

## 花椒精油微胶囊咀嚼片配方及降脂性能研究

王瑞雪,徐雅茹,王雪,孙玉奉\*,徐志祥\*

山东农业大学食品科学与工程学院,山东 泰安 271018

**摘要:**为探寻花椒精油微胶囊咀嚼片的制备工艺,及体外降血脂功效,提高其应用价值,通过单因素实验、正交实验对咀嚼片配方的原料、脱脂牛奶粉、甜味剂、填充剂添加量进行探究,并对咀嚼片的硬度、片重差异、厚度、水分含量、体外降血脂能力和卫生指标进行测定。咀嚼片的最佳配方为:原料添加量为6%、脱脂牛奶粉添加量为40%、甜味剂添加量为18%、填充剂添加量为35%、柠檬酸添加量为0.5%、硬脂酸镁添加量为0.5%。此配方下,牛磺胆酸钠吸附率为55.4%,甘氨酸胆酸钠吸附率为50.5%;胆固醇吸附率为(pH 2.0时39%;pH 7.0时48.3%)。测得咀嚼片菌落总数<10 CFU/g,大肠菌群<10 CFU/g,铅含量未检出,各指标均符合国家标准。该花椒精油微胶囊咀嚼片口感较好、表现出一定的咀嚼性和降脂能力。

**关键词:**花椒精油微胶囊;咀嚼片;全粉压片;降血脂活性

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

文章编号:1000-2324(2026)01-0084-08

## Formulation and Hypolipidemic Properties Study of *Zanthoxylum bungeanum* Essential Oil Microcapsules Chewable Tablets

WANG Rui-xue, XU Ya-ru, WANG Xue, SUN Yu-feng\*, XU Zhi-xiang\*

College of Food Science and Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

**Abstract:** To explore the preparation process and in vitro hypolipidemic activity of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil microcapsule chewable tablets, thereby enhancing their application value, this study investigates the addition amounts of raw materials, skimmed milk powder, sweeteners and fillers via single-factor experiments and orthogonal tests, and determines the tablets'hardness, weight variation, thickness, moisture content, in vitro hypolipidemic capacity and hygiene indicators. The optimal formulation for the chewable tablets is as follows: 6% raw material addition, 40% skimmed milk powder, 18% sweetener, 35% filler, 0.5% citric acid, and 0.5% magnesium stearate. Under this formulation, the tablets achieve a 55.4% adsorption rate for sodium taurocholate, 50.5% for sodium glycocholate. The cholesterol adsorption rate is 39% at pH 2.0 and 48.3% at pH 7.0. The total number of colonies in the chewable tablets is measured at < 10 CFU/g, coliform count at < 10 CFU/g, and no lead is detected. All indicators comply with the national standards. The *Zanthoxylum bungeanum* essential oil microcapsule chewable tablets exhibit a pleasant taste, satisfactory chewability and definite lipid-lowering capacity.

**Keywords:** *Zanthoxylum bungeanum* essential oil microcapsules; chewable tablets; direct compression; hypolipidemic

花椒精油中含有90%的不饱和脂肪酸,其中主要为 $\alpha$ -亚麻酸、亚油酸等,它们属于n-3、n-6长链多不饱和脂肪酸<sup>[1]</sup>。这些不饱和脂肪酸可以在肠道内和胆酸盐结合,促使胆酸盐排出体外,从而使胆固醇不断向胆汁酸转变,使体内血液中的胆固醇含量下降<sup>[2]</sup>。同时,还可以抑制胆固醇合成酶-HMG-CoA还原酶的活性,干预蛋白质的代谢过程,形成降低血脂的效果<sup>[3]</sup>。因此,花椒精油是一种具有一定降血脂功效的天然材料。然而,花椒精油在加工中受到高温、高压影响成分不稳定,采用微胶囊技术包埋花椒精油可以有

效避免其损失。微胶囊技术是指利用一些大分子材料将不同状态的微小成分包覆成核壳结构微胶囊的技术,它可以提高花椒精油的稳定性,延长其生物活性<sup>[4]</sup>。

高血脂症已成为危害人群健康最严重的疾病。针对慢性疾病,现有技术中用于治疗的产品多以他汀类药物为主<sup>[5]</sup>,人体的适应性弱,且药物多存在一定的副作用。咀嚼片是一种通过口腔咀嚼或吞服,使其融化,服入体内的片剂。它可以根据产品和消费者需求更改大小和形状,便于携带、保存、服用<sup>[6]</sup>。咀嚼片可以减少药物对

收稿日期:2025-04-07

修回日期:2025-12-28

基金项目:山东省重点研发计划(乡村振兴科技创新提振行动计划)(2022TZXD0030)

