

响应面法优化香菇软糖的制作工艺研究

康林芝, 刘诗琦, 李少娟

(韶关学院英东食品学院, 广东韶关 512005)

摘要: 以香菇粉为主原料, 黄原胶与琼脂作为凝胶剂, 蔗糖与葡萄糖浆作为糖料, 柠檬酸作为酸味剂, 以感官评价和质构分析为考察指标, 通过单因素和响应面法优化香菇软糖的制作工艺。结果表明: 香菇软糖的最佳工艺配方为以原料总质量为基准, 复配胶 2.4 %、香菇粉 2.3 %、柠檬酸 0.25 %、葡萄糖浆与蔗糖质量比 1.2:1。在此条件下制得的香菇软糖口感独特, 咀嚼性和弹性均较好, 且带有丰富的香菇香气。

关键词: 香菇; 软糖; 感官评价; 质构分析; 响应面法

Optimization of processing technology of *Lentinus edodes* soft sweet by response surface methodology

KANG Lin-zhi, LIU Shi-qi, LI Shao-juan

(Yingdong Food Science Institute, Shaoguan University, Shaoguan 512005, Guangdong, China)

Abstract: Using *Lentinus edodes* powder as raw material, xanthan gum and agar as gel, sucrose and glucose syrup as sugar material, citric acid as acid agent, taking sensory evaluation and texture analysis as investigation indexes, the preparation technology of *Lentinus edodes* soft sweet was optimized by single factor and response surface methodology. The results showed that the best technological formula of *Lentinus edodes* soft sweet was as follows: based on the total mass of raw materials, compound gum 2.4 %, *Lentinus edodes* powder 2.3 %, citric acid 0.25 %, and the mass ratio of glucose syrup to sucrose 1.2:1. Under these conditions, the *Lentinus edodes* soft sweet had unique taste, good chewiness and elasticity, and rich aroma of *Lentinus edodes*.

Key words: *Lentinus edodes*; soft sweet; sensory evaluation; texture analysis; response surface methodology

中图分类号: TS201.1 文献标志码: A 文章编号: 1008-9578(2022)03-0122-05

香菇(*Lentinus edodes*), 又名花蕈、花菇, 营养和保健价值都极高, 是我国著名的药食两用菌^[1-2]。研究较多的香菇多糖已被证实具有提高免疫力、抑制肿瘤细胞增殖和生长等作用^[3], 香菇中的香菇嘌呤降血脂作用比目前降血脂常用药——安妥明高 10 倍^[4]。香菇还含有丰富的氨基酸和蛋白质, 对改善日常膳食结构和提高膳食营养具有重要作用^[5]。此外, 香菇还含有丰富的麦角甾醇、膳食纤维和矿物质, 对促进人体钙吸收及改善肠道环境、抗病毒和提高人体免疫力等具有良好的作用^[6]。目前对香菇的研究主要集中于保健功能, 而多元化产品的开发利用却较少, 所以开发香菇相关休闲食品具有

较为广阔的前景。

本试验以香菇为关键原材料制作香菇凝胶软糖, 并探究其最佳配方工艺, 开发出有香菇独特风味、口感好的保健软糖, 丰富了凝胶软糖品种, 并为功能性软糖开发提供了思路, 同时也为香菇的产业发展及资源开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

琼脂, 澄迈县老城大富琼脂厂; 黄原胶, 广州馨之味食品配料商城; 葡萄糖浆, 江苏先卓食品科技股份有限公司; 柠檬酸, 河南万邦实业有限公司; 香菇、蔗糖, 市售。

收稿日期: 2020-04-02

基金项目: 广东省教育厅科研项目(2021KQNCX086); 广东省大学生创新创业训练计划项目(S202110576069); 韶关学院校级自然科学类科研项目(SY2020KJ09)

