

江蓠的脱腥和漂烫工艺优化

徐敏凤¹,钟赛意^{1,2,3*},吴文龙¹,陈建平¹,李瑞¹,刘晓菲¹,宋兵兵¹,贾学静¹

(1.广东海洋大学食品科技学院,广东省水产品加工与安全重点实验室,广东省海洋生物制品工程实验室,
广东省海洋食品工程技术研究中心,广东湛江 524000;2.广东海洋大学深圳学院,广东深圳 518000;
3.海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心,大连工业大学,辽宁大连 116000)

摘要:针对江蓠加工过程中藻腥味大、采收后易腐败变质等对即食江蓠产品口感、风味影响较大的问题,本研究对即食腌渍江蓠的脱腥及漂烫条件进行探索和优化,使即食江蓠品质和风味得到提升和改善。以江蓠(*Gracilaria*)为主要原料,首先采用柠檬酸脱腥,通过感官模糊评价分析,并结合响应面优化试验筛选出最优的脱腥条件;最后以感官评价和质构检测为指标优化漂烫条件。结果表明,江蓠最佳脱腥条件为柠檬酸浓度2%,脱腥时间30 min,脱腥温度31℃;漂烫条件为80℃漂烫6 s,料液比1:40 g/mL。本研究对腌渍江蓠采用的预处理工艺条件相对简单且成本低廉,利用该工艺预处理的即食腌渍江蓠藻腥味淡、漂烫后质地脆嫩可口。

关键词:江蓠;即食食品;腌渍;感官评价;工艺优化

中图分类号:TS254.58

文献标识码:A

文章编号:1674-506X(2023)04-0020-0008

Optimization of Deodorization and Blanching Process of *Gracilaria*

XU Minfeng¹, ZHONG Saiyi^{1,2,3*}, WU Wenlong¹, CHEN Jianping¹, LI Rui¹, LIU Xiaofei¹,
SONG Bingbing¹, JIA Xuejing¹

(1.Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Products Processing and Safety,

Guangdong Province Engineering Laboratory for Marine Biological Products,

Guangdong Province Engineering Technology Research Center of Seafood,

College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong 524000, China;

2.Shenzhen Research Institute, Guangdong Ocean University, Shenzhen Guangdong 518000, China;

3.Collaborative Innovation Center for Key Technologies of Marine Food Intensive and Deep Processing,
Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning 116000, China)

Abstract: This paper aims to analyze the problems such as strong smell of algae in *Gracilaria* processing and easy spoilage after harvest on the taste and flavor of ready-to-eat *Gracilaria* products, this study explored and optimized the deodorization and blanching conditions of instant cured *Gracilaria*, so as to improve the quality and flavor of instant cured *Gracilaria*. Using *Gracilaria* as the main raw material, citric acid was used for deodorization. The optimal deodorization conditions were selected by sensory fuzzy evaluation and response surface optimization test. Finally, sensory evaluation and texture detection were used to optimize blanching conditions. The optimal deodorization conditions for *Gracilaria* are 2% citric acid concentration, 30 min deodorization time and 31℃ deodorization temperature; Blanching condition is 80℃, blanching for 6 s, solid-liquid ratio 1:40 g/mL. The pretreatment process for *Gracilaria* cured by this process is relatively simple and low-

收稿日期:2022-11-30

基金项目:国家重点研发计划(2020YFD0901101);广东省重点领域研发计划(2020B1111030004);广东省高等学校科技创新团队项目(2021KCXTD021)

作者简介:徐敏凤(1994-),女,硕士研究生。研究方向:海产品加工。

*通信作者:钟赛意(1979-),男,博士,教授。研究方向:食品功能因子开发与功效评价。

cost. The instant cured *Gracilaria* cured by this process has light smell, crisp texture and delicious after blanching.

Keywords: *Gracilaria*; instant food; pickling; sensory evaluation; process optimization

doi: 10.3969/j.issn.1674-506X.2023.04-004

江蓠(*Gracilaria*), 隶属红藻门(Rhodophyta)红藻纲(Rhodophyceae)、杉藻目(Gigartinales)、江蓠科(Gracilariaceae)江蓠属(*Gracilaria*)^[1], 别名“龙须菜”“海菜”“蚝菜”等, 是浙江、福建、广东等沿海地区常见的大型经济红藻^[2]。江蓠富含蛋白质、膳食纤维、微量元素、矿物质等人体所必需的营养物质, 可作为一种理想的绿色食物^[3]; 同时, 其所含的藻胆蛋白、多糖等活性物质有增强免疫力和抗肿瘤等功效^[4-5], 江蓠具有较高的食用和药用价值。但因其藻腥味大, 目前大部分江蓠主要用于水质改善、渔业养殖、琼脂提取等^[6-8], 其即食类产品的开发利用因受其藻腥味大、不易贮藏等因素的制约, 故江蓠类即食产品未能得到充分的开发^[9]。