第1作者简介:王瑞雪(1998-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。E-mail: wrxym28@163.com

\*通讯作者: Author for correspondence. E-mail: sunyufeng1208@163.com; zhixiangxu@sina.com

胃粘膜的刺激,提高服用者的顺应性,同时能够快速促进人体对药物的吸收,保证了药物的功能性<sup>[7]</sup>。全粉压片是将原料与辅料混合均匀后,通过模具进行统一压片<sup>[8]</sup>,这种方法不需要经过造粒、湿润、干燥等复杂的工艺,操作简单、成本低,适合连续大规模生产。且压片过程为物理性压片,可以较好保留原料的功能特性。目前还没有以花椒精油微胶囊为原料开发具有降血脂功效的功能性食品。

研究以花椒精油微胶囊为原料,以高脂人群适宜的材料为辅料,采用全粉压片制备咀嚼片,并通过单因素实验、正交实验优化咀嚼片配方,初步探讨了其降血脂活性,以期望为高血脂疾病治疗提供一款具有一定降血脂活性的花椒精油微胶囊咀嚼片功能型产品。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

花椒,济南莱芜种植基地;花椒精油微胶囊,实验室自制;盐酸、浓硫酸、磷酸、碳酸钠(分析纯),天津市凯通化学试剂有限公司;脱脂牛奶粉(食品级),内蒙古伊利实业集团股份有限公司;甘露醇、微晶纤维素、麦芽糊精、赤藓糖醇、柠檬酸、硬脂酸镁(食品级),河南高宝实业有限公司;胃蛋白酶(1:3 000 NFU/g)、胰蛋白酶(1:250 NFU/mg)、牛磺胆酸钠(98%),北京博奥拓达科技有限公司;甘氨酸胆酸钠(98%)、胆固醇标准品(99%),上海源叶生物科技有限公司;邻苯二甲醛(分析纯),上海麦克林生化科技有

限公司。

### 1.2 仪器与设备

pH计(PB-10),德国赛多利斯集团;高速离心机(TG16-WS),湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;质构仪(TA-XT20),赛成电子科技有限公司;恒温培养箱(NY-2102C),天津欧诺仪器股份有限公司;单冲压片机(TDP-6),中南制药机械厂。

### 1.3 方法

1.3.1 花椒精油微胶囊制备 以海藻酸钠和壳聚糖为复配壁材,以CaCl<sub>2</sub>为交联剂,通过复凝聚法,按壳聚糖-海藻酸钠壁材比1:3.5,精油-海藻酸钠壁芯比1:3,交联剂浓度1.5%的比例,制备花椒精油微胶囊。

1.3.2 花椒精油微胶囊咀嚼片制备 按国标GB 2760<sup>[9]</sup>,将花椒精油微胶囊、脱脂牛奶粉、填充剂(麦芽糊精、微晶纤维素、甘露醇4:1:2)、甜味剂(赤藓糖醇)、柠檬酸、硬脂酸镁按比例混合均匀,进行全粉压片,压片机采用直径为10 mm的压片模具。

1.3.3 单因素实验 在1.3.1的制备方法下分别设置原料添加量为4%、6%、8%、10%、12%;脱脂牛奶粉添加量为25%、30%、35%、40%、45%;填充剂添加量为25%、30%、35%、40%、45%;甜味剂添加量为10%、14%、18%、22%、26%,以感官评分为评价指标,确定最优配比。

1.3.4 正交实验 在单因素实验基础上,对4个因素中评分较高区间进行L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交实验。实验因素水平设计见表1。

表1 正交实验优化制备咀嚼片因素水平表

Table 1 Factor level table for optimizing preparation of chewable tablet by orthogonal test

| 水平<br>Level | 因素 Factor               |                        |                   |                      |
|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------|----------------------|
|             | A 原料添加量/%               | B 奶粉添加量/%              | C 填充剂添加量/%        | D 甜味剂添加量/%           |
|             | A Raw material addition | B Milk powder addition | C Filler addition | D Sweetener addition |
| 1           | 4                       | 35                     | 30                | 14                   |
| 2           | 6                       | 40                     | 35                | 18                   |
| 3           | 8                       | 45                     | 40                | 22                   |

1.3.5 花椒精油微胶囊咀嚼片感官评价 根据迟晓君等<sup>[10]</sup>的方法:选取20名具有感官评价能力的食品专业研究员,以外观、风味、质地、口感4个方面对花椒精油微胶囊咀嚼片进行感官评价,感官评分标准见表2。

