

超声波辅助炖煮羊肉汤的工艺优化

陈春梅¹, 沈银涵¹, 陆辰燕¹, 刘瑞¹, 于海^{1,2*}, 席军^{3,4}, 林广桃⁵

(1. 扬州大学食品科学与工程学院, 江苏扬州 225127; 2. 江苏省淮扬菜产业化工程中心, 江苏扬州 225000;

3. 江苏长寿集团有限公司, 江苏南通 226000; 4. 江苏省长寿特色肉制品加工工程技术研究中心, 江苏南通 226000;

5. 扬州星月农产品有限公司, 江苏扬州 225000)

摘要: 通过响应面法对不同处理条件下的羊肉汤的感官得分以及5'-肌苷酸含量进行分析, 研究羊肉汤经超声波辅助的工艺优化。结果表明: 最优条件为炖煮温度 85.20 ℃、超声功率 777.43 W、超声时间 104.85 min, 预测的感官得分为 28.45, 单核苷酸含量为 5.57 mg/100 mL。通过观察羊肉汤中无机元素含量的变化, 发现超声波的加入明显促进无机离子的溶出; 通过十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳观察蛋白质的变化, 发现超声波的加入能促进一部分蛋白聚合与降解, 增强了风味的生成与吸附风味物质的能力。

关键词: 超声波; 羊肉汤; 感官评价; 游离氨基酸; 5'-肌苷酸

中图分类号: TS 972.125.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2021)01-0055-08

羊肉作为我国传统的肉品之一, 风味独特, 其营养价值也不容小觑。^[1] 羊肉汤是我国一道传统美食, 具有御风寒补身体的价值, 且羊肉汤在加工过程中由于温度较低不会产生过多的致癌物质, 在我国广受人们的喜爱。^[2]

超声波是一种新型食品加工方法, 被认为是一种绿色、有前景的新兴技术。^[3] 超声波在肉的冷冻^[4]、解冻^[5]、腌渍^[6]、烹饪^[7]、抑菌^[8]和嫩化^[9]等方面已经被应用。ANTTI 等^[10]发现, 超声波的空化作用可以使水分子裂解产生羟基自由基, 产生具有强氧化性的过氧化氢, 导致肉的蛋白质氧化。蛋白质经过氧化产生的物质会与风味化合物如醛类结合而改变肉品风味。^[11,12] IMP 是一种由 ATP 降解产生的单核苷酸, 被认为是肉中重要的鲜味物质。本实验通过不同的炖煮温度、超声功率、超声时间进行羊肉汤的炖煮, 经响应面法研究不同工艺条件对羊肉汤品质的影响, 结合羊肉汤的感官评价、IMP 的含量评价确定羊肉汤的最佳炖煮条件, 为缩短炖煮时间及改善风味提供了实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

8月龄公湖羊: 苏州太湖东山湖羊产业发展有限公司; 娃哈哈纯净水: 杭州娃哈哈集团有限公司; BCA 试剂盒: 赛默飞世尔科技公司; 高氯酸: 阿拉丁试剂(上海)有限公司; 氢氧化钾, 考马斯亮蓝染色溶液: 生工生物工程(上海)股份有限公司; 12.5% 十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳凝胶超快速配制试剂盒: 上海碧云天生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

THC-1000SF 超声波煎煮锅: 济宁天华超声电子仪器有限公司; Optima 7300 DV 电感耦合等离子体光谱仪: 美国 Perkin Elmer 公司; 电泳仪、Gel Doc XR 凝胶成像系统: 美国 Bio-Rad 公司; 日立 L-8800 氨基酸自动分析仪: 日本日立公司; RE-201D 旋转蒸发器: 上海耀特仪器设备有限公司; WATERS E2695 高效液相色谱: 沃特世科技(上海)有限公司。

收稿日期: 2020-09-17 *通信作者

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31901610); “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0401501); 肉品质量与安全控制国家重点实验室开放基金项目(YR2018005); 江苏省农业科技自主创新项目(CX(18)2003); 江苏省自然科学基金项目(BK20190888); 高邮市科技项目(GY201913)

作者简介: 陈春梅, 女, 扬州大学食品科学与工程学院硕士研究生, 从事畜产品加工研究, E-mail: 2577486372@qq.com;

