DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251027005
引用格式: 海力茜·陶尔大洪, 王鑫, 徐昀, 等. 恰麻古蜂蜜丸子制备工艺及体外活性探究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(7): 280–287.
HAILIQIAN TERDH, WANG X, XU Y, *et al*. Investigation of the preparation process and *in vitro* activity of *Brassica rapa* L. honey pills [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(7): 280–287. (in Chinese with English abstract).

恰麻古蜂蜜丸子制备工艺及体外活性探究

海力茜·陶尔大洪[1*], 王　鑫[2], 徐　昀[3], 李若楠[4], 许　丹[2], 张秀林[4], 徐玥玥[5], 伊尔番·阿不力米提[1], 阚　轶[1], 蒋博逸[1]

(1. 新疆医科大学中医学院, 乌鲁木齐　830017; 2. 新疆医科大学药学院, 乌鲁木齐　830017; 3. 新疆医科大学第一临床医学院, 乌鲁木齐　830017; 4. 新疆医科大学第三临床医学院, 乌鲁木齐　830017; 5. 新疆医科大学儿科学院, 乌鲁木齐　830017)

摘　要: 目的　对恰麻古蜂蜜丸子制备工艺进行优化, 并对其进行质量检查与测定其抗氧化性。**方法**　用水提醇沉法从恰麻古中提取多糖, 干燥粉碎并过筛。其余原料库尔勒香梨、陈皮、山楂等的干材, 同法粉碎并过筛。将上述料粉混合均匀, 经塑制法得到初步成品。采用单因素实验和正交实验, 进行恰麻古蜂蜜丸子制备工艺优化; 依据 2020 年版《中国药典》丸剂项下要求对所制备的蜂蜜丸子从性状、水分检查、重量差异检查等多个方面进行质量控制; 再进行体外抗氧化实验以研究其抗氧化活性。**结果**　可以选用塑制法制备蜂蜜丸子, 根据正交实验结果得到最佳制备工艺为: 炼蜜规格为老蜜, 和料蜜温 50 ℃, 炼蜜与料粉比例为 1.1:1 (*m*:*m*), 此工艺制得的蜂蜜丸子质量检查合格。抗氧化实验表明, 蜂蜜丸子对 2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐阳离子自由基、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基和羟基自由基都有一定的清除能力。**结论**　本研究制得的蜂蜜丸子质量检查合格, 有抗氧化作用, 具有良好发展前景。

关键词: 恰麻古; 蜂蜜丸子; 工艺优化; 抗氧化

Investigation of the preparation process and *in vitro* activity of *Brassica rapa* L. honey pills

HAILIQIAN Tao-Er-Da-Hong[1*], WANG Xin[2], XU Yun[3], LI Ruo-Nan[4], XU Dan[2], ZHANG Xiu-Lin[4], XU Yue-Yue[5], YIERFAN A-Bu-Li-Mi-Ti[1], KAN Yi[1], JIANG Bo-Yi[1]

(1. *School of Traditional Chinese Medicine*, *Xinjiang Medical University*, *Urumqi* 830017, *China*; 2. *School of Pharmacy*, *Xinjiang Medical University*, *Urumqi* 830017, *China*; 3. *First Clinical Medical College*, *Xinjiang Medical University*, *Urumqi* 830017, *China*; 4. *Third Clinical Medical College*, *Xinjiang Medical University*, *Urumqi* 830017, *China*; 5. *School of Pediatrics*, *Xinjiang Medical University*, *Urumqi* 830017, *China*)

ABSTRACT: Objective　To optimize the preparation process for *Brassica rapa* L. honey pills, inspect the quality and determine its antioxidant properties. **Methods**　Polysaccharides were extracted from *Brassica rapa* L. via water extraction and alcohol precipitation, followed by drying, crushing and sieving. The remaining raw materials

收稿日期: 2025-10-27
基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2024B04011); 新疆维吾尔自治区重大科技专项项目(2022A03007-3); 国家自然科学基金地区科学基金项目(81960765)
第一作者/*通信作者: 海力茜·陶尔大洪(1963—), 女, 教授, 主要研究方向为天然药物研究与开发。E-mail: hailiqian2471@sina.com

(including Korla pear, dried tangerine peel and hawthorn) were similarly processed and sieved. The resulting powders were uniformly mixed, and a preliminary product was obtained through a plastic molding method. The preparation process of *Brassica rapa* L. honey pills was optimized using single-factor and orthogonal experiments. Quality control of the prepared honey pills was conducted in accordance with the requirements for pills in the 2020 edition of the *Chinese pharmacopoeia*, covering aspects such as characteristics, moisture content and weight variation. Finally, *in vitro* antioxidant experiments were performed to investigate their antioxidant activity. **Results** Honey pills could be made using the molding method. The optimal preparation process, determined through orthogonal experimentation, was as follows: The honey refining specification was old honey, and the temperature of the raw honey was 50 ℃, and the ratio of honey refining to raw powder was 1.1:1 (*m*:*m*). Honey pills prepared using this process met all quality standards. Antioxidant experiments indicated that these honey pills possessed a certain scavenging capacity against 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl and hydroxyl radicals. **Conclusion** The honey pill prepared by this method is qualified in quality inspection, has antioxidant effect and good development prospects.