1.3.6 花椒精油微胶囊咀嚼片性能测定 (1)片重差异测定

根据冯爱博等的方法<sup>[11]</sup>:随机取20片咀嚼片,准确记录每片重量与平均片重量的差值。

表 2 咀嚼片感官评价表  
Table 2 Sensory evaluation of chewable tablet

| 指标<br>Indicator | 评分标准<br>Scoring criteria   | 评分<br>Score |
|-----------------|----------------------------|-------------|
| 外观(20分)         | 颜色淡黄色,色泽分布均匀,片剂光滑,厚薄均匀     | 15-20       |
|                 | 颜色淡黄色,色泽分布较为均匀,片剂较为光滑,厚薄均匀 | 7-14        |
|                 | 颜色偏褐色,色泽分布不均匀,片剂粗糙,厚薄不均匀   | 0-6         |
| 风味(40分)         | 酸甜适口,精油苦味淡,风味协调            | 28-40       |
|                 | 较酸或较甜,有苦味,风味较协调            | 13-27       |
|                 | 过酸或过甜,有明显的苦味,风味不协调         | 0-12        |
| 质地(20分)         | 咀嚼性好,质地紧密,硬度适中             | 15-20       |
|                 | 咀嚼性较差,质地较为紧密,稍硬或稍软         | 7-14        |
|                 | 咀嚼性差,硬度过大或无法成片             | 0-6         |
| 口感(20分)         | 细腻柔滑,无砂砾感                  | 15-20       |
|                 | 较柔滑,略有砂砾感                  | 7-14        |
|                 | 口感粗糙,砂砾感明显                 | 0-6         |

(2)厚度测定

随机取咀嚼片 20 片,用游标卡尺准确测量咀嚼片厚度记录平均值。

(3)水分含量测定

将咀嚼片充分研磨后,参考国标 GB 5009.3-2016<sup>[12]</sup>水分含量测定中的直接干燥法进行测定。

(4)硬度测定

使用 SMSP/36R 式探头,测前速度 1.00 mm;测中速度 0.50 mm/s;测后速度 10.00 mm/s;触发力 0.05 N,位移 2.00 mm。

1.3.7 花椒精油微胶囊咀嚼片体外降血脂能力测定 根据段振的方法修改如下<sup>[13]</sup>:用磷酸缓冲液(0.2 mol/L、pH 为 6.3)分别配置梯度浓度的 0.3 mmol/L 的牛磺胆酸钠、甘氨酸胆酸钠标准溶液,在 387 nm 处测得最大吸光度。得到牛磺胆酸钠标准曲线: $y=1.528 7x+0.033 3$ ;相关系数  $R^2=0.999 0$ ;甘氨酸胆酸钠标准曲线: $y=1.550 9x+0.019 58$ ;相关系数  $R^2=0.999 2$ 。

(1)牛磺胆酸钠吸附能力测定

根据于美汇等的方法修改如下<sup>[14]</sup>:采用硫酸比色法对咀嚼片吸附能力进行测定。用磷酸缓冲液(0.2 mol/L、pH 为 6.3)配 10 mg/mL 胃蛋白酶和胰蛋白酶溶液,现配现用。配置 0.01 mol/L 的盐酸溶液、0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液,备用。分别称取 120、150、180、210、240 mg 咀嚼片,加入 1 mL 盐酸和 3 mL 胃蛋白酶,在 37 °C 下恒温震荡模拟胃部消化 1 h。然后加入 4 mL 胰蛋白酶溶液,继续在 37 °C 下恒温震荡模拟肠道消化

1 h。随后向各个样品中加入 4 mL 牛磺胆酸钠溶液,在 37 °C 下恒温震荡 1 h,于 4 000 r/min 离心 20 min,取上清液 2.5 mL,加入 7.5 mL 60% 的硫酸溶液,于 70 °C 下水浴 20 min,冷却至室温后,在 387 nm 处测得最大吸光度,同时设置底物空白与胆盐空白。咀嚼片吸附牛磺胆酸钠的能力计算参考公式。

$$Y = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:Y 为牛磺胆酸钠结合率,%;A<sub>1</sub> 为牛磺胆酸钠加入量;A<sub>2</sub> 为牛磺胆酸钠剩余量。

(2)甘氨酸胆酸钠吸附能力测定

参考牛磺胆酸钠测定方法,进行咀嚼片吸附甘氨酸胆酸钠能力测定。按下列公式计算。

$$Y = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:Y 为甘氨酸胆酸钠结合率,%;A<sub>1</sub> 为甘氨酸胆酸钠加入量;A<sub>2</sub> 为甘氨酸胆酸钠剩余量。

(3)胆固醇吸附性能测定

根据 Zhang 等的方法修改如下<sup>[15]</sup>:用冰乙酸配置 1 mg/mL 的胆固醇标准溶液和 0.5 mg/mL 的邻苯二甲醛标准溶液,按照邻苯二甲醛法建立胆固醇标准曲线。得到标准曲线为  $y = 0.007 7x - 0.052 3$ ;相关系数  $R^2 = 0.999 0$ 。