于海, 男, 扬州大学食品科学与工程学院教授, 博士, 从事畜产品加工研究, E-mail: yuhai@yzu.edu.cn。

1.3 试验方法

1.3.1 炖煮羊汤的工艺流程

羊后腿切块(1.5 kg)→加冷水煮沸,焯水(15 min)→去除浮物→冷水冲洗→沥水备用。

备用的羊肉块置于超声波炖煮锅中,倒入

4.5 kg 娃哈哈纯净水→设置最终炖煮温度及超声波功率→炖煮2 h→成品。

1.3.2 炖煮条件单因素实验设计

炖煮温度:设定炖煮功率为500 W、超声时间为60 min。温度设定分别为80、85、90、95和100℃。超声时间:设定炖煮功率为500 W、炖煮温度为90℃。时间设定分别为0、30、60、90和120 min。超声功率:设定超声时间为60 min、炖煮温度为90℃。功率设定分别为0、250、500、750和1000 W。

1.3.3 响应面实验设计

在单因素实验的基础上,以感官评分和IMP含量为响应值进行优化实验。实验因素水平设计见表1。

表1 响应面设计因素与水平

水平	因素		
	A:温度/℃	B:功率/W	C:超声时间/min
-1	80	500	60
0	85	750	90
1	90	1000	120

1.4 检测指标

1.4.1 感官评价

采用定量描述感官分析的方法,对不同加热的羊肉汤样品进行感官评价,评价小组由经过筛选的10人组成,评价人员参照MILLER^[13]及GARRIDO^[14]的方法进行培训,所有的感官试验都在感官评定室完成。参考张慢^[15]的方法进行人员筛选及评分,具体属性的描述见表2。

1.4.2 游离氨基酸含量的测定

氨基酸的测定方法参考LIANG等^[16]的方法。氨基酸检测采用全自动氨基酸分析仪,使用4 mm×250 mm×5 μm柱、流量恒定为1.0 mL/min。游离氨基酸含量以mg/kg干物质表示。

1.4.3 IMP含量的测定

IMP的提取参考CHEN等^[17]的方法并稍做修改。将50 mL羊肉汤浓缩至5 mL,加入25 mL 0.6 mol/L冷高氯酸匀浆2 min,然后用1 mol/L

氢氧化钾(KOH)对样品进行过滤及中和。使用0.45 μm水相滤膜过滤。采用HPLC进行定量分析,参数设置参考QI等^[18]的方法。

表2 超声波炖煮羊肉汤工艺优化的感官评价标准

评定指标	评价标准		
外观色泽(9分)	色泽乳白,颜色均匀(9~7分)	色泽较黄,颜色均匀,可以接受(6~4分)	色泽透明如水色,难接受(3~1分)
口感(9分)	汤汁浓(9~7分)	浓稠度一般(6~4分)	汤汁稀薄(3~1分)
风味(9分)	无腥味,肉香味浓郁(9~7分)	有羊肉味(膻味),能接受(6~4分)	有异味(腥臭味)(3~1分)
综合(9分)	喜欢(9~7分)	可接受(6~4分)	无法接受(3~1分)

1.4.4 无机离子的含量测定

将羊肉汤样品除去油脂再经0.22 μm水相滤膜过滤,使用电感耦合等离子光谱仪测定羊汤中无机元素Ca、K、Mg、P和Na的含量。

1.4.5 SDS-PAGE

将羊汤除去油脂再经0.22 μm水相滤膜过滤,使用BCA试剂盒将羊肉汤中的蛋白浓度调至统一。采用浓度为4%的浓缩胶、12.5%的分离胶。在浓缩胶时电压90 V(30 min),分离胶时电压120 V(60 min)。停止电泳后,取下胶进行染色、摇床脱色及拍照成像。

1.5 数据分析

结果以平均值±标准差表示。实验数据采用SPSS 16.0软件进行数据统计分析,均值之间采用Duncan法进行比较,在0.05水平上进行显著性检验($P < 0.05$),响应面试验设计及数据分析采用Design-Expert 8.0软件进行,并使用Origin 18.5作图。不同字母表示数值间差异显著。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 炖煮温度的确定

如图1及图2所示,羊肉汤中的总游离氨基酸含量及羊肉汤的感官得分随着炖煮温度的升高呈现先上升后下降的趋势,且均在炖煮温度为85℃时出现最高值。当羊肉在90℃及以上的高温下炖煮时,肉表面的蛋白质因凝结而导致从羊肉

