

# 反向成球法制备风味“爆浆”珍珠的工艺

罗司丹, 陈慧凌, 王兆梅

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 本研究基于果胶与海藻酸钠在钙离子体系中协同形成凝胶的原理, 采用反向成球技术制得具有核壳结构的风味“爆浆”珍珠。以最大力值和咀嚼性为主要指标, 通过成球性观察和质构仪测试, 得到“爆浆”珍珠制作的最佳工艺; 以感官评价为标准, 通过正交实验得到桂花风味“爆浆”珍珠的最优配方。结果表明, 制备桂花风味“爆浆”珍珠的最优工艺条件为: 芯液载入量为 350  $\mu\text{L}$ , 成球反应时间 10 min, 固化液(壳聚糖)浓度 0.5% (W/W), 芯液的配方为: 桂花风味糖浆用量 10% (W/W)、白砂糖用量 10% (W/W)及黄原胶浓度 0.2% (W/W)。得到的“爆浆”珍珠为规则的圆球状, 平均粒径 9.5 mm、平均膜厚 0.47 mm, 其最大力值 471  $\text{g}/\text{cm}^2$ 、硬度 2279 g。得到的桂花风味“爆浆”珍珠具有良好的咀嚼性和爆浆感。为奶茶行业“爆浆”珍珠的工业生产提供了参考。

**关键词:** 反向成球; 工艺; “爆浆”珍珠

文章编号: 1673-9078(2020)03-189-195

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.025

## Process for Producing Flavored Liquid-core Hydrogel Beads by Reverse Spherification

LUO Si-dan, CHEN Hui-ling, WANG Zhao-mei

(School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** In this research, flavoured “explosive filling” hydrogel beads with a liquid core-shell structure were prepared using reverse spherification technique based on the synergies between pectin and sodium alginate in the calcium ion system during gel formation. Using the maximum force and chewiness as the main indices, the processing conditions for making the beads were optimized through the evaluation of sphericity and texture analysis. The optimum formula for the flavoured “explosive” bead was obtained via orthogonal experiments with the sensory quality as the criterion. Results showed that the optimal process conditions for the preparation of flavoured “explosive” beads were: core liquid loading 350  $\mu\text{L}$ , bead-forming reaction time 10 min, and concentration of the solidified solution (chitosan) 0.5% (W/W), with the formula for the liquid core as osmanthus flavor syrup 10% (W/W), white sugar 10% (W/W) and xanthan gum 0.2% (W/W). The obtained product appeared as regular spheres with an average diameter of 9.5 mm, thickness of 0.47 mm, maximum force of 471  $\text{g}/\text{cm}^2$  and hardness of 2279 g. The flavoured “explosive” beads possessed good chewiness and liquid-exploding sensation. The research provides a reference for the industrial production of “explosive” beads in the milk tea industry.

**Key words:** reverse spherification; process; liquid-core hydrogel beads

引文格式:

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

LUO Si-dan, CHEN Hui-ling, WANG Zhao-mei. Process for producing flavored liquid-core hydrogel beads by reverse spherification [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 189-195

近年来, 一种新型奶茶配料-“爆浆”珍珠(亦称爆珠)受到了广大消费者的青睐。“爆浆”珍珠是一种具有核壳结构的球形胶囊, 其外壳为具有一定咀嚼性

收稿日期: 2019-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31371743); 广东省科技计划项目(2016A050503017)

作者简介: 罗司丹(1994-)女, 硕士研究生, 研究方向: 功能碳水化合物

通讯作者: 王兆梅(1974-)女, 博士, 副教授, 研究方向: 功能碳水化合物

的水凝胶, 内核为具有流动性的风味芯液。与传统珍珠奶茶中的“珍珠”不同, “爆浆”珍珠一方面兼备了传统“珍珠”所具有的咀嚼性和口感, 另一方面又因“爆浆”丰富了“珍珠”风味及层次感, 是一种具有发展前景的新型食品<sup>[1,2]</sup>。

“爆浆”珍珠是利用海藻酸钠与钙等二价金属离子发生快速的离子交换反应生成海藻酸钠凝胶制备而成。王玉涵等<sup>[3]</sup>通过海藻酸钠与氯化钙进行交联形成爆珠外膜, 包裹益生菌包埋粒与果汁溶液, 可得到