研究表明, 江蓠的腥味主要是一些低分子的含氮化合物、萜烯类化合物以及低分子游离有机酸, 如肉豆蔻酸、亚油酸、棕榈酸、富马酸等^[10]。这些腥味成分不仅是影响江蓠食用的重要因素, 还是影响其产品加工的关键因素。因此, 脱腥就成为海藻加工过程中非常重要的一个环节。藻类脱腥, 大多采用酸碱法。如杨文鸽等^[11]通过优化发现采用10% NaOH溶液对龙须菜处理8 h后基本无腥味; 林国荣等^[12]将海带经0.2%盐酸和1.0%柠檬酸混合溶液在40℃下脱腥30 min后无腥味; 江洁等^[13]制备了体积分数为1%醋酸、5%柠檬酸、2% NaOH和10%乙醇的脱腥液, 分别将大小不同的海带放入脱腥液中浸泡研究脱腥效果, 结果表明海带经体积分数为1%醋酸溶液脱腥20 min, 所得产品无腥臭味。同时, 海藻因受其生长环境的影响, 极易富集海水中的砷, 且摄入过量砷对人体有严重的危害, 所以在开发藻类产品时, 对于脱腥剂的选择, 既要考虑较好的脱腥效果, 同时还应兼顾一定程度的脱砷功能^[14]。张井等^[15]研究表明: 羊栖菜经1.5%柠檬酸溶液浸泡3 h, 无机砷脱除率高达83.3%, 既实现了不改变羊栖菜原有风味和色泽, 又保留了羊栖菜原有的营养成分; 张金玲^[14]通过几种不同方法对比, 得出脱除无机砷效果最佳的方法为柠檬酸脱砷法, 在柠檬酸浓度为0.6%, 浸泡温度50℃, 处理时间120 min, 可使无机砷含量从19.53 mg/kg降低至2.04 mg/kg, 脱砷

率达89.6%。由此可见, 柠檬酸作为脱腥剂的同时还具备了较好的除砷功能, 适合江蓠等海藻产品在生产加工过程中的同步处理。

此外, 漂烫也是藻类产品生产加工过程中的关键工序, 其主要目的是破坏和抑制蔬菜中的酶活性, 防止蔬菜在贮藏过程中变色、变味以及营养成分的损失, 从而提高产品的保质期^[16]。因江蓠富含琼胶且不耐热, 漂烫过程中, 高温长时间漂烫虽能使酶完全失活, 但会导致组织变软、琼胶溶出及营养成分的过度流失, 失去商品价值。因此, 掌握适当的漂烫温度和漂烫时间是保证产品品质的关键之一, 也是厂家节约时间、节省能耗从而降低成本的关键之一^[17]。

本试验以经济型海藻江蓠为研究对象, 首先采用具有脱腥及除砷双重作用的柠檬酸对其进行响应面脱腥工艺优化, 通过模糊感官评判筛选出脱腥效果最好的工艺条件; 经护色、保脆后, 以质构和感官评价为指标, 研究不同漂烫条件下江蓠品质的变化情况, 既为更好地开发利用江蓠这一优质海藻资源提供一定的理论依据和实践支撑, 又为开拓江蓠加工市场、提高江蓠经济效益提供新途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

江蓠, 异枝江蓠(*Gracilariop. bailinae*)采自广东湛江南海岛, 藻体肥厚多汁、易折断, 经简单清洗后于-20℃冰箱贮藏。

无水柠檬酸(食品级), 潍坊英轩实业有限公司; 氯化锌、氯化钙(均为食品级), 深圳乐福科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

AUW120型电子分析天平, 日本岛津公司; HL-6数显恒温水浴锅, 常州奥华仪器有限公司; TMS-PRO质构仪, 美国FTC公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

江蓠→清洗除杂→脱腥→护色→保脆→漂烫→综合评定

1.3.2 清洗除杂

江蓠充分清洗,去除夹杂在江蓠中的泥沙、碎壳、石子等杂质,洗干净后沥水2 min,待用。

1.3.3 脱腥

按1:3的料液比将江蓠置于一定浓度的柠檬酸溶液中恒温浸泡一段时间后捞出,清水洗至中性。

1.3.4 脱腥单因素试验

试验前预设定柠檬酸浓度为3%,脱腥时间30 min,脱腥温度25℃(室温),江蓠质量固定50 g,在此基础上以腥味值感官评分为评定指标,考察柠檬酸浓度(1%、2%、3%、4%、5%)、脱腥时间(20、30、40、50、60 min)和脱腥温度(25、35、45、55、60℃)对江蓠脱腥效果的影响。