中提取的风味化合物的含量减少。因此,本实验选择 80、85 和 90 °C 的炖煮温度进行响应面优化。

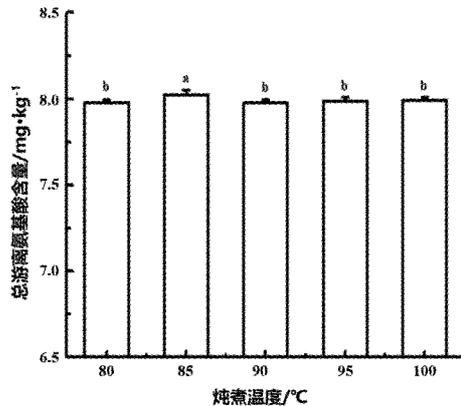


图1 炖煮温度对羊汤中总游离氨基酸含量的影响

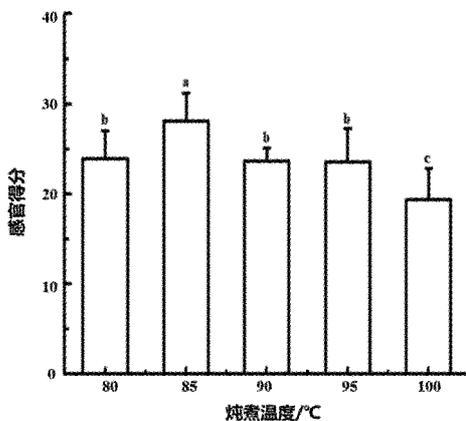


图2 炖煮温度对羊汤感官得分的影响

2.1.2 超声功率的确定

如图3及图4所示,羊肉汤中的总游离氨基酸含量随着超声功率的升高呈现上升的趋势,而羊肉汤感官得分却随着超声功率的升高呈现先上升后下降的趋势。高功率超声波处理会影响羊肉蛋白的结构,促使更多的亲水氨基酸基团暴露在肉表面,从而增加了羊肉汤中氨基酸的溶解度。^[19]因此,本实验选择 500、750 和 1 000 W 的超声功率进行响应面优化。

2.1.3 超声时间的确定

如图5及图6所示,羊肉汤中的总游离氨基酸含量随着超声时间的延长呈现上升的趋势,而羊肉汤感官得分却随着超声时间的延长呈现先上升后下降的趋势。因此,本实验选择 60、90 和 120 min 的超声时间进行响应面优化。

2.2 响应面实验结果

根据单因素实验结果,筛选出炖煮温度(A)、超声功率(B)和超声时间(C)进行3因素3水平

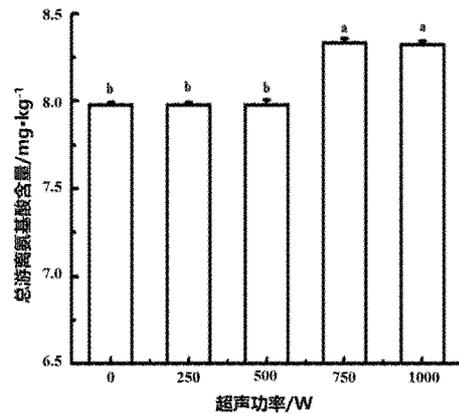


图3 超声功率对羊汤中总游离氨基酸含量的影响

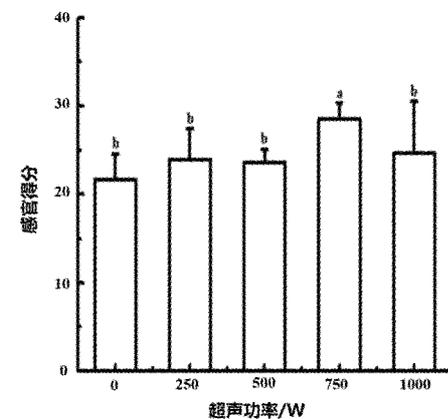


图4 超声功率对羊汤感官得分的影响

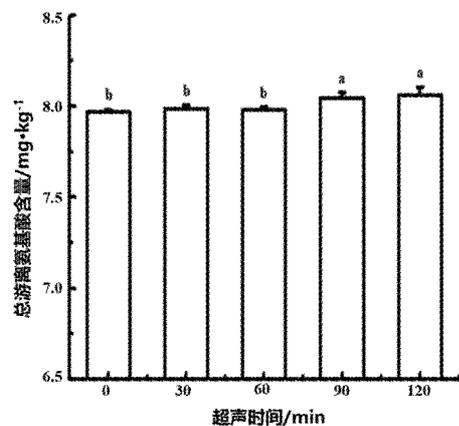


图5 超声时间对羊汤中总游离氨基酸含量的影响

的 BOX - Behnken 响应面分析,感官得分及 IMP 含量结果见表3。

通过多元拟合分析得到的感官得分与各因素变量的二次多元回归模拟方程为:感官得分 = $27.65 + 0.38A + 0.69B + 1.47C + 0.03AB - 0.12AC + 0.64BC - 7.92A^2 - 3.79B^2 + 1.75 \times 10^{-3}C^2$ 。通过多元拟合分析得到的 IMP 含量与各因素变量的二次多元回归模拟方程为:IMP 含