口感适宜且含有益生菌和双歧因子的高营养即食爆爆珠。专利 CN105325829A<sup>[4]</sup>提供了一种含有活性益生菌爆爆珠的制备方法,即将海藻酸钠与活性益生菌基料混合均质形成爆爆珠母液,再将爆爆珠母液滴入钙盐的水溶液中,浸泡后滤出,用水漂洗得到一款含有活性益生菌的爆爆珠。以上爆爆珠的制备均采用正向成球法,即将海藻酸钠胶体溶液滴入到含有钙离子的水溶液中,该方法由于钙离子在高粘度的海藻酸钠溶液中扩散受阻,导致所形成的珍珠外壳薄,机械强度低。

近年来,在分子料理领域中,兴起一种反向成球技术<sup>[5,6]</sup>,即将含钙的液体滴入海藻酸钠浴中,液滴中的 $\text{Ca}^{2+}$ 向海藻酸钠溶液中快速扩散,从而形成较厚膜的强凝胶,最终生成具有一定形状一定大小的表面胶化而内含风味芯液的核壳结构的胶囊<sup>[7]</sup>。从口感上说,反向球化的效果是小球里面充满液体,表皮破了就爆开,具有十足的“爆浆”感,因此,反向成球技术十分适合用于制备“爆浆”珍珠。另一方面,单一的海藻酸盐所形成的凝胶强度和韧性不够理想,无法形成耐咀嚼的口感。利用海藻酸钠与其他多糖复配制备混合型水凝胶是进一步提高海藻酸盐基水凝胶性能的有效办法之一<sup>[8,9]</sup>。研究表明,果胶与海藻酸钠在钙离子存在的体系中具有协同生成并增强复配凝胶的能力<sup>[10-13]</sup>,其原因在于果胶的甲氧基和海藻酸钠中古罗糖醛酸的

羟基形成了复杂的氢键网络结构,从而提高凝胶的机械强度和咀嚼性能<sup>[14]</sup>。

本研究基于果胶与海藻酸钠在钙离子体系中协同生成凝胶,采用反向成球技术制备一款风味“爆浆”珍珠,探索制备“爆浆”珍珠的最佳工艺条件和制备一款桂花风味“爆浆”珍珠的最优配方。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与仪器

高粘度海藻酸钠,广州味多美食品配料有限公司;低酯果胶(酯化度 20%),河南华悦化工产品有限公司;乳酸钙,武汉佰兴生物科技有限公司;黄原胶和壳聚糖,山东阜丰发酵有限公司;无水柠檬酸,潍坊英轩实业有限公司。以上均为食品级原料。

AR550 型流变仪,TA Instrument(美国);TA.XT.Plus 质构分析仪,Texture Technologies Corp.(美国);强力电动搅拌机,骠马®上海标本模型厂;恒温磁力搅拌器,常州澳华仪器有限公司;手持单道移液器(10~1000  $\mu\text{L}$ ),北京大龙仪器;游标卡尺,上海量具刀具厂有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 “爆浆”珍珠的制备工艺

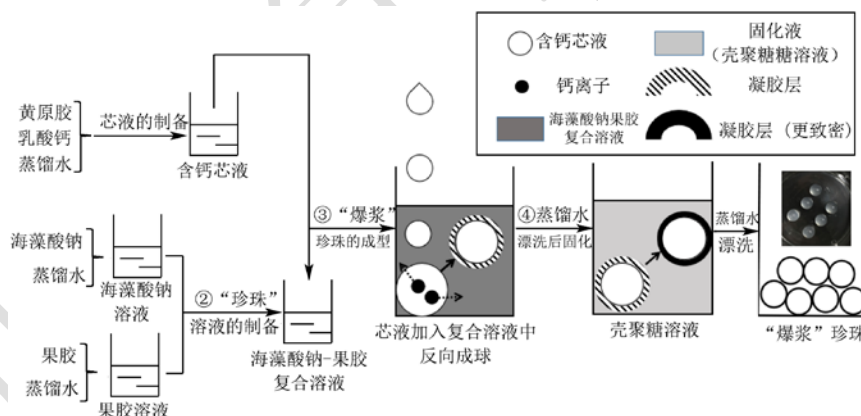


图1 “爆浆”珍珠制作工艺流程

Fig.1 Producing process of liquid-core hydrogel beads

“爆浆”珍珠包括珍珠凝胶外壳和风味芯液两部分,如图1所示,其制作过程包括四个主要步骤,制作过程均在常温下进行。(1)含钙芯液的配制:包含乳酸钙 1.5%(W/W)、黄原胶 0.4%(W/W)的钙离子水溶液;(2)“珍珠”溶液的配制:分别制备 0.6%(W/W)的海藻酸钠和果胶水溶液,然后按照海藻酸钠和果胶溶液的体积比为 7:3 进行混合,充分搅拌均匀,备用;(3)“爆浆”珍珠的成型:利用反向成球技术,使用移液枪将一定体积的含钙芯液在海藻酸钠-果胶复合溶

