

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240306009

降血糖巧克力的制备及其 3D 打印成型工艺优化

蒲曦^{1#}, 何春容^{1#}, 何林蔚¹, 林轩¹, 周红梅¹, 夏隆江²,
李建惠³, 雷家瑜⁴, 何宇新^{1*}, 董芹^{1*}

(1. 西华大学食品与生物工程学院, 成都 610039; 2. 成都中医药大学基础医学院, 成都 611137;
3. 成都市康飞药业有限公司, 成都 610041, 4. 四川农业大学生命科学学院, 雅安 625014)

摘要: **目的** 利用 3D 打印技术, 制备一种含知母、山楂、乌梅、生地黄中药提取物的降血糖巧克力, 并对其配方及 3D 打印成型工艺进行优化。**方法** 采用 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性抑制实验考察其体外降血糖能力; 在其质量稳定可控及体外活性明确的基础上, 利用 Foodbot 食品 3D 打印机制备中药降血糖巧克力, 以感官评分作为指标, 进行单因素和正交实验, 优选中药提取粉末、可可脂、赤藓糖醇的添加量; 在此基础上进行单因素实验, 优化 3D 打印料筒温度和针头移动速度两个核心工艺参数; 最后以实验室自制空白对照巧克力作参照, 通过质构分析和稳定性实验对新研发的产品进行品质比较和评价。**结果** 中药提取粉末具有体外降血糖活性, 质量浓度为 1.2 mg/mL 的中药提取物对 α -淀粉酶、 α -葡萄糖苷酶的活性抑制率分别为 79.78% 和 70.59%。最佳中药降血糖巧克力配方及 3D 成型工艺参数为: 中药提取粉末添加量 4 g、可可脂添加量 30 g、可可液块添加量 40 g、赤藓糖醇添加量 40 g、大豆卵磷脂添加量 0.3 g; 3D 打印最佳成型工艺为: 料筒温度 36°C, 挤出头移动速度 50 mm/s。质构分析显示, 中药降血糖巧克力的硬度为(14200.05±2.52) g, 弹性为(0.32±0.02) mm, 内聚性为(0.34±0.02) Pa, 黏性为(5149.16±0.02) mJ, 咀嚼性为(1981.98±0.02) mJ。稳定性结果显示添加中药提取粉末不影响其白度指数。**结论** 基于 3D 打印的中药降血糖巧克力外观精致, 且低糖、低脂、入口更丝滑及更易咀嚼, 具有较高的应用前景。

关键词: 3D 打印; 中药; 降血糖; 巧克力; 保健食品

Preparation of hypoglycemic chocolate and optimization of its 3D printing process

PU Xi^{1#}, HE Chun-Rong^{1#}, HE Lin-Wei¹, LIN Xuan¹, ZHOU Hong-Mei¹, XIA Long-Jiang²,
LI Jian-Hui³, LEI Jia-Yu⁴, HE Yu-Xin^{1*}, DONG Qin^{1*}

(1. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. College of Fundamental Medicine, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 3. Chengdu Kangfei Pharmaceutical Co., Ltd., Chengdu 610041, China; 4. College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

基金项目: 全国大学生创新创业训练立项项目(S202310623070)

Fund: Supported by the National College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Project (S202310623070)

#蒲曦、何春容为共同第一作者

#PU Xi and HE Chun-Rong are Co-first Authors

*通信作者: 何宇新, 博士, 教授, 主要研究方向为中药保健食品研究。E-mail: 524225843@qq.com

董芹, 博士, 讲师, 主要研究方向为中药药效物质基础和药效机制研究。E-mail: 1162636088@qq.com

*Corresponding author: HE Yu-Xin, Ph.D, Professor, School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China. E-mail: 524225843@qq.com

DONG Qin, Ph.D, Lecturer, School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China. E-mail:

1162636088@qq.com

ABSTRACT: Objective To prepare a hypoglycemic chocolate incorporating traditional Chinese medicine extracts from Anemarrhena, hawthorn, Dark Plum, and rehmannia, and to investigate the optimal formula and 3D printing molding technology for its production. **Methods** α -amylase and α -glucosidase activity were used to inhibit blood glucose *in vitro*; on the basis of its stable and controllable mass and well-defined *in vitro* activity, Foodbot food 3D printer was used, with the sensory score as an indicator, performed one-factor and orthogonal experiments, the amount of traditional Chinese medicine extracted powder, cocoa butter and erythritol was preferred; based on this analysis, performing single-factor experiments, optimize the two core process parameters of 3D printing cylinder temperature and needle movement speed; finally, using the laboratory homemade blank control chocolate as a reference, the quality of the new products were compared and evaluated by mass structure analysis and stability experiment. **Results** The powder extracted from traditional Chinese medicine exhibited *in vitro* hypoglycemic activity, with inhibitory rates of 79.78% and 70.59% against α -amylase and α -glucosidase activities, respectively, at a mass concentration of 1.2 mg/mL. The optimal formula and 3D molding process parameters for the traditional Chinese medicine hypoglycemic chocolate were determined as follows: 4 g of traditional Chinese medicine extract powder, 30 g of cocoa butter, 40 g of cocoa mass, 40 g of erythritol, and 0.3 g of soy lecithin. The optimal 3D printing molding process comprised a barrel temperature of 36°C and an extrusion head movement speed of 50 mm/s. Texture analysis revealed that the hardness of the traditional Chinese medicine hypoglycemic chocolate was (14200.05±2.52) g, elasticity was (0.32±0.02) mm, cohesiveness was (0.34±0.02), viscosity was (5149.16±0.02) mJ, and chewiness was (1981.98±0.02) mJ. Stability test results indicated that the addition of traditional Chinese medicine extract powder did not affect the whiteness index of the chocolate. **Conclusion** The traditional Chinese medicine hypoglycemic chocolate based on 3D printing has exquisite appearance, low sugar, low fat, smoother entrance and easier to chew, and has a higher application prospect.