1.3.5 脱腥响应面优化试验

在单因素的基础上,以柠檬酸浓度(A)、脱腥时间(B)、脱腥温度(C)为考察因素,感官评分(Y)为响应值,采用Box-Behnken中心原理进行响应面优化,因素水平设计见表1。

表1 Box-Behnken因素编码水平表

Tab.1 Box-Behnken factor coding level table

水平	因素		
	A 柠檬酸浓度/%	B 脱腥时间/min	C 脱腥温度/℃
-1	1	20	25
0	2	30	35
1	3	40	45

1.3.6 护色

参照夏国斌等^[18]条件,采用0.5% ZnCl₂溶液浸泡10 min对江蓠进行护色处理,结束后清洗2~3次。

1.3.7 保脆

氯化钙保脆是通过与果胶形成钙桥来强化细胞的骨架结构或细胞壁的纤维结构^[19],本试验参考杨文鸽等^[11]方法,采用0.5% CaCl₂溶液浸泡10 min,清洗2~3次。

1.3.8 漂烫条件优化

参考刘扬^[16]对养心菜漂烫条件的研究并根据原料实际特点做出修改,对江蓠的漂烫温度及时间进行探索。在预试验的基础上,固定称取50 g江蓠,料液比1:40 g/mL,分别在75、80、85℃热水中漂烫,时间分别为2、4、6、8、10 s,置于蒸馏水中冷却至室温,测定江蓠的硬度、弹性及咀嚼性,并结合感官评价对江蓠的口感、色泽和质地进行综合评定。

1.4 指标测定

1.4.1 感官评定方法

采用模糊感官评定法,参照SB/T 10439—2007《酱腌菜》、NY/T 1709—2021《绿色食品 藻类及其制品》中的感官要求和相关文献^[9-10,18,20]制定脱腥及漂烫阶段工艺的评价指标及评分标准。评定小组由男女各5人组成。评定前先用参照样对评定员进行感官培训,直到熟悉各项指标。评分采用10分制,根据每人对江蓠各项指标接受程度的不同对样品进行评分,结果取10人平均分。各阶段感官评分标准见表2、表3。

表2 腥味值感官评分标准

Tab.2 Sensory score standard of odor value

评定指标	腥味程度	评分值/分
腥味	无明显藻腥味,无杂味	0~2
	略有藻腥味,无明显杂味	3~5
	藻腥味一般,无明显杂味	6~8
	藻腥味重,夹杂不良气味	9~10

表3 漂烫江蓠感官评分标准

Tab.3 Sensory evaluation criteria of blanching *Gracilaria*

评定指标	感官特征	评分值/分
口感(40%)	口感软嫩,有嚼劲	8~10
	软嫩度略有欠缺,嚼劲较差	5~7
	无软嫩度,无嚼劲	1~4
色泽(30%)	红褐色,有光泽	8~10
	颜色稍淡,略有光泽	5~7
	暗褐色,无光泽	1~4
质地(30%)	软硬适中,无杂质	8~10
	较软,无杂质	5~7
	软烂无硬度,有杂质	1~4
综合评分 = 口感×40% + 色泽×30% + 质地×30%		

1.4.2 质构指标

参照文献^[21]略有改动,对各个条件下漂烫的江蓠进行硬度、弹性、咀嚼性三个指标的测定。

TPA:探头:SMS P/0.5;测前速度:1.00 mm/s;测中速度:1.00 mm/s;测后速度:1.00 mm/s;2次下压时间间隔:5.00 s;压缩率:90%,触发力0.5 N。每组样品平行测定3次。

1.4.3 无机砷含量

参照 GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》方法测定。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 及 OriginPro 7.5 进行数据处理与绘图,使用 SPSS 26.0 对数据进行显著性分析 ($P < 0.05$),通过 Design-Expert 8.0.6 进行响应面设计,所有样品检测平行重复 3 次,数据结果以 $\bar{x} \pm s$ 的形式表示。

2 结果与分析

2.1 柠檬酸脱腥单因素试验结果

2.1.1 柠檬酸浓度对江蓠脱腥效果的影响

由图 1 可知,经柠檬酸脱腥的江蓠与未脱腥对比均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。当柠檬酸浓度为 2% 时,感官评分最低,此时脱腥效果最好;当柠檬酸浓度超过 3% 时,腥味脱除效果不显著 ($P > 0.05$),且随着柠檬酸浓度的增加,还会给江蓠增加酸味及苦涩味,对江蓠原有风味造成影响。综合考虑,选取 2% 的浓度进行响应面试验。