配置 6 mol/L 的盐酸溶液和 1 mol/L 的氢氧化钠溶液,备用。将新鲜蛋黄用 9 倍超纯水打散并搅拌至乳化。分别称取两份 120、150、180、210、240 mg 咀嚼片,加入 5 mL 蛋黄溶液。分别

用HCL与NaOH将各溶液pH值调至2.0、7.0,模拟胃肠道消化环境,在37℃下恒温震荡2h,于4000 r/min离心20 min。分别取100 μL上清液,用乙酸定容至400 μL,随后依次加入邻苯二甲醛溶液1.5 mL、浓硫酸1 mL,混合均匀,避光静置10 min,于550 nm处测得吸光度。用超纯水代替蛋黄溶液,作底物空白。

$$Y = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:Y为胆固醇酸钠结合率,%;A<sub>1</sub>为胆固醇加入量;A<sub>2</sub>为胆固醇剩余量。

### 1.3.8 花椒精油微胶囊咀嚼片卫生指标测定

(1)按照《GB 5009.12-2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定》<sup>[16]</sup>对咀嚼片铅含量进行测定。

(2)按照《GB 4789.2-2022 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[17]</sup>对咀嚼片菌落总数进行测定。

(3)按照《GB 4789.3-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》<sup>[18]</sup>对咀嚼片大肠菌群进行测定。

## 1.4 数据处理

采用Origin 2024和SPSS 26.0软件分析实验数据,所有实验重复3次,用平均值±标准差表示结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果

**2.1.1 原料添加量对咀嚼片感官评价的影响** 由图1可知,原料添加量在4%~8%之间,咀嚼片为淡黄色,呈现出微弱的花椒风味,口感细腻,咀嚼性好。随原料添加量的增多,咀嚼片花椒麻味逐渐加重,且颗粒感严重,感官评价变低。在原料添加量为6%时评分最高,此时咀嚼片表面光滑,色泽均匀,咀嚼片为酸甜口味,感官接受程度高。因此,选取4%、6%、8%这三个添加量进行进一步优化。

**2.1.2 脱脂牛奶粉添加量对咀嚼片感官评价的影响** 牛奶粉的奶香气可以很好的掩盖花椒味,且脱脂牛奶粉含有多种微量元素,适合高血脂人群食用,因此选取了脱脂奶粉优化咀嚼片的感官气味。从图2可以看出,咀嚼片的感官品质随脱脂奶粉添加量的增多而升高。当脱脂牛奶粉添加

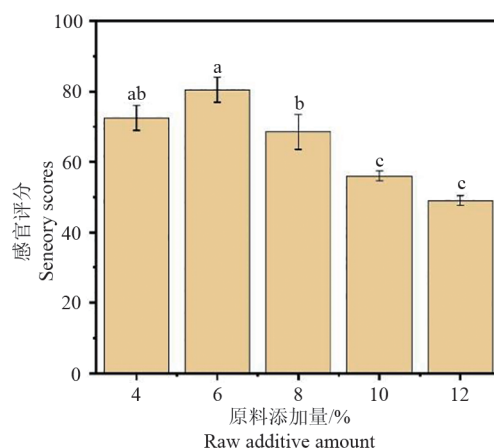


图1 原料添加量对咀嚼片的影响

Fig. 1 Raw material addition amount on chewable tablets

注:图中字母不同者表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters in the figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

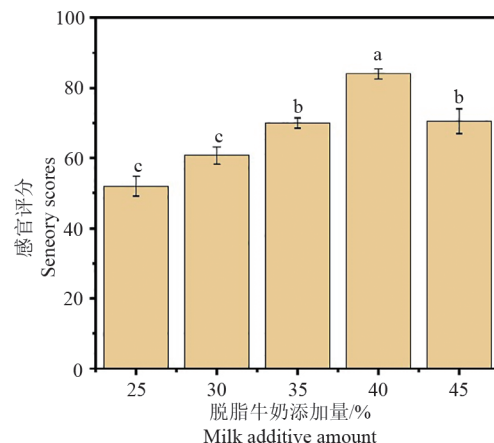


图2 脱脂牛奶粉添加量对咀嚼片的影响

Fig. 2 Skimmed milk powder addition amount on chewable tablets

注:图中字母不同者表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters in the figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

量低于40%时,牛奶香气无法掩盖花椒的刺激味,感官接受程度低。在添加量为40%时,奶香味和花椒味达到中和,同时脱脂牛奶粉增加了咀嚼性,咀嚼片口感风味都得到了明显的优化,感官评价最高。在添加量为45%时,牛奶粉含量多,咀嚼片出现一定甜腻味,感官评分下降。因此,选取35%、40%、45%这三个添加量进行进一步的正交优化。

