李睿,阮文辉,郝瑞,等.模糊数学结合响应面法研制山楂风味低糖党参蜜饯[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(4):101-108.
Li R, Ruan W H, Hao R, et al. Development of hawthorn-flavored low-sugar *Codonopsis radix* preserves using fuzzy mathematics combined with response surface methodology[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(4):101-108.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202311025

模糊数学结合响应面法研制山楂风味低糖党参蜜饯

李睿[1],阮文辉[1,2*],郝瑞[1],李瑞卿[1],路丽艳[1],阮心阳[3]

(1.山西中医药大学 中药与食品工程学院,山西 晋中 030619;2.山西省药品审评中心(山西省医药与生命科学研究院),山西 太原 030006;3.淮阴师范学院 数学与统计学院,江苏 淮安 23000)

摘　要:[目的]本研究旨在以党参为主要原料开发一种新型便携式即食党参蜜饯产品。[方法]首先,考察山楂汁添加量、食盐添加量和蜂蜜添加量对党参蜜饯感官评分的影响。然后,基于单因素试验,采用模糊数学结合响应面法优化山楂风味低糖党参蜜饯配方。最后,以微生物限量和感官评价为指标,对比不同灭菌工艺对党参蜜饯品质的影响,并对其理化指标和有效成分含量进行检测。[结果]响应面优化得到影响党参蜜饯品质的因素主次顺序为:蜂蜜添加量>食盐添加量>山楂汁添加量。党参蜜饯最优工艺配方为:党参100 g,山楂汁添加量、食盐添加量、蜂蜜添加量分别为227 mL、4.1 g、114.5 g,此配方下制得的党参蜜饯产品酸甜适口,富有嚼劲,风味独特,模糊数学感官评分最高,为92.37分。超高压灭菌和高压蒸汽灭菌后样品微生物指标(菌落总数<10 CFU·g^{-1},大肠菌群<2 CFU·g^{-1},霉菌<1 CFU·g^{-1})均符合相关标准及规定,而超高压灭菌处理蜜饯的感官评价优于高压蒸汽灭菌法。产品质量检测结果表明,党参蜜饯中总糖和氯化钠含量分别为36.54%、2.56%,符合相关规定;党参炔苷和多糖含量分别为0.19 mg·g^{-1}、6.84%,营养价值高。[结论]本研究制得的即食党参蜜饯具有党参和山楂的独特风味,色泽均匀,软硬适中,感官评分较高,理化指标及微生物指标均符合国家标准,为党参蜜饯产品的研发和规模化生产提供了理论支持。

关键词:党参蜜饯; 山楂; 模糊数学; 感官评价; 灭菌
中图分类号:TS205　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)04-0101-08

党参(*Codonopsis radix*)为桔梗科植物党参、素花党参或川党参的干燥根。研究表明,党参中含有多糖、黄酮、生物碱等多种化学成分,广泛用于增强免疫力、保护胃黏膜损伤、抗癌等[1-3]。党参作为山西省道地药材之一,产量宏丰[4],但近年来销量下降库存积压,且其易吸潮霉变,活性成分难以维持,深度挖掘党参产业价值迫在眉睫[5-6]。2019年国家卫生健康委员会已开展对党参的药食同源物质管理试点工作,为党参食品开发提供了政策支持[7]。目前,党参食品加工研究相对薄弱,仅有复合饮料、锅巴、饼干等产品[8-10],急需开发新型食品,促进党参资源利用。

山楂(*Crataegus pinnatifida*),又名山里红,富含蛋白质、黄酮、三萜、有机酸、维生素和矿物质元素等成分[11-13],保健效果佳。

蜜饯是以果蔬等为主要原料,经糖或蜂蜜或食盐腌制等工艺制成的食品。其中,蜂蜜和食盐的添加量是影响口感的关键因素,适量的食盐和渗糖浓度可调节产品的滋味及鲜度,除去产品水分,增加甜味,延长保存期。而山楂汁是蜜饯的酸味来源,添加适量山楂汁可调和口感、增加酸味,具有消积食、增进食欲等功能。因此,本研究以党参为原料,采用模糊数学评价结合响应面法考察山楂汁、食盐、蜂蜜添加量对党参蜜饯感官评分的影响,获得最佳配方。在食品工艺研究中,感官评价法是一种常见的食品质量评价方法,但评定结

收稿日期:2023-11-06　　**修回日期**:2024-02-29
基金项目:山西省中医药科研课题项目(2020ZYYC098);山西省重点研发计划项目(201903D321112);晋药综合开发利用协同创新中心项目(2018-JYXT-06);山西中医药大学学科建设项目(2023XKJS-26)
作者简介:李睿(ORCID:0009-0005-1898-9405),硕士,副教授,研究方向:药食同源产品开发,E-mail:46116288@qq.com
*通信作者:阮文辉(ORCID:0009-0008-9542-4004),博士,高级工程师,研究方向:食品加工与安全,E-mail:24730890@qq.com