液液面上方约 5 mm 处射入液面以下,反应一定时间制得具有一定机械强度和直径大小的“爆浆”珍珠;(4)“爆浆”珍珠的固化:将“爆浆”珍珠用蒸馏水漂洗 10 min 后放入一定浓度的壳聚糖固化液中,浸泡 90 s 进行固化得到一款原味“爆浆”珍珠。

#### 1.2.2 关键工艺条件对“爆浆”珍珠质构特性的影响

##### 1.2.2.1 芯液载含量对“爆浆”珍珠质构特性的影响

按 1.2.1 中的工艺流程制备 5 组芯液载含量分别为

250、300、350、400 和 450  $\mu\text{L}$  的“爆浆”珍珠，每组制备 6 个小球，于冰箱存放 24 h 后进行粒径与质构的检测。反应时间 5 min，固化液浓度为 0.5%。

### 1.2.2.2 成球反应时间对“爆浆”珍珠质构特性的影响

按 1.2.1 中的工艺流程制备 3 组成球反应时间分别为 5、10 和 15 min 的“爆浆”珍珠，每组制备 6 个小球，于冰箱存放 24 h 后进行粒径与质构的检测。芯液载入量为 300  $\mu\text{L}$ ，固化液浓度为 0.5%。

### 1.2.2.3 固化液浓度对“爆浆”珍珠质构特性的影响

按 1.2.1 中的工艺流程，以壳聚糖为固化液，制备 5 组壳聚糖浓度分别为 0.1%、0.3%、0.5%、0.7% 和 0.9% 的“爆浆”珍珠，每组制备 6 个小球，于冰箱存放 24 h 后进行粒径与质构检测。反应时间 5 min，芯液载入量为 300  $\mu\text{L}$ 。

### 1.2.3 “爆浆”珍珠粒径与膜厚度的检测

每组随机取 3 个小球，用游标卡尺的两爪夹于小球两侧测其粒径；用针头将小球扎破，使内容芯液完全释放，用游标卡尺两爪夹住膜两侧测其膜厚。以上测量，每个小球取不同位置，分别测量 3 次，取平均值。

### 1.2.4 “爆浆”珍珠的质构分析

“爆浆”珍珠的质构分析包括两部分。第一部分为外壳的机械强度：“爆浆”珍珠区别于其他饮料配料的一大特点就在于其“爆浆”感。对外壳施加越大压力，其爆破时内芯液喷出带来的冲击感也更强。爆浆感采用质构仪进行衡量，探头下压至小球恰好破裂时所用的压力为使球壳发生破裂时所需要的力的大小，即探头压破小球后出现的最大力值，单位为  $\text{g}/\text{cm}^2$ 。第二部分为外壳的质构参数：即外壳破裂后，所剩的胶囊

壳自身的硬度以及咀嚼性。将待测胶囊壳内芯也完全挤出并用清水漂洗干净备用。

使用 TA.TX Plus 型质构仪对所制得的“爆浆”珍珠的整体机械强度及不含芯液的胶囊外壳的质构进行测定与分析<sup>[15,16]</sup>。

### 1.2.5 桂花风味“爆浆”珍珠产品的制备

表 1 桂花风味“爆浆”珍珠配方的  $L_9(3^4)$  正交试验因素水平表

Table 1  $L_9(3^4)$  orthogonal test factor level table for osmanthus flavor liquid-core hydrogel beads preparation

水平	A 桂花风味糖浆用量/% (W/W)	B 白砂糖用量/% (W/W)	C 黄原胶浓度/% (W/W)
1	10	5	0.2
2	20	10	0.3
3	30	15	0.4