KEY WORDS: 3D printing; traditional Chinese medicine; hypoglycemic; chocolate; health food

0 引言

3D 打印技术是现代科技进步的一部分,它依据产品的三维模型数据,进行层次化打印和层层堆叠,从而彻底改变了传统制造方法的低效、高能耗和产品形状的固定性等问题。这种技术已经在许多工业生产领域得到了广泛的运用^[1-2]。在食品行业中,食品 3D 打印技术最初由康奈尔大学的 GODOI 等提出,并通过 Fab@home 系统应用于巧克力打印。食品 3D 打印技术^[3-6],又被称为“增材制造”技术,具有便捷、灵活和高精度等显著优势。它能够实现食品外观、颜色、质地、味道和配方的个性化定制,为食品行业带来了全新的创新机会^[7]。面对巧克力市场需求日益增加,其 3D 打印的配方、工艺^[8]的升级显得至关重要。

众所周知,糖尿病患病率高、并发症多,根治困难。在治疗上,降糖西药副作用多,限制临床治疗;中医治疗糖尿病,效果较好且无副作用^[9]。因此,为更好地迎合市场,本研究考虑使用代糖物质赤藓糖醇起到减糖作用^[10]。本研究以黑巧克力为载体添加具有降血糖功效的中药成分,具体为属于药食同源的山楂、乌梅、生地黄以及可应用于保健食品的知母^[11-16],并采用前沿的 3D 打印成型技术,通

过科学的配方设计与营养评价,研制了一款具有降血糖功能的外观精致的巧克力^[17-21],以期满足糖尿病患者对于个性化保健食品的需求。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

山楂、知母、生地黄、乌梅(四川新荷花中药饮片股份有限公司);都巴可可脂、可可液块(浙江启利兴光可可制品股份有限公司);赤藓糖醇(山东三元生物科技股份有限公司);0.84 mm 塑料针头、30 mL 食品级料筒[时印科技(杭州)有限公司];大豆卵磷脂(山东齐鲁生物科技样品店);抗坏血酸(vitamin C, VC)[福晨(天津)化学试剂有限公司];2,6-二叔丁基对甲酚(butylated hydroxytoluene, BHT)(上海源叶生物科技有限公司);磷酸盐缓冲液(phosphate buffer saline, PBS) (0.1 mol/L, pH 6.8)、3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)试剂(Ghose 法)、阿卡波糖、对硝基苯基- β -D-吡喃半乳糖苷(p-nitrophenyl- β -D-galactopyranoside, PNPG)、 α -淀粉酶(酶浓度 ≥ 10000 U/g)、 α -葡萄糖苷酶(酶浓度 ≥ 50 U/mg)(合肥博美生物科技有限责任公司);过硫酸钾、碳酸钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠(分析纯,成都市科隆化学品有限公司)。

1.2 仪器与设备

FoodBot 食品 3D 打印机[时印科技(杭州)有限公司]; TA-XT PLUS 质构仪(美国 Stable Micro Systems 公司); WF32 精密色差仪(深圳市威福光电科技有限公司); DZKW-4 电子恒温水浴锅(北京中兴伟业仪器有限公司); BSA224SCW 万分之一天平(北京赛多利斯科学仪器有限公司); JY20002 电子天平(精度 0.01 g, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司); SB-520ODTN 超声波清洗器(宁波新芝生物科技股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 中药提取粉末的制备

分取药材地黄、知母、山楂、乌梅各 15 g 于 1000 mL 圆底烧瓶, 加入 720 mL 蒸馏水, 在室温下浸泡 30 min, 加热回流 2 次, 每次 1 h, 合并滤液, 最后将其浓缩至 120 mL, 离心(4000 r/min, 30 min), 取上清液, 并加水补足至 120 mL, 最后进行冷冻干燥, 制作成中药提取粉末备用。

1.3.2 中药提取物体外降血糖活性能力

(1)供试品溶液的制备

用 PBS 配制中药提取粉末溶液 0.02、0.04、0.10、0.50、1.20 mg/mL, 分别称取适量阿卡波糖按供试品溶液同浓度配制, 备用。

(1)抑制 α -葡萄糖苷酶活性

参照包正宇等^[22]测定中药提取粉末抑制 α -葡萄糖苷酶活性。同时设立阿卡波糖阳性对照组, 抑制率用公式(1)计算:

$$\alpha\text{-葡萄糖苷抑制率}/\% = 1 - \left(\frac{A_{\text{样品组}} - A_{\text{样品空白组}}}{A_{\text{对照组}} - A_{\text{空白对照组}}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中, $A_{\text{样品组}}$ 为含待测物、PNPG 及酶的吸光度; $A_{\text{样品空白组}}$ 为含待测物、PBS 及 PNPG 的吸光度; $A_{\text{对照组}}$ 为含 PBS、PNPG 及酶的吸光度; $A_{\text{对照空白组}}$ 为含 PBS 和 PNPG 的吸光度。

(2)抑制 α -淀粉酶活性

采用 DNS 法^[23]测定 α -淀粉酶的活力, 精确吸取 0.3 mL 从中药提取物中提取的 α -淀粉酶溶液, 充分混匀, 在 37℃ 水浴中反应 5 min, 然后加入 1 mL 2%可溶性淀粉溶液, 在 37℃水浴中反应 5 min; 添加 0.2 mL DNS, 在开水中浸泡 5 min, 然后将其移除, 之后立即用流动自来水冷却(终止反应), 用蒸馏水稀释并定容至 25 mL, 再精确吸取 1 mL 用蒸馏水稀释定容至 25 mL, 在 570 nm 波长下测定吸收度。在此基础上, 以阿卡波糖为阳性对照, 抑制率用公式(2)计算:

$$\alpha\text{-淀粉酶抑制率}/\% = 1 - \left(\frac{B_{\text{样品组}} - B_{\text{样品空白组}}}{B_{\text{对照组}} - B_{\text{空白对照组}}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

