

连翘叶风味爆珠的制备工艺研究

杨钰昆¹, 杨岚清¹, 梁小祥¹, 王小敏^{2*}

(1.山西大学生命科学学院, 山西 太原 030006;

2.山西中医药大学中药与食品工程学院, 山西 晋中 030619)

摘要: 利用冷冻反向成球技术, 即将乳酸钙和黄原胶复配成芯液后, 冷冻为小球, 然后置于常温放置的海藻酸钠-低酯果胶复合溶液中, 蒸馏水漂洗后用壳聚糖溶液固化, 制得爆珠。以跌落测试、质构分析作为主要评判标准, 并观察小球的成球性, 得到爆珠的最佳制作工艺。为丰富爆珠的营养价值和口感, 将具有药食两用价值的连翘叶提取物加入爆珠芯液中, 以感官评分为标准, 通过单因素试验和正交试验得到连翘叶风味爆珠的最佳制备工艺。试验结果表明, 爆珠的最佳制备工艺为: 成球反应时间10 min、海藻酸钠-低酯果胶复合溶液浓度0.6%(w/w)、芯液添加量400 μ L; 连翘叶风味爆珠芯液的最佳工艺配方为: 连翘叶提取物载量3%(w/w)、白砂糖载量8%(w/w)、黄原胶载量0.2%(w/w)。该结果可为连翘叶的开发利用提供科学依据, 为风味爆珠的研发提供工艺参考。

关键词: 爆珠; 风味爆珠; 冷冻反向成球技术; 连翘叶

中图分类号: TS 202.3

文献标志码: A

文章编号: 1005-9989(2022)01-0286-07

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2022.01.006

Optimization of Production Process of *Forsythia* Leaf Flavored Liquid-Core Hydrogel Beads

YANG Yukun¹, YANG Lanqing¹, LIANG Xiaoxiang¹, WANG Xiaomin^{2*}

(1.School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2.College of Traditional Chinese Medicine and Food Engineering, Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong 030619, China)

Abstract: Liquid-core hydrogel beads were prepared using the technology of frozen reverse spherification in this experiment. Specifically, after compounding calcium lactate and xanthan gum into the core liquid, the mixture was frozen into small balls, then the small balls were placed in a composite solution of sodium alginate-low ester pectin at room temperature, and then solidified with a chitosan solution after distilled water rinsing to make liquid-core hydrogel beads. To get the best craftsmanship for liquid-core hydrogel beads, drop test, texture analysis as the main criteria were selected as the indicators. During the process, the evaluation of sphericity was observed at the same time. In order to enrich the nutritional value and taste of the liquid-core hydrogel beads, the extract of *Forsythia* leaf, which has a medicinal and edible value, was added to the liquid-core hydrogel beads. And the sensory score was

收稿日期: 2021-08-19

*通信作者

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32072301)。

作者简介: 杨钰昆(1989—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为食品安全与检测技术。



used as the standard to obtain the flavor burst of the *Forsythia* leaf through a single factor test and an orthogonal test. Experimental results showed the best production process for liquid-core hydrogel beads was as follows: ball formation reaction time was 10 min, the concentration of sodium alginate-low ester pectin composite solution was 0.6% (w/w), and the amount of core liquid added was 400 μ L; The best preparation process of *Forsythia* leaf flavored liquid-core hydrogel beads was as follows: forsythia leaf extract loading quantity was 3% (w/w), white sugar loading quantity was 8% (w/w), xanthan gum loading quantity was 0.2% (w/w). This experiment can provide a scientific thinking for the development and utilization of *Forsythia* leaves, and provide a process reference for the research and development of flavored liquid-core hydrogel beads.