作者简介: 康林芝(1988—), 博士, 高级工程师, 研究方向为食用菌育种及其相关功能食品。

1.2 仪器与设备

800Y 型粉碎机,永康市铂欧五金制品有限公司;MB-1-1 单联型万用电炉,北京科伟永兴仪器有限公司;DHG-9076 电热恒温鼓风干燥箱、HH-S28s 水浴锅,江苏省金坛市大地自动化仪器厂;TMS-Pro 质构仪,北京盈盛恒泰科技有限责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

香菇清洗→烘干→粉碎过筛→熬煮→溶胶→熬糖→混合→调酸→装模→冷藏→干燥→成品

操作要点:将烘干粉碎的香菇粉加入至一定量蒸馏水中搅拌均匀,再加入称量好的复配胶(琼脂、黄原胶质量比 10:1),于 95 ℃ 恒温处理 25 min,完全溶解后降温至 75 ℃,备用,按料液比 2:1 (g/mL) 将混合糖(葡萄糖浆与蔗糖)加入水中加热处理,熬至糖液呈金黄色拉丝状,立即将糖液与复合凝胶溶液进行混合并搅拌,快速降温至 70~75 ℃;再加入柠檬酸搅拌,混匀后迅速倒入模盘,等待冷却;结块成型后放入 45 ℃ 的恒温干燥箱中烘干至含水量 16%~25%。冷却至室温、包装^[7-8]。

1.3.2 单因素试验

以原料总质量为基准,混合糖添加量 26.9% (葡萄糖浆与蔗糖质量比 1:1)、复配胶添加量 2.2% (琼脂与黄原胶质量比 10:1)、柠檬酸 0.1%,香菇粉 0.6%,水添加量 70.2%。在上述工艺条件基础上,以感官评价为指标,进行单因素试验,分别考察不同复配胶添加量、柠檬酸添加量、香菇粉添加量以及葡萄糖浆与蔗糖的质量比对香菇软糖风味的影响。

1.3.3 响应面优化试验设计

根据单因素试验结果,以复配胶添加量、香菇粉添加量、柠檬酸添加量、葡萄糖浆与蔗糖质量比为影响因素,以感官评分为评价指标,采用 Box-Behnken 响应面优化的方法^[9],设计四因素三水平响应面试验。因素水平见表 1。

表 1 因素水平表

水平	因素			
	A 复配胶添加量/%	B 香菇粉添加量/%	C 柠檬酸添加量/%	D 葡萄糖浆与蔗糖质量比
-1	2.0	1.7	0.2	1.5:1
0	2.2	2.2	0.25	1:1
1	2.4	2.7	0.3	1:1.5

1.3.4 香菇软糖质构的测定

使用 TMS-Pro 质构仪对样品的硬度、内聚性、弹

性、咀嚼性进行分析,力量感应元量程为 500 N,探头回升到样品表面高度 35 mm,测前速度 60 mm/min,测中速度 40 mm/min,测后速度 60 mm/min,起始力为 1 N^[10]。记录数据,取 4 次测定结果的平均值作为最后的结果。

1.3.5 香菇软糖感官评分

由 10 位食品专业的人员组成感官评价小组,对香菇软糖样品进行评分。感官评分标准见表 2。

表 2 感官评价表

评分项目	评分标准	分数
硬度	软硬适中,有类似山楂糕的硬度	20~25
	偏软或偏硬,有类似果冻或者猪油糖的硬度	10~19
	偏软或偏硬,易碎或者类似硬糖的硬度	0~9
风味	香菇风味适中,能够接受偏向喜欢	20~25
	香菇风味较浓或较淡,能够接受但不是很喜欢	10~19
	香菇风味浓重或没有香菇味,不喜欢	0~9
弹性	弹性好,有类似橡皮糖的口感	20~25
	弹性一般,与口香糖类似	10~19
	弹性不足,有类似水果干的口感	0~9
咀嚼性	咀嚼感好	20~25
	咀嚼感较好	10~19
	咀嚼感偏差	0~9