果易受评价人员主观干预,而模糊数学评价运用模糊数学的原理对感官指标进行定量化和数学化处理与分析,能够避免评价过程中主观因素的影响,使评价结果更加科学[14-15]。本研究首次制得便携式、即食型党参蜜饯产品,可满足大众对于营养的要求,推动党参产品多元化发展,为山西省道地药材党参的开发利用提供了新选择。

1 材料和方法

1.1 试验材料

鲜党参(新鲜采挖,经山西省食品药品检验所罗晋萍主任药师鉴定为桔梗科植物党参);山楂:惠民百草药业有限公司;蜂蜜:上海冠生园蜂制品有限公司;食盐:中盐工程技术研究院有限公司。

HPP-5L型超高压设备:太原市东龙机械有限公司;GZX-9076MBE电热鼓风干燥箱、YXQ-LS-50A立式压力蒸汽灭菌器:上海博讯实业有限公司;XSR 205DU/AC Mettler Toledo电子天平:梅特勒-托利多仪器上海有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 党参蜜饯工艺流程及操作要点

党参蜜饯工艺流程见图1。操作要点如下,前处理:新鲜党参洗净后去皮切片,蒸制软化30 min,捞出,立即冷水冲洗,于60 ℃烘箱内干燥45 min。蜜液制备:添加适量山楂汁、食盐、蜂蜜入锅搅拌均匀。蜜制:将党参片完全浸入蜜液中,蜜制48 h后捞出。干燥:沥干蜜液,60 ℃干燥1 h。灭菌、包装:自然冷却后灭菌,真空塑封装袋即得成品。

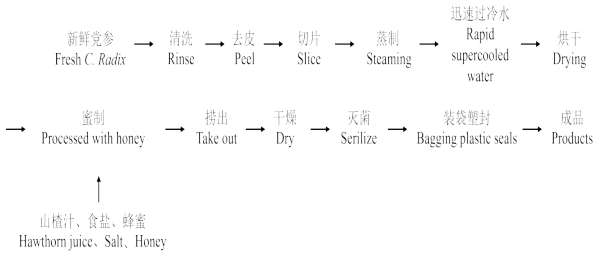

图1 党参蜜饯工艺流程

Fig.1 Crafting process of *C. Radix* preserves

1.2.2 党参蜜饯配方工艺优化

(1) 单因素试验

称取党参片10 g,分别考察山楂汁添加量(10、14、18、22、26 mL)、食盐添加量(0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 g)、蜂蜜添加量(8、10、12、14、16 g)对感官评分的影响。

(2) 响应面优化试验

基于单因素试验,以感官评分(Y)为响应值,山楂汁添加量(A)、食盐添加量(B)和蜂蜜添加量(C)为自变量,根据Box-Behnken试验原理,设计三因素三水平响应面试验优化党参蜜饯配方工艺(表1)。

表1 响应面试验因素和水平

Table 1 The factors and levels of response surface test

水平 Level	因素 Factor		
	A山楂汁添加量/mL Hawthorn juice additions	B食盐添加量/g Salt additions	C蜂蜜添加量/g Honey additions
−1	18	0.3	10
0	22	0.4	12
1	26	0.5	14

1.2.3 党参蜜饯感官评价

参考GB 14884—2016,感官评分小组由10名食品专业学生组成,男女各半。取样品于白色瓷盘中,对其口感进行评价,闻气味,品滋味,观察色泽和组织状态,评价过程中禁止相互讨论,感官评价标准见表2。

1.2.4 模糊数学感官评价模型的建立

(1) 确定评价对象和评价因素集

本研究评价对象为响应面优化试验中17组党参蜜饯样品,感官评价因素集V=(V_1,V_2,V_3,V_4),其中V_1、V_2、V_3、V_4分别代表党参蜜饯口感、滋气味、色泽、组织状态。

(2) 确定评价等级集

本研究中各因素按优秀、良好、一般、较差4个等级评定。即评价等级集Q=(优秀,良好,一般,较差),等级分数集H=(100,80,60,40)。

(3) 确定评价权重集

采用用户调查法和模糊二元对比决策法[16]建立权重集,感官评分小组对影响党参蜜饯因素的重要性打分,两两因素对比,重要得1分,不重要得0分,当相同因素对比时默认为10,各项指标得分与总分的比值即为权重,结果见表3,即权重集W=(0.34,0.22,0.19,0.25)。

表2　感官评价标准

Table 2　Sensory evaluation criteria

评价指标 Evaluation index	评价等级 Evaluation level			
	优秀(100分) Excellent(100 points)	良好(80分) Good(80 points)	一般(60分) Average(60 points)	较差(40分) Poor(40 points)
口感	酸甜可口,口感劲道	酸甜适中,口感稍劲道	偏酸或偏甜,口感一般或稍硬	偏酸或偏甜,口感过软或过硬
滋气味	具有党参和山楂特有风味,无异味	具有党参和山楂特有风味,稍有异味	稍有党参和山楂风味,有异味	党参和山楂风味不协调,有较大异味
色泽	色泽均匀,湿润鲜亮,无斑点	色泽较淡,湿润鲜亮,少量斑点	色泽较暗,少量斑点	色泽暗淡,较多斑点
组织状态	质地均匀,无肉眼可见外来异物	质地均匀,有少量肉眼可见外来异物	质地较均匀,有少量肉眼可见外来异物	质地不均匀,有较多肉眼可见外来异物