Key words: liquid-core hydrogel beads; flavored liquid-core hydrogel beads; frozen reverse spherification; *Forsythia* leaf

随着人民大众消费水平的提高,一种新型软饮料配料——爆珠走进了消费者的视野。爆珠是利用海藻酸钠和钙离子发生交联反应生成的内部富含流动性较强的芯液,外壳是球形凝胶的球形胶囊^[1]。常见爆珠的制备方法是正向成球技术,即将海藻酸钠溶液加入乳酸钙溶液中形成爆珠。由于钙离子的自由扩散在高黏度海藻酸钠溶液中减慢,制得的爆珠机械强度差,且放置时间越长,爆珠越紧实,爆浆感越弱。近年来,新型的反向成球技术^[2]是将含钙离子芯液加入海藻酸钠溶液中形成爆珠。由于钙离子在海藻酸钠溶液中的扩散速度较快,形成内含芯液、外膜较厚的凝胶。此法制得的爆珠爆浆感强,但仍存在凝胶强度低的缺点。研究表明,低酯果胶中的甲氧基与海藻酸钠中古罗糖醛酸的羟基形成的复杂氢键网络结构可以提高爆珠的凝胶强度,因此将钙离子加入海藻酸钠-低酯果胶复合溶液中进行爆珠的制备^[1]。相比于传统反向成球技术的滴流法、滴注法,冷冻反向成球技术将含钙离子芯液注射于球形模具中冷冻成小球后倾放于海藻酸钠-低酯果胶复合溶液,反应生成的凝胶状物质包裹在冷冻小球与空气接触的表面。此技术制得的爆珠不受下滴速度及高度等因素的影响,不易拖尾、粒径均一、成光滑圆球状^[3]。

为丰富爆珠的营养价值、改善爆珠的风味,可在爆珠芯液中添加风味物质制得风味爆珠。王玉涵等^[4]以正向成球技术制得含有益生菌包埋粒和果汁溶液的高营养爆珠。罗司丹等^[1]利用反向成球技术制备了具有壳核结构的桂花风味爆浆珍珠。这些工艺研究可改善爆珠的口感,开发新产品,吸引更多消费者。连翘作为药食同源植物,盛产于我国中西部的山西、陕西等地^[5],连翘叶

为连翘的叶片,为连翘种植加工的副产物,富含大量的芦丁^[6]、连翘酯素^[7]、连翘苷^[8]、连翘酯苷^[9]等多种活性成分,具有较强的抗疲劳^[10]、抗氧化^[11]、抑菌^[12]等药理活性。此外,大量研究表明连翘叶具有保肝、利尿^[13]、减肥^[14]、降血脂^[15]等功效。2017年7月20日,连翘叶被国家卫计委正式加入新食品原料,为连翘叶的开发利用提供了有力支持^[13]。

本研究旨在将连翘叶提取物加入钙离子芯液中,利用冷冻反向成球技术,制备一款连翘叶风味爆珠。通过单因素试验优化爆珠的制备工艺,对爆珠平均粒径、平均膜厚和质构进行检测,并进行跌落测试。通过单因素试验和正交试验优化风味爆珠的芯液配方,并以感官评分为标准评价结果的优劣。本研究可为连翘叶风味爆珠的开发提供理论依据,挖掘连翘叶的营养价值及产品形式,为连翘叶产业经济发展作出一定的贡献。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

连翘叶:山西省安泽县野生连翘基地;高黏度海藻酸钠:连云港天天海藻工业有限公司;低酯果胶:河南华悦化工产品有限公司;乳酸钙:郑州瑞普生物工程有限公司;黄原胶:新疆梅花氨基酸有限公司;壳聚糖:山东陆蓝圣生物科技有限公司;食用酒精:河南鑫河阳酒精有限公司。

1.2 仪器与设备

游标卡尺:深圳思诚资源科技有限公司;TMS-PRO质构仪:美国FTC公司;DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器:巩义市予华仪器有限公司;RE-52旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;SCIENTZ-12N冷冻干燥机:宁波新芝生物科技股

份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 爆珠的制备工艺 配制复合液：配制浓度均为0.6%(w/w)的海藻酸钠溶液和低酯果胶溶液。