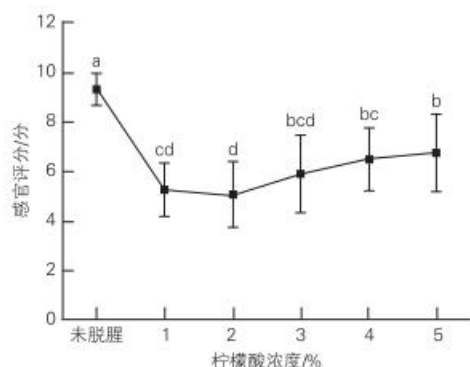


图1 柠檬酸浓度对江蓠脱腥效果的影响

Fig.1 Effect of citric acid concentration on deodorization of *Gracilaria*

2.1.2 柠檬酸脱腥时间对江蓠脱腥效果的影响

由图 2 可知,脱腥时间在 30 min 时感官评分最低,且与未脱腥之间存在显著性差异 ($P < 0.05$),说明此时间脱腥效果最好。随着脱腥时间的增加,柠檬酸对江蓠腥味的脱除效果逐渐减弱。此外,长时间的浸泡不仅会使江蓠藻体变软,还会造成江蓠原有色素的降解,影响最终产品的色泽和口感。故选取 30 min 进行响应面试验。

2.1.3 柠檬酸脱腥温度对江蓠脱腥效果的影响

由图 3 可知,随着温度的逐渐升高,柠檬酸对江

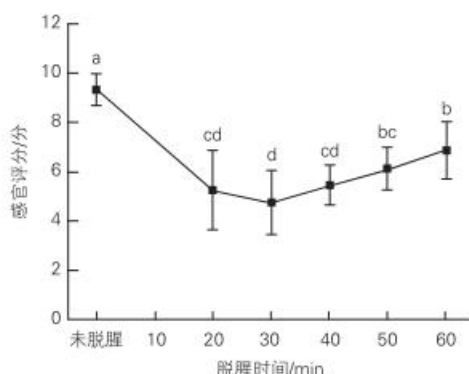


图2 脱腥时间对江蓠脱腥效果的影响

Fig.2 Effect of deodorization time on deodorization of *Gracilaria*

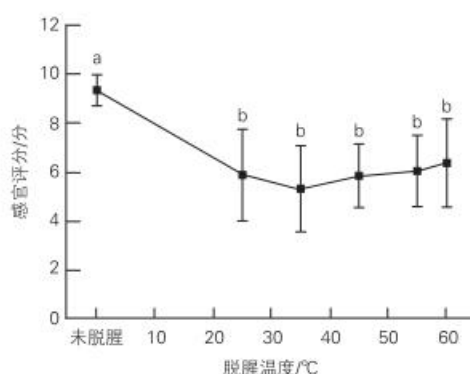


图3 柠檬酸脱腥温度对江蓠脱腥效果的影响

Fig.3 Effect of deodorization temperature on the deodorization effect of *Gracilaria*

蓠的脱腥效果不显著 ($P > 0.05$),但与未脱腥之间均有显著性差异 ($P < 0.05$)。当温度为 35 °C 时,感官评分最低,此时柠檬酸的脱腥效果最好,江蓠的弹性和爽脆度均较好,且软嫩度适中,色泽自然。当温度超过 35 °C 时,藻体的弹性和爽脆度遭到破坏,色泽变化较大,脱腥效果也逐渐减弱,影响了江蓠的品质。故选取 35 °C 进行响应面试验。

2.2 江蓠脱腥响应面优化分析

2.2.1 响应面优化设计与结果

根据单因素试验结果,采用 Design-Expert 设计,试验方案及结果见表 4。

2.2.2 回归方程及方差分析

对表 4 的数据进行多元回归拟合,得到二次回归方程:

$$Y = 4.93 - 0.325 0A - 0.206 3B + 0.256 3C + 0.187 5AB - 0.187 5AC + 0.000 5BC + 0.412 0A^2 + 0.449 5B^2 + 0.424 5C^2$$

回归模型的方差分析及显著性结果见表 5。

表4 Box-Behnken试验设计及结果
Tab.4 Box-Behnken test design and results

试验号	A	B	C	Y/分
1	0	0	0	4.90
2	0	-1	-1	5.80
3	0	1	1	5.80
4	-1	-1	0	6.50
5	0	1	-1	5.40
6	-1	0	-1	5.60
7	1	1	0	5.45
8	0	0	0	4.95
9	0	-1	1	6.20
10	-1	1	0	5.70
11	0	0	0	5.05
12	0	0	0	4.78
13	1	0	1	5.55
14	-1	0	1	6.60
15	1	-1	0	5.50
16	1	0	-1	5.30
17	0	0	0	4.95