其中, $B_{\text{样品组}}$ 为含待测物、淀粉溶液及酶液的吸光度; $B_{\text{样品空白组}}$ 为含待测物、PBS 及淀粉溶液的吸光度; $B_{\text{对照组}}$ 为含 PBS、淀粉溶液及酶液的吸光度; $B_{\text{对照空白组}}$ 为含 PBS 和淀粉溶液的吸光度。

1.3.3 中药降血糖巧克力配方优化

(1)单因素实验

将添加量为 20 g 可可脂、40 g 可可液块、30 g 糖醇、0.3 g 磷脂作为固定值, 按照 1、4、7、10 和 13 g 的实验梯度设置中药提取粉末添加量, 进行单因素实验;

将用量为 7 g 中药提取粉末、40 g 可可液块、30 g 糖醇、0.3 g 磷脂作为固定值, 以 10、20、30、40 和 50 g 为梯度来设置可可脂添加量, 进行单因素实验;

将用量为 30 g 可可脂、40 g 可可液块、4 g 中药提取粉末、0.3 g 磷脂作为固定值, 以 10、20、30、40 和 50 g 为梯度来设置赤藓糖醇添加量, 进行单因素实验。

以感官得分为考察指标, 根据巧克力感官评价标准, 考察其对巧克力的色泽、组织状态以及口感的影响。

(2)正交实验

在单因素实验的基础上, 为了进一步确定中药降血糖巧克力的最佳配方, 设计了正交实验。该实验选取中药提取粉末、可可脂和赤藓糖醇的添加量这 3 个关键因素, 进行三因素三水平的正交实验^[24]。

表 1 正交实验因素水平设计表
Table 1 Orthogonal test factor level design table

水平	A: 中药提取粉末/g	B: 可可脂/g	C: 赤藓糖醇/g
1	2	25	30
2	4	30	40
3	6	35	50

1.3.4 中药降血糖巧克力工艺优化

在单因素实验和正交实验的基础上, 以中药降血糖巧克力的最佳配方进行 3D 打印, 并对 3D 打印针头移动速度、打印温度进行单因素实验, 根据外观形态筛选出 3D 打印中药降血糖巧克力的最佳打印针头移动速度和打印温度。

1.3.5 中药降血糖巧克力感官评价

选出具有食品专业背景的 10 位感官评价者, 分别对中药降血糖巧克力进行品尝。为了保证周围没有其他的影 响, 10 位评判者被安排在单独的室内, 对中药降血糖巧克力的色泽、组织状况及口味 3 个指标进行打分, 感官评分标准表见表 2^[25]。

1.3.6 质构分析

在最优工艺条件下制作中药降血糖巧克力, 采用 TA-XT PLUS 质构仪对其与不含传统中药的常规黑巧克力进行质地测定。其主要参照标准为: 硬度、弹性、黏性、咀嚼性^[26-27]。材质实验采用 P/0.5 探针, 实验时变形量 40%、触发点载荷 5 g、实验速度 0.5 mm/s、试样呈块状。

1.3.7 霜变稳定性实验

将添加了中药提取粉末的巧克力和空白巧克力产品在湿度为 75%、温度为 25℃条件下存放 28 d, 在第 0、7、14、21、28 d 取样。使用标准白板校准, 运用公式(3)计算

巧克力的白度指数^[28]:

$$WI=100-\sqrt{(100-L)^2+a^2+b^2} \tag{3}$$

注: 式中, L (亮度/暗度)、 a (红色/绿色)和 b (黄色/蓝色)值。

表 2 感官评分标准表
Table 2 Table of sensory scoring criteria

项目	要求	评分
色泽	颜色为均匀一致的深褐色或接近咖啡色	15~20
	褐色偏黄色, 颜色比较饱满	10~14
	偏褐黄色, 颜色发暗, 色泽感一般	5~9
	颜色发暗, 色泽异常	0~4
组织状态	表面光滑, 无起霜、气孔、不均匀现象出现	30~40
	表面较光滑, 有极少气孔出现	20~29
	表面略粗糙, 分布较不均匀, 存在气孔	10~19
	表面粗糙, 起霜较严重, 气孔比较多, 组织分布不均匀	0~9
口感及滋味	口感丝滑, 甜味合适, 香气醇厚, 有巧克力特有香味以及中药香气, 无不良气味	30~40
	口感丝滑度及甜度适中, 香气适中	20~29
	有一定颗粒感, 丝滑度、甜度略差, 香气较淡, 味道平淡, 带有中药苦味	10~19
	有明显颗粒感, 丝滑度、甜度差, 香气不纯, 干涩, 味苦, 有异味	0~9

1.4 数据处理

运用 Origin 9.0 绘制图表, 运用 SPSS 27.0 软件对 3 组平行实验进行统计学处理($P<0.05$ 有统计学意义)及关联分析, 各项实验内容均重复进行 3 次。

2 结果与分析

2.1 中药提取物体外降血糖活性能力

α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶能促进胃肠道内食物中的碳水化合物(如淀粉)水解成单糖, 单糖在体内被吸收后会引起血糖水平升高。中药提取物可以通过抑制肠道 α -葡萄糖苷酶复合物来抑制餐后血糖水平。如图 1 和图 2 所示, 中药提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制率均随样品浓度的增加而增大, 在实验浓度范围内(0.1~1.2 mg/mL)呈浓度依赖性。具体来说, 在图 1 中, 当质量浓度为 1.2 mg/mL 时, 中药提取物对 α -淀粉酶活性的抑制率达 79.78%; 在图 2 中, 同样浓度下对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率达 70.59%。作为阳性对照的阿卡波糖, 对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制率分别为 93.42%和 87.50%。这说明中药提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶具有一定的抑制作用, 同时也为进一步开发降血糖巧克力提供了有力的科学依据。