桂花风味“爆浆”珍珠产品通过在芯液中添加桂花风味糖浆制备而得。通过预实验，确定了海藻酸钠-果胶复配溶液的最佳浓度为 0.6% (W/W)、海藻酸钠-果胶质量比为 7:3，芯液中黄原胶浓度为 0.4% (W/W)，乳酸钙浓度为 1.5% (W/W)，按照 1.2.1 中的制备流程并取最佳的制备工艺，即芯液载入量为 350  $\mu\text{L}$ ，成球反应时间 10 min，壳聚糖固化液浓度为 0.5%，在这些条件下，重点考察桂花风味糖浆用量(A)、白砂糖用量(B)以及黄原胶浓度(C)3 个因素，每个因素选取 3 个水平，每组做 3 个平行。根据预实验确定各因素适宜添加量范围（桂花风味糖浆添加量 10%、20% 和 30%；白砂糖添加量 5%、10% 和 15%；黄原胶 0.2%、0.3% 和 0.4%）。按照表 1 所示的正交试验因素水平表进行正交试验制备一批桂花风味“爆浆”珍珠。

### 1.2.6 桂花风味“爆浆”珍珠的感官评定

表 2 桂花风味“爆浆”珍珠感官评价标准表

Table 2 Sensory evaluation standards of osmanthus flavor liquid-core hydrogel beads

项目	描述	评分
气味 (15分)	有异味腥臭味等不愉快气味	1~7
	无不良气味，呈淡淡清香，芯液含明显桂花香味	8~15
颜色 (20分)	外壳不透明颜色不均一，芯液颜色不均一	1~10
	外壳呈半透明白色，颜色均一，芯液呈淡黄色，颜色均匀	11~20
口感 (45分)	外壳韧性不足易破，厚度过薄，嚼劲差；芯液流动性不足，或风味异常或口感不佳	1~15
	外壳韧性良好，有轻微爆浆感或爆浆感过强，厚度过厚嚼劲适中；芯液流动性过强，或风味异常或口感不佳	16~30
	外壳韧性佳，有适当爆浆感，厚度适中有一定嚼劲；芯液流动性适中，具有产品应具有的风味，口感清爽优良	31~45
外观 (20分)	珍珠整体呈椭球或水滴状，外皮不均一有突起和气泡，芯液发生渗漏	1~7
	珍珠部分呈椭球状，外皮均一无突起有小气泡，芯液无明显渗漏	8~13
	珍珠整体呈圆球状，外皮光滑均一无突起无气泡，芯液无渗漏	14~20

表 3 不同芯液载入量制备的“爆浆”珍珠的整体机械性能参数及外壳的质构特性

Table 3 The overall mechanical and texture properties of the liquid-core hydrogel beads prepared under different volume of core liquid

芯液载入量/ $\mu\text{L}$	平均粒径/mm	平均膜厚/mm	最大力值/( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	硬度/g	咀嚼性/g
250	7.98 $\pm$ 0.24 <sup>e</sup>	0.44 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	412.83 $\pm$ 20.01 <sup>a</sup>	2224.79 $\pm$ 82.51 <sup>bc</sup>	1053.32 $\pm$ 20.91 <sup>ab</sup>
300	8.75 $\pm$ 0.35 <sup>d</sup>	0.48 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	400.76 $\pm$ 43.24 <sup>a</sup>	2221.69 $\pm$ 112.39 <sup>bc</sup>	1012.08 $\pm$ 35.64 <sup>bc</sup>
350	9.43 $\pm$ 0.25 <sup>c</sup>	0.53 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	374.68 $\pm$ 11.54 <sup>ab</sup>	2607.33 $\pm$ 93.28 <sup>a</sup>	1068.85 $\pm$ 17.72 <sup>a</sup>
400	10.35 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	0.56 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	341.42 $\pm$ 15.49 <sup>bc</sup>	2429.61 $\pm$ 163.43 <sup>ab</sup>	1072.88 $\pm$ 26.83 <sup>a</sup>
450	10.80 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	0.54 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	321.01 $\pm$ 18.64 <sup>c</sup>	2030.04 $\pm$ 123.42 <sup>c</sup>	974.67 $\pm$ 37.5 <sup>c</sup>

注：同一列不同字母为统计学分析差异显著 ( $\alpha < 0.05$ )，表 4、5 同。

表 4 不同成球反应时间下制备的“爆浆”珍珠的整体机械性能参数及外壳的质构特性

Table 4 The overall mechanical and texture properties of the liquid-core hydrogel beads prepared under different reaction times