由表5可知,该回归模型 $P<0.0001$,为极显著,说明该方程具有统计学意义;失拟项 $P=0.5038>0.05$,不显著,表明所构建的模型合理且具有高度的可靠性^[22]。决定系数 $R^2=0.9859$,调整系数 $R^2_{Adj}=0.9679$,表明该模型可以很好地反映江蓠脱腥程度的变化,且精密度为 $21.6543>4$,进一步说明该模型的整体拟合度良好。变异系数为 $1.75\%<10\%$,在可接受范围内,表明试验结果可靠。由 F 值可知:一次项 A 、 B 和 C 以及交互项 AB 和 AC 对感官评分 Y 影响极显著($P<0.01$);交互项 BC 对 Y 影响不显著($P>0.05$);二次项 A^2 、 B^2 和 C^2 对 Y 影响极显著($P<0.01$)。此外,可知三个因素对江蓠脱腥感官评分影响程度的大小依次为 $A>C>B$ 。

2.2.3 各因素交互作用的响应曲面分析

由图4可知, BC 的3D曲面最为平缓,等高线呈圆形,说明 BC 的交互作用对产品品质影响较小; AB 与 AC 间交互作用的响应曲面较为陡峭,等高线偏椭圆形,说明 AB 与 AC 间的交互作用对江蓠脱腥感官评分的影响显著,与方差分析结果一致。

2.2.4 验证试验

由响应面优化得到脱腥工艺条件为柠檬酸浓度 2.137% ,脱腥时间 32.72 min ,脱腥温度 $31.89\text{ }^{\circ}\text{C}$,

表5 方差分析及显著性检验
Tab.5 Analysis of variance and significance test

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	4.59	9	0.5099	54.58	<0.0001	**
A	0.8450	1	0.8450	90.45	<0.0001	**
B	0.3403	1	0.3403	36.43	0.0005	**
C	0.5253	1	0.5253	56.23	0.0001	**
AB	0.1406	1	0.1406	15.05	0.0061	**
AC	0.1406	1	0.1406	15.05	0.0061	**
BC	0.0000	1	0.0000	0.00	1.0000	
A^2	0.7147	1	0.7147	76.50	<0.0001	**
B^2	0.8507	1	0.8507	91.06	<0.0001	**
C^2	0.7587	1	0.7587	81.22	<0.0001	**
残差	0.0654	7	0.0093			
失拟项	0.0269	3	0.0090	0.9303	0.5038	
纯误差	0.0385	4	0.0096			
总和	4.65	16				
$R^2=0.9859$		$R^2_{Adj}=0.9679$				