由于海藻酸钠和低酯果胶难溶于水，在超声仪上配制溶液时，应在蒸馏水中缓慢加入海藻酸钠或低酯果胶并不断搅拌，待完全溶解于4℃静置2 h后使用。取上述海藻酸钠溶液与低酯果胶溶液以质量比7:3进行复配，并在40℃水浴中磁力加热搅拌30 min，得到高黏度海藻酸钠-低酯果胶复合溶液。制备芯液：将乳酸钙1.5%(w/w)、黄原胶0.4%(w/w)按上述方法加入蒸馏水中搅拌均匀，静置除泡后得到芯液。用移液枪移至球形模具中，在-18℃冷冻4 h以上，得到冷冻小球。将冷冻小球放入缓慢搅拌的常温复合液中，球化一定时间将小球放入蒸馏水中漂洗后再用壳聚糖溶液固化150 s^[16]，最后用蒸馏水漂洗10 min制得爆珠。

1.3.2 关键工艺条件对爆珠成球性及质构特性的影响

1.3.2.1 成球反应时间对爆珠成球性及质构特性的影响 按1.3.1制备工艺，复合溶液中海藻酸钠和低酯果胶浓度均为0.6%(w/w)、芯液添加量400 μL，制备3组成球反应时间分别为5、10、15 min的爆珠，每组制备8个爆珠，在4℃保存24 h后对爆珠的质构、平均粒径和平均膜厚进行检测，并进行跌落测试。

1.3.2.2 海藻酸钠-低酯果胶复合溶液浓度对爆珠成球性及质构特性的影响 按1.3.1制备工艺，成球反应时间10 min、芯液添加量400 μL，制备3组海藻酸钠-低酯果胶复合溶液浓度分别为0.3%(w/w)、0.6%(w/w)、0.9%(w/w)的爆珠，每组复合溶液中海藻酸钠和低酯果胶浓度相同，每组制备8个爆珠，在4℃保存24 h后对爆珠的质构、平均粒径和平均膜厚进行检测，并进行跌落测试。

1.3.2.3 芯液添加量对爆珠成球性及质构特性的影响 按1.3.1制备工艺，复合溶液中海藻酸钠和低酯果胶的浓度均为0.6%(w/w)、成球反应时间10 min，制备3组芯液添加量分别为235、400、970 μL的爆珠，每组制备8个爆珠，在4℃保存24 h后对爆珠的质构、平均粒径和平均膜厚进行检测，并进行跌落测试。

1.3.3 爆珠的质构分析 采用质构仪对爆珠的凝胶强度、硬度进行分析：凝胶强度是将爆珠外壳挤

破致芯液恰好流出时的所需力，反映了爆珠整体的耐挤压性；硬度是待芯液完全流出，用蒸馏水冲洗干净后凝胶膜的承受力。

1.3.4 爆珠粒径与膜厚度的测量 用游标卡尺测量爆珠的粒径与膜厚度，每组随机取3个爆珠，在3个不同位置测量爆珠直径；然后用针头将爆珠刺破，使其芯液全部流出，再测量爆珠的膜厚度。最后取平均值，记录结果。

1.3.5 爆珠的跌落测试 每组随机取8个爆珠，使爆珠在光滑试验台上从10 cm的高度做自由落体运动，无裂者为通过^[1]。

1.3.6 连翘叶提取物的制备 选取新鲜连翘叶，冲洗干净，沥干水分后将其低温烘干；将干连翘叶研磨后过60目筛得到连翘叶粉；将连翘叶粉与60%(w/w)乙醇提取溶剂按质量比1:4混合，50℃超声提取后进行真空抽滤，将滤液置于锥形瓶中，残余的滤渣按照上述操作进行二次提取；将两次提取滤液合并减压蒸馏后进行真空冷冻干燥^[17]，得到连翘叶提取物，密封保存备用。