**2.1.3 甜味剂添加量对咀嚼片感官评价的影响** 赤藓糖醇作为天然甜味剂,口感清凉,其甜度与蔗糖相当,而热量只有蔗糖的十分之一<sup>[19]</sup>。由图3可知,随赤藓糖醇添加量的增多咀嚼片感官

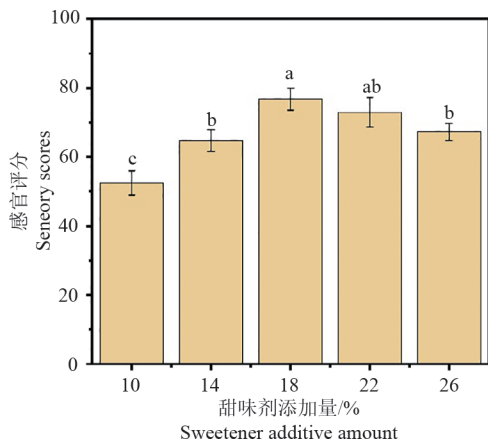


图3 甜味剂添加量对咀嚼片的影响

Fig. 3 Sweetener addition amount on chewable tablets

注:图中字母不同者表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。

Note: Different letters in the figure indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

水平呈先升高后降低趋势。在低于18%时,赤藓糖醇掩盖花椒精油苦味的能力弱,而且不能中和柠檬酸的酸气,咀嚼片呈酸辣味;当高于18%时,咀嚼片甜腻感强,赤藓糖醇的颗粒感较重,感官效果不佳。在赤藓糖醇添加量为18%时,感官评分最高。因此,选用14%、18%、22%这三个添加量进行进一步的正交优化。

2.1.4 填充剂添加量对咀嚼片感官评价的影响

本实验采用了甘露醇、麦芽糊精、微晶纤维素三种填充剂复配,来优化花椒精油微胶囊咀嚼片的感官状态。从图4中可以看出,填充剂对咀嚼片

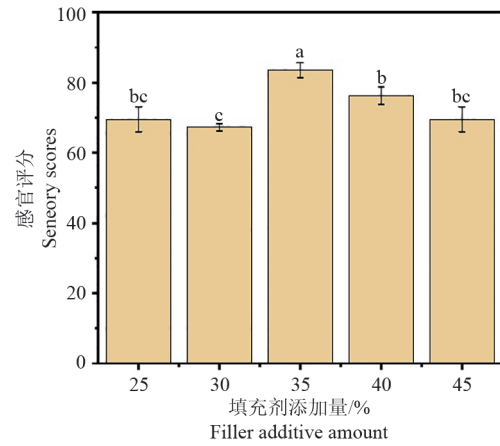


图4 填充剂添加量对咀嚼片的影响

Fig. 4 Filler addition amount on chewable tablets

注:图中字母不同者表示差异达显著水平( $P<0.05$ )。

Note: Different letters in the figure indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

的感官评分影响不明显。因为填充剂多为无色无味的粉末,不会直接影响咀嚼片的风味,但填充剂过少会造成咀嚼片松散,无法成型;填充剂过度,会造成咀嚼片硬度大,口感粗糙。综上,选用30%、35%、40%这三个添加量进行进一步的正交优化。

2.2 正交实验

在单因素实验的基础上,选用原料添加量、脱脂牛奶粉添加量、甜味剂添加量、填充剂添加量四个因素,进行 $L_9(3^4)$ 正交实验,结果如表3所示。由 $R$ 值可知,花椒精油微胶囊的添加量对

表3 产品配方正交试验结果

Table 3 The results of orthogonal test about product formulation

| 实验号<br>Number | 因素 Factor      |                       |          |             | 感官评分<br>Sensory score |
|---------------|----------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|
|               | A 原料           | B 脱脂奶粉                | C 填充剂    | D 甜味剂       |                       |
|               | A Raw material | B Skimmed milk powder | C Filler | D Sweetener |                       |
| 1             | 1              | 1                     | 1        | 1           | 67.33±0.50            |
| 2             | 1              | 2                     | 3        | 2           | 73.670±0.06           |
| 3             | 1              | 3                     | 2        | 3           | 76.25±0.15            |
| 4             | 2              | 1                     | 3        | 3           | 75.25±0.10            |
| 5             | 2              | 2                     | 2        | 1           | 82.00±0.13            |
| 6             | 2              | 3                     | 1        | 2           | 88.50±0.07            |
| 7             | 3              | 1                     | 2        | 2           | 80.00±0.05            |
| 8             | 3              | 2                     | 1        | 3           | 81.50±0.25            |
| 9             | 3              | 3                     | 3        | 1           | 76.75±0.10            |
| K1            | 72.25          | 74.17                 | 79.08    | 75.42       |                       |
| K2            | 82             | 79                    | 79.5     | 80.58       |                       |
| K3            | 79.42          | 80.5                  | 75.08    | 77.67       |                       |
| R             | 9.75           | 6.33                  | 4.42     | 5.17        |                       |