表3　各因素权重分布表

Table 3　Weight distribution table of each factor

因素 Factor	评价结果 Evaluation result					权重 Weight
	口感 Taste	滋气味 Odoriferous	色泽 Color and luster	组织状态 Texture state	合计 Total	
口感	10	7	9	8	34	0.34
滋气味	6	10	2	4	22	0.22
色泽	2	4	10	3	19	0.19
组织状态	4	5	6	10	25	0.25

(4)　矩阵分析感官评分

根据表2评价样品,将结果中各因素评价等级投票次数除以评价员人数,建立样品模糊数学感官综合评价矩阵R,依据公式S=W×R×H计算各样品模糊感官评分。

1.2.5　灭菌工艺比较

以微生物限量、感官评价为指标,比较超高压灭菌(500 MPa,25 ℃,10 min)与高压蒸汽灭菌(121 ℃,10 min)效果,选择最佳灭菌工艺。微生物限量检查方法:菌落总数:参照GB 4789.2—2022检测;大肠菌群:参照GB/T 4789.3—2016检测;霉菌:参照GB/T 4789.15—2016检测。

1.2.6　产品质量评价

理化指标检测:总糖、氯化钠含量参照GB/T 10782—2021检测。

有效成分指标检测:党参炔苷和党参多糖含量测定参照文献[17]方法检测。

1.3　统计分析

运用软件Design-Expert 8.0.6.1、Origin Pro 2018和SPSS 23.0对数据进行绘图、方差分析和显著性分析,每组试验重复3次。

2　结果与分析

2.1　党参蜜饯配方工艺优化

2.1.1　山楂汁添加量对党参蜜饯感官评价的影响

适量山楂汁可增加酸味,调和口感,具有消食开胃、降压降脂、免疫调节等作用[18]。如图2A,当添加量为22 mL时,党参蜜饯酸甜适宜、口感柔和,感官评分达到最大值93.65分;当添加量较低时,蜜饯口感以甜润为主,当添加量过高时,蜜饯酸度过高,口感不适。因此,选择最适山楂汁添加量为22 mL。

2.1.2　食盐添加量对党参蜜饯感官评价的影响

食盐作为生活中最常用的调味品,具有杀菌、解腻的作用,适量添加可调节产品的滋味及鲜度[19]。如图2B,随着食盐添加量增加,感官评分先增加后减小,当添加量超过0.4 g时,蜜饯口感不适,评分显著下降;当添加量为0.4 g时,可有效缓解甜腻感,适口性高,感官评分达到94.24分,故选择食盐添加量为0.4 g。

2.1.3　蜂蜜添加量对党参蜜饯感官评价的影响

如图2C,当蜂蜜添加量为12 g时感官评分最高,为94.33分,所得蜜饯酸甜适中,香气宜人。当添加量较小时,蜜饯因山楂汁占比较大,酸度过高;添加量大于12 g时,口感过于甜腻,且掩盖了山楂汁的独有风味,导致感官评分下降。综合考虑,选择最佳蜂蜜添加量为12 g。

2.1.4　模糊数学感官评价结果

根据感官评价标准评价响应面试验设计中17

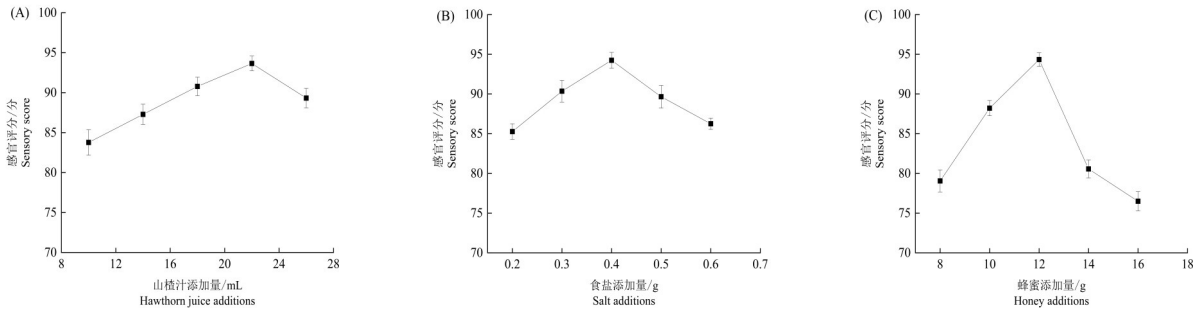

图2 山楂汁、食盐和蜂蜜添加量对党参蜜饯感官评价的影响

Fig.2 Effects of the additions of hawthorn juice, salt, and honey on sensory evaluation of *C. radix* preserves