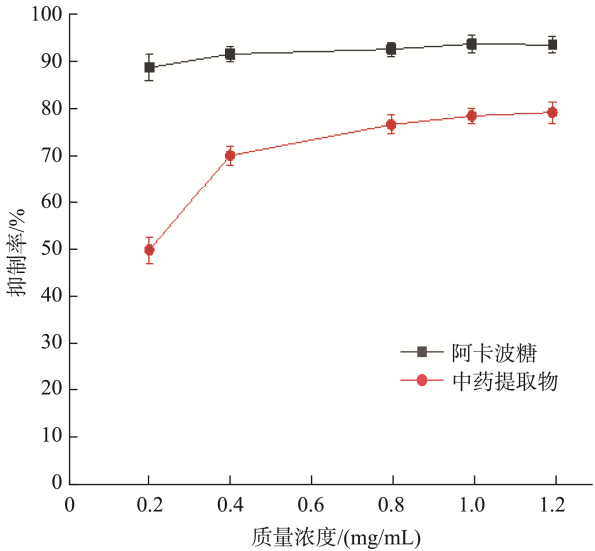


图1 中药提取物对 α -淀粉酶的抑制能力($n=3$)
Fig.1 Abilities of traditional Chinese medicine extract to inhibit α -amylase ($n=3$)

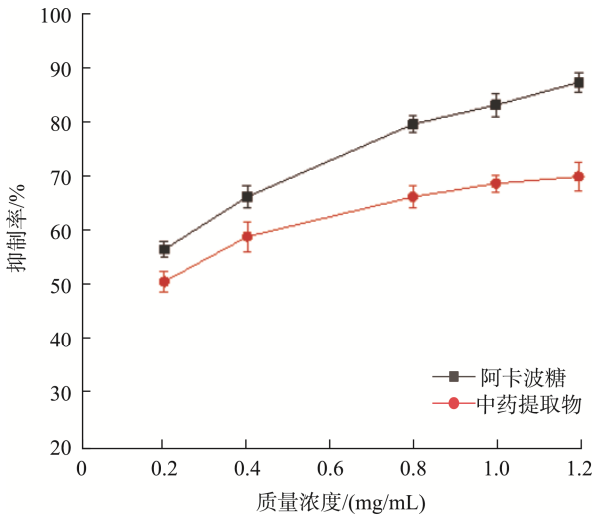
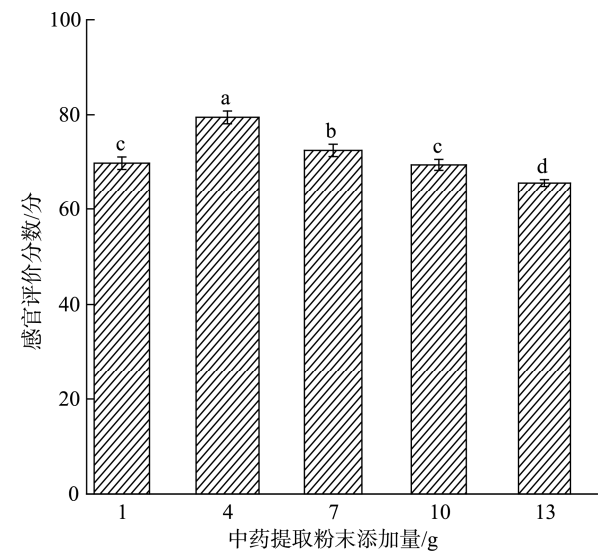


图2 中药提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制能力($n=3$)
Fig.2 Abilities of traditional Chinese medicine extract to inhibit α -glucosidase ($n=3$)

2.2 单因素实验结果

2.2.1 中药提取粉末添加量对巧克力感官品质的影响

由图 3 可知, 在中药提取粉末克数(1、4、7、10、13 g)逐渐添加的过程中, 感官评价得分呈“钟”形分布。在所测数据中, 中药提取粉末添加量为 4 g 时, 感官评价得分最高。根据图形趋势可以判断“钟”形最高点可能存在于添加量 1~7 g 之间, 可能由于中药提取粉末添加量过多会对巧克力的形态及口感造成较大影响, 从而影响感官评分分数。



注: 不同字母表示组间具有显著性差异, $P<0.05$, 图4、5同。

图3 中药提取粉末添加量感官评分($n=3$)
Fig. 3 Sensory score of powder addition of traditional Chinese medicine extract ($n=3$)

2.2.2 可可脂添加量对巧克力感官品质的影响

图 4 显示了可可脂不同添加量对巧克力感官品质的影响, 由图 4 可知, 随着可可脂添加量的增加, 感官评分先上升后下降, 添加量为 30 g 时, 感官评分分数最高。随着可可脂添加量的增加, 其凝固性逐渐增强, 可可香气越来越浓, 口感更加柔和, 但当添加量偏多则会影响其凝固性, 导致不易凝固且常温易软化。因此可可脂的适宜添加量为 20~40 g, 此时的巧克力结晶良好, 有怡人的巧克力香味, 口感较细腻。

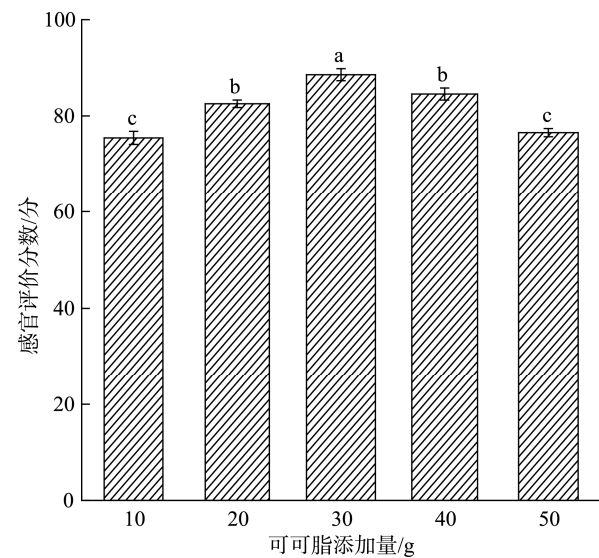


图4 可可脂添加量感官评分($n=3$)
Fig.4 Sensory score of cocoa butter addition amount ($n=3$)