反应时间/min	平均粒径/mm	平均膜厚/mm	最大力值/( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	硬度/g	咀嚼性/g
5	9.65 $\pm$ 0.63 <sup>b</sup>	0.45 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	392.92 $\pm$ 36.63 <sup>c</sup>	2468.14 $\pm$ 208.74 <sup>b</sup>	1027.83 $\pm$ 25.26 <sup>b</sup>
10	9.77 $\pm$ 0.32 <sup>ab</sup>	0.49 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	868.44 $\pm$ 68.43 <sup>b</sup>	3040.12 $\pm$ 194.84 <sup>a</sup>	1475.92 $\pm$ 128.75 <sup>a</sup>
15	10.56 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	0.61 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1423.7 $\pm$ 104.84 <sup>a</sup>	3260.65 $\pm$ 169.57 <sup>a</sup>	1141.64 $\pm$ 87.28 <sup>ab</sup>

选择 10 名经过培训的学生按照表 2<sup>[17,18]</sup>对“爆浆”珍珠产品进行感官评价。所有试验进行 3 次平行试验，取平均值作为最终结果。

### 1.2.7 数据统计分析

本实验数据来源于三次平行实验，结果以平均值 $\pm$ 标准偏差形式表示，利用 Office 2010 及 SPSS 20 软件对数据进行处理及分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 芯液载入量对“爆浆”珍珠质构特性的影响



图 2 不同芯液载入量制备的“爆浆”珍珠图

Fig.2 Side view of liquid-core hydrogel beads prepared under different volume of core liquid

从图 2 和表 3 中的平均粒径可知，随着芯液载入量的增加，所制备的“爆浆”珍珠粒径逐渐增大，芯液载入量为 300  $\mu\text{L}$ ~350  $\mu\text{L}$  时，成球效果最好，呈光滑圆球状。芯液载入量达到 350  $\mu\text{L}$  以上时小球开始倾向于形成水滴状，这是由于芯液载入量过大，下落时无法较好地自然形成圆球状便开始反应形成凝胶。当芯液载入量为 250  $\mu\text{L}$  时，小球的平均粒径和平均膜厚最小，这是由于芯液载入量较小，导致钙离子含量低，与海藻酸钠果胶复合溶液生成较薄的凝胶。因此从外观判断，芯液载入量为 300  $\mu\text{L}$ ~350  $\mu\text{L}$  为较优的选择。

“爆浆”珍珠质构特性如表 3 所示，其最大力值随着芯液载入量的增加而逐渐降低。这是由于反应时间相同，钙离子释放速率相同，而球体积增大，相似

厚度的膜需要承受更多重量芯液带来的压力，因此需要更小力量就可以将更大体积的球体压破<sup>[19]</sup>。硬度和咀嚼性则无明显变化趋势和差异性。芯液载入量为 450  $\mu\text{L}$  时，外壳硬度和咀嚼性相较其他芯液载入量都有一定程度降低，这是由于芯液载入量大，球体积本身较大，外壳薄厚不均匀导致<sup>[20]</sup>。芯液载入量为 350  $\mu\text{L}$ ~400  $\mu\text{L}$  时“爆浆”珍珠具最佳硬度和咀嚼性。因此综合分析，芯液载入量为 350  $\mu\text{L}$  具有较好的成球外观和优良的质构特性，能获得较优的咀嚼性和爆浆感。

### 2.2 成球反应时间对“爆浆”珍珠质构特性的影响

#### 影响

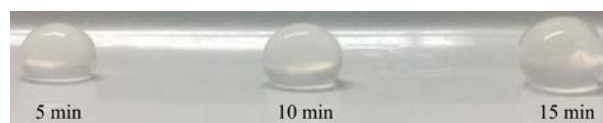


图 3 不同成球反应时间制备的“爆浆”珍珠侧视图对比

Fig.3 Side view of liquid-core hydrogel beads prepared under different reaction time

由图 3 可知，15 min 成球反应时间制备的“爆浆”珍珠粒径明显比 5 min 和 10 min 的大，而 5 min 成球反应时间制备的“爆浆”珍珠形态扁平，不及 10 min 和 15 min 的挺立，这可能是由于反应时间过短，钙离子与海藻酸钠果胶复合溶液还未充分反应生成弱凝胶，具有较低的凝胶强度和外壳硬度。

表 4 中粒径数据与观察到的“爆浆”珍珠大小一致。15 min 成球反应时间制备的“爆浆”珍珠平均粒径超过 10 mm，通常售卖珍珠奶茶的饮品店所配的吸管直径为 11 mm，因此优选直径在 10 mm 以下的“爆浆”珍珠。平均膜厚随着反应时间的增长而显著增大，这