组样品,统计结果见表4。

认为1号样品口感优秀的8人,良好1人,一般1人,较差0人,即因素集色泽V_1=(0.8,0.1,0.1,0)。同理,滋气味V_2=(0.5,0.4,0.1,0)、色泽V_3=(0.6,0.3,0.1,0)、组织状态V_4=(0.4,0.3,0.2,0.1),组成样品1的模糊数学感官综合评价矩阵$R_1=\begin{bmatrix}0.8&0.1&0.1&0\\0.5&0.4&0.1&0\\0.6&0.3&0.1&0\\0.4&0.3&0.2&0.1\end{bmatrix}$,则样品1最终模糊感官评分$U_1$为88.42分。

$U_1=S\times H=(0.34,0.22,0.19,0.25)\times\begin{bmatrix}0.8&0.1&0.1&0\\0.5&0.4&0.1&0\\0.6&0.3&0.1&0\\0.4&0.3&0.2&0.1\end{bmatrix}\times(100,80,60,40)=88.42$

同理可得样品2~样品17最终模糊数学感官评分,见表5。

2.1.5 响应面优化试验结果

共设计17组试验,结果见表5。利用Design-Expert 8.0.6.1软件对表5中试验数据进行多项式回归拟合,得二元回归方程:$Y=94.04+1.30A+1.33B-2.32C+3.85AB-0.36AC+2.50BC-5.32A^2-6.43B^2-3.73C^2$。

表6为响应面方差分析结果,可知回归模型$P<0.000\ 1$,失拟项不显著($P=0.639\ 6>0.05$),说明该模型构建成功,拟合度较高[20]。决定系数($R^2=0.996\ 1$)接近于1,$R^2_{adj}=0.991\ 1$,说明该模型可解释99.11%响应值的变化。一次项A(山楂汁添加量)、B(食盐添加量)、C(蜂蜜添加量),交互项AB(山楂汁添加量与食盐添加量)、BC(食盐添加量与蜂蜜添加量)及二次项A^2、B^2、C^2对评分的影响均达到极显著水平($P<0.01$)。据F值得出各因素对感官评分影响顺序:C(蜂蜜添加量)>B(食盐添加量)>A(山楂汁添加量)。

等高线图及响应面3D图中曲线陡峭程度可直观反映因素之间交互作用影响强弱,等高线趋于椭圆形,响应面3D图中曲线越陡峭,表明两因素交互作用对感官评分影响越显著,反之对评分影响越小[21]。图3为各交互作用响应面3D图和等高线图,可知AB、BC交互作用对评分影响的等高线图趋向于椭圆形且3D图曲线陡峭,说明山楂汁和食盐添加量、食盐和蜂蜜添加量交互作用对评分影响显著,与方差分析结果一致。

2.2 验证试验及生产扩大试验

通过Design-Expert 8.0.6.1软件预测最佳配方:党参10 g、山楂汁22.67 mL、食盐0.41 g、蜂蜜11.43 g,感官评分94.54分。基于实际试验操作可行性,将预测配方调整为:党参10 g,山楂汁22.70 mL,食盐0.41 g,蜂蜜11.45 g,进行3次平行验证试验,平均评分值94.87分,与模型预测值相近,结果吻合度较高。称取党参100 g,以山楂汁227 mL、食盐4.1 g、蜂蜜114.5 g配制蜜液制作党参蜜饯进行生产扩大试验,样品感官评分平均值为92.37分,表明此工艺稳定可行。

2.3 灭菌工艺比较结果

进行超高压灭菌及高压蒸汽灭菌后,样品菌落总数<10 CFU·g^{-1},大肠菌群<2 CFU·g^{-1},霉菌<1 CFU·g^{-1},均符合GB 14884—2016《食品安全国家标准 蜜饯》中相关规定与要求。

感官评价表明,高压蒸汽灭菌处理后蜜饯口感偏软、咀嚼性较差,且灭菌过程中发生褐变,温度过高也造成部分营养价值损失;而超高压灭菌处理后,蜜饯硬度适中、口感佳、质地优良、咀嚼性

表4　党参蜜饯模糊数学感官模型评价结果

Table 4　Evaluation results of fuzzy mathematical sensory model for *C. radix* preserves