量 = 5.645 + 0.18A + 0.16B + 0.01C + 0.10AB + 0.07AC + 0.03BC - 1.99 A² - 0.99 B² - 0.36 C²。

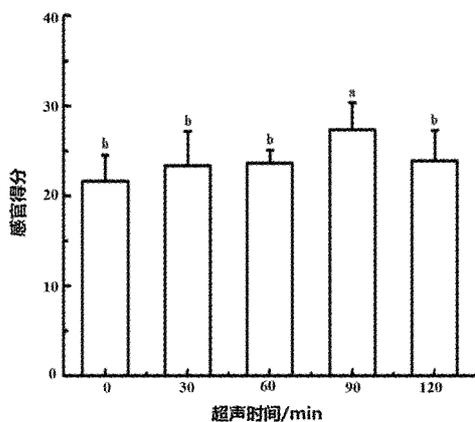


图6 超声时间对羊汤感官得分的影响

由表4可知,该模型的 P 值 < 0.0001 , 说明模型显著;失拟项显示 $P = 0.6541$, 说明通过实验得到的二次回归方程能很好地对响应面值进行预测;预测值与实验值有良好的相关性 ($R^2 = 0.9980$, $R^2_{Adj} = 0.9953$), 表明回归方程与实验值具有高度拟合性, 该模型可很好地解释感官得分的变化。从各因素对应的 F 值可知: A ($F = 10.7513$)、 B ($F = 35.9413$) 和 C ($F = 162.7802$), 因此各个因素对羊肉汤感官得分的影响顺序为: 超声时间、超声功率、炖煮温度。

表3 响应面实验方案及结果

序号	炖煮温度/°C	超声功率/W	超声时间/min	感官得分	IMP含量/(mg/100 mL)
1	-1	-1	0	14.69	2.49834
2	1	-1	0	15.71	2.52939
3	-1	1	0	16.11	2.60407
4	1	1	0	17.25	3.05041
5	-1	0	-1	17.90	3.10224
6	1	0	-1	18.58	3.42253
7	-1	0	1	21.13	3.02224
8	1	0	1	21.32	3.62533
9	0	-1	-1	22.40	4.16602
10	0	1	-1	22.42	4.44022
11	0	-1	1	24.04	4.09121
12	0	1	1	26.60	4.47723
13	0	0	0	27.02	5.56845
14	0	0	0	27.71	5.66306
15	0	0	0	27.82	5.66760
16	0	0	0	27.84	5.65746
17	0	0	0	27.88	5.66605

表4 响应面二次模型方差分析(感官得分)

方差来源	平方和	自由度	均方和	F值	P值	显著性
模型	364.9037	9	40.5449	379.8393	<0.0001	***
A/°C	1.1476	1	1.1476	10.7513	0.0135	*
B/W	3.8365	1	3.8365	35.9413	0.0005	***
C/min	17.3755	1	17.3755	162.7802	<0.0001	***
AB	0.0036	1	0.0036	0.0337	0.8595	
AC	0.0600	1	0.0600	0.5623	0.4778	
BC	1.6129	1	1.6129	15.1103	0.0060	**
A ²	264.3280	1	264.3280	2476.3220	<0.0001	***
B ²	60.5044	1	60.5044	566.8273	<0.0001	***
C ²	1.2894 × 10 ⁻⁵	1	1.2894 × 10 ⁻⁵	1.2100 × 10 ⁻⁴	0.9915	
残差	0.7472	7	0.1067			
失拟项	0.2289	3	0.0763	0.5888	0.6541	不显著
纯误差	0.5183	4	0.1296			
总和	365.6509	16				

$R^2 = 0.9980$ $R^2_{Adj} = 0.9953$

***表示差异极显著 ($P < 0.001$); **表示差异非常显著 ($P < 0.01$); *表示差异显著 ($P < 0.05$)。

由表 5 可知,该模型的 P 值 $< 0.000 1$,说明模型显著;失拟项显示 $P = 0.073 4$,说明通过实验得到的二次回归方程能很好地对响应面值进行预测;预测值与实验值有良好的相关性 ($R^2 = 0.998 5, R^2_{Adj} = 0.996 5$),表明回归方程与实验值

具有高度拟合性,该模型可很好地解释 IMP 含量的变化。从各因素对应的 F 值可知: $A (F = 48.333 7)$ 、 $B (F = 40.799 4)$ 和 $C (F = 0.178 0)$,因此各个因素对羊肉汤中 IMP 含量的影响顺序为:炖煮温度、超声功率、超声时间。