1.3.7 连翘叶风味爆珠的制备

1.3.7.1 单因素试验 从连翘叶提取物载量、白砂糖载量、黄原胶载量3个方面进行单因素试验，每个因素取5个水平，以感官评分为标准评价结果的优劣。

(1)连翘叶提取物载量对连翘叶风味爆珠品质的影响：固定黄原胶载量0.2%(w/w)，白砂糖载量8%(w/w)，分别考察连翘叶提取物载量为1%(w/w)、2%(w/w)、3%(w/w)、4%(w/w)、5%(w/w)对连翘叶风味爆珠品质的影响，并进行感官评价。

(2)白砂糖载量对连翘叶风味爆珠品质的影响：固定连翘叶提取物载量3%(w/w)，黄原胶载量0.2%(w/w)，分别考察白砂糖载量为4%(w/w)、6%(w/w)、8%(w/w)、10%(w/w)、12%(w/w)对连翘叶风味爆珠品质的影响，并进行感官评价。

(3)黄原胶载量对连翘叶风味爆珠品质的影响：固定连翘叶提取物载量3%(w/w)，白砂糖载量8%(w/w)，分别考察黄原胶载量为0.1%(w/w)、0.2%(w/w)、0.3%(w/w)、0.4%(w/w)、0.5%(w/w)对连翘叶风味爆珠品质的影响，并进行感官评价。

1.3.7.2 正交试验设计 根据单因素试验的结果，每个因素选取3个水平进行正交试验，并进行感官



评价。正交试验因素水平设计如表1所示。

表1 连翘叶风味爆珠最佳工艺配方正交试验因素水平表

水平	因素		
	连翘叶提取物 添加量/%(w/w) A	白砂糖添加量 /%(w/w) B	黄原胶添加量 /%(w/w) C
1	2	6	0.2
2	3	8	0.3
3	4	10	0.4

1.3.7.3 连翘叶风味爆珠的感官评价 选择10名食品专业学生进行专业培训后组成感官评价小组, 每组试验均进行3次并取平均值。感官评分标准如表2所示。

表2 连翘叶风味爆珠感官评分表

项目	描述	评分
气味 (15分)	有腥味等不愉快气味	1~7
	无不愉快气味, 爆珠芯液中含明显连翘叶清香味	8~15
颜色 (20分)	爆珠颜色不均一	1~10
	爆珠颜色均一, 呈绿黑色	11~20
口感 (45分)	外壳厚度较薄, 嚼劲差; 芯液流动性不足, 爆浆感不足, 口感不佳	1~15
	外壳厚度适中, 嚼劲良好; 芯液流动性较大, 爆浆感十足, 口感良好	16~30
	外壳厚度适中, 嚼劲十足; 芯液流动性适中, 爆浆感极佳, 口感极佳, 味道丰富	31~45
外观 (20分)	外观呈不规则球形, 有拖尾和气泡, 芯液易渗出	1~7
	外观整体较圆, 无拖尾有小气泡, 芯液无明显渗出	8~13
	外观整体呈圆球状, 无拖尾无气泡, 芯液无渗漏	14~20

1.3.8 数据统计分析 本试验数据来源于3次平行试验, 利用SPSS 20及Office 2010软件对数据进行处理及分析, 结果以平均值±标准偏差形式表示。

2 结果与讨论

2.1 成球反应时间对爆珠成球性及质构特性的影响

不同成球反应时间所制备的爆珠如图1所示, 其成球性及质构特性如表3所示。通过观察发现成球反应时间越长, 爆珠粒径越大, 成球反应时间为5 min的爆珠扁平, 有轻微的拖尾现象。这是因为钙离子与海藻酸钠-低酯果胶的复合溶液反应不充分, 生成的凝胶强度过低, 机械强度差。成球



图1 不同成球反应时间制备的爆珠侧视图对比

反应时间为10、15 min的小球成球性较好、机械强度大。但成球反应时间越长, 小球的平均膜厚越大, 凝胶强度越大, 因为当复合溶液与含钙离子芯液刚开始反应时, 主要是海藻酸钠向钙离子进攻, 随着爆珠外壳的形成, 钙离子开始向外膜进击, 所以膜厚逐渐增大^[18]。成球反应时间为10 min制备的爆珠硬度较大, 综合分析, 优选成球反应时间为10 min进行爆珠的制备。