2.2.3 赤藓糖醇添加量对巧克力感官品质的影响

由图 5 可知, 设置赤藓糖醇添加量从 10 g 至 50 g 按梯度增加的过程中, 感官评价得分同样呈“钟”形分布。当赤藓糖醇的添加量达到 40 g 时, 其感官评价得分最优。根据图形趋势可以判断“钟”形最高点可能存在于添加量 30~50 g 之间, 而赤藓糖醇在巧克力中起到增加甜味, 覆盖中药味的作用, 其添加量对巧克力的口感起到极其重要的作用。

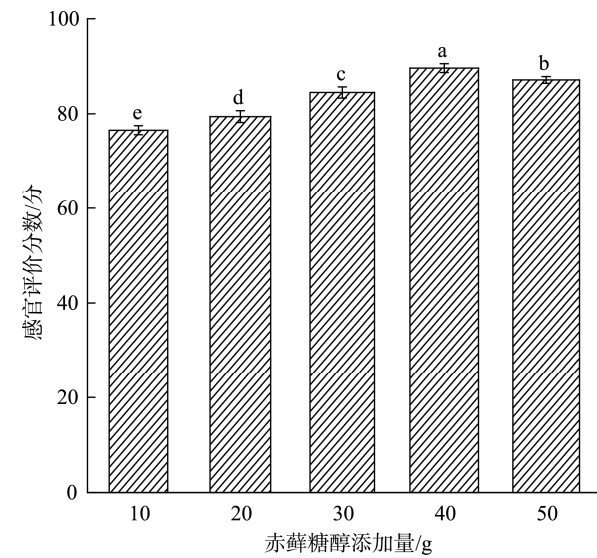


图5 赤藓糖醇添加量感官评分($n=3$)
Fig.5 Sensory score of erythritol addition amount ($n=3$)

2.3 正交实验结果

由表 3 实验因素水平结果分析可知, 影响中药降糖巧克力感官评分的主次因素为: 中药粉末>可可脂>赤藓糖醇, 其中可可脂和赤藓糖醇的影响效果差别微小。理论上 $A_2B_2C_2$ 为最佳水平, 此时中药降血糖巧克力具有较佳的风味和口感。

表 3 正交实验结果分析				
Table 3 Analysis of the orthogonal test results				
实验号	A	B	C	感官评价
1	1	1	1	79.9
2	1	2	2	84.4
3	1	3	3	82.5
4	2	2	2	86.7
5	2	2	3	85.4
6	2	3	1	84.5
7	3	1	3	74.0
8	3	2	1	79.9
9	3	3	2	77.4
k1	82.3	80.2	81.4	
k2	85.5	83.2	82.8	
k3	77.1	81.5	80.6	
R	8.4	3.0	2.2	

2.4 中药降血糖巧克力 3D 打印工艺优化

在单因素实验和正交实验结果的基础上,以料筒温度和针头移动速度为考察指标进行工艺优化。如图 6A~D 所示,随着料筒温度的升高,中药降血糖巧克力无法成型,进而也无法堆积,从而影响了巧克力的外观及口感。而温度过低时,物料的柔韧性降低,可能导致打印出的巧克力无法达到理想的形状,也会影响巧克力的感官品质。因此,料筒的适宜温度为 36℃,此时巧克力的成型立体完整美观,打印效果较好。

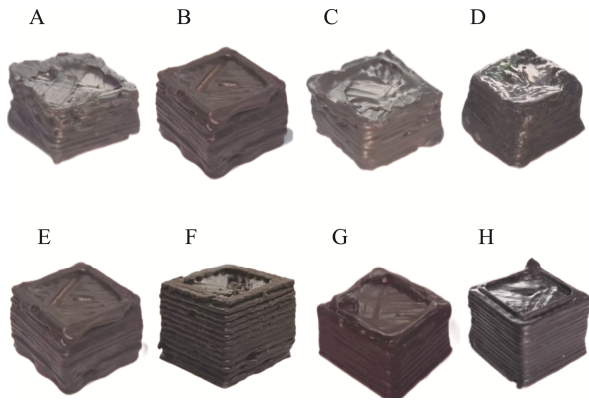
如图 6E~H 所示,针头移动速度过慢时,物料无法成型,进而也无法堆积,从而影响了巧克力的外观及口感。而打印速度过快时,物料的柔韧性降低,可能导致打印出的巧克力无法达到理想的形状,也会影响巧克力的感官品质。因此,3D 打印针头速度为 50 mm/s,此时巧克力的成型立体完整美观,打印效果较好。

3D 打印工艺优化得到最佳工艺参数为:料筒温度 36℃、针头移动速度 50 mm/s。

2.5 质构分析

由表 4 可知,含中药提取粉末的巧克力其硬度、内聚

性、黏性和咀嚼性都具有显著性差异。结果表明中药降血糖巧克力具有较好的组织结构特征,整体来讲,产品感官良好。



注: A~D 表示料筒温度分别为 34、36、38、40℃; E~H 表示针头移动速度分别为 40、50、60、70 mm/s。

图6 不同因素条件下中药降血糖巧克力3D打印成品图

Fig.6 3D printing of finished herbal hypoglycemic chocolate under different factor conditions

表 4 中药降血糖巧克力质构特性
Table 4 Textural properties of Chinese medicine hypoglycemic chocolate

