPEZ-VARGAS J H, et al. Optimizing salting and smoking conditions for the production and preservation of smoked-flavoured tilapia fillets[J]. LWT, 2021, 138: 110733.
- [27] 包宇婷, 王维民, 谌素华, 等. 响应面法优化液熏罗非鱼的加工工艺[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 275-281. BAO Y T, WANG W M, SHEN S H, et al. Optimization of smoked processing of tilapia through response surface method[J]. Science and Technology of

- Food Industry, 2015, 36(14): 275-281.
- [28] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission. National food safety standard, determination of moisture in food: GB 5009.3-2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [29] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission. National Food Safety Standard, determination of protein in food: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [30] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission. National food safety standard, determination of fat in food: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [31] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission. National food safety standard, determination of ash in food: GB 5009.4-2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [32] 林佳, 桂萌, 王顺, 等. 鲟鱼片烟熏工艺优化及风味物质分析[J]. 肉类研究, 2016, 30(10): 1-6.
- LIN J, GUI M, WANG S, et al. Optimization of processing conditions for production of smoked sturgeon fillets and its flavor compounds[J]. Meat Research, 2016, 30(10): 1-6.
- [33] 杜洪振, 张品, 田兴垒, 等. 烟熏时间对培根杂环胺含量及产品品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 16-23.
- DU H Z, ZHANG P, TIAN X L, et al. Effect of smoking time on heterocyclic aromatic amine content and quality of bacon[J]. Food Science, 2020, 41(1): 16-23.
- [34] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定标准: GB 4789.2-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National food safety standard, food microbiological inspection, standard for determination of total bacterial count: GB 4789.2-2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [35] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数: GB 4789.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National food safety standard, food microbiological inspection, coliform count: GB 4789.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [36] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中苯并(a)芘的测定: GB 5009.27-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National food safety standard, determination of benzopyrene in food: GB 5009.27-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [37] WANG H, CHAMBERS E, KAN J. Sensory characteristics of combinations of phenolic compounds potentially associated with smoked aroma in foods[J]. Molecules, 2018, 23(8): 1867.
- [38] 钟映茹, 陈新欣, 周辉, 等. 烟熏材料对湘西腊肉品质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(5): 241-252.
- ZHONG Y R, CHEN X X, ZHOU H, et al. Effect of smoking materials on quality of Xiangxi bacon[J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(5): 241-252.
- [39] 敖常伟, 吕姗, 吴香菊, 等. 枣花及枣花蜜香气成分分析[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 182-189.
- AO C W, LÜ S, WU X J, et al. Analysis of aroma components from jujube flowers and honey [J]. Food Science, 2018, 39(20): 182-189.
- [40] 刘登勇, 吴金城, 王继业, 等. 沟帮子熏鸡主体风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 237-242.
- LIU D Y, WU J C, WANG J Y, et al. Analysis of key odor compounds of Goubangzi smoked chicken[J]. Science and Technology of Food Industry,

- 2018, 39(7): 237-242.
- [41] 姚文生, 蔡莹暄, 刘登勇, 等. 不同材料熏制鸡腿肉挥发性物质 GC-IMS 指纹图谱分析[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(6): 37-45.
- YAO W S, CAI Y X, LIU D Y, et al. Volatile compounds analysis in chicken thigh smoked with different materials by GC-IMS fingerprint[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(6): 37-45.
- [42] 寻崇荣, 薛洪飞, 刘宝华, 等. 高湿挤压技术制备持香型仿肉制品工艺[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 292-298.
- XUN C R, XUE H F, LIU B H, et al. Processing of flavored meat analogues by high-moisture extrusion[J]. *Food Science*, 2019, 40(4): 292-298.
- [43] 叶展. 典型膳食油脂胃肠道消化吸收特性及其对肠道健康的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- YE Z. Studies on characteristics of typical dietary oil gastrointestinal digestion and absorption, and their influences on gut health[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [44] 王道. 糖熏鸡腿关键风味物质及其形成机理初探[D]. 锦州: 渤海大学, 2019.
- WANG X. Preliminary study on key aroma compounds in sugar-smoked chicken thighs and its formation mechanism [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019.
- [45] 蒋晨毓. Maillard 反应对上海熏鱼风味的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- JIANG C Y. Effect of Maillard reaction on the flavor of Shanghai style bloated[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [46] 刘登勇, 赵志南, 吴金城, 等. 基于 SPME-GC-MS 分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 220-227.
- LIU D Y, ZHAO Z N, WU J C, et al. Effects of different smoking materials on volatile flavor compounds in smoked chicken thighs[J]. *Food Science*, 2019, 40(24): 220-227.
- [47] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品加工用植物蛋白: GB 20371-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National food safety standard, plant protein for food processing: GB 20371-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [48] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. National food safety standard, limit of pollutants in food: GB 2762-2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

Processing Technology Optimization of Liquid-smoked High Moisture Extrusion Textured Plant Protein

Li Jialei¹, Guan Lijun¹, Gao Yang¹, Yan Song¹, Wang Kunlun¹, Wang Chunli²,
Li Xiaojuan³, Lu Shuwen^{1*}, Li Bo¹, Zhou Ye¹

¹Food Processing Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086

²Harbin Examine and Inspection Center for Agricultural Products Safety and Quality, Harbin 150070

³Biotechnology Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028)

Abstract It was to develop liquid-smoked products with high moisture extrusion textured plant protein as the raw material. On the basis of a single factor, the response surface method was utilized to optimize the liquid-smoked process as using sensory comprehensive score as the indicator. The optimal conditions were concluded as follows: liquid-smoked temperature 45 °C, liquid-smoked time 150 min, and volume fraction of liquid-smoked 5.7%. The actual sensory comprehensive score was 87.4 under the optimal conditions. The prepared liquid-smoked high moisture extrusion textured plant protein had the characteristics of smoky color with luster, tightly organized, rich in elasticity and strong smoky flavor. The product quality was analyzed by investigating the changes of the main nutrients, physical and chemical properties

and safety indexes of high moisture extrusion textured plant protein before and after liquid-smoked. The result showed that there was no significant change in the main nutritional components. But the physical and chemical properties changed to a certain extent. The L^* value of color difference decreased, a^* and b^* value increased, which was showing smoky color with luster. There was a slight decrease in effective acidity. The hardness, stickiness and chewiness of texture were decreased, but the elasticity increased slightly. The volatile flavor compounds increased the six compounds including phenolic compounds which were 17.668%, and other compounds had certain changes in the type and relative content. All these could improve the quality of products. There was no significant change in safety indicators. The total number of colonies was both low, and the coliforms and benzopyrene were not detected. Therefore, the prepared liquid-smoked high moisture extrusion textured plant protein has superior quality. This study can provide reliable data support for the development, utilization and market promotion of high moisture extrusion textured plant protein.

Keywords high moisture; extrusion textured protein; plant; liquid-smoked; processing technology; quality analysis