表3 不同成球反应时间制备的爆珠的成球性及质构特性

时间/ min	平均粒径/ cm	平均膜厚/ mm	成球 性	跌落 测试	凝胶强度 /N	硬度/ N
5	1.10± 0.020 ^a	0.43± 0.043 ^b	7/8	6/8	0.644± 0.004 ^a	0.148± 0.002 ^a
10	1.25± 0.066 ^b	0.50± 0.072 ^{ab}	8/8	8/8	1.395± 0.090 ^b	0.209± 0.010 ^b
15	1.50± 0.060 ^a	0.58± 0.046 ^a	8/8	8/8	1.628± 0.005 ^a	0.235± 0.005 ^a

注: 同一列上标不同字母代表统计学分析差异, $\alpha < 0.05$ 。下表同。

2.2 海藻酸钠-低酯果胶复合溶液浓度对爆珠成球性及质构特性的影响

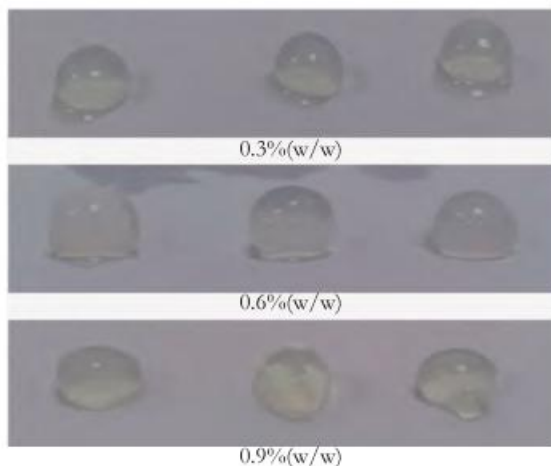


图2 不同浓度的海藻酸钠-低酯果胶复合溶液制备的爆珠视图对比

不同浓度的海藻酸钠-低酯果胶复合溶液所制备的爆珠如图2所示, 其成球性及质构特性如表4所示。通过观察发现当复合溶液中海藻酸钠和低

酯果胶浓度均为0.3%(w/w)时,所制备爆珠的平均粒径较大,但硬度较差,无法通过跌落测试,可能因为复合溶液浓度较低,与芯液反应形成的凝胶强度低;当复合溶液中海藻酸钠和低酯果胶浓度均为0.9%(w/w)时,复合溶液中海藻酸钠的浓度大于钙离子的浓度,导致芯液下落时无法完全落入复合溶液中,芯液中钙离子与复合溶液中海藻酸钠的交联不均一,所制备爆珠膜厚不均匀,部分表面有突起、拖尾;当复合溶液中海藻酸钠和低酯果胶浓度均为0.6%(w/w)时,所制备爆珠基本呈光滑圆球状、无拖尾,硬度大。这是因为海藻酸钠分子数量随着复合溶液浓度的增加而增加,可以有更多的位点与二价钙离子反应,生成致密的交联结构^[19]。综合分析,优选海藻酸钠溶液和低酯果胶溶液浓度均为0.6%(w/w)进行爆珠的制备。

表4 不同浓度的海藻酸钠-低酯果胶复合溶液制备的爆珠成球性及质构特性

复合液浓度/(w/w)	平均粒径/cm	平均膜厚/mm	成球性	跌落测试	凝胶强度/N	硬度/N
0.3	1.18±0.020 ^a	0.41±0.017 ^b	8/8	1/8	0.453±0.004 ^a	0.169±0.004 ^a
0.6	1.25±0.066 ^{ab}	0.50±0.072 ^b	8/8	8/8	1.395±0.090 ^b	0.209±0.010 ^b
0.9	1.30±0.026 ^a	0.61±0.020 ^a	6/8	8/8	1.587±0.010 ^a	0.238±0.002 ^a