组别	硬度/g	弹性/mm	内聚性/Pa	黏性/mJ	咀嚼性/mJ
中药降血糖巧克力	14200.05±2.52*	0.32±0.02	0.34±0.02**	5149.16±0.02**	1981.98±0.02**
空白对照组巧克力	15710.70±1.02	0.37±0.02	0.26±0.02	5991.39±0.02	2816.24±0.02

注: 表格中数据为均值±标准偏差(n=3), 对于同一产品, 同一列数据右上角*表示组间差异达到显著水平(P<0.05); **表示组间差异达到极显著水平(P<0.01)。

2.6 霜变稳定性实验

由图 7 所示,测试当天各组之间白度指数无明显差异,在经过 14 d 储存后,各组巧克力的白度指数均呈现出明显上升的趋势,这可能是由于温度变化或共结晶造成脂肪迁移至巧克力表面形成了白斑。在储存 21 d 后,空白对照组的白度指数仍然呈上升趋势,而添加中药提取粉末巧克力的白度指数上升趋势较弱。这可能是因为中药提取粉末粒径偏大,不易占据巧克力基质中的细小通道,导致两者之间难以形成较稳定的结晶结构。因此,添加中药提取粉末不影响其白度指数,提高巧克力的致密性是提高其储藏稳定性的关键因素。

2.7 中药降血糖巧克力 3D 打印实例

如图 8,在料筒温度为 36℃、环境温度为 25℃下,选用 0.84 mm 的 3D 打印针头,打印速度为 50 mm/s,可成功完成中药降血糖巧克力制品的 3D 打印,巧克力 3D 打印的工艺参数设置正确,最终制品表面平整,具有 3D 打印特有的纹理。

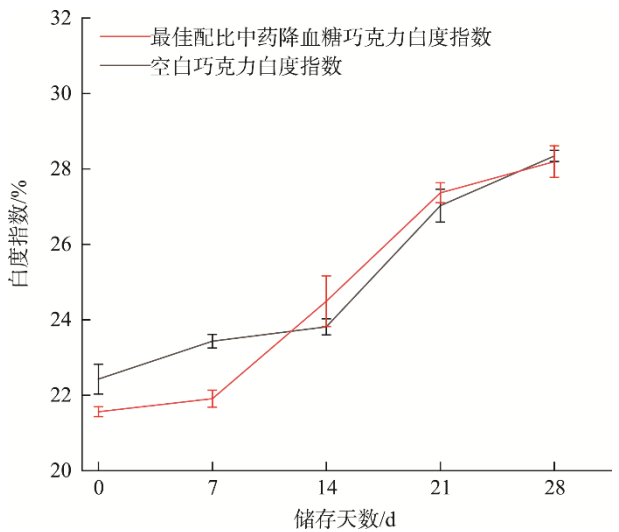


图7 巧克力的白度指数稳定性趋势图(n=3)

Fig.7 Stability trend diagram of the whitening index of chocolate (n=3)

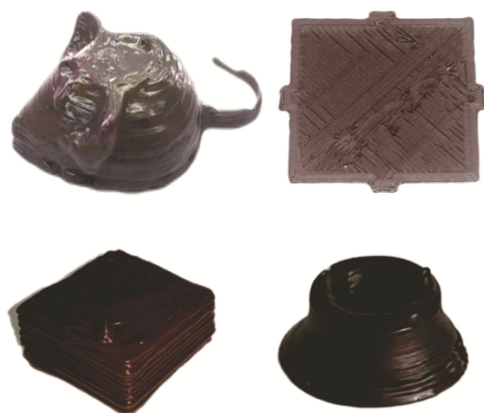


图8 3D打印实例
Fig.8 3D for a printed example

3 结 论

随着人们生活水平的提高和健康意识的增强,对于保健食品的需求日益增加^[29-30]。特别是对于糖尿病患者来说,更加需要一种既美味又具有降血糖效果的保健食品^[31-32]。3D 打印技术所需的材料范围较广,制备方法也具有很大的选择性,这些都为创新中药保健食品的制备提供了便利条件。此外,基于 3D 打印技术的这些特性,运用该技术可以较容易地制备定制化和个性化产品,这一理念与中医药因病施治、因人施治策略是极为相通,值得进行深入探索研究^[33]。基于“药以食用,食为药用”的中医特色理念^[34-35],本研究结合现代 3D 打印技术,成功研发了一种新型的降血糖巧克力,为糖尿病患者提供了一种新的保健食品选择,也为中药在降血糖领域的应用提供了新的思路。然而,也认识到该产品的市场化仍存在一些挑战和困难^[36-38],需要工程学、材料学和药学等诸多专利学科人才的通力合作,促进 3D 打印技术^[39]的进步和成熟,进而推进中药保健食品产业的多元发展。