2 结果与分析

2.1 复配胶添加量对香菇软糖品质的影响

由图 1 可知:当复配胶添加量小于 2.0% 时,感官评分较低,香菇软糖质构不紧密、易碎、弹性较低、咀嚼性较差、口感下降;在复配胶添加量为 2.0%~2.2% 时,由于复配胶添加量的逐渐加大,香菇软糖弹性逐渐增大,咀嚼性逐渐加强,感官评分逐渐上升;但当复配胶添加量超过 2.2% 后,由于胶的添加量过多,使得糖果质构过于紧密而发硬,咀嚼性下降,感官评分开始下降。因此,最佳复配胶添加量为 2.2%。

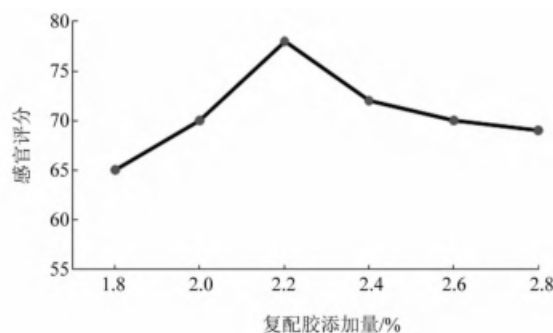


图 1 复配胶添加量对软糖感官品质影响

2.2 香菇粉添加量对香菇软糖品质的影响

香菇粉添加量对软糖成品的风味、色泽及口感

有影响,当添加量过多时,香菇的特征香味较浓,颜色较深,有些消费者较难接受;当添加量少时,色泽及香味较淡,反而更容易使消费者接受。由图2可知:在香菇粉添加量达到2.2%前,随着添加量的增加,感官评分有所增加;当香菇粉添加量超过2.2%后,随着添加量的增加,香菇气味过于浓厚,超出大众所能接受的程度,感官评分随之下降。因此,香菇的最优添加量为2.2%。

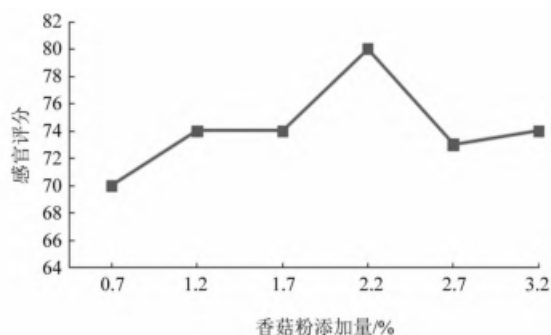


图2 香菇粉添加量对软糖感官品质的影响

2.3 柠檬酸添加量对香菇软糖品质的影响

柠檬酸添加量对香菇凝胶软糖的风味、硬度、凝胶强度均有影响。由图3可知:柠檬酸添加量对于感官评分影响较为明显。柠檬酸在糖果中除了促进蔗糖转化、防止成品返砂外,还能够调节口味,使糖果酸甜适宜,风味更加丰富。而且柠檬酸的加入会导致软糖pH下降而引起凝胶剂分解,从而降低软糖硬度。在柠檬酸添加量达到0.25%前,随着添加量的增加,糖果的感官评分逐渐上升;在柠檬酸添加量超过0.25%后,软糖酸味加重,硬度和弹性欠佳,感官评分呈现下降趋势。因此,最佳柠檬酸添加量为0.25%。