注:“**”表示差异极显著($P<0.01$);“*”表示差异显著($P<0.05$)。

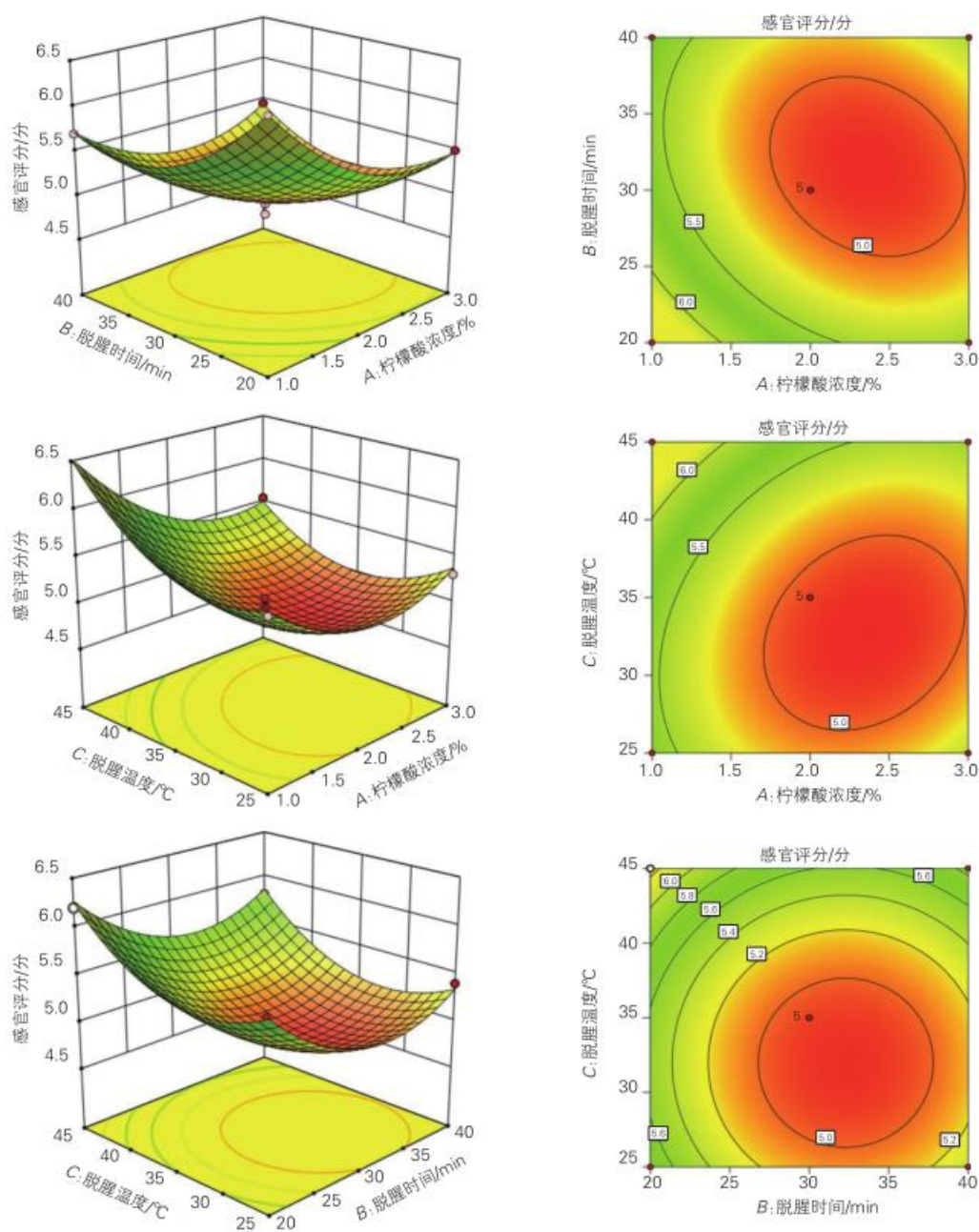


图4 各因素交互作用对江蓠脱腥感官评分影响的响应曲面和等高线图

Fig.4 Response surface and contour plots of the interaction effects of various factors on *Gracilaria* deodorant sensory score

感官评分预测值为4.54。考虑到实际操作的可性,将脱腥工艺条件修正为柠檬酸浓度2%,脱腥时间30 min,脱腥温度31℃。在此条件下进行三次平行试验,结果取平均值,得到的感官评分为4.67,与预测值相差2.78%,进一步说明模型可行。经同等条件处理后江蓠中无机砷含量由原来的0.043 mg/kg下降到0.015 mg/kg,脱除率达65.12%。

2.3 江蓠漂烫条件优化

由图5可知,随漂烫温度的升高及时间的延长,

江蓠组织结构遭到不同程度的破坏,导致琼胶溶出,使江蓠硬度、咀嚼性不断降低,弹性较高,这与李兆亭等^[21]研究结果一致。

由图5a可知,比较3种漂烫温度间的差异,6 s时,75℃漂烫后的样品硬度值下降了842.69 g,80℃和85℃组分别下降了1 016.4 g和1 469.99 g,说明当漂烫温度升高后,较低的漂烫温度能够较好地保持江蓠的硬度;6 s时,75℃、80℃与85℃之间的硬度值存在显著性差异($P < 0.05$),6 s以后,75℃漂烫8 s、