参考文献

- [1] BESKLUBOVA S, SKIBNIEWSKI MJ, ZHANG XQ. Factors affecting 3D printing technology adaptation in construction [J]. J Const Eng M Asce, 2021, 147(5): 1-5.
- [2] 王怡涵. 3D 打印技术在食品行业中的应用研究[J]. 河南科技, 2022, 41(16): 45-49.
WANG YH. Research on the application of 3D printing technology in the food industry [J]. Henan Sci Technol, 2022, 41(16): 45-49.
- [3] AHMADZADEH S, LENIE MDR, MIRMAHDI RS, *et al.* Designing future foods: Harnessing 3D food printing technology to encapsulate bioactive compounds [J]. Crit Rev Food Sci, 2023, 26: 1-17.
- [4] WASEEM M, TAHIR AU, MAJEED Y. Printing the future of food: The physics perspective on 3D food printing [J]. Food Phy, 2023, 1: 100003.
- [5] GULZAR S, NARCISO JO, ELEZ-MARTÍNEZ P, *et al.* Recent developments in the application of novel technologies for the modification of starch in light of 3D food printing [J]. Curr Opin Food Sci, 2023, 52: 101067.
- [6] CHAO CC, LEE JH, KIM IW, *et al.* Investigation of 3D-printable chickpea-mealworm protein mixtures and their bolus rheology: A soft-textured and safe-swallowing food for the elderly [J]. Food Biosci, 2023, 54: 102924.
- [7] 杨庆余, 王妍文, 李响, 等. 基于食品 3D 打印技术的食品原料研究及应用[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 1-7.
YANG QY, WANG YW, LI X, *et al.* Research and application of food raw materials based on food 3D printing tech [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(8): 1-7.
- [8] 戴涛涛, 裴雨萱, 张文慧, 等. 温度对植物蛋白基油墨 3D 打印性能的影响[J/OL]. 食品工业科技, 1-16. [2023-12-28]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070150>
- [9] DAI TT, QIU YX, ZHANG WH, *et al.* Effect of temperature on the 3D printing performance of plant protein-based inks [J/OL]. Sci Tech Food Ind, 1-16. [2023-12-28]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070150>
- [9] 李小明, 李萧雨, 邢海燕. 中药葛根防治糖尿病的作用机制和研究进展[J/OL]. 辽宁中医药大学学报, 1-9. [2024-2-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1543.R.20240131.1539.002.html>
- LI XM, LI XY, XING HY. Mechanism and progress of prevention and treatment of diabetes by *Radix Puerariae* [J/OL]. J Liaoning Univ Tradit Chin Med, 1-9. [2024-2-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1543.R.20240131.1539.002.html>
- [10] 贾祺琰, 郎镇岭, 曾绍校. 减糖巧克力的研究进展[J]. 福建轻纺, 2023, (8): 18-22.
- JIA QY, LANG ZL, ZENG SX. Progress in research on sugar-reduced chocolate [J]. Light Text Ind Fujian, 2023, (8): 18-22.
- [11] 张子东, 白浩东, 曾元宁, 等. 知母及其药对研究进展[J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(10): 98-101.
- ZHANG ZD, BAI HD, ZENG YN, *et al.* Research progress of *Anemarrhena asphodeloides* and its drug pair [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2023, 41(10): 98-101.
- [12] TU YB, YANG Y, LI YF, *et al.* Naturally occurring coumestans from plants, their biological activities and therapeutic effects on human diseases [J]. Pharmacol Res, 2021, 169: 105615.
- [13] 薛宇彤, 郑锦秀, 邵莹, 杨利军. 山楂叶总黄酮对 1 型糖尿病小鼠血糖作用研究[J]. 智慧健康, 2022, 8(34): 139-142, 147.
- XUE YT, ZHENG JX. Effect of *hawthorn* leaf total flavonoids on blood glucose in type 1 diabetic mice [J]. Smart Health, 2022, 8(34): 139-142, 147.
- [14] 张茜茜, 曹春然, 李雪梅, 等. 中药类保健食品中地黄生熟异用的配方规律分析[J]. 中国现代中药, 2023, 25(8): 1755-1763.