KEY WORDS: *Brassica rapa* L.; honey pill; process optimization; antioxidation

0　引　言

恰麻古(*Brassica rapa* L.)也被称为蔓菁、圆根或盘菜, 是十字花科芸薹属的二年生草本植物, 在新疆各地均有栽培, 是一种维吾尔族常用的药食两用植物[1–3]。研究发现, 恰麻古的生物活性物质主要包括多糖、黄酮、皂苷、挥发油、生物碱等多种化学成分[4–7], 这些丰富的营养成分赋予了恰麻古润肺止咳、填精壮肾、健胃消食、利尿消肿等多方面的健康益处[8–13]。其中多糖类是宏量组分, 具有多种生物活性, 有抗癌、降糖、润肺、开胸顺气、治疗哮喘、止咳、免疫调节等功效, 在医疗和保健方面有着广泛的应用前景[14–16]。近年来, 随着人们对天然产物和功能性食品的关注度不断提高, 对药食同源植物的深度开发和综合利用已成为研究热点。恰麻古作为新疆地区特色资源, 其活性成分尤其是多糖的系统开发与剂型转化尚处于初步阶段, 现有研究多集中于单一成分的提取与体外活性评价, 而将其开发成便于服用、稳定性好的成型制剂的研究报道较少, 这限制了其应用与产业化发展。

蜂蜜丸子是中药中的传统剂型之一, 在功能性食品领域具有应用潜力。随着"药食同源"理念的普及和健康食品的发展, 以蜂蜜为黏合剂制成的食养丸剂[17], 在功能性食品领域也逐渐受到重视。其在食养产品领域具有十分悠久的历史且应用广泛。蜂蜜丸子可少量制备, 也适用于大生产, 而且工艺和设备比较简单[18]。塑制法是蜂蜜丸子制备的传统方法, 该制备方法常见的流程为: 备料→制丸块→制丸条→分粒→搓圆→干燥→整丸→质检→包装[19–20]。

然而, 将恰麻古与库尔勒香梨等地域特色食材结合, 开发具有明确抗氧化功能的蜂蜜丸子产品目前鲜有报道。现有蜂蜜丸子研究缺乏针对特定原料体系的工艺参数系统优化, 尤其是炼蜜规格、蜜料比例、和料蜜温等关键参数对产品质量的影响规律尚未明确, 导致工艺重现性差, 产品质量不稳定。此外, 恰麻古复方蜂蜜丸子的体外抗氧化活性综合评价研究亟待开展。本研究旨在开发一款质量稳定、具有明确抗氧化功能的恰麻古复方蜂蜜丸子产品, 为恰麻古资源的高值化利用提供新的技术路径和产品形态, 同时对推动新疆特色药食同源植物的产业化发展与提质增效具有重要的实践意义。

1　材料与方法

1.1　材料、试剂与仪器

1.1.1　材料与试剂

恰麻古(食品级, 新疆努尔艾力有限公司); 库尔勒香梨、陈皮、山楂(食品级, 安徽陆卢缘有限公司); 蜂蜜、脱脂奶粉(食品级, 蒙牛食品有限公司)。

无水乙醇(分析纯, 天津鑫铂特化工有限公司); 2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]、过硫酸钾、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、邻羟基苯甲酸、水杨酸溶液(分析纯, 上海麦克林生化科技股份有限公司); 硫酸亚铁溶液(分析纯, 巴斯克新材料科技有限 公司); 双氧水(分析纯, 上海阿科玛双氧水有限公司) 维生素 C(分析纯, 天津基准化学试剂有限公司)。

1.1.2　仪器与设备

AB135-8 型分析天平(精度 0.00001 g, 常州幸运电子设备有限公司); HH-S 型电热恒温水浴锅(北京永光明医疗仪器有限公司); RV-211M 型旋转蒸发仪(上海爱朗仪器有限公司); SHB-III循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有

限公司); FD-1B-50 冷冻干燥机[博医康(北京)仪器有限公司]; Multiskan Go 全波长酶标仪[赛默飞世尔(上海)仪器有限公司]; DHG-9023A 电热鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); JXFSTPRP-YLS 研磨粉碎机(广东康佳有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 蜂蜜丸子的制备

恰麻古多糖的提取: 取脱脂恰麻古片与水比例为 1:30 (g:mL)混合于圆底烧瓶中, 在 85 ℃条件下回流提取 2 h, 重复 3 次后取提取液浓缩, 在 4 ℃条件下以 80% (*V*:*V*)无水乙醇醇沉 12 h, 沉淀晾干后得恰麻古多糖。粉碎机粉碎后, 过 60 目筛备用。

库尔勒香梨的粉碎干燥[21−23]: 将新鲜的库尔勒香梨切成薄片晾干, 放入鼓风干燥箱中 80 ℃烘干 5 h 后置于粉碎机中粉碎, 过 60 目筛备用。

其余成分的处理[20]: 取陈皮和山楂, 同方法粉碎后, 过 60 目筛。按恰麻古:库尔勒香梨:陈皮:山楂=0.25:4.75:4:3 (*m*:*m*:*m*:*m*)混合均匀, 得制备蜂蜜丸子的料粉。

蜂蜜的炼制[19]: 料粉:蜂蜜=1:0.8~1:1.2 (*m*:*m*)的比例配制, 使用加热锅在 116~118 ℃, 10 min 条件下得中蜜。

合坨、制丸条、搓丸[17]: 将炼好的中蜜用勺子加入料粉中, 搅拌, 待料粉消失时, 停止添加蜂蜜。将丸块放入制丸板中, 先掇搓成条, 再在制丸槽中成丸, 将蜂蜜与料粉揉搓成丸状后均匀地裹上一层奶粉得恰麻古蜂蜜丸子。

1.2.2 单因素实验

考察不同料粉粒度、蜜药比例、和料蜜温对蜂蜜丸子质量评分的影响, 设计单因素实验见表 1。各因素的固定水平为: 筛网目数 60 目, 炼蜜与料粉比例为 1.0:1 (*m*:*m*), 和料蜜温 60 ℃。

表 1 单因素实验设计表

Table 1 Table of single-factor experimental design

组别	变量				
	1	2	3	4	5
A(筛网目数)/目	40	50	60	70	80
B(炼蜜与料粉比例)(*m*:*m*)	0.8:1	0.9:1	1.0:1	1.1:1	1.2:1
C(和料蜜温)/℃	40	50	60	70	80