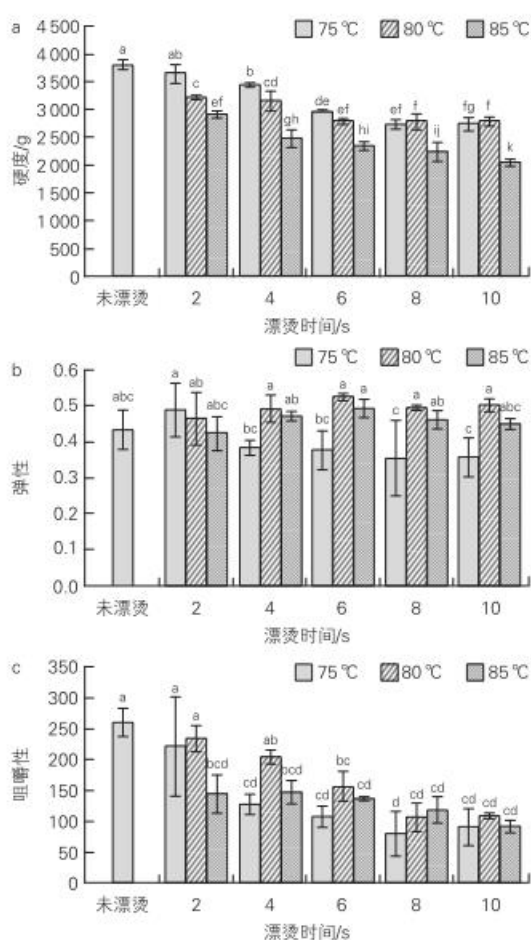


图5 漂烫温度及时间对江蕨硬度、弹性、咀嚼性的影响

Fig.5 Effects of blanching temperature and time on the hardness, springiness and chewiness of *Gracilaria*

10 s及80 °C漂烫8 s、10 s对江蕨硬度的影响不显著($P > 0.05$);而经85 °C漂烫8 s、10 s的样品硬度值显著下降($P < 0.05$),因温度过高漂烫时间延长,此时藻体有琼胶溶出,品质下降,商品价值有所下降。

由图5b可知,80 °C漂烫6 s江蕨弹性最高。随漂烫时间的延长,80 °C与85 °C漂烫对江蕨的弹性变化不显著($P > 0.05$),但与75 °C漂烫下的弹性有显著性差异($P < 0.05$)。

由图5c可知,随漂烫温度的升高及时间的延长,江蕨的咀嚼性下降明显。漂烫时间在6 s后,3组漂烫温度对江蕨的咀嚼性无显著变化($P > 0.05$)。

为进一步确定漂烫温度及时间,经相同条件处理后,对江蕨的色泽、质地及口感进行感官评价,得到其综合感官评分。由图6可知,80 °C下漂烫6 s感官评分最高,说明此条件下江蕨的色泽、质地以及口感均优于其他条件,且与85 °C下的感官评分值存

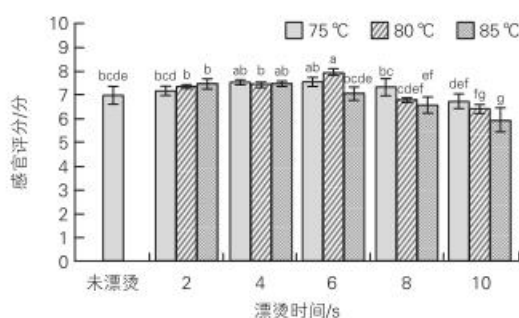


图6 漂烫温度及时间对江蕨感官评分的影响

Fig.6 Effects of blanching temperature and time on *Gracilaria* sensorial score

在显著性差异($P < 0.05$)。结合图5、图6,综合考虑硬度、弹性、咀嚼性以及感官评价四个指标,在6 s时,江蕨硬度较小,弹性较高,咀嚼性适中。因此确定80 °C漂烫6 s为江蕨的最佳条件。

3 结论

在即食海藻的生产加工过程中,脱腥、漂烫是一道重要工序。通过脱腥,能很大程度降低海藻的腥味,大大增加大众对其产品的接受度;而漂烫则能破坏酶的活性,防止加工后产品质量发生较大的劣变。因此脱腥及漂烫条件的确定直接影响着最终产品的品质。本研究采用具有脱腥和除砷双重功效的柠檬酸对江蕨进行脱腥优化处理,其腥味评分由原来的9.33分下降到4.67分,脱腥效果显著;无机砷含量由原来的0.043 mg/kg下降到0.015 mg/kg,脱除率65.12%。同时试验确定了相对最佳漂烫条件为80 °C漂烫6 s。该条件下,江蕨的色泽、硬度、弹性良好,避免了高温长时间漂烫导致的藻体软烂及胶体溶出,使江蕨保持了较好的品质,同时为海藻产品的加工提供了一种既能脱腥除砷又能保持良好品质的方法。采用本工艺对江蕨进行加工前预处理,工艺简单且成本低廉,适合中小食品加工企业开发生产,不仅为江蕨的生产加工提供了预处理方法,同时还提高了江蕨的经济价值。

参考文献

- [1] 吴飞燕.大型海藻脆江蕨与龙须菜多糖抗炎抗肿瘤活性研究[D].广州:暨南大学,2018.
- [2] 李飞飞,刘克海.脆江蕨多糖的理化分析及其抗氧化活性评价[J].山东农业学报(自然科学版),2021,52(5):746-752+783.
- [3] LONG X S, HU X, LIU S C, et al. Insights on preparation, structure and activities of *Gracilaria*