表 5 响应面二次模型方差分析 (IMP 含量)

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	显著性
模型	23.363 2	9	2.595 9	511.559 1	$< 0.000 1$	***
$A/^\circ\text{C}$	0.245 3	1	0.245 3	48.333 7	0.000 2	***
B/W	0.207 0	1	0.207 0	40.799 4	0.000 4	***
C/min	0.000 9	1	0.000 9	0.178 0	0.685 8	
AB	0.043 1	1	0.043 1	8.496 7	0.022 5	*
AC	0.019 2	1	0.019 2	3.940 1	0.087 5	
BC	0.003 1	1	0.003 1	0.616 0	0.458 3	
A^2	16.628 5	1	16.628 5	3276.879 0	$< 0.000 1$	***
B^2	4.099 2	1	4.099 2	807.806 5	$< 0.000 1$	***
C^2	0.558 4	1	0.558 4	110.034 6	$< 0.000 1$	***
残差	0.035 5	7	0.005 1			
失拟项	0.028 2	3	0.009 4	5.159 9	0.073 4	不显著
纯误差	0.007 3	4	0.001 8			
总和	23.398 7	16				

$R^2 = 0.998 5 \quad R^2_{Adj} = 0.996 5$

*** 表示差异极显著 ($P < 0.001$); ** 表示差异非常显著 ($P < 0.01$); * 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 7 至图 10 为各因素对羊肉汤感官得分影响的等高线图,图 11 至图 12 为各因素对羊肉汤总 IMP 含量影响的等高线图。等高线图能够很好地反映各因素之间的交互作用,等高线越圆越平缓说明两因素之间的交互作用越不明显,能较为清晰地将方差分析表中的数据展现出来。^[20]

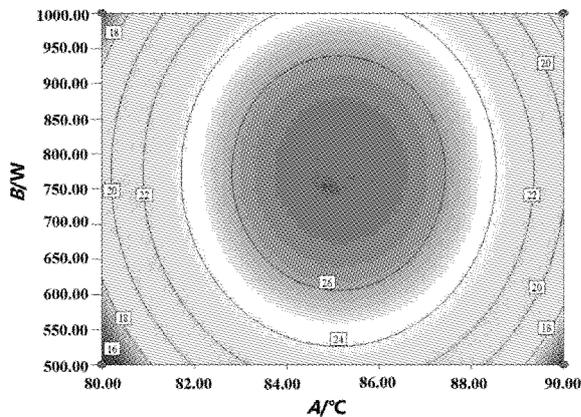


图 7 炖煮温度和超声功率对羊肉汤感官得分影响的等高线图

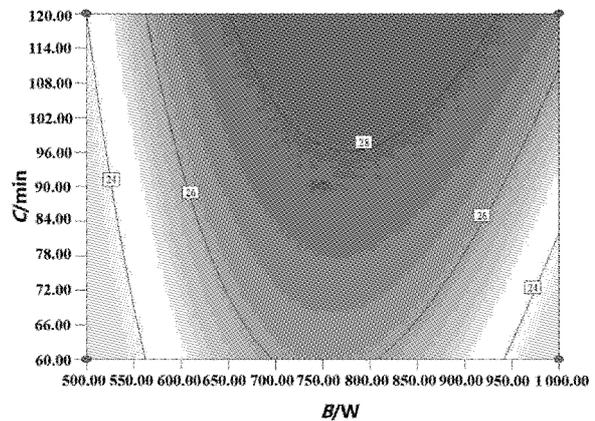


图 8 超声功率和超声时间对羊肉汤感官得分影响的等高线图

2.3 最佳配方的确定

根据 Box - Behnken 模型预测响应面优化的最佳配方为:炖煮温度 85.20°C 、超声功率 777.43 W 、超声时间 104.85 min ,此时的感官得分为 28.45 ;IMP 含量为 $5.57 \text{ mg}/100 \text{ mL}$ 。考虑到实际的可操作性,将最优参数设定为:炖煮温度