1.2.3 正交实验

设计 3 水平 3 因素的正交实验见表 2。具体正交实验表蜂蜜丸子制备完成后从外观、硬度、黏稠度 3 个方面进行综合评价[24], 各指标赋分表见表 3。

1.2.4 验证实验

根据正交实验结果制备 3 批恰麻古蜂蜜丸子, 根据表 3 考察中蜜与料粉比例对蜂蜜丸子质量的影响, 考察最佳工艺条件的可行性和稳定性。

1.2.5 质量检查

外观检查[25−26]: 观察蜂蜜丸子, 检查蜂蜜丸子的完整性、硬度、黏稠度、气味。

表 2 正交因素及水平表

Table 2 Table of orthogonal factors and levels

水平	*D*(炼蜜规格)	*B*(炼蜜与料粉比例)(*m*:*m*)	*C*(和料蜜温)/℃
1	嫩蜜	0.9:1	50
2	中蜜	1.1:1	60
3	老蜜	1.3:1	70

注: 嫩蜜: 炼蜜温度在 105~115 ℃, 相对密度为 1.34 左右, 色泽无明显变化, 略有黏性, 适用于含淀粉、黏液质、胶质、糖类及脂肪较多的药物; 中蜜: 炼蜜温度在 116~118 ℃, 相对密度为 1.37 左右, 呈浅红色, 适用于黏性适中的药粉制丸; 老蜜: 炼蜜温度在 119~122 ℃, 相对密度为 1.40 左右, 呈红棕色, 用于黏性差的矿物药或富含纤维的药粉制丸。

表 3 恰麻古蜂蜜丸子质量赋分标准

Table 3 Quality scoring criteria for *Brassica rapa* L. honey pills

指标	标准	得分
硬度	太软或太硬	0~10
	微软	11~20
	微硬	21~30
	适宜	31~40
外观	表面开裂, 粗糙	0~10
	表面无开裂, 较光滑	11~20
	表面无开裂, 光滑	21~30
黏稠度	黏手	0~10
	微黏手	11~20
	不黏手	21~30

水分检查[25−26]: 依水分测定法(通则 0832)第二法烘干法, 取供试品 2~5 g, 平铺于干燥至恒重的扁形称量瓶中, 在 100~105 ℃干燥 5 h, 移置干燥器中, 冷却至室温, 精密称定, 再在上述温度干燥 1 h, 冷却, 称重, 至连续两次称重的差异不超过 5 mg。根据减失的重量, 计算供试品中含水量。除另有规定外, 蜂蜜丸子和浓缩蜂蜜丸子中所含水分不得过 15.0%。

重量差异[25−26]: 以 10 丸为 1 份(丸重 1.5 g 及 1.5 g 以上的以 1 丸为 1 份), 取供试品 10 份, 分别称定重量, 再与每份标示重量(每丸标示量×称取丸数)比较。

1.2.6 抗氧化活性测定

DPPH 自由基清除率的测定[27−28]: 配制 0.05、0.10、0.20、0.30、0.40、0.50 mg/mL 样品溶液, 分别取 1 mL 无水乙醇和样品溶液, 随后加入 2 mL 9 mmol/L DPPH 溶液, 混合均匀, 在 519 nm 处测定吸光度值。以维生素 C 为阳性对照, 同法测定。进行 3 次上述实验, 取平均值, DPPH 自由基清除率按公式(1)计算。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{A_0 - A + A_B}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_0 为 DPPH 溶液和无水乙醇在 519 nm 处的吸光度值; A 为 DPPH 溶液和样品溶液 519 nm 处的吸光度值; A_B 为 DPPH 溶液和蒸馏水在 519 nm 处的吸光度值。

ABTS 阳离子自由基清除率的测定[29–31]: 配制 0.05、0.10、0.20、0.30、0.40、0.50 mg/mL 样品溶液, 分别吸取 0.6 mL 的无水乙醇和样品溶液, 然后加入 1.6 mL ABTS 工作液, 混合均匀。在 734 nm 处测定吸光度值, 作为 B_0 与 B。以维生素 C 为阳性对照, 同法测定。进行 3 次上述实验, 取平均值, ABTS 阳离子自由基清除率按公式(2)计算。

$$\text{ABTS 阳离子自由基清除率}/\% = (B_1 - B_2)/B_3 \times 100\% \quad (2)$$

式中: B_1 为样品液测得的吸光度; B_2 为蒸馏水替换 ABTS 测得的吸光度; B_3 为蒸馏水替换样品液测得的吸光度。

羟基清除率的测定[32–34]: 以维生素 C 为阳性对照, 在 510 nm 处, 测定样品溶液、$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 溶液、水杨酸和过氧化氢四者混匀后的吸光度。以维生素 C 为阳性对照, 同法测定。进行 3 次上述实验, 取平均值, 羟基自由基清除率按式(3)计算。

$$\text{羟基自由基清除率}/\% = (C_1 - C_2)/C_3 \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_1 为样品液测得的吸光度; C_2 为蒸馏水替换 H_2O_2 测得的吸光度; C_3 为蒸馏水替换样品液测得的吸光度。

总抗氧化测定[28–29]: 分别吸取样品溶液和维生素 C 溶液 300 μL, 然后依次加入 1 mL 配好的硫酸溶液、磷酸钠溶液和钼酸铵溶液, 混合均匀, 95 ℃水浴反应 60 min, 在 695 nm 处测定吸光度值。以维生素 C 为阳性对照, 同法测定。进行 3 次上述实验, 取平均值。

1.3　数据处理

所有实验均独立重复 3 次, 测定数据以平均值±标准偏差表示。采用 Microsoft Excel 2019 进行初步数据整理与计算。使用 SPSS 20.0 统计软件进行数据分析, 单因素实验结果的组间比较采用单因素方差分析, 并结合 Duncan 多重比较检验进行显著性分析; 正交实验结果则进行直观分析与方差分析。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。采用 Origin 2022 软件进行图表绘制。