- lemaniformis* polysaccharide[J]. Food Chemistry: X, 2021,12:100153.
- [4] KANG Y N, WANG Z J, XIE D S, et al. Characterization and potential antitumor activity of polysaccharide from *Gracilariopsis lemaneiformis* [J]. Marine Drugs, 2017, 15(4): 100.
- [5] WANG X M, ZHANG Z S, WU Y, et al. Synthesized sulfated and acetylated derivatives of polysaccharide extracted from *Gracilariopsis lemaneiformis* and their potential antioxidant and immunological activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 124: 568-572.
- [6] 潘江球, 李思东. 江蓠的资源开发利用新进展[J]. 热带农业科学, 2010, 30(10): 47-50 + 89.
- [7] 徐聪. 氮、磷水平对异枝江蓠生长影响及江蓠对虾混养效果的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2021.
- [8] 杜建华, 李婷, 倪辉, 等. 以江蓠琼脂为原料制备生化琼脂[J]. 过程工程学报, 2018, 18(2): 434-440.
- [9] 杨超, 梁璋成, 林晓姿, 等. 龙须菜生物脱腥工艺优化及其挥发性风味物质分析[J]. 福建农业学报, 2021, 36(4): 490-500.
- [10] 潘江球, 辛世雄, 谢主兰, 等. 江蓠即食风味食品碱法脱腥工艺条件研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 225-227.
- [11] 杨文鸽, 徐大伦, 黄晓春, 等. 龙须菜即食食品的研究与开发[J]. 食品工业科技, 2005(11): 92-95.
- [12] 林国荣, 杨杰坤. 海带饮料加工工艺的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(6): 111-113.
- [13] 江洁, 陈兴才. 即食海带的脱腥与杀菌工艺[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2007(1): 106-109.
- [14] 张金玲. 羊栖菜中砷的检测及去除无机砷方法的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- [15] 张井, 曹荣, 薛长湖. 真空软包装即食羊栖菜食品的研究与开发[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 218-220.
- [16] 刘扬, 李欣欣, 张玉洁. 养心菜漂烫工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 216-220.
- [17] 李丹. 速冻菠菜漂烫工艺的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(19): 11966-11968.
- [18] 夏国斌, 杨贤庆, 戚勃, 等. 调味即食龙须菜去腥工艺及气调包装[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 352-356.
- [19] 刘倩. 調理青菜加工及保藏关键工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [20] 邢刚. 即食裙带菜产品的开发[D]. 大连: 大连工业大学, 2013.
- [21] 李兆亭, 夏光华, 申铨日, 等. 不同加工技术对即食海藻口感和品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(6): 59-62.
- [22] 贾庆超, 梁艳美. 响应面法优化大蒜酱的制备工艺研究[J]. 中国调味品, 2022, 47(4): 109-116.

(上接第13页)

- [24] IGNAT A, MANZOCCO L, BRUNTON N P, et al. The effect of pulsed electric field pre-treatments prior to deep-fat frying on quality aspects of potato fries [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 29: 65-69.
- [25] THANATUKSORN P, PRADISTSUWANA C, JANTAWAT P, et al. Effect of surface roughness on post-frying oil absorption in wheat flour and water food model [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(15): 2574-2580.
- [26] NGOBESE N Z, WORKNEH T S, SIWELA M. Effect of low-temperature long-time and high-temperature short-time blanching and frying treatments on the French fry quality of six Irish potato cultivars [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(2): 507-517.
- [27] WIKTOR A, NOWACKA M, DADAN M, et al. The effect of pulsed electric field on drying kinetics, color, and microstructure of carrot [J]. Drying Technology, 2016, 34(11): 1286-1296.
- [28] CHOI M H, KIM G H, LEE H S. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage [J]. Food Research International, 2002, 35(8): 753-759.
- [29] PEDRESCHI F, MOYANO P, KAACK K, et al. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices [J]. Food Research International, 2005, 38(1): 1-9.
- [30] PEDRESCHI F, KAACK K, GRANBY K. Acrylamide content and color development in fried potato strips [J]. Food Research International, 2006, 39(1): 40-46.
- [31] BOTERO-URIBE M, FITZGERALD M, GILBERT R G, et al. Effect of pulsed electrical fields on the structural properties that affect french fry texture during processing [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 67: 1-11.
- [32] MOYANO P C, TRONCOSO E, PEDRESCHI F. Modeling texture kinetics during thermal processing of potato products [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(2): E102-E107.