2.3 芯液添加量对爆珠成球性及质构特性的影响



图3 不同芯液添加量制备的爆珠视图对比

不同芯液添加量所制备的爆珠如图3所示,其成球性及质构特性如表5所示。从图3可以观察到随着芯液添加量的增加,爆珠的平均粒径和平均膜厚显著增加。当芯液添加量为400 μL时,爆珠基本呈圆球状,其凝胶强度最大。当芯液添加量较小为235 μL时,爆珠凝胶强度低。因为如果芯液添加量少,其中钙离子数量也少,与复合溶液中海藻酸钠未能充分反应,从而生成的凝胶强度低。当芯液添加量为970 μL时,爆珠凝胶强度降低,这是因为当反应时间都为10 min时,芯液中钙离子以相同速率释放,当芯液添加量增加时,

同等厚度的膜需要承受的压力增大,因此只需较小的力就可以将更大体积的小球压破^[20]。综合分析,优选芯液添加量为400 μL进行爆珠的制备。

表5 不同芯液添加量制备的爆珠的成球性及质构特性

芯液添加量/μL	平均粒径/cm	平均膜厚/mm	成球性	跌落测试	凝胶强度/N	硬度/N
235	1.10±0.046 ^c	0.32±0.020 ^c	8/8	8/8	0.865±0.006 ^b	0.168±0.005 ^b
400	1.25±0.066 ^b	0.50±0.072 ^b	8/8	8/8	1.395±0.090 ^a	0.209±0.010 ^a
970	1.67±0.072 ^a	0.76±0.035 ^a	8/8	7/8	0.738±0.034 ^c	0.215±0.003 ^a

2.4 连翘叶风味爆珠单因素试验结果分析

2.4.1 连翘叶提取物载入量对连翘叶风味爆珠品质的影响 连翘叶提取物载入量对连翘叶风味爆珠感官品质的影响如表6所示。随着连翘叶提取物载入量的增加,所制备的连翘叶风味爆珠的感官评分先升高后降低。当连翘叶提取物载入量高于4%(w/w),由于其味道较苦,当添加量稍高就会给人不愉快的感觉,因此所制备的风味爆珠感官评分很低;而当其载入量很低时,爆珠中没有展现出连翘叶的风味,而连翘叶提取物载入量为3%(w/w)时,恰好能展现出连翘叶的风味,不苦不涩,给人以清香感,因此其感官评分最高。故综合考量选取连翘叶提取物载入量为2%(w/w)、3%(w/w)、4%(w/w)进行正交试验。

表6 连翘叶提取物载入量对连翘叶风味爆珠品质的影响

连翘叶提取物载入量/(w/w)	气味	颜色	口感	外观	感官评价总分
1	14.00	18.00	26.20	17.00	75.20
2	14.00	18.00	36.50	18.40	86.90
3	14.00	18.00	39.00	18.00	89.00
4	13.00	18.00	30.00	18.00	79.00
5	13.00	17.00	24.00	17.00	71.00

2.4.2 白砂糖载入量对连翘叶风味爆珠品质的影响 白砂糖载入量对连翘叶风味爆珠感官品质的影响如表7所示。随着白砂糖载入量的减少,所制备爆珠的甜度降低并伴随有轻微苦味;而当白砂糖载入量过高时,会有苦涩感,适口性差。当白砂糖载入量为6%(w/w)和8%(w/w)时,所制备爆珠的甜度适中,感官评分最高。故综合考量选取白砂糖载入量为6%(w/w)、8%(w/w)、10%(w/w)进行



正交试验。

表7 白砂糖载入量对连翘叶风味爆珠品质的影响

白砂糖载入量/%(w/w)	气味	颜色	口感	外观	感官评价总分
4	14.00	18.00	27.40	18.00	77.40
6	14.00	18.10	36.20	18.00	86.30
8	14.30	18.00	40.30	18.00	90.60
10	14.00	18.00	34.00	18.00	84.00
12	14.10	18.00	23.00	18.10	73.20