2　结果与分析

2.1　单因素实验结果

2.1.1　筛网数目

由图 1A 可得 60 目筛综合得分最高。随着筛网目数从 40 目增大到 60 目, 得分逐渐升高, 于 60 目时达到峰值, 蜂蜜丸子外观逐渐光滑细腻, 硬度不断变硬至适宜状态。目数继续增大至 70 目和 80 目时, 外观趋于粗糙, 硬度过大, 综合得分逐渐下降。由此可见, 筛网目数是影响蜂蜜丸子成型质量和感官评定的关键工艺参数。适中的目数(60 目)可赋予料粉最佳比表面积, 促进与炼蜜的充分混合, 从而在硬度与外观之间实现最优平衡。过粗或过细的粉体均会破坏这一平衡, 导致品质劣化。因此, 在实际生产中, 精确控制筛网目数对保证蜂蜜丸子的稳定性和优良品质具有重要意义。综合各指标表现, 60 目筛网条件下制得的丸剂外观与硬度平衡最佳, 综合得分最高, 故选取 60 目作为后续研究的优选工艺参数。

2.1.2　炼蜜与料粉比例

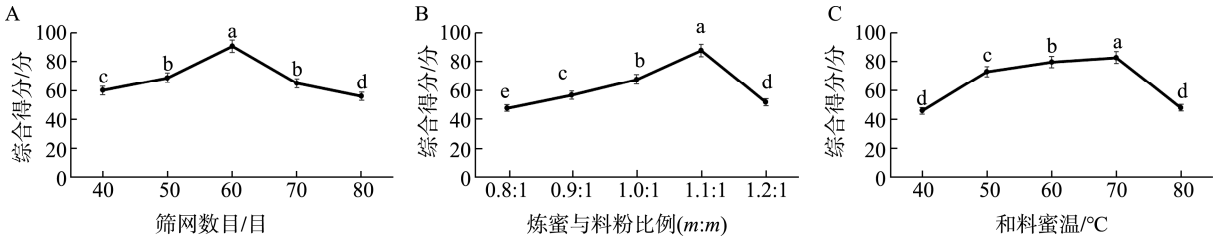
由图 1B 炼蜜与料粉最佳比例为 1.1:1 (*m*:*m*)。随着炼蜜比例从 0.8:1 (*m*:*m*)增加至 1.1:1 (*m*:*m*), 蜂蜜丸子的综合得分逐步上升, 并在 1.1:1 (*m*:*m*)时达到最高。该过程中, 蜂蜜丸子外观由粗糙开裂逐渐改善至均匀细腻, 黏稠度趋于适宜, 硬度也由大逐渐减小至适中。当比例增至 1.2:1 (*m*:*m*)时, 蜂蜜丸子出现软塌外观, 黏稠度变为黏手, 硬度偏软, 导致综合得分明显下降。由此可见, 炼蜜与料粉的比例是决定蜂蜜丸子成型性与感官品质的核心辅料参数。适中比例(1.1:1, *m*:*m*)能够实现润湿与黏结的最佳平衡, 使丸块达到适宜的可塑性和软硬度; 比例过低或过高均会破坏这一平衡, 分别导致干裂或软塌等品质缺陷。这表明, 在工艺优化中必须精确控制炼蜜用量, 以确保丸剂的均一性和稳定性。综合各指标表现, 炼蜜与料粉比例为 1.1:1 (*m*:*m*)时制得的丸剂外观、黏稠度与硬度平衡最佳, 综合得分最高, 故选取 1.1:1 (*m*:*m*)作为后续研究的优选工艺参数。

2.1.3　和料蜜温

由图 1C 可得和料蜜最佳温度为 70 ℃。随着温度从 40 ℃升高至 70 ℃, 蜂蜜丸子外观由粗糙开裂逐渐改善为光滑细腻, 硬度由大趋于适宜, 综合得分持续上升, 并于 70 ℃时达到最高。当温度升至 80 ℃时, 由于高温影响, 蜂蜜丸子出现黏手现象, 硬度变软, 综合得分明显下降。由此可见, 和料蜜温是影响蜂蜜丸子成型质量的关键工艺参数。70 ℃的适宜温度能使炼蜜达到最佳的流动性与黏合状态, 确保料粉均匀混合并获得光滑细腻的丸块; 温度过低或过高则会分别因混合不均或黏性破坏而导致质地过硬或过软发黏。这表明, 在制备过程中需严格把控蜜温区间, 以维持炼蜜物理特性的稳定, 从而保证丸剂的成型效果与品质均一性。综合各指标表现, 70 ℃条件下制得的丸剂外观与硬度平衡最佳, 综合得分最高, 故选取 70 ℃作为后续研究的优选工艺参数。

2.2　正交实验结果

正交实验结果见表 4, 通过对各因素的 K 均值、极差值直观分析知, 各因素对蜂蜜丸子质量影响的主次顺序为 *D*>*B*>*C*, 方差分析结果见表 5, 炼蜜规格、炼蜜与料粉比例对蜂蜜丸子质量具有显著性影响($P<0.05$), 和料蜜温对蜂蜜丸子质量的影响不具有显著性($P>0.05$)。根据 *K* 均值大小, 可筛选出最佳工艺为 $D_3B_2C_1$, 即炼蜜规格为老蜜, 炼蜜与料粉比例为 1.1:1 (*m*:*m*), 和料蜜温为 50 ℃。