序号 Serial number	口感 Taste				滋气味 Odoriferous				色泽 Color and luster				组织状态 Texture state			
	优秀 Excellent	良好 Good	一般 Average	较差 Poor	优秀 Excellent	良好 Good	一般 Average	较差 Poor	优秀 Excellent	良好 Good	一般 Average	较差 Poor	优秀 Excellent	良好 Good	一般 Average	较差 Poor
1	8	1	1	0	5	4	1	0	6	3	1	0	4	3	2	1
2	8	1	1	0	7	3	0	0	8	1	1	0	8	2	0	0
3	5	3	2	0	4	3	3	0	4	3	2	1	4	2	2	2
4	7	1	2	0	5	2	2	1	3	4	2	1	7	1	1	1
5	9	0	0	1	7	3	0	0	5	2	2	1	5	3	1	1
6	8	2	0	0	7	2	1	0	7	1	2	0	9	1	0	0
7	6	3	0	1	5	1	3	1	9	1	0	0	5	1	1	3
8	5	4	1	0	6	2	2	0	5	2	2	1	3	4	1	2
9	7	1	2	0	5	2	2	1	4	3	2	1	6	2	1	1
10	5	2	2	1	2	4	2	2	4	4	2	0	4	2	2	2
11	8	2	0	0	6	4	0	0	7	3	0	0	7	3	0	0
12	5	2	1	2	5	1	1	3	4	3	2	1	4	1	3	2
13	6	3	1	0	6	2	2	0	8	1	1	0	3	3	4	0
14	6	2	2	0	5	2	2	1	6	1	2	1	4	3	2	1
15	8	2	0	0	6	3	1	0	7	1	2	0	8	1	1	0
16	7	3	0	0	7	2	1	0	8	2	0	0	8	1	1	0
17	6	1	2	1	2	4	2	2	4	1	5	0	4	2	2	2

表5　响应面优化试验设计及试验结果

Table 5　Design and results of response surface optimization test

试验号 Test number	A山楂汁添加量 Hawthorn juice additions	B食盐添加量 Salt additions	C蜂蜜添加量 Honey additions	Y感官评分/分 Sensory score
1	1	1	0	88.42
2	0	0	0	94.50
3	−1	0	1	81.48
4	0	1	1	85.46
5	1	0	−1	89.22
6	0	0	0	94.48
7	0	1	−1	85.14
8	−1	−1	0	83.86
9	−1	0	−1	85.34
10	−1	1	0	78.68
11	0	0	0	94.24
12	0	−1	1	77.62
13	0	−1	−1	87.32
14	1	0	1	83.92
15	0	0	0	93.04
16	0	0	0	93.94
17	1	−1	0	78.22

好。超高压灭菌是一种冷杀菌技术[22],在杀菌过程中温度没有剧烈变化,对样品品质影响较小,最大程度保持样品的色、香、味及营养价值。故选用超高压灭菌处理党参蜜饯。

2.4　产品质量检测结果

GB/T 10782—2021《蜜饯质量通则》中要求蜜饯类产品总糖含量≤85%,氯化钠含量≤20%;Q/FJXW 0002 S-2019《茶香低糖蜜饯》中要求总糖含量≤50%。理化指标检测结果表明,最优工艺配方所制备的即食党参蜜饯中总糖含量为36.54%,氯化钠含量为2.56%,符合GB/T 10782—2021中规定和要求,且符合Q/FJXW 0002 S-2019中低糖蜜饯总糖含量的要求。经最优工艺配方制备的即食党参蜜饯产品中,有效成分指标检测结果表明:蜜饯样品中党参炔苷含量为0.19 mg·g^{-1},党参多糖含量为6.84%。

3　讨论

随着人们健康意识的提高,药食同源食品逐渐受到人们的青睐。党参为补益气血之佳品,是山西省的道地药材之一,富含多种氨基酸及微量元素,营养价值极高,将党参开发为一种便携式蜜饯产品

表6 响应面方差分析表

Table 6 Variance analysis of regression equation

误差来源 Source	平方和 Squares	自由度 Degree of freedom	均方差 Square	*F*值 *F* value	*P*值 *P* value	显著性 Significant
模型	545.88	9	60.65	199.47	<0.000 1	**
A	13.57	1	13.57	44.63	0.000 3	**
B	14.26	1	14.26	46.89	0.000 2	**
C	42.97	1	42.97	141.30	<0.000 1	**
AB	59.14	1	59.14	194.48	<0.000 1	**
AC	0.52	1	0.52	1.70	0.232 9	
BC	25.10	1	25.10	82.55	<0.000 1	**
A^2	119.17	1	119.17	391.91	<0.000 1	**
B^2	173.81	1	173.81	571.62	<0.000 1	**
C^2	58.58	1	58.58	192.65	<0.000 1	**
残差	2.13	7	0.30			
失拟项	0.67	3	0.22	0.62	0.639 6	
纯误差	1.46	4	0.36			
总离差	548.01	16				
	R^2=0.996 1		R^2_{adj}=0.991 1			

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

* represented the significant difference at 0.01<*P*<0.05;** represented the extremely significant difference at *P*<0.01