是由于时间较短时，主要是复合溶液中的胶体向含钙芯液进攻，时间较长以后，“爆浆”珍珠外膜已经形成，逐渐转为钙离子向外膜进攻，膜厚度逐渐增大。在质构方面，随着反应时间的增长，硬度逐渐增大，这是由于随着反应时间的延长，粒径和膜厚随之增大，凝胶强度也逐渐增大<sup>[21]</sup>。10 min 成球反应时间制备的“爆浆”珍珠其硬度和咀嚼性也达到较高值。综合分析，优选反应时间为 10 min，10 min 反应时间制备的“爆浆”珍珠大小合适，且具有较佳的咀嚼性和爆浆感。

### 2.3 固化液浓度对“爆浆”珍珠质构特性的影响

图 4 和表 5 的数据说明固化液浓度对“爆浆”珍珠外观影响较小，经各浓度壳聚糖溶液浸泡所得“爆浆”珍珠样品均呈规则的圆球状，平均粒径和平均膜厚也相差不大。质构方面，随着固化液浓度的上升，

使“爆浆”珍珠样品破裂所需的最大力值逐渐上升，这说明一定浓度的壳聚糖能够有效增强“爆浆”珍珠外壳结构，可能通过填补已经形成的海藻酸钠-果胶凝胶的空隙以增强其凝胶强度<sup>[22]</sup>。硬度没有明显的变化规律，咀嚼性随着固化液浓度的增大先上升后下降，在浓度为 0.5% 时达到最大。综合分析，当固化液浓度为 0.5% 时能够有效增加最大力值并获得最优的咀嚼性和爆浆感。



图 4 不同固化液浓度制备的“爆浆”珍珠

Fig.4 Side view of liquid-core hydrogel beads prepared under different reaction time

表 5 不同固化液浓度下制备的“爆浆”珍珠的整体机械性能参数及外壳的质构特性

Table 5 The overall mechanical and texture properties of the liquid-core hydrogel beads prepared with different concentrations of curing liquid

固化液浓度/% (W/W)	平均粒径/mm	平均膜厚/mm	最大力值/(g/cm <sup>2</sup> )	硬度/g	咀嚼性/g
0.1	9.60±0.13 <sup>a</sup>	0.45±0.02 <sup>bc</sup>	392.74±35.64 <sup>c</sup>	2332.60±261.65 <sup>a</sup>	1073.88±84.94 <sup>ab</sup>
0.3	9.70±0.26 <sup>a</sup>	0.49±0.01 <sup>a</sup>	437.00±26.66 <sup>bc</sup>	1904.82±174.53 <sup>b</sup>	1104.09±104.43 <sup>a</sup>
0.5	9.50±0.44 <sup>a</sup>	0.47±0.02 <sup>ab</sup>	471.75±35.96 <sup>b</sup>	2279.88±164.95 <sup>ab</sup>	1189.53±162.54 <sup>a</sup>
0.7	9.68±0.17 <sup>a</sup>	0.45±0.01 <sup>bc</sup>	550.79±22.84 <sup>a</sup>	2411.53±273.88 <sup>a</sup>	1081.99±77.34 <sup>ab</sup>
0.9	9.50±0.45 <sup>a</sup>	0.44±0.01 <sup>c</sup>	600.89±29.76 <sup>a</sup>	2179.61±87.46 <sup>ab</sup>	890.90±69.45 <sup>b</sup>

### 2.4 桂花风味“爆浆”珍珠产品配方正交实验

#### 结果

正交试验结果如表 6 所示，极差分析结果表明， $R_A > R_B > R_C$ ，各个因素对产品质量影响程度的排序为  $A > B > C$ ，即桂花风味糖浆用量 > 白砂糖用量 > 黄原胶浓度。表 7 中正交实验方差分析显示各个因素都是显著的，所以每个因素取最佳水平，即  $A_1B_2C_1$ 。由于最佳组合为  $A_1B_2C_1$  未在表 6 中，而列表中  $A_1B_2C_2$  组合感官评分最高。所以还要进行验证试验，结果如表 8 所示， $A_1B_2C_1$  组合感官评分高于  $A_1B_2C_2$ 。综合分析，最优组合为  $A_1B_2C_1$ ，即桂花风味糖浆用量 10%(W/W)、白砂糖用量 10%(W/W)、黄原胶浓度 0.2%(W/W)。根据正交试验所得出的最优组合制作桂花风味“爆浆”珍珠并进行感官评价，所制得的“爆浆”珍珠表面光滑，色泽鲜亮，无异味，口感清爽风味较佳，爆浆感明显具有良好的 Q 弹性，芯液颜色均匀无渗漏，甜度适中。