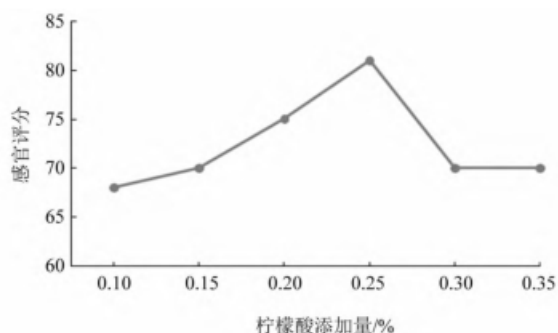


图3 柠檬酸添加量对软糖感官品质的影响

2.4 葡萄糖浆与蔗糖质量比对香菇软糖品质的影响

还原糖易吸潮、滋生微生物,导致变质,不利于保存,且会影响口感、外观等。因此,葡萄糖浆与蔗糖的质量比对于产品的口感、外观和保质期影响较

大。蔗糖添加量过多或过少都会对成品糖产生不良影响,比如蔗糖添加过少时成品糖体黏度大,但如果添加过多也会造成糖体返砂发硬,其与葡萄糖浆混用不仅可以防止软糖过硬、粗糙、返砂,还可以改善糖果的甜度和品质^[10]。由图4可知:葡萄糖浆与蔗糖质量比为1:1.5时,感官评分最高,软硬和甜度都适中。

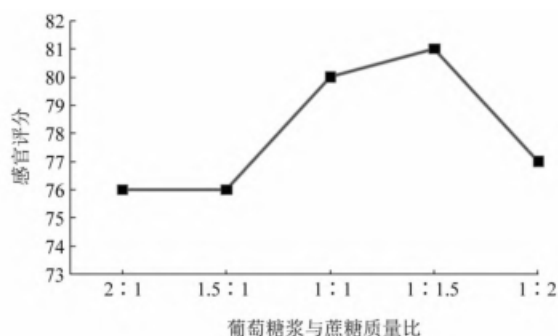


图4 葡萄糖浆与蔗糖质量比对软糖感官品质的影响

2.5 响应面优化试验结果分析

响应面试验结果见表3。通过 Design Expert 10

表3 响应面试验设计与结果

试验号	A	B	C	D	感官评分
1	0	1	0	-1	78.40
2	0	0	1	1	79.10
3	1	0	0	1	78.40
4	-1	0	0	-1	78.50
5	0	1	0	1	77.60
6	1	0	0	-1	77.10
7	-1	0	1	0	78.30
8	0	0	0	0	78.40
9	0	-1	0	-1	77.50
10	1	-1	0	0	76.80
11	0	1	-1	0	78.10
12	0	-1	-1	0	78.20
13	0	0	-1	1	77.60
14	-1	0	0	1	77.00
15	0	0	0	0	78.50
16	1	0	1	0	78.30
17	0	-1	1	0	78.60
18	0	0	0	0	78.20
19	0	1	1	0	78.40
20	0	0	-1	-1	78.20
21	1	0	-1	0	77.60
22	-1	0	-1	0	78.10
23	-1	1	0	0	77.40
24	0	0	0	0	78.40
25	-1	-1	0	0	78.40
26	0	-1	0	1	78.10
27	1	1	0	0	77.40
28	0	0	1	-1	78.10
29	0	0	0	0	78.40

软件进行试验设计和数据处理分析,以成品感官评分为响应值,经回归拟合后,得到香菇凝胶软糖的二项式回归方程:

$$Y = 78.38 - 0.17A - 0.025B + 0.25C + 0.000D + 0.40AB + 0.12AC + 0.70AD - 0.025BC - 0.35BD + 0.40CD - 0.49A^2 - 0.29B^2 + 0.17C^2 - 0.21D^2$$

由表4可知:回归模型 $P < 0.0001$,说明二次多元回归模型极显著;失拟项为0.0565,不显著;且总回归模型相关系数 R^2 为0.9128,表明该模型拟合情况较好,可以用于预测试验结果。各因素对感官评分的影响大小依次为柠檬酸添加量>复配胶添加量>香菇粉添加量>葡萄糖浆与蔗糖质量比。