咀嚼片的感官影响最大,其次分别是脱脂牛奶粉、甜味剂、填充剂。同时通过  $K$  值可以看出,  $A_2B_3C_2D_2$  组合感官评分最高。

### 2.3 验证实验

通过正交实验得到最佳工艺条件为:原料添加量为 6%、脱脂牛奶粉添加量为 45%、甜味剂添加量为 18%、填充剂添加量为 35%。根据具体实验条件和原料配比范围,调整最佳配方比为原料

添加量为 6%、脱脂牛奶粉添加量为 40%、填充剂添加量为 35%、甜味剂添加量为 18%。并在此实验条件下进行 3 次验证实验,得到感官综合评分为  $89 \pm 0.50$ 。

### 2.4 花椒精油微胶囊咀嚼片性能测定结果

由表 4 可以看出,咀嚼片厚度为 5.7 mm,厚薄均匀,重量差异较小,水分含量为 3.4%,结构紧密,易保存。

表 4 咀嚼片的理化分析

Table 4 Physical and chemical analysis of chewable tablets

| 指标<br>Indicator | 水分含量/%<br>Moisture content | 厚度/mm<br>Thickness | 硬度/N<br>Hardness | 片重/g<br>Tablet weight |
|-----------------|----------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| 数值              | 3.4±0.15                   | 5.7±0.05           | 90±0.12          | 0.63±0.08             |

### 2.5 花椒精油微胶囊咀嚼片体外降血脂能力测定结果

#### 2.5.1 胆酸盐吸附性能

##### (1) 牛磺胆酸钠吸附能力的测定

由图 5 可以看出,随咀嚼片添加量的增多,牛磺胆酸钠的结合率呈上升趋势,且与添加量之间呈现一定的剂量-效应关系。在添加量为 150 mg 时,胆酸盐的结合率快速增长到 41%。随后,结合率变化缓慢,在 240 mg 时,结合率达到了 55.4%。这可能是因为随咀嚼片添加量的增多,花椒精油中的亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸可以将胆汁酸排出体外,同时壁材中壳聚糖上含有的多阳离子也具有结合胆盐的能力<sup>[20]</sup>,综合作用下咀嚼片的吸附能力不断增强。

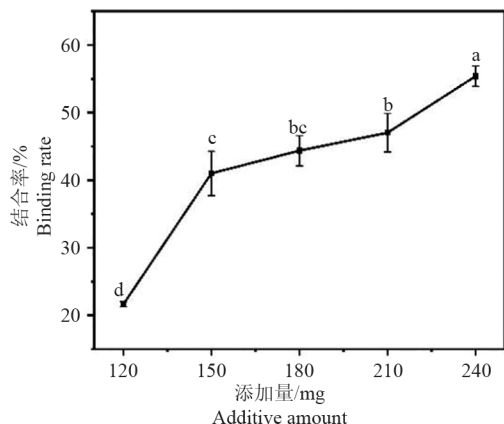


图 5 咀嚼片结合牛磺胆酸钠的能力

Fig. 5 Binding capacity of the chewable tablets with sodium taurocholate

注:图中字母不同者表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。  
Note: Different letters in the figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

##### (2) 甘氨酸胆酸钠吸附能力的测定

花椒精油微胶囊咀嚼片体外结合甘氨酸胆酸钠的能力如图 6 所示。胆汁酸通常以甘氨酸和牛磺酸的结合物形式存在于人体的胆汁中,肠道中胆酸盐和胆固醇维持着动态平衡,降低胆酸钠含量可以降低血液中胆固醇水平。甘氨酸胆酸钠的结合率趋势同牛磺胆酸钠相似,在 150 mg 时,结合率增速较快,在 240 mg 时,结合率达到了 50.5%。两种胆酸盐结合实验结果表明,花椒精油微胶囊咀嚼片表现出一定程度的降血脂效果。