表 6 桂花风味“爆浆”珍珠产品配方正交实验结果

Table 6 Orthogonal experiment results of osmanthus flavor liquid-core hydrogel beads formula

水平	A 桂花风味糖浆用量/% (W/W)	B 白砂糖用量/% (W/W)	C 黄原胶浓度/% (W/W)	感官评分
1	10	5	0.2	82.4
2	10	10	0.3	83.2
3	10	15	0.4	81.6
4	20	5	0.3	77.3
5	20	10	0.4	79.4
6	20	15	0.2	78.8
7	30	5	0.4	80.7
8	30	10	0.2	83.0
9	30	15	0.3	80.3
K1	247.2	240.4	244.2	
K2	235.5	245.6	240.8	
K3	244	240.7	241.7	
R	11.7	5.2	3.4	

表7 桂花风味“爆浆”珍珠配方优化正交试验方差分析

Table 7 Variance analysis of orthogonal test for osmanthus flavor liquid-core hydrogel beads formula

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F值	临界值	显著性	优方案
因素 A	24.38	2	12.19	221.64	F <sub>0.1</sub> (2,2) =9	**	A1
因素 B	5.68	2	2.84	51.64	F <sub>0.05</sub> (2,2) =19	**	B2
因素 C	2.07	2	1.035	18.82		*	C1
误差	0.11	2	0.055				
总和	32.24	8					

表8 验证实验结果表

Table 8 Verification experiment result table

组合号	桂花风味糖浆用量/(W/W)	白砂糖用量/(W/W)	黄原胶浓度/(W/W)	感官评分
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	10	15	0.3	84.30
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	10	10	0.3	83.20

### 3 结论

本文利用反向成球技术通过控制关键工艺制备具有最佳爆浆口感和咀嚼性的“爆浆”珍珠，以质构仪分析使“爆浆”珍珠破裂的最大力值以及外壳的咀嚼性得出最优工艺条件：芯液载入量为 350 μL，成球反应时间 10 min，固化液（壳聚糖）浓度 0.5% (W/W)，并设计了桂花风味“爆浆”珍珠配方正交实验，得出桂花风味“爆浆”珍珠最优配方为：桂花风味糖浆用量 10% (W/W)、白砂糖用量 10% (W/W)、黄原胶浓度 0.2% (W/W)。

### 参考文献

[1] 黄育新,黄泽辉,洪伟明.寒天海藻爆汁珍珠果汁饮料生产工艺研究[J].中国科技博览,2016,1:51  
HUANG Yu-xin, HUANG Ze-hui, HONG Wei-ming. Study on the production process of cold-sea seaweed juice pearl juice beverage [J]. China Science and Technology Review, 2016, 1: 51

[2] 周淑梅.微胶囊化果汁新饮品生产工艺研究[J].现代食品,2016,33(9):101-102  
ZHOU Shu-mei. Study on the production process of microencapsulated juice new drinks [J]. Modern Food, 2016, 33(9): 101-102

[3] 王玉涵,段佳文,刘凤仪,等.包埋益生菌的功能性爆浆珠的研制[J].食品工业,2018,39(12):100-103  
WANG Yu-han, DUAN Jia-wen, LIU Feng-yi, et al. Development of functional blasting beads embedded with probiotics [J]. Food Industry, 2018, 39(12): 100-103

[4] 韩梅,刘振民,徐致远,等.一种爆浆珠、含其的饮料及其制备

方法:中国专利,CN105325829A [P] 2016-02-17.

HAN Mei, LIU Zhen-min, XU Zhi-yuan, et al. The invention relates to exploding beads, a beverage containing them and a preparation method thereof: China Patent, CN105325829A [P] 2016-02-17

[5] 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

[6] Tsai F H, Chiang P Y, Kitamura Y, et al. Producing liquid-core hydrogel beads by reverse spherification: Effect of secondary gelation on physical properties and release characteristics [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 62: 140-148

[7] Lee P, Rogers M A. Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate [J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2012, 1(2): 96-100

[8] 周爱梅,郝淑贤,刘欣等.海藻酸钠高甲氧基果胶复合体系凝胶特性的研究[J].华南农业大学学报,2003,4:75-78  
ZHOU Ai-mei, HAO Shu-xian, LIU Xin, et al. Study on gel properties of sodium alginate-high methoxyl pectin composite system [J]. Journal of South China Agricultural University, 2003, 4: 75-78