表4 响应面试验结果方差分析

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	7.47	14	0.53	10.47	<0.0001	**
A	0.37	1	0.37	7.21	0.0178	*
B	0.0075	1	0.0075	0.15	0.7071	
C	0.75	1	0.75	14.71	0.0018	**
D	0.00	1	0.00	0.00	1.0000	
AB	0.64	1	0.64	12.55	0.0032	**
AC	0.06	1	0.06	1.23	0.2869	
AD	1.96	1	1.96	38.44	<0.0001	**
BC	0.0025	1	0.0025	0.05	0.8280	
BD	0.49	1	0.49	9.61	0.0078	**
CD	0.64	1	0.64	12.55	0.0032	**
A ²	1.58	1	1.58	31.07	<0.0001	**
B ²	0.56	1	0.56	11.01	0.0051	**
C ²	0.18	1	0.18	3.60	0.0784	
D ²	0.28	1	0.28	5.43	0.0352	*
残差	0.71	14	0.05			
失拟项	0.67	10	0.07	5.55	0.0565	
纯误差	0.05	4	0.01			
总和	8.19	28				
R ²	0.9128					
R ² _{Adj}	0.8256					

注:*为显著($P < 0.05$);**为极显著($P < 0.01$)。

根据建立的数学模型进行参数最优化分析,得到制作香菇凝胶软糖的最佳工艺条件:复配胶添加量2.36%、香菇粉添加量2.31%、柠檬酸添加量0.247%、葡萄糖浆与蔗糖质量比1.216:1,为便于实际操作,将最优配方修正为复配胶添加量2.4%、香菇粉添加量2.3%、柠檬酸添加量0.25%、葡萄糖浆与蔗糖质量比1.2:1。经验证实验,在此条件下得到的感官评分平均为80.5,与模型的预测值80.53相接近。

2.6 质构数据分析

糖果硬度是否合适需要结合产品口感评判;内聚性越大,糖果维持成型的能力越强;而弹性以及咀嚼性数值大的糖果口感也会更好^[10]。由表5可知:响应面29组试验中感官评分最高的为第2组,其内聚性、弹性以及咀嚼性也较优,但质构特性与感官评分最佳的仍是最终确定的最优配方组。质构分析结果与感官评价结果呈现一定的一致性,也进一步验证了感官评分作为软糖的评价标准是较为可靠的。

表5 质构分析结果

序号	硬度/N	内聚性	弹性	咀嚼性/N
1	41.15	0.50	1.93	42.00
2	42.50	0.53	2.21	52.69
3	45.60	0.51	2.03	49.50
4	37.25	0.52	1.98	40.30
5	51.37	0.48	1.54	38.47
6	48.40	0.49	2.09	50.10
7	35.66	0.50	2.04	36.90
8	39.58	0.51	1.95	40.36
9	33.70	0.47	2.30	36.69
10	36.70	0.45	2.24	37.76
11	46.29	0.48	2.08	47.39
12	36.01	0.50	2.04	37.02
13	38.40	0.49	2.06	39.00
14	35.50	0.46	2.23	36.70
15	39.74	0.52	1.91	40.12
16	30.45	0.50	2.18	33.67
17	33.40	0.52	1.94	34.60
18	44.21	0.49	2.06	45.00
19	35.74	0.51	2.21	40.86
20	36.28	0.49	2.12	37.86
21	44.65	0.46	2.20	45.67
22	42.38	0.48	2.08	43.25
23	37.88	0.47	2.17	39.40
24	41.80	0.51	2.01	43.69
25	42.09	0.51	2.03	44.69
26	66.66	0.48	1.30	42.33
27	43.70	0.46	2.00	40.50
28	39.60	0.48	2.18	42.10
29	39.40	0.51	2.02	41.30
最优组	41.18	0.55	2.32	54.13

3 结论

通过单因素和响应面法优化香菇软糖的制作工艺,最终确定了香菇软糖的最佳工艺配方为复配胶添加量2.4%、香菇粉添加量2.3%、柠檬酸添加

量0.25%、葡萄糖浆与蔗糖质量比1.2:1。在此条件下制得的香菇软糖口感独特,咀嚼性和弹性均较好。

(参考文献)