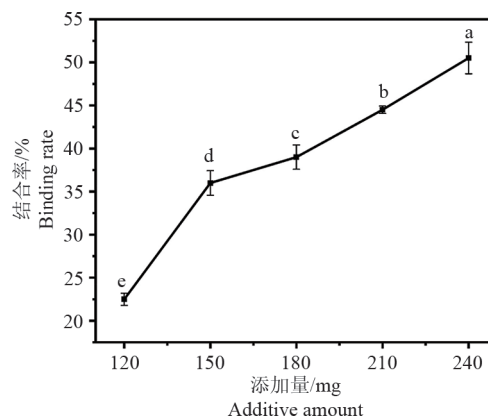


图 6 咀嚼片结合甘氨酸胆酸钠的能力

Fig. 6 Binding capacity of the chewable tablets with sodium glycocholate

注:图中字母不同者表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。  
Note: Different letters in the figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

#### 2.5.2 胆固醇吸附性能测定

如图 7 通过模拟人体消化环境来反映花椒精油微胶囊咀嚼片的降血脂能力。胆固醇的结

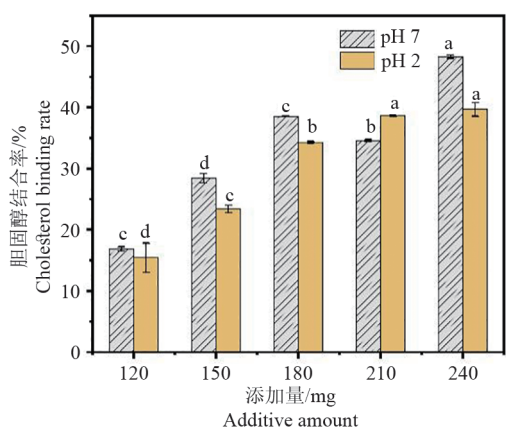


图 7 咀嚼片结合胆固醇的能力

Fig. 7 Binding capacity of the chewable tablets with cholesterol

注:图中字母不同者表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters in the figure indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

合率随咀嚼片的添加量增多呈上升趋势。在模拟肠环境(pH 7)中,当咀嚼片添加量为 240 mg 时,胆固醇结合率达到了 48.3%。而在模拟胃液环境(pH 2)中,胆固醇最大结合率在 39% 左右。结果证明,咀嚼片对胆固醇的结合率在肠道中高于在胃液中,因此推测咀嚼片对胆固醇的吸附能力主要发生在肠道中。这可能是由于花椒精油中的多不饱和脂肪酸对胆固醇的转化大多发生在肠肝循环中<sup>[21]</sup>。

### 2.6 花椒精油微胶囊咀嚼片卫生指标测定

按照《GB 27662—2022 食品安全国家标准食品中污染物限量》<sup>[22]</sup>、《GB 17399—2016 食品安全国家标准糖果》<sup>[23]</sup>对花椒精油微胶囊咀嚼片中的铅含量、菌落总数、大肠菌群进行了测定。由表 5 可知,咀嚼片的卫生指标均判定为合格。

表 5 咀嚼片的微生物指标

Table 5 Microbiological indicators of chewable tablet

| 项目           | 含量      | m               | M               |
|--------------|---------|-----------------|-----------------|
| Item         | Content |                 |                 |
| 铅/(mg/kg)    | 未检出     | —               | —               |
| 菌落总数/(CFU/g) | ≤450    | 10 <sup>4</sup> | 10 <sup>5</sup> |
| 大肠菌群/(CFU/g) | ≤2      | 10              | 10 <sup>2</sup> |

注:m 为微生物指标可接受水平的限量值;M 为微生物指标最高安全限量值。

Note: m represents the limit value for the acceptable level of microbiological indicators; M represents the maximum safe limit value for microbiological indicators.

## 3 讨论

近年来,高血脂症已成为危害人群健康最严重的疾病,主要是由于脂质代谢紊乱造成<sup>[24]</sup>。用于治疗心血管疾病的产品多以他汀类药物为主,副作用大,对人体的适应性弱。通过饮食调节脂质代谢,预防心脑血管疾病刺激性小,接受程度高。血脂主要包括三酰甘油、胆固醇及其酯等,花椒精油中富含的不饱和脂肪酸可以降低血液中血脂水平<sup>[25]</sup>,但精油无法直接服用,因此本实验通过单因素实验和正交实验优化咀嚼片配方,以外观、风味、质地、口感为综合评价指标,开发了便于服用的花椒精油微胶囊咀嚼片。脱脂牛奶粉是适合高脂、高糖患病人群食用的营养食品,且牛奶粉散发的奶香气可以很好的中和花椒精油的辛辣味。我们将脱脂牛奶粉与花椒精油微胶囊复配,以低热量的赤藓糖醇为甜味剂,制备花椒精油微胶囊咀嚼片。对其降血脂活性进行初步探究,发现咀嚼片对胆酸盐、胆固醇有吸附作用,表现出一定的体外降血脂效果。后续可继续推进动物实验或细胞实验,模拟口腔、胃肠道消化全过程,对咀嚼片的降血脂功效进行进一步探究。