注: 不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

图 1 单因素试验结果

Fig.1 Results of single-factor experiment

表 4 正交实验结果

Table 4 Results of orthogonal experimental

实验编号	D(炼蜜规格)	B(炼蜜与料粉比例)(m:m)	C(和料蜜温)/℃	硬度	外观	黏稠度	综合得分
1	嫩蜜	0.9:1	50	21	18	20	59
2	嫩蜜	1.1:1	60	25	20	21	66
3	嫩蜜	1.3:1	70	18	18	19	55
4	中蜜	0.9:1	60	27	21	22	63
5	中蜜	1.1:1	70	35	28	27	69
6	中蜜	1.3:1	50	31	24	22	64
7	老蜜	0.9:1	70	16	25	22	70
8	老蜜	1.1:1	50	24	22	23	90
9	老蜜	1.3:1	60	25	22	21	75
均值 1	60.000	64.000	71.000				
均值 2	65.333	75.000	68.000				
均值 3	78.333	64.667	69.333				
极差	18.333	11.000	6.333				

表 5 方差分析结果

Table 5 Analysis of variance results

方差来源	偏差平方和	自由度	F 比	F(临界值)	P
D	533.556	2	49.000	19.000	<0.05
B	228.222	2	20.959	19.000	<0.05
C	60.222	2	5.531	19.000	>0.05

2.3 验证实验结果

得到的蜂蜜丸子外观、黏稠度、硬度均符合规定, 批间蜂蜜丸子质量无明显差异, 证明筛选出的工艺标准稳定、可靠。

2.4 质量检查结果

2.4.1 外观检查

对验证实验制得的 3 批蜂蜜丸子进行外观性状检查, 结果表明, 所得蜂蜜丸子呈规整的圆球状, 大小均一, 外表呈白色, 细腻光滑, 未见裂开、皱缩或斑点。蜂蜜丸子内部呈均匀的浅棕色, 质地致密, 用手触摸有弹性, 硬度适中。气微香味微甜。兼具蜂蜜与原料的复合香气。所有批次产品的外观均符合对蜂蜜丸子剂型的基本要求。

2.4.2 水分检查

水分是控制蜂蜜丸子质量、确保贮藏稳定性的关键指标, 3 批验证产品的含水量分别为 9.2%、9.4%和 8.9%, 平均值为(9.2±0.3)%。所有批次产品的含水量均远低于规定的 15.0%上限。此结果表明, 本研究的制备工艺能有效控制成品水分, 有利于抑制微生物滋生和延缓贮存过程中的质变, 为蜂蜜丸子的长期稳定性提供了保障。

2.4.3 重量差异检查

重量差异是衡量丸剂生产工艺稳定性与剂量准确性的重要指标。随机取 10 丸为一组, 分别精密称定, 3 批蜂蜜丸子的单丸重量均在 2.77~3.33 g。经计算, 所有批次的重量差异均符合规定, 且无一份超出限度 1 倍。该结果证明本制备工艺塑制效果良好, 丸重控制稳定, 分剂量准确, 工艺重现性高。

2.5 抗氧化测定结果

2.5.1 DPPH 自由基清除率结果

蜂蜜丸子对 DPPH 自由基的清除率结果如图 2。由图 2 可知: 恰麻古蜂蜜丸子提取液对 DPPH 自由基展现出明显的清除能力, 且其清除率随样品浓度的增加而呈良好的剂

量依赖关系。这表明蜂蜜丸子中含有能够有效中和 DPPH 自由基的活性成分，如多糖、黄酮类化合物等，它们可以通过提供氢原子来终止自由基链式反应。尽管其清除能力低于同浓度的阳性对照维生素 C，但这一结果恰表明恰麻古蜂蜜丸子作为一种复杂的天然产物混合物，其综合抗氧化能力具有重要价值。

2.5.2　ABTS 阳离子自由基清除率结果

蜂蜜丸子对 ABTS 阳离子自由基的清除率结果如图 3。由图 3 可知：恰麻古蜂蜜丸子对 ABTS 阳离子自由基同样具有明显的浓度依赖性清除作用。该结果与 DPPH 实验结论相互印证，进一步证实了蜂蜜丸子中抗氧化成分的广谱性。蜂蜜丸子中多种活性成分可能通过协同作用，共同贡献于其总抗氧化能力。

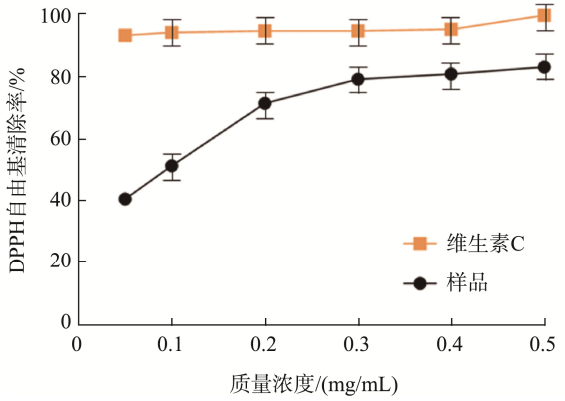


图 2　恰麻古蜂蜜丸子清除 DPPH 自由基清除率

Fig.2　DPPH free radicals scavenging rate of *Brassica rapa* L. honey pills

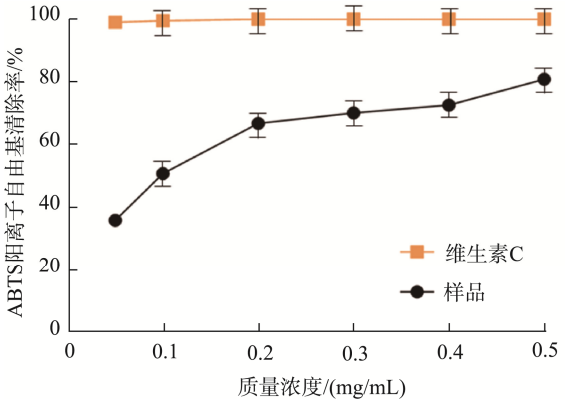


图 3　恰麻古蜂蜜丸子清除 ABTS 阳离子自由基清除率

Fig.3　ABTS cationic free radicals scavenging rate of *Brassica rapa* L. honey pills