2.4.3 黄原胶载入量对连翘叶风味爆珠品质的影响 黄原胶载入量对连翘叶风味爆珠感官品质的影响如表8所示。黄原胶载入量的改变影响芯液中钙离子和复合溶液中海藻酸钠的比例。黄原胶载入量过多或过少时,都会使制得的爆珠形态扁平,凝胶强度低。当黄原胶载入量为0.3%(w/w)时,制得的爆珠外形饱满圆润,凝胶强度高,爆浆感十足,因此其感官评分最高。故综合考量选取黄原胶载入量为0.2%(w/w)、0.3%(w/w)、0.4%(w/w)进行正交试验。

表8 黄原胶载入量对连翘叶风味爆珠品质的影响

黄原胶载入量/%(w/w)	气味	颜色	口感	外观	感官评价总分
0.1	14.10	18.00	30.00	13.60	75.70
0.2	14.00	18.00	37.00	17.00	86.00
0.3	14.00	18.00	39.10	16.20	87.30
0.4	14.10	18.00	36.30	15.10	83.50
0.5	14.00	18.00	28.00	13.00	73.00

2.5 连翘叶风味爆珠正交试验结果分析

利用SPSS 20软件进行正交试验结果分析,结果如表9、表10所示。极差分析表明,各个因素对连翘叶风味爆珠的影响为A>B>C,即连翘叶提取物载入量>白砂糖载入量>黄原胶载入量。根据正交试验方差分析,因素A、B、C均有显著性,且试验最佳结果为A₂B₂C₁,但由于A₂B₂C₁未在正交试验表中,而表中感官评分最高的组合为A₂B₂C₂,所以需要进行验证试验。验证试验结果如表11所示,A₂B₂C₁的感官评分高于A₂B₂C₂,所以最优组合为A₂B₂C₁,即连翘叶提取物载入量为3%(w/w),白砂糖载入量为8%(w/w),黄原胶载入量为0.2%(w/w)。

表9 连翘叶风味爆珠的正交试验结果

试验号	因素			感官评价总分
	A	B	C	
1	1	1	3	84.80
2	1	2	1	86.90
3	1	3	2	84.20
4	2	1	1	86.30
5	2	2	2	87.30
6	2	3	3	85.60
7	3	1	2	81.30
8	3	2	3	83.30
9	3	3	1	82.20
K ₁	255.9	252.4	255.4	
K ₂	256.5	257.5	252.8	
K ₃	246.8	252	253.7	
R	9.7	5.5	2.6	

表10 连翘叶风味爆珠的正交试验方差分析

方差来源	III类平方和	自由度	均方	F	显著性
因素A	27.496	2	13.748	494.92	0.002
因素B	6.269	2	3.134	112.84	0.009
因素C	1.162	2	0.581	20.92	0.046
误差	0.056	2	0.028		
总计	64534.05	9			
修正后总计	34.982	8			

表11 验证试验结果表

组合号	连翘叶添加量/%(w/w)	白砂糖添加量/%(w/w)	黄原胶添加量/%(w/w)	感官评价总分
A ₂ B ₂ C ₁	3	8	0.2	88.25
A ₂ B ₂ C ₂	3	8	0.3	87.30

3 结论

本试验利用冷冻反向成球技术,通过单因素试验得到爆珠的最佳制备工艺为:海藻酸钠和低酯果胶溶液的浓度0.6%(w/w),球化反应时间10 min,芯液添加量400 μL。通过单因素和正交试验得到连翘叶风味爆珠的最佳工艺配方为:连翘叶提取物载入量3%(w/w),白砂糖载入量8%(w/w),黄原胶载入量0.2%(w/w)。该试验制得的连翘叶风味爆珠口感独特、营养丰富、爆浆感十足。如果将其加入酸乳或奶茶等产品中,既保留了奶茶的香甜,又可以提高产品的趣味性和功能性,满足人民大众追求“绿色、天然、健康”的生活需求,有极大的市场价值。