## 4 结论

通过正交实验确定了花椒精油微胶囊咀嚼片的最佳配比为原料添加量为 6%、脱脂牛奶粉添加量为 40%、甜味剂添加量为 18%、填充剂添加量为 35%、柠檬酸添加量为 0.5%、硬脂酸镁添加量为 0.5%。此配方下,咀嚼片呈淡黄色,厚薄在 5.7 mm 左右,重量在 0.63 g 左右,口感细腻,储存时间长,感官接受程度好,且微生物指标均符合国家标准。同时发现花椒精油微胶囊咀嚼片对牛磺胆酸钠和甘氨酸胆酸钠都表现出了一定的吸附性能,表明咀嚼片可能存在一定的降血脂效果。

### 参考文献

- [1] 孟资宽,任元元,邹育,等.花椒副产物的研究现状及展望[J].食品与发酵科技,2021,57(03):140-144.
- [2] Kim K K, Kim T W, Kang Y H, et al. Lipid-lowering effects of *Zanthoxylum schinifolium* Siebold & Zucc. seed oil (ZSO) in hyperlipidemic rats and lipolytic effects in 3T3-L1 adipocytes. [J]. Food Science and

- Botechnology,2016,25(5):1427-1436.
- [3] 王辉敏,李冠文,杨金梅,等.多不饱和脂肪酸降脂作用机制的研究进展[J].中国油脂,2023,48(05):73-77+84.
- [4] Roya A R, Sameereh H, Fatemeh B. Immunoisolation of stem cells by simultaneous encapsulation and PEGylation. [J]. Progress in Biomaterials, 2018, 7(1): 55-60.
- [5] 彭淼,毛曦,彭勃,等.刺葡萄酒对高脂饮食大鼠的降血脂作用[J].现代食品科技,2020,36(10):8-15.
- [6] 刘俭,蔡永国,周汤琳,等.沙棘粉咀嚼片的配方优化及其品质分析[J].食品工业科技,2022,43(03):188-194.
- [7] 孙秉喆,邢嘉萌,严真,等.咀嚼片的研发要点及研究进展[J].中南药学,2022,20(10):2373-2378.
- [8] 辛镇忠,王连,王愈,等.红枣渣复配酸枣粉咀嚼片的研制及性质[J].农产品加工,2022(19):26-30.
- [9] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.食品安全国家标准食品添加剂使用标准:GB2760-2024[S].北京:中国标准出版社,2024.
- [10] 迟晓君,宋宜兆,李春霞,等.树莓甜菜根羊奶咀嚼片的产品研发及工艺探究[J].中国果菜,2023,43(04):31-37.
- [11] 冯爱博,郑光耀,程俊文,等.无花果功能咀嚼片的制备工艺研究[J].食品工业,2019,40(02):34-38.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中水分的测定:GB 5009.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [13] 段振.石榴皮不溶性膳食纤维的提取、体外降血脂活性研究及咀嚼片制备[D].西安:陕西师范大学,2018.
- [14] 于美汇,赵鑫,尹红力,等.碱提醇沉黑木耳多糖体外和体内降血脂功能[J].食品科学,2017,38(01):232-237.
- [15] Zhang S K, Waterhouse G I N, Cui T T, et al. Pectin fractions extracted sequentially from *Cerasus humilis*: their compositions, structures, functional properties and antioxidant activities[J]. Food Science and Human Wellness,2023,12(2):564-574.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中铅的测定:GB 5009.12—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定:GB 4789.2—2020[S].北京:中国标准出版社,2023.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数:GB 4789.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [19] Wee M, Tan V, Forde C. A comparison of psychophysical dose-response behaviour across 16 sweeteners[J].Nutrients,2018,10(11):632-1632.
- [20] 黎秋平,王润莲,张锐,等.壳聚糖的降脂作用及其机理研究进展[J].家禽科学,2013(09):45-49.
- [21] 吴慎威,孟鑫,韩金承,等.苦杏仁油体内体外降血脂作用的研究[J].粮食与饲料工业,2023(03):34-40.
- [22] 中华人民共和国国家卫生健康委员会和市场监督管理总局.食品安全国家标准食品中污染物限量:GB27662-2022[S].北京:中国质量标准出版传媒有限公司,2022.
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会和国家食品药品监督管理局.食品安全国家标准糖果:GB17399-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [24] Mukthamba P, Srinivasan K. Hypolipidemic and antioxidant effects of dietary fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and garlic (*Allium sativum*) in high-fat fed rats[J].Food Bioscience,2016,14:1-9.
- [25] 林非凡,谭竹钧.亚麻籽油中 $\alpha$ -亚麻酸降血脂功能研究[J].中国油脂,2012,37(09):44-47.