2.5.3　羟基自由基清除率结果

蜂蜜丸子对羟基自由基的清除率结果如图 4。由图 4 可知：恰麻古蜂蜜丸子对羟自由基有一定的清除能力，且清除率随浓度升高而增强。这一结果提示该蜂蜜丸子可能具备减轻机体氧化应激损伤的潜力。其清除机制可能涉及蜂蜜丸子中的活性成分通过整合金属离子或直接捕获，从而减弱其对生物大分子的攻击。

2.5.4　总抗氧化测定结果

总抗氧化测定中，各分组的吸光度值如图 5。如图 5 所示，蜂蜜丸子样品的吸光度值随浓度增加而上升，表明其总抗氧化能力呈浓度依赖性增强。这综合反映了样品中所有还原性物质的总体贡献。虽然其绝对能力仍低于维生素 C，但该结果从另一个维度证实了恰麻古蜂蜜丸子是一个具有显著还原能力的天然抗氧化源。

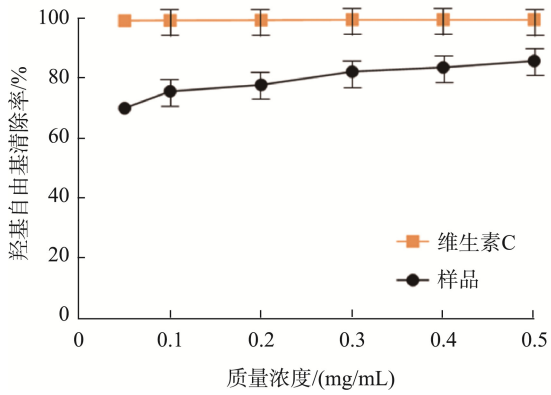


图 4　恰麻古蜂蜜丸子清除羟基自由基清除率

Fig.4　Hydroxyl free radicals scavenging rate of *Brassica rapa* L. honey pills

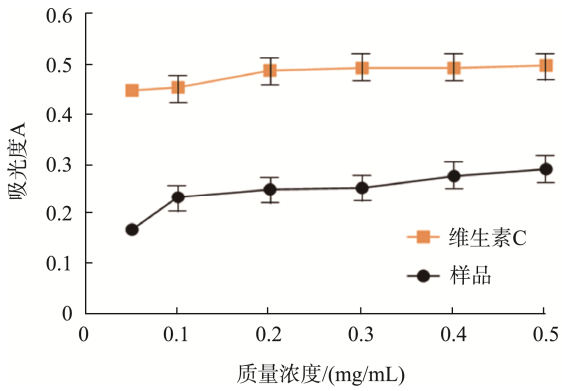


图 5　恰麻古蜂蜜丸子总抗氧化能力

Fig.5　Total antioxidant capacity of *Brassica rapa* L. honey pills

3　结　论

本研究研究确定的最佳制备工艺参数为：炼蜜规格选用老蜜，利用其较高的黏合性与较低的含水量以增强丸块的可塑性；和料蜜温控制在 50 ℃，该温度既能保证蜂蜜在混料过程中的适宜流动性，又避免了高温对恰麻古多糖活性成分的破坏；炼蜜与料粉比例为 1.1:1 (*m*:*m*)，确保了药粉与辅料间的充分润湿与黏合，使丸剂圆整度及重量差异符合制剂要求。

经验证试验表明，在最优工艺条件下制备的恰麻古蜂蜜丸子，不仅外观光洁、色泽均一、断面结构致密，表现出良好的物理稳定性与工艺重现性。此外，抗氧化活性测定结果显示，该制剂对 DPPH 自由基和羟基自由基均表现出显著的清除能力，提示恰麻古多糖在与蜂蜜复方后仍保持了较好的生物活性，二者在功能上可能产生协同增效作用。综上，该制备工艺合理可行、稳定可控，具有良好的应用前景与放大生产潜力，为新疆特色药食两用资源恰麻古的高值化利用提供了实验依据。

参考文献

[1] 李明珠, 雅森·米吉提, 冯旭瑶, 等. 芜菁酸性多糖对人肺鳞癌 H226 细胞自噬的影响[J]. 新疆医科大学学报, 2025, 48(4): 516–521, 529.
LI MZ, YASEN MJT, FENG XY, *et al*. Effects of acidic polysaccharides from turnip on autophagy in human lung squamous carcinoma H226 cells [J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2025, 48(4): 516–521, 529.

[2] 海力茜·陶尔大洪, 陶欣, 王鑫, 等. 芜菁多糖口服液的制备工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(5): 112–118.
HAILIQIAN TERDH, TAO X, WANG X, *et al*. Research on the preparation process of oral liquid of turnip polysaccharide [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(5): 112–118.

[3] 阿曼妮萨·麦提如则, 吴美美, 李博灵, 等. 芜菁多糖对巨噬细胞极化及 H226 细胞增殖和迁移的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2025, 37(1): 104–113.
AMANISA MTRZ, WU MM, LI BL, *et al*. Effects of turnip polysaccharides on macrophage polarization and H226 cell proliferation and migration [J]. Natural Product Research and Development, 2025, 37(1): 104–113.

[4] 海力茜·陶尔大洪, 吴美美, 卡迪尔亚·库尔班, 等. 芜菁酸性多糖对肺损伤小鼠过氧化损伤及细胞凋亡的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(12): 2116–2121.
HAILIQIAN TERDH, WU MM, KADIERYA KERB, *et al*. Effects of acidic polysaccharides from turnip on peroxidative damage and apoptosis in lung-injured mice [J]. Natural Product Research and Development, 2024, 36(12): 2116–2121.

[5] 阿曼妮萨·麦提如则, 吴美美, 王鑫, 等. 芜菁多糖铁配合物的合成工艺研究[J]. 新疆医科大学学报, 2024, 47(4): 584–588.
AMANNISA MTRZ, WU MM, WANG X, *et al*. Research on the synthesis process of iron complexes from turnip polysaccharides [J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2024, 47(4): 584–588.