[9] Young N W G, Kappel G, Bladt T. A polyuronan blend giving novel synergistic effects and bake-stable functionality to high soluble solids fruit fillings [J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(4): 407-418

[10] Gohil R M. Synergistic blends of natural polymers, pectin and sodium alginate [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2015, 120(4): 2324-2336

[11] Braccini I, Serge Pérez. Molecular basis of Ca<sup>2+</sup>-induced gelation in alginates and pectins: The egg-box model revisited [J]. Biomacromolecules, 2001, 2(4): 1089-1096

[12] Galus S, Lenart A. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(4): 459-465

- [13] Solak A, Dyankova S. Composite films from sodium alginate and high methoxyl pectin-physicochemical properties and biodegradation in soil [J]. *Ecologia Balkanica*, 2014, 6(2): 25-34
- [14] 覃小丽,杨溶,刘雄,等.两种海藻酸钠基凝胶的溶胀和质构性能[J].*食品科学*,2017,38(19):7-11  
QIN Xiao-li, YANG Rong, LIU Xiong, et al. Swelling and texture properties of two sodium alginate-based gels [J]. *Food Science*, 2017, 38(19): 7-11
- [15] 白一凡,王辉,杨震,等.豌豆蛋白加工特性及在乳化香肠中的应用[J].*肉类研究*,2014,28(12):14-16  
BAI Yi-fan, WANG Hui, YANG Zhen, et al. Processing characteristics of pea protein and its application in emulsified sausage [J]. *Meat Research*, 2014, 28(12): 14-16
- [16] 张焯,郭健,杨晓泉,等.MTG 酶诱导大豆 11S 球蛋白透明冷致水凝胶的制备[J].*化工学报*,2011,62(12):3560-3568  
ZHANG Ye, GUO Jian, YANG Xiao-quan, et al. Preparation of microbial transglutaminase-induced soybean glycinin transparent cold-set hydrogels [J]. *CIESC Journal*, 2011, 62(12): 3560-3568
- [17] 夏熠珣,钟芳,李玥.描述性分析在食品感官评定中应用进展[J].*粮食与油脂*,2011,8:4-6  
XIA Yi-xun, ZHONG Fang, LI Yue. Application progress of descriptive analysis in sensory evaluation of foods [J]. *Journal of Cereals and Oils*, 2011, 8: 4-6
- [18] 赵镭,刘文,汪厚银.食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J].*中国食品学报*,2008,3:121-124  
ZHAO Lei, LIU Wen, WANG Hou-yin. General principles and methods for establishment of food sensory evaluation index system [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2008, 3: 121-124
- [19] Jasdeep S, Kamaljit K, Parminder K. Optimizing microencapsulation of  $\alpha$ -tocopherol with pectin and sodium alginate [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(9): 3625-3631
- [20] Sandoval-Castilla O, Lobato-Calleros C, García-Galindo H.S, et al. Textural properties of alginate-pectin beads and survivability of entrapped *Lb. casei* in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt [J]. *Food Research International*, 2010, 43(1): 111-117
- [21] 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/OL].*食品科学*, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20190329.1352.008.html>  
WANG Han-chen, CHOU Shu-rui, CUI Hui-jun, et al. Impacts of calcium concentration on rheological and gel property of apple pectin and apple polyphenols compound [J/OL]. *Food Science*. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20190329.1352.008.html>
- [22] 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): 2367-2372

---

(上接第 158 页)

- [29] 梁新乐,张丹丹,陈敏,等.阿维拉霉素高产菌株绿色产色链霉菌 A11-13 的推理选育[J].*中国抗生素杂志*,2012,37(9): 671-677  
LIANG Xin-le, ZHAO Dan-dan, CHEN Min, et al. Rational breeding of high avilamycin-producing strain of *Streptomyces viridoehrongenes* A11-13 [J]. *Chinese Journal of Antibiotics*, 2012, 37(9): 671-677
- [30] 陈凝,王永红,储炬,等.培养基成分和补料对阿维菌素发酵过程中除虫链霉菌菌丝形态的影响[J].*华中农业大学学报*,2007,26(4):496-501  
CHEN Ning, WANG Yong-hong, CHU Ju, et al. Effect of medium composition feeding strategy on morphology of *Streptomyces avermitilis* in avermectin fermentation [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2007, 26(4): 496-501