参考文献:

- [1] 罗司丹,陈慧凌,王兆梅.反向成球法制备风味“爆浆”珍珠的工艺[J].现代食品科技,2020,36(3):189-195.
- [2] TSAI F H, KITAMURA Y, KOKAWA M. Liquid-core alginate hydrogel beads loaded with functional compounds of radish by-products by reverse spherification: Optimization by response surface methodology[J]. International Journal of Biological Macromolecules,2017,96:600-610.
- [3] 王兆梅,曹晶,陈慧凌,等.一种具有核壳结构的爆浆珍珠食品及其制备方法:CN109938143A[P].2019-06-28.
- [4] 王玉涵,段佳文,刘凤仪,等.包埋益生菌的功能性爆浆珍珠的研制[J].食品工业,2018,39(12):100-103.
- [5] 龙沈飞,王文涛,朴香淑.连翘的作用机理及其在猪和鸡生产中的应用[J].动物营养学报,2019,31(4):1499-1510.
- [6] WANG D H, WANG M Y, SHEN W H, et al. Analysis of chemical compounds and toxicological evaluation of *Forsythia suspensa* leaves tea[J]. Food Science and Biotechnology,2021,30(2):305-314.
- [7] 李敬,尤颖,赵庆生,等.连翘叶成分及生物活性研究进展[J].食品工业科技,2020,41(18):344-352.
- [8] 葛莹.连翘叶化学成分及药理活性研究[D].石家庄:河北医科大学,2014.
- [9] 潘婷婷.连翘叶的研究进展[J].价值工程,2017,36(6):118-120.
- [10] 黄亚亚,杨建雄,赵咏梅.连翘叶黄酮对力竭游泳恢复小鼠的抗疲劳作用研究[J].天然产物研究与开发,2009,21(6):1019-1022.
- [11] 刘静,杨建雄,李小丹.连翘叶提取物抗油脂氧化作用的实验研究[J].陕西教育学院学报,2006,22(2):93-95.
- [12] 王小敏,张文慧,张林婷,等.连翘叶凝胶软糖的制备工艺研究[J].食品研究与开发,2018,39(24):98-103.
- [13] 刘星,杨钰昆,秦楠,等.连翘叶固体饮料的研制及活性成分测定[J].食品安全质量检测学报,2021,12(6):2125-2130.
- [14] 周菲.连翘叶减肥保健品开发可行性研究[D].太原:山西大学,2018.
- [15] 侯改霞.连翘叶提取物的降血脂和抗疲劳作用研究[D].西安:陕西师范大学,2004.
- [16] LEONG M H, TAN C P, NYAM K L. Effects of Accelerated Storage on the Quality of Kenaf Seed Oil in Chitosan-Coated High Methoxyl Pectin-Alginate Microcapsules[J]. Journal of Food Science,2016,81(10):C2367-C2372.
- [17] 王玲芝,唐建开,王舒恒,等.连翘叶提取物对热应激大鼠的保护作用[J].食品工业科技,2021,42(17):343-349.
- [18] 王撼辰,丑述睿,崔惠军,等.钙离子浓度对苹果果胶与苹果多酚复合物凝胶流变及质构特性的影响[J].食品科学,2019,(4):1-12.
- [19] 罗司丹,陈慧凌,王兆梅.海藻酸钠-果胶复合溶液流变性质对核壳胶囊形成与质构的影响[J].食品工业科技,2020,41(3):6-11.
- [20] SINGH J, KAUR K, KUMAR P. Optimizing microencapsulation of α -tocopherol with pectin and sodium alginate[J]. Journal of Food Science and Technology,2018,55:3625-3631.

《食品科技》

开户银行: 农业银行北京南三环支行

账号: 11200601040010053

户名: 北京市粮食科学研究院有限公司