- [1] 刘奇,张智.玉米肽-香菇多糖螯合物对小鼠免疫功能的影响[J].中国粮油学报,2020,35(1):55-61,79.
- [2] 陈洪雨,鲍大鹏,康前进,等.香菇挥发性风味物质的研究进展[J].食用菌学报,2018,25(4):105-114.
- [3] 苏畅,李小江,贾英杰,等.香菇多糖的抗肿瘤作用机制研究进展[J].中草药,2019,50(6):1499-1504.
- [4] 唐庆九.HPLC分析香菇中降血脂成分香菇嘌呤的含量[C]//中国菌物学会.中国菌物学会第五届会员代

表大会暨2011年学术年会论文摘要集.广州:105.

- [5] 贾斌,王俊生,关文强,等.香菇粉的添加量对面条物理性质的影响[J].食品科技,2019,44(4):167-171.
- [6] 刘晓,闫语婷.香菇的营养价值及综合利用现状与前景[J].食品工业,2017,38(3):207-210.
- [7] 聂小伟,何粉霞,蒋水星.海带无花果叶保健软糖加工工艺研究[J].食品工业,2018,39(6):110-114.
- [8] 张钰娟,赵超,陈华国.应用响应面法优化核桃软糖的制作工艺[J].食品研究与开发,2016,37(17):72-76.
- [9] 里雨桐,朱成豪,唐健民,等.响应面法优化广西甜茶总黄酮提取工艺及抗氧化活性研究[J].食品科技,2019,44(11):245-251.
- [10] 符秀敏.明胶软糖的质构仪分析与感官评定研究[J].中国食物与营养,2019,25(5):33-36.

(上接第103页)

- [14] ADEL A A M, AWAD AM, MOHAMED HH, et al. Chemical composition, physicochemical properties and fatty acid profile of Tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) seed oil as affected by different preparation methods [J]. International Food Research Journal, 2015, 22(5): 1931-1938.
- [15] 高瑀琰,唐瑞丽,袁先雯,等.植物甾醇在大豆油储藏过程中抗氧化作用的研究[J].中国粮油学报,2016,31(11):74-80.
- [16] 孟橘,魏冰,邱立明,等.不同制油工艺对油茶籽油主要微量成分及氧化稳定性的影响[J].中国油脂,2021,46(7):20-22,26.
- [17] CHATZILAZAROU A, GORTZI O, LALAS S, et al. Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying [J]. Journal of Food Lipids, 2006, 13(1): 27-35.

(上接第121页)

- [3] 张爽.发酵型羊栖菜酒及其活性成分变化规律的研究[D].西安:陕西科技大学,2013.
- [4] 周慧江,朱振宝,易建华.核桃蛋白水解物水解度测定方法比较[J].粮食与油脂,2012,25(2):28-30.
- [5] 黎观红.食物蛋白源血管紧张素转化酶抑制肽的研究[D].无锡:江南大学,2005.
- [6] 朱莉莉.羊栖菜保健果冻和复合蔬菜纸的研究[D].西安:陕西科技大学,2012.
- [7] 季宇彬,高世勇,张秀娟.羊栖菜多糖抗肿瘤作用及其作用机制的研究[J].中国海洋药物,2004,23(4):7-10.
- [8] 李波.羊栖菜褐藻糖胶的提取和纯化研究[D].无锡:

江南大学,2005.

- [9] 刘树兴,朱莉莉,陈后山,等.一种羊栖菜保健果冻及其生产方法:201110278648.1[P].2012-02-22.
- [10] NG E W, YEUNG M, TONG P S. Effects of yogurt starter cultures on the survival of *Lactobacillus acidophilus* [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(1): 169-175.
- [11] HANSEN B E. Commercial bacterial starter cultures for fermented foods of the future [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 78(1): 119-131.
- [12] 孙宜君,常蓉,张娇,等.双酶法制备螺旋藻多肽的工艺研究[J].天然产物研究与开发,2012,24(10):1468-1473,1342.