- ZHANG QQ, CAO CR, LI XM, *et al.* Analysis of formula regularity of *Rehmannia glutinosa* in traditional Chinese medicine health food [J]. *Mod Chin Med*, 2023, 25(8): 1755–1763.
- [15] 张君成, 梁华, 王燕, 等. 乌梅药理作用研究进展[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2021, 23(8): 122–126.
- ZHANG JCH, LIANG H, WANG Y, *et al.* Research progress on pharmacological action of *Mume Fructus* [J]. *J Liaoning Univ Tradit Chin Med*, 2021, 23(8): 122–126.
- [16] 吴琼, 何宇霞, 花卉, 等. 基于数据挖掘分析辅助降血糖中药保健食品组方规律及特点[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(6): 2385–2393.
- WU Q, HE YX, HUA H, *et al.* Based on data mining, the rules and characteristics of TCM health food [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(6): 2385–2393.
- [17] 张珂, 郑道一, 李安然, 等. 3D 打印挤出成型技术的药学研究进展[J]. *药学报*, 2023, 58(9): 2640–2655.
- ZHANG K, ZHEN DY, LI ANR, *et al.* Pharmaceutical research progress of 3D printing extrusion molding technology [J]. *Acta Pharm Sin*, 2023, 58(9): 2640–2655.
- [18] DANKERS M, HEK K, MANTEL-TEEUWISSE AK, *et al.* Adoption of new medicines in primary care: A comparison between the uptake of new oral anticoagulants and diabetes medicines [J]. *Br J Clin Pharmacol*, 2024, 90(3): 819–827.
- [19] JAMES S, LOWE J, PERRY L. New opportunities to improve diabetes healthcare [J]. *Int J Nurs Pract*, 2023, 29(1): 13137.
- [20] CHEN S, JIAO YQ, HAN YY, *et al.* Edible traditional Chinese medicines improve type 2 diabetes by modulating gut microbial metabolites [Z]. 2024.
- [21] 张晓寒, 张程慧, 于文睿, 等. 药食同源类植物多糖降血糖功效的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(14): 3699–3705.
- ZHANG XH, ZHANG CH, YU WR, *et al.* Progress in the hypoglycemic efficacy of polysaccharides [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(14): 3699–3705.
- [22] 包正宇, 樊铭聪, 李言, 等. 乌饭树叶蓝黑色素对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性研究[J]. *食品与机械*, 2021, 37(7): 165–170, 176.
- BAO ZY, FAN MC, LI Y, *et al.* Study on the inhibitory activity of blue melanin in leaves of Wufan tree against α -glucosidase [J]. *Food Mach*, 2021, 37(7): 165–170, 176.
- [23] 黄瑜, 张锡宇, 赵海桃, 等. 沙棘叶提取物的体外抗氧化及乙酰胆碱酯酶抑制能力[J]. *精细化工*, 2024, 41(2): 391–400.
- HUANG Y, ZHANG XY, ZHAO HT, *et al.* Antioxidant activity and *Acetylcholinesterase* inhibitory capacity of *Seabuckthorn* leaf extract *in vitro* [J]. *Fine Chem*, 2024, 41(2): 391–400.
- [24] 董义, 王斯慧, 曾里, 等. 六种保健食品原料的辅助降血糖功效研究[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(23): 121–124.
- DONG Y, WANG SH, ZENG L, *et al.* Study on the auxiliary hypoglycemic efficacy of six health food raw materials [J]. *Food Res Dev*, 2014, 35(23): 121–124.
- [25] HONGYU W, LIANG L. Comprehensive evaluation of probiotic property, hypoglycemic ability and antioxidant activity of lactic acid bacteria [J]. *Foods*, 2022, 11(9): 1363.
- [26] 高育哲, 陈鹤, 路飞, 等. 豆乳巧克力的研制及其质构特性研究[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(1): 23–26.
- GAO YZ, CHEN H, LU F, *et al.* Study on preparation and texture characteristics of soybean milk chocolate [J]. *Cere Oils*, 2021, 34(1): 23–26.
- [27] MILAD P, BAHAREH B, KAFFASHI SP, *et al.* Substitution of sucrose with HFCS-55 in the formulation of chocolate syrup: Effects on the physicochemical and sensorial properties [J]. *J Food Proc Preservat*, 2022, 46(4): 1–5.
- [28] 顾瑜萍, 朱建玲. 响应面法优化有机巧克力慕斯的工艺配方[J]. *食品工业*, 2021, 42(4): 77–81.
- GU YP, ZHU JL. Optimization of technological formula of organic chocolate Mousse by response surface methodology [J]. *Food Ind*, 2021, 42(4): 77–81.
- [29] 高静. 大健康产业背景下中药保健食品发展浅析[J]. *现代食品*, 2023, 29(22): 77–79.
- GAO J. Brief analysis of the development of traditional Chinese medicine health food under the background of big health industry [J]. *Mod Food*, 2023, 29(22): 77–79.
- [30] 王青标, 岳海兰, 徐高丹. 中药保健食品的现状与开发[J]. *中国食品工业*, 2022, (23): 42–44.
- WANG QB, YUE HL, XU GD. Current status and development of traditional Chinese medicine health food [J]. *Food Ind Chin*, 2022, (23): 42–44.
- [31] 朱运平, 任斐. 降血糖食品的研究进展[J]. *中国酿造*, 2022, 41(9): 1–7.
- ZHU YP, REN F. Progress in the study of hypoglycemic foods [J]. *Brew China*, 2022, 41(9): 1–7.
- [32] 于中玉, 黄佳琪, 周凤霞. 正交试验优化薏米蛋白多肽制备工艺及其对小鼠降血糖作用的效果研究[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(10): 69–74.
- YU ZY, HUANG JQ, ZHOU FX. Optimization of the preparation process of coix polypeptide and its effect on hypoglycemic effect in mice [J]. *Food Addit China*, 2022, 33(10): 69–74.
- [33] 刘长青, 王海霞, 李正, 等. 3D 打印技术在中药创新研制与应用方面的研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2020, 26(3): 236–242.
- LIU CQ, WANG HX, LI Z, *et al.* Research progress of 3D printing technology in the innovative development and application of traditional Chinese medicine [J]. *Chin J Experiment Pharm*, 2020, 26 (3): 236–242.
- [34] 丁劲文, 迟湘胤, 张玉, 等. “食药同源”的生物学原理[J/OL]. *药学报*, 1-22. [2024-05-21]. <https://doi.org/10.16438/j.0513-4870.2024-0284>
- DING JW, CHI XY, ZHANG Y, *et al.* The biological principle of “food and drug homology” [J/OL]. *J Pharm*, 1-22. [2024-05-21]. <https://doi.org/10.16438/j.0513-4870.2024-0284>
- [35] 蒋慧兰, 孙亚茹, 魏择裕, 等. 4 种降血糖药食同源原料研究进展[J].

食品研究与开发, 2023, 44(8): 213–218.

JIANG HL, SUN YR, WEI ZY, *et al.* Research progress of 4 kinds of hypoglycemic drugs and food [J]. Food Res Dev, 2023, 44(8): 213–218.

- [36] MINA D, MASOOMEH OH, AMIR H, *et al.* The effect of cocoa/dark chocolate consumption on lipid profile, glycemia, and blood pressure in diabetic patients: A meta-analysis of observational studies [J]. Phytother Res, 2021, 35(10): 5487–5501.

- [37] 高静. 健康养生视角下的中药保健食品研发策略[J]. 中国食品, 2024, (8): 122–124.

GAO J. Research and development strategy of traditional Chinese medicine health food from the perspective of health preservation [J]. China Food, 2024, (8): 122–124.

- [38] XUE G, MINGYUE J, JIANPING X, *et al.* Hypoglycemic effects of bioactive ingredients from medicine food homology and medicinal health food species used in China [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2020, 60(14): 2303–2326.

- [39] 李鑫, 许月明, 张爽, 等. 基于不同原料的食品 3D 打印技术研究进展[J]. 商丘师范学院学报, 2024, 40(3): 50–55.

LI X, XU MY, ZHANG S, *et al.* Research progress of food 3D printing technology based on different raw materials [J]. J Shangqiu Norm Univ, 2024, 40(3): 50–55.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)

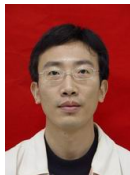
作者简介



蒲 曦, 主要研究方向为制药工程。
E-mail: 122982071@qq.com



何春容, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。
E-mail: hcrongbb1@163.com



何宇新, 博士, 教授, 主要研究方向为中药保健食品研究。
E-mail: 524225843@qq.com



董 芹, 博士, 讲师, 主要研究方向为中药药效物质基础和药效机制研究。
E-mail: 1162636088@qq.com