市场潜力巨大。本课题组前期以黄芪为原料,添加山西老陈醋、蜂蜜、食盐开发了新型即食黄芪产品,相关专利已授权并转让[21]。本研究基于前期研究结果,以党参为原料,以山楂汁替换陈醋改善蜜饯酸度,利用模糊数学结合响应面法优化得到最佳配方,所制得蜜饯产品兼具山楂和党参风味,且口感酸甜,质地劲道。研究发现,当山楂汁、蜂蜜、食盐添加量过高或过低时,都会导致蜜饯酸甜度失衡,并且口感和蜜饯品质也会大打折扣,使得感官评分下降。由回归模型方差分析及显著性检验可知,回归模型*P*值<0.000 1,表示该模型具有极显著性,具有统计学意义。失拟项不显著(*P*=0.639 6>0.05),表示该模型构建成功,可进行较好拟合。对模型回归方程系数的显著性试验表明各因素对蜜饯品质影响显著性的主次顺序为蜂蜜添加量>食盐添加量>山楂汁添加量。综合考虑,党参用量为100 g时,山楂汁、食盐、蜂蜜最佳添加量分别为227 mL、4.1 g、114.5 g。在本研究中,2种灭菌工艺的产品微生物指标以及各项理化指标均符合国家相关标准及规定要求。而超高压灭菌法作为一种冷杀菌技术,在保证产品灭菌效果同时对产品本身影响较小,因此可以有效保留党参中有效成分,优势突出。本研究关注产品的制备工艺及产品与国家标准的符合度,按要求仅对党参炔苷和多糖2种有效成分进行分析,下一步将对山楂有效成分及产品各项营养物质进行检测分析,通过体外细胞实验和体内大鼠实验进一步研究本产品的

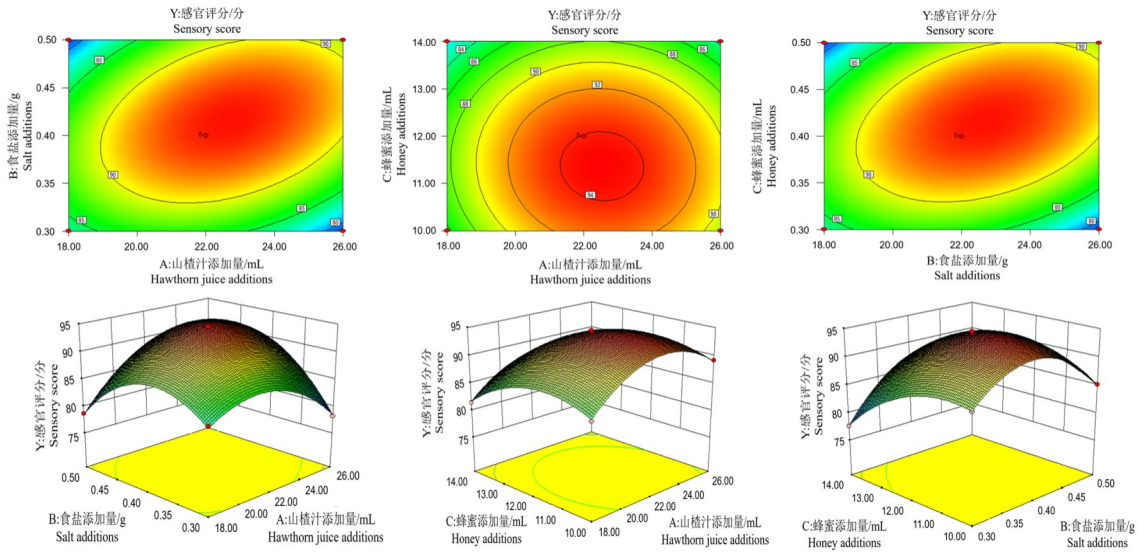

图3 各因素交互作用对党参蜜饯感官评分的影响

Fig.3 Interaction effects of various factors on sensory evaluation scores of *C. radix* preserves

性能和功效。

4　结论

本研究以党参为主要原料,通过模糊数学结合响应面法优化山楂风味低糖党参蜜饯的配方工艺,克服了单一感官评价主观性较强、难以量化的问题,确保评价结果的客观性,获得最优配方:党参100 g,山楂汁、食盐、蜂蜜添加量分别为227 mL、4.1 g、114.5 g,感官评分达92.37分。比较了超高压灭菌与高压蒸汽灭菌工艺对党参蜜饯品质的影响,结果表明微生物指标均符合相关标准,超高压灭菌法处理后蜜饯样品口感、滋气味、色泽、组织状态均优于高压蒸汽灭菌。产品理化指标检测表明,蜜饯样品中总糖含量、氯化钠含量均符合相关规定和要求,有效成分得以保留,营养价值丰富。本研究开发的党参蜜饯酸甜适口,色泽均匀,软硬适宜,兼具党参和山楂的独特风味,富有嚼劲,为党参食品产品精深加工提供了一种切实可行的思路和方法,具有良好的市场前景。

参　考　文　献

[1]王梅. 炒制用米对党参化学成分和药效的影响研究[D]. 晋中:山西中医药大学,2021.
Wang M. Study on the effect of fried rice on the chemical composition and efficacy of *Codonopsis pilosula*[D]. Jinzhong: Shanxi University of Chinese Medicine,2021.