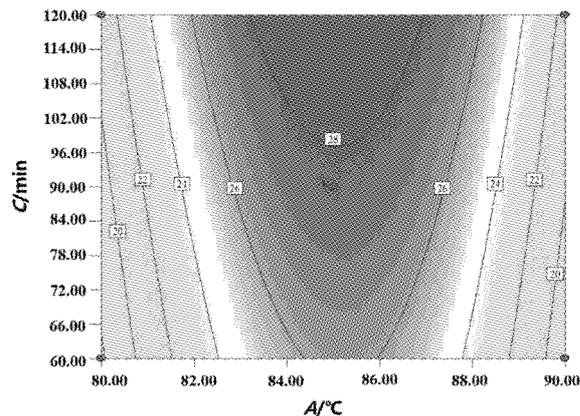


图9 炖煮温度和超声时间对羊肉汤感官得分影响的等高线图

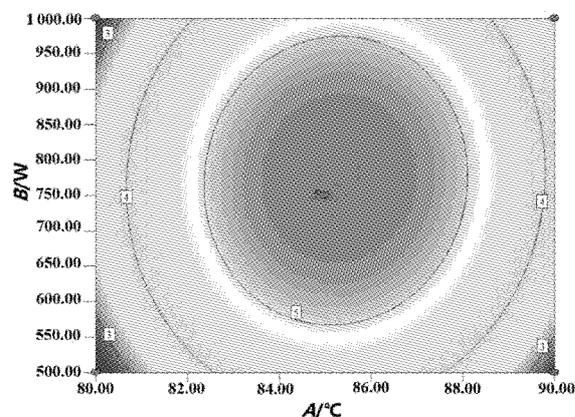


图10 炖煮温度和超声功率对羊肉汤中IMP含量影响的等高线图

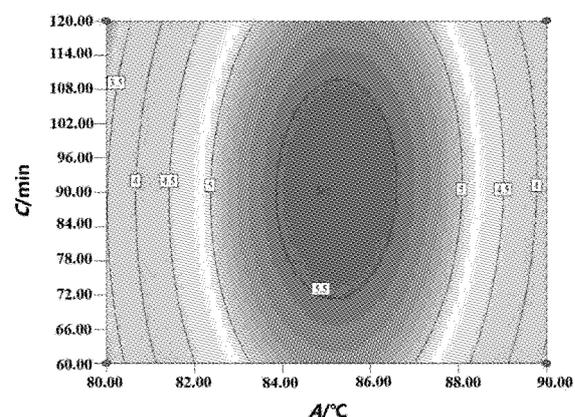


图11 炖煮温度和超声时间对羊肉汤中IMP含量影响的等高线图

85.00 °C、超声功率800 W、超声时间105.00 min。

按照最优配方进行3次重复实验,结果取平均值。同时,为了对比超声波加入对炖煮羊肉汤的影响,本实验选择参数为炖煮温度85.00 °C、超声功率0 W、超声时间0 min进行对照试验。使用字母M为对照实验标记,字母N为最优参数实

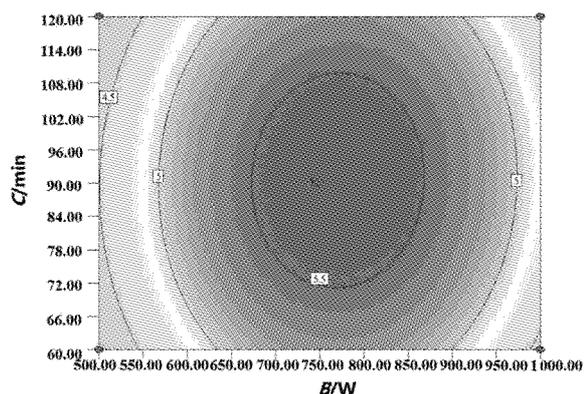


图12 超声功率和超声时间对羊肉汤中IMP含量影响的等高线图

验标记,结果见表6。

表6 羊肉汤感官得分和IMP含量的结果

组别	炖煮温度/°C	超声功率/W	超声时间/min	感官得分	IMP含量/(mg/100 mL)
M	85	0	0	21.32	2.98
N	85	800	105	28.10	5.53

如表6所示,使用超声波能够提高羊肉汤的感官得分,同时在一定程度上促进汤中IMP含量的增加。最佳参数得到的结果与预测值基本一致,这也表明本次实验得到的实验参数准确可靠。

2.4 无机离子含量的测定结果

在分析的无机离子中,阳离子主要产生苦味和咸味, K^+ 是含量最高的阳离子,其次是 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} ,这一结果与YUE等^[21]一致。无机离子是肉制品中必不可少的辅助风味成分,可增强5'-核苷酸、游离氨基酸的整体鲜味。而阴离子 PO_4^{3-} 可以降低苦味,增加鲜味和酸味的强度。^[22]由图13可知,超声波的加入会促进无机离子的溶出,在一定程度上增强了羊肉汤的整体风味。