[6] 古丽米拉·卡德尔, 阿曼妮萨·麦提如则, 李明珠, 等. 芜菁酸性多糖体内抗肿瘤活性研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(3): 149–155.
GULIMILA KDER, AMANNISA MTRZ, LI MZ, *et al*. *In vivo* antitumor activity of acidic polysaccharides from turnip [J]. Food & Machinery, 2024, 40(3): 149–155.

[7] 海力茜·陶尔大洪, 古丽米拉·卡德尔, 乔丽洁, 等. 芜菁中性多糖对 A549 荷瘤小鼠免疫功能的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(12): 234–241.
HAILIQIAN TERDH, GULIMILA KDER, QIAO LJ, *et al*. Effects of turnip neutral polysaccharide on immune function of A549 hormonal mice [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(12): 234–241.

[8] 古丽米拉·卡德尔, 阿吉然姆·阿布拉, 任国瑞, 等. 芜菁多糖除蛋白及抑制 RAW264.7 巨噬细胞焦亡作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(2): 183–190.
GULIMILA KDER, AJIRANMU ABL, REN GR, *et al*. Study on the role of turnip polysaccharide in deproteinization and inhibition of RAW264.7 macrophage pyroptosis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(2): 183–190.

[9] 卡地尔亚·库尔班, 阿吉然姆·阿布拉, 陈卓尔, 等. 芜菁酸性多糖结构及对脂多糖诱导肺损伤小鼠的保护作用[J]. 食品科学, 2023, 44(13): 52–59.
KADIERYA KERB, AJIRANMU ABL, CEHN ZER, *et al*. Structure of acidic polysaccharides from turnip and their protective effects on lipopolysaccharide-induced lung injury in mice [J]. Food Science, 2023, 44(13): 52–59.

[10] 李亚童, 阿依夏古丽·巴卡斯, 李改茹, 等. 新疆芜菁酸性多糖分离纯化、抗氧化活性研究及红外表征[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1050–1057.
LI YT, AYIXIAGULI BKS, LI GR, *et al*. Separation and purification, antioxidant activity and infrared characterization of acidic polysaccharides from Xinjiang turnip [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(4): 1050–1057.

[11] 游静, 孙强, 麻琳, 等. 黑芝麻复合蜜丸的配方优化[J]. 食品工业, 2022, 43(2): 5–9.
YOU J, SUN Q, MA L, *et al*. Formulation optimization of black sesame composite honey pills [J]. The Food Industry, 2022, 43(2): 5–9.

[12] 李欢欢, 陈春丽, 海力茜·陶尔大洪. 芜菁中性多糖对 *D*-半乳糖致衰老小鼠的抗氧化作用[J]. 食品科技, 2021, 46(5): 168–173.
LI HH, CHEN CL, HAILIQIAN TERDH. Antioxidant effects of turnip neutral polysaccharides on *D*-galactose-induced senescence in mice [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(5): 168–173.

[13] 海力茜·陶尔大洪, 祖丽皮艳·阿布力米特, 李亚童, 等. 新疆芜菁多糖含量测定及提取工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(5): 1960–1965.
HAILIQIAN TERDH, ZULIPIYAN ABLMT, LI YT, *et al*. Determination of polysaccharide content and optimization of extraction process of Xinjiang turnip [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(5): 1960–1965.

[14] 乔丽洁, 程煜凤, 阿依夏古丽·巴斯卡, 等. 芜菁精制多糖的提取、鉴别及含量测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(12): 4115–4120.
QIAO LJ, CHENG YF, AYIXIAGULI BSK, *et al*. Extraction, identification and content determination of refined polysaccharides from turnip [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(12): 4115–4120.

[15] 海仁古丽·麦麦提, 祖丽皮艳·阿布力米特, 海力茜·陶尔大洪. 芜菁中性多糖降血糖作用研究的初步探讨[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 387–392.
HAIRENGULI MMT, ZULIPIYAN ABLMT, HAILIQIAN TERDH. A preliminary study on the hypoglycemic effect of neutral polysaccharide from turnip [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(2): 387–392.

[16] 阿依夏古丽·巴卡斯, 胡晟, 陈莉, 等. 芜菁酸性多糖 BRAP-2 体内抗 Lewis 肺癌活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(15): 5111–5116.
AYIXIAGULI BKS, HU S, CHEN L, *et al*. *In vivo* anti-Lewis lung cancer

activity of turnip acidic polysaccharide BRAP-2 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(15): 5111–5116.

[17] 王佳俊, 郑晓佳, 余文慧, 等. 陈皮山药蜜丸的研制及配方优化[J]. 农产品加工, 2024(12): 17–19, 24.
WANG JJ, ZHENG XJ, YU WH, *et al*. Development and formulation optimization of yam honey pills with tangerine peel [J]. Agricultural Products Processing, 2024(12):17–19, 24.

[18] 马亚中. 抗高原病方大蜜丸的制备工艺、质量控制及药效学研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2022.
MA YZ. Preparation process, quality control and pharmacodynamics of anti-plateau disease formula dahuiwan [D]. Beijing: Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2022.

[19] 周跃华, 张彤, 周刚. 关于中药蜜丸加蜜量的思考及相关问题探讨[J]. 中国现代中药, 2022, 24(12): 2522–2528.
ZHOU YH, ZHANG T, ZHOU G. Thoughts on the amount of honey added to traditional Chinese medicine honey pills and related issues [J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(12): 2522–2528.

[20] 游静, 孙强, 麻琳, 等. 黑芝麻复合蜜丸货架期预测及包装方式对其贮藏品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 176–182.
YOU J, SUN Q, MA L, *et al*. Shelf-life prediction of black sesame composite honey pills and the effect of packaging method on their storage quality [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 176–182.