[2]Yang M J,Jin Y M,Yang J M,et al. Preparation of *Codonopsis pilosula* polysaccharide microcapsules and its effect and mechanism on skin wound healing in rats[J]. Journal of Biomaterials Applications,2022,36(10):1723-1736.

[3]李力恒,陈昌瑾,胡晓阳,等. 党参的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中医药学报,2023,51(3):112-115.
Li L H,Chen C J,Hu X Y,et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Codonopsis pilosula*[J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology,2023,51(3):112-115.

[4]冀宪武,田洪岭,李丹丹. 山西省党参资源开发利用的现状与对策研究[J]. 农业技术与装备,2022(1):59-60,64.
Ji X W,Tian H L,Li D D. Research on the present situation and countermeasures of the development and utilization of *Codonopsis pilosula* resources in Shanxi Province[J]. Agricultural Technology & Equipment,2022(1):59-60,64.

[5]苏圆锦,奚佳玉,史奇,等. 药食同源中药党参的研究进展[J]. 中草药,2023,54(8):2607-2617.
Su Y J,Xi J Y,Shi Q,et al. Research progress on *Codonopsis radix* as medicinal and edible traditional Chinese medicine[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs,2023,54(8):2607-2617.

[6]韩喜桃,唐雅楠,刘子琴,等. 不同储藏条件对党参片质量的影响[J]. 中草药,2022,53(3):858-867.
Han X T,Tang Y N,Liu Z Q,et al. Influence of different storage conditions on quality of *Codonopsis Radix* pieces[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs,2022,53(3):858-867.

[7]李京虎,张逸璇,高飞."药食同源"类食品产业发展现状及对策研究[J]. 中国食物与营养,2023,29(9):5-11.
Li J H,Zhang Y X,Gao F. Research on the development status and measures of food industry of "homology of medicine and food" category[J]. Food and Nutrition in China,2023,29(9):5-11.

[8]曾琦琦,李文钊,刘亚平,等. 党参复合饮料在不同储藏温度下的风味变化[J]. 食品研究与开发,2020,41(24):57-64.
Zeng Q Q,Li W Z,Liu Y P,et al. The flavor changes of *Codonopsis pilosula* compound beverage at different storage temperature[J]. Food Research and Development,2020,41(24):57-64.

[9]李雪,李文,周静,等. 米炒党参锅巴的工艺及品质分析[J]. 食品研究与开发,2022,43(3):102-109.
Li X,Li W,Zhou J,et al. Technology optimization and quality analysis of rice crust with rice fried *Codonopsis pilosula*[J]. Food Research and Development,2022,43(3):102-109.

[10]康东坤,高外毛,张蒙,等. 响应面试验优化芪健饼干的加工工艺研究[J]. 山西中医药大学学报,2022,23(1):36-39.
Kang D K,Gao W M,Zhang M,et al. Optimization of processing technology of Qijian biscuits by response surface method[J]. Journal of Shanxi University of Chinese Medicine,2022,23(1):36-39.

[11]付美玲,李丹丹,李莹,等. 响应面法优化山楂果胶复合保鲜膜的制备工艺[J]. 中国食品添加剂,2023,34(4):45-51.
Fu M L,Li D D,Li Y,et al. Optimization of the preparation process of hawthorn pectin composite fresh-keeping film by response surface methodology[J]. China Food Additives,2023,34(4):45-51.

[12]张祺嘉钰,赵佩媛,孙静,等. 山楂的化学成分及药理作用研究进展[J]. 西北药学杂志,2021,36(3):521-523.
Zhang Q J Y,Zhao P Y,Sun J,et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological action of hawthorn[J]. Northwest Pharmaceutical Journal,2021,36(3):521-523.

[13]史国玉,武卫红,商庆节,等. 药食两用山楂的药理作用及保健应用研究进展[J]. 现代食品,2020(15):126-128.
Shi G Y,Wu W H,Shang Q J,et al. Research on the pharmacological and health care application of hawthorn[J]. Modern Food,2020(15):126-128.

[14]宋娜,李竹生,张艳丽,等. 模糊数学耦合响应面法研制石榴风味功能酸奶[J]. 中国食品添加剂,2022,33(6):122-128.
Song N,Li Z S,Zhang Y L,et al. Development of functional yoghurt with pomegranate flavor by fuzzy coupled response surface methodology[J]. China Food Additives,2022,33(6):122-128.