2.5 SDS-PAGE电泳结果

电泳图谱结果如图14所示,经过优化处理的样品的电泳图谱与对照样品的电泳图谱相似。如图14中的箭头所示,与对照组相比,优化后的羊肉汤蛋白中条带1、条带2、条带3和条带5的颜色明显加深,条带宽度明显加强,而条带4、条带6和条带7的条带却几乎消失。蛋白质在蒸煮过程中的降解和聚集是导致蛋白质条带密度变化的主要原因。在图谱中显示的优化后的羊肉汤中的大分子量蛋白增加较为明显,这可能是由于高温引

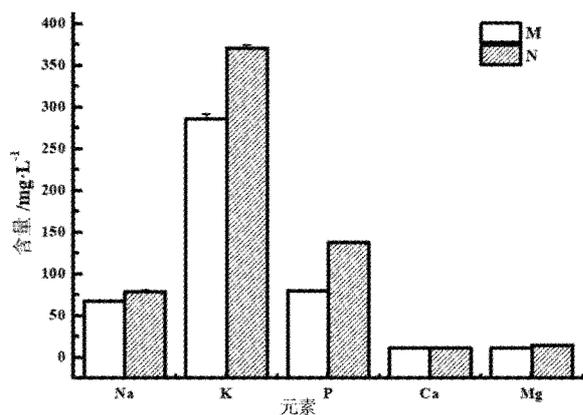


图 13 无机元素含量

注: M 为不加超声波炖煮; N 为优化后的超声波辅助炖煮。下同。

起蛋白发生氧化聚合而成; 而分子量在 17 ~ 36 kDa 的蛋白几乎不见, 可能是因为一部分分子间蛋白质结合或蛋白质与其他化合物进行了结合,^[23] 另一部分蛋白则分解成分子量更小的蛋白、肽及氨基酸。

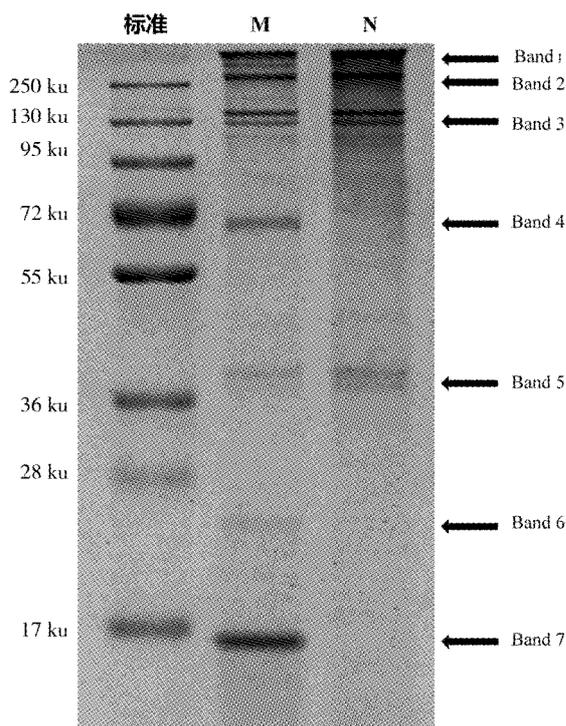


图 14 羊肉汤蛋白电泳图

3 结论

在本研究中, 利用响应面法和期望函数来确定超声处理下羊肉汤炖煮的最佳加工条件。结果显示: 最优条件为炖煮温度 85.20 °C、超声功率 777.43 W、超声时间 104.85 min, 预测的感官得

分为 28.45, IMP 含量为 5.57 mg/100 mL。超声处理增强了羊肉蛋白、IMP 及无机离子的溶解度, 他们之间的协同作用可改善羊肉汤的滋味。响应面作为优化加工条件的一个强有力的工具, 其结果可能适用于工业规模的超声波炖煮羊肉汤, 通过缩短炖煮时间达到良好的炖煮效果以获得最大的经济收益。

参考文献:

- [1] 张志超, 端子渊, 张新华, 等. 羊肉肉质风味研究进展[J]. 肉类研究, 2018, 32(10): 61-65.
- [2] 李京洲. 附子理中丸联合当归生姜羊肉汤治疗脾胃阳虚证腹泻型肠易激综合征 55 例临床观察[J]. 中国民族民间医药, 2019, 28(22): 111-113.
- [3] 黄亚军, 周存六. 超声波技术在肉及肉制品中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(5): 91-97.
- [4] ZHENG L, SUN D W. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes: a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(1): 16-23.
- [5] MILES C A, MORLEY M J, RENDELL M. High power ultrasonic thawing of frozen foods [J]. Journal of Food Engineering, 1999, 39(2): 151-159.
- [6] CÁRCEL J A, BENEDITO J, BON J, et al. High intensity ultrasound effects on meat brining [J]. Meat Science, 2007, 76(4): 611-619.
- [7] CHEMAT F, KHAN M K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(4): 813-835.
- [8] CARAVEO O, ALARCON - ROJO A D, RENTERIA A, et al. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4°C [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(12): 2487-2493.
- [9] PEÑA - GONZALEZ E, ALARCON - ROJO A D, GARCIA - GALICIA I, et al. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 53: 134-141.
- [10] ANTTI G, PENTTI P, HANNA K. Ultrasonic degradation of aqueous carboxymethylcellulose: effect of viscosity, molecular mass, and concentration [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2008, 15(4): 644-648.
- [11] 李旭, 章海风, 周晓燕, 等. 驴肉 4 个部位挥发性物质分析比较[J]. 美食研究, 2019, 36(2): 28-32.

- [12] 张建友, 赵瑜亮, 丁玉庭, 等. 脂质和蛋白质氧化与肉制品风味特征相关性研究进展[J]. 核农学报, 2018, 32(7):1417-1424.
- [13] MILLER R K. The eating quality of meat: V - Sensory evaluation of meat [M]//TOLDRA F. Lawrie's Meat Science. Sawston: Woodhead Publishing, 2017:461-499.
- [14] GARRIDO M D, EGEA M, LINARES M B, et al. A procedure for sensory detection of androstenone in meat and meat products from entire male pigs: Development of a panel training [J]. Meat Science, 2016, 122: 60-67.
- [15] 张慢. 清炖型肉汤的风味形成机制及电炖锅烹饪程序优化[D]. 无锡:江南大学, 2019.
- [16] LIANG G, LIAO X, DU G, et al. Elevated glutathione production by adding precursor amino acids coupled with ATP in high cell density cultivation of *Candida utilis* [J]. Journal of Applied Microbiology, 2008, 105(5):1432-1440.
- [17] CHEN D W, ZHANG M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [18] QI J, WANG H, ZHOU G, et al. Evaluation of the taste - active and volatile compounds in stewed meat from the Chinese yellow - feather chicken breed [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(sup3):S2579-S2595.
- [19] 彭子宁, 刘树萍, 郑昌江. 真空低温烹煮酱牛肉的工艺优化[J]. 美食研究, 2020, 37(2):48-52.
- [20] 黎云龙, 于震宇, 郜海燕, 等. 骏枣多糖提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 45-49.
- [21] YUE J, ZHANG Y, JIN Y, et al. Impact of high hydrostatic pressure on non-volatile and volatile compounds of squid muscles [J]. Food Chemistry, 2016, 194:12-19.
- [22] LIU Y, ZHANG C, CHEN S. Comparison of active non-volatile taste components in the viscera and adductor muscles of oyster (*Ostrea rivularis* Gould) [J]. Food Science and Technology Research, 2013, 19(3):417-424.
- [23] MORALES R, MARTÍNEZ K D, PIZONES RUIZ - HENESTROSA V M, et al. Modification of foaming properties of soy protein isolate by high ultrasound intensity: Particle size effect [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 26:48-55.

Effect of ultrasonic assistance on quality of stewed mutton soup

CHEN Chunmei¹, SHEN Yinhan¹, LU Chenyan¹,
LIU Rui¹, YU Hai^{1,2}, XI Jun^{3,4}, LIN Guangtao⁵

(1. College of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China; 2. Jiangsu Huaiyang Cuisine Industrialization Engineering Center, Yangzhou, Jiangsu 225127, China; 3. Jiangsu Longevity Group Co. Ltd., Nantong 226000, China; 4. Jiangsu Province Longevity Characteristic Meat Processing Engineering Technology Research Center, Nantong 226000, China; 5. Yangzhou Xingyue Agricultural Products Co. Ltd., Yangzhou 225000, China)

Abstract: The process of ultrasonication assisted stewed mutton soup was optimized. The sensory scores and 5'-inosinic acid content of mutton soup under different treatment conditions were predicted by response surface methodology. The results showed that the optimal conditions were stewing temperature 85.20 °C, ultrasound power 777.43 W, and ultrasonication time 104.85 min. The sensory score was 28.45, and the IMP content was 5.57 mg/100 mL. Ultrasonication significantly promoted the dissolution of inorganic ions as observed with sodium lauryl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis, which suggested that ultrasonication could promote a part of the protein polymerization and degradation and enhance the ability of flavor generation and adsorption of flavor substances.

Key words: ultrasound; mutton soup; sensory evaluation; free amino acid; 5'-inosinic acid

(责任编辑:赵勇)