[21] 林彦, 郑玲玲, 田嘉, 等. 基于转录组和蛋白质组揭示库尔勒香梨萼片脱落的分子机制[J]. 中国农业科学, 2025, 58(18): 3744–3766.
LIN Y, ZHENG LL TIAN J, *et al*. Molecular mechanisms of sepal shedding in Korla balsam pear revealed based on transcriptome and proteome [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2025, 58(18): 3744–3766.

[22] 阿吉然姆·阿布拉, 古丽米拉·卡德尔, 任国瑞, 等. 库尔勒香梨多糖基于抑制焦亡关键蛋白 NLRP3、GSDMD 的表达发挥抗炎作用[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(4): 142–149.
AJIRANMU ABL, GULIMILA KDER, REN GR, *et al*. Kuril balsam pear polysaccharide exerts anti-inflammatory effects based on the inhibition of the expression of the key proteins of focal death, NLRP3 and GSDMD [J]. China Food Additives, 2023, 34(4): 142–149.

[23] 米合热尼沙·阿木热江, 胡晟, 任国瑞, 等. 库尔勒香梨酸性多糖 PSAP-1 的分离纯化及其糖醛酸含量测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(22): 7454–7460.
MIHERENISHA AMRJ, HU S, REN GR, *et al*. Isolation and purification of acidic polysaccharide PSAP-1 from Korla balsam pear and determination of its glyoxylate content [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(22): 7454–7460.

[24] 陈雪娇, 赵清, 王一博. 蜜丸质量相关因素及质量控制措施[J]. 当代医学, 2019, 25(6): 185–186.
CHEN XJ, ZHAO Q, WANG YB. Honey pill quality related factors and quality control measures [J]. Contemporary Medicine, 2019, 25(6): 185–186.

[25] 魏智勇, 毕丽萍. 影响蜜丸硬度的因素及质量控制的探讨[J]. 天津药学, 2006(4): 31–33.
WEI ZY, BI LP. Discussion on the factors affecting the hardness of honey pills and quality control [J]. Tianjin Pharmacy, 2006(4): 31–33.

[26] 罗琼. 影响蜜丸质量的因素及其质量控制[J]. 华西药学杂志, 2003(6): 440–441.
LUO Q. Factors affecting the quality of honey pills and their quality control [J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2003(6): 440–441.

[27] 毛方华, 廖鹏辉, 郑梅霞, 等. 采用响应面法优化超声波辅助提取紫芝粗多糖工艺及抗氧化活性[J]. 食用菌学报, 2025, 32(5): 67–77.
MAO FH, LIAO PH, ZHENG MX, *et al*. Optimization of ultrasound-assisted extraction of crude polysaccharides and antioxidant activity of *Zizyphus vulgaris* using response surface methodology [J]. Acta Edulis Fungi, 2025, 32(5): 67–77.

[28] 赵萌萌, 孙雨悦, 肖益东. 山药多糖-纳米硒复合物的抗氧化和降血糖活性研究[J]. 食品工程, 2025(3): 49–54.
ZHAO MM, SUN YY, XIAO YD. Antioxidant and hypoglycemic activities of yam polysaccharide-nanoselenium complexes [J]. Food Engineering, 2025(3): 49–54.

[29] 张洪财, 王文娉, 王瑞, 等. 川黄柏多糖提取分离、结构表征及抗氧化活性研究[J]. 中南药学, 2025, 23(9): 2521–2525.
ZHANG HC, WANG WJ, WANG R, *et al*. Extraction and isolation, structural characterization and antioxidant activity of polysaccharides from *Phellodendron bark* [J]. Central South Pharmacy, 2025, 23(9): 2521–2525.

[30] 肖仔君, 杨小欣, 陆伟东, 等. 低共熔溶剂提取丹霞铁皮石斛多糖工艺优化及其抗氧化活性评价[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(17): 127–132.
XIAO ZJ, YANG XX, LU WD, *et al*. Optimization of low eutectic solvent extraction process of *Dendrobium officinale* polysaccharide from Danxia and evaluation of its antioxidant activity [J]. Food Research and Development, 2025, 46(17): 127–132.

[31] 刘梓旭, 杨咏琪, 王鸿磊. 榆黄菇粗多糖的提取工艺优化及抗氧化、抗衰老活性分析[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(17): 107–116.
LIU ZX, YANG YQ, WANG HL. Optimization of extraction process and analysis of antioxidant and anti-aging activities of crude polysaccharides from *Elaeagnus edulis* [J]. Food Research and Development, 2025, 46(17): 107–116.

[32] 涂剑秋, 贾蕾, 井理想, 等. 大别山商桔梗多糖的制备、结构表征和体外抗氧化活性分析[J]. 食品科技, 2025, 50(8): 212–221.
TU JQ, JIA L, JI LX, *et al*. Preparation, structural characterization and *in vitro* analysis of antioxidant activity of polysaccharides from Dabie Mountain commercial platycodon grandiflorum [J]. Food Science and Technology, 2025, 50(8): 212–221.

[33] 毛鹏煜, 张莉, 刘禹, 等. 超声波辅助水酶法提取黄花粗多糖工艺优化及其体外抗氧化研究[J]. 食品与发酵科技, 2025, 61(4): 37–43.
MAO PY, ZHANG L, LIU Y, *et al*. Optimization of ultrasonic-assisted hydro-enzymatic extraction of crude polysaccharides from yellow flowers and its *in vitro* antioxidant study [J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2025, 61(4): 37–43.

[34] 蔡晓霞, 海来约布, 李奕松, 等. 唐古碎米荠多糖提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(15): 76–84.
CAI XX, HAILAI YB, LI YS, *et al*. Optimization of polysaccharide extraction process and antioxidant activity of *Capsicum annuum* from Tanggu [J]. Food Research and Development, 2025, 46(15): 76–84.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)