[15]杨丽霞,梁正辉,郭政港. 连翘叶复合袋泡茶的制备及配方优化[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2021,41(3):1-8.
Yang L X,Liang Z H,Guo Z G. Preparation and formula optimization of *Forsythia suspense* leaf compoundtea bag[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science

Edition),2021,41(3):1-8.
[16]贾庆超,孔欣欣. 模糊数学评价结合响应面法优化山楂黑蒜复合饮料[J]. 食品安全质量检测学报,2021,12(17):6990-6998.
Jia Q C,Kong X X. Optimization of hawthorn and black garlic compound beverage by fuzzy mathematics evaluation combined with response surface methodology [J]. Journal of Food Safety & Quality,2021,12(17):6990-6998.
[17]王梅,王越欣,武英茹,等. 米炒党参炮制过程中党参炔苷、5-HMF和党参多糖含量动态变化研究[J]. 食品安全质量检测学报,2021(7):2765-2772.
Wang M, Wang Y X, Wu Y R, et al. Study on dynamic changes of lobetyolin, 5-HMF and *Codonopsis pilosula* polysaccharides content in rice fried *Codonopsis pilosula* during processing[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021(7): 2765-2772.
[18]赵云龙. 芜菁山楂复合饮料配方优化及其对运动耐力的影响[J]. 食品工业科技,2022,43(14):401-408.
Zhao Y L. Optimization of formula of *Brassica rapa* L. and hawthorn compound beverage and its effect on exercise endurance [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022,43(14):401-408.
[19]傅琳秋. 食盐对肉制品品质的作用及减盐技术研究[J]. 中国食品工业,2023(2):83-85.
Fu L Q. Study on the effect of salt on the quality of meat products and the technology of reducing salt[J]. China Food Industry,2023(2):83-85.
[20]何叶,王文杰,曹柯源,等. 响应面法优化鸡蛋风味布丁的耐热性能[J]. 中国食品添加剂,2023,34(6):263-270.
He Y,Wang W J,Cao K Y,et al. Optimization of heat resistance of egg flavored pudding by response surface methodology[J]. China Food Additives,2023,34(6):263-270.
[21]李睿,郝瑞,王宇,等. 模糊数学结合响应面法研制即食黄芪[J]. 食品安全质量检测学报,2023,14(2):316-323.
Li R, Hao R, Wang Y, et al. Development of instant *Astragalus membranaceus* by fuzzy mathematics coupled response surface methodology[J]. Journal of Food Safety & Quality,2023,14(2):316-323.
[22]张彩芳,秦令祥,周婧琦,等. 基于响应面法优化双酶耦合超高压提取香菇多糖工艺及抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂,2022,33(9):69-74.
Zhang C F,Qin L X,Zhou J Q,et al. Optimization of double enzymes coupling ultra high pressure extraction process of lentinan by response surface method and its antioxidant activity [J]. China Food Additives,2022,33(9):69-74.

Development of hawthorn-flavored low-sugar *Codonopsis radix* preserves using fuzzy mathematics combined with response surface methodology

Li Rui[1], Ruan Wenhui[2,1*], Hao Rui[1], Li Ruiqing[1], Lu Liyan[1], Ruan Xinyang[3]

(*1. College of Traditional Chinese Medicine and Food Engineering, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China; 2.Shanxi Center of Drug Evaluation (Shanxi Institute of Medicine and Life Science), Taiyuan 030006, China; 3.School of Mathematical Science, Huaiyin Normal University, Huaian 23000, China*)

Abstract: [Objective] This study was aimed to develop a new type of portable and instant *Codonopsis radix* preserves product using *C. radix* as the main raw material. [Methods] The effects of hawthorn juice addition, honey addition, and salt addition on the sensory score of *C. radix* preserves were investigated. Based on single factor experiment, the formulation of hawthorn-flavored low-sugar *C. radix* preserves was optimized using fuzzy mathematics combined with response surface methodology. Microbial limits and sensory evaluation were used as indicators to compare the effects of different sterilization processes on the quality of *C. radix* preserves, and its physicochemical indexes and active component content were measured. [Results] The response surface optimization determined the order of factors affecting the quality of *C. radix* preserves was: honey addition> salt addition>hawthorn juice addition. The optimal formulation for *C. radix* preserves was: *C. radix* 100 g, hawthorn juice addition 227 mL, honey addition 114.5 g, and salt addition 4.1 g. The product made with this formulation had a sweet and sour taste, good chewiness, unique flavor, and the highest fuzzy mathematics sensory score of 92.37. Both ultra-high pressure sterilization and high-pressure steam sterilization samples met relevant standards (total bacteria count<10 CFU·g^{-1}, coliform< 2 CFU·g^{-1}, mold<1 CFU·g^{-1}) with the sensory evaluation of ultra-high pressure sterilized *C. radix* being superior to that of high-pressure steam sterilization. Product quality testing showed that the contents of the total sugar and sodium chloride in *C. radix* were 36.54% and 2.56%, respectively, meeting relevant regulations. The contents of glycoside and polysaccharide in *C. radix* preserves were 0.19 mg·g-1 and 6.84%, respectively, indicating high nutritional value. [Conclusion] The instant *C. radix* preserves developed in this study has a unique flavor of *C. radix* and hawthorn, with uniform color, moderate hardness, high sensory scores, and meet national standards for physicochemical and microbial indexes. This finding provided theoretical support for the research and large-scale production of *C. radix* preserves products.

Keywords: *Codonopsis Radix* preserves, Hawthorn, Fuzzy mathematics, Sensory evaluation, Sterilization(编辑:韩志强)