

杨梅软糖制备工艺优化及其降血糖功能分析

李瑞一, 陈学锋, 陈杭君, 房祥军, 刘瑞玲, 牛 犇, 陈慧芝, 吴伟杰, 郜海燕

Optimization of Preparation Process of Bayberry Soft Candy and Analysis of Its Hypoglycemic Function

LI Ruiyi, CHEN Xuefeng, CHEN Hangjun, FANG Xiangjun, LIU Ruiling, NIU Ben, CHEN Huizhi, WU Weijie, and GAO Haiyan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020278>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

杂粮果蔬复合鲜面条的配方优化及其对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性

Formulation Optimization and Inhibitory Effect on α -Glucosidase Activity of Fresh Noodles Prepared by Combination with Grain, Fruit and Vegetable

食品工业科技. 2020, 41(24): 125-130, 136 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019110278>

基于网络药理学探讨预知子抗抑郁的作用机制

Mechanism of Anti-depression Mechanism of Akebiae Fructus Based on Network Pharmacology

食品工业科技. 2021, 42(14): 8-15 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110295>

基于网络药理学探讨桦褐孔菌降血糖功效成分及作用机制

Action Mechanism of *Inonotus obliquus* in the Treatment of Diabetes and the Material Basis of Pharmacodynamics Based on Network Pharmacology

食品工业科技. 2021, 42(22): 18-29 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021040268>

咖啡酰奎宁酸类化合物抑菌活性的网络药理学研究

Network Pharmacology Study on the Antibacterial Activity of Caffeoylquinic Acids

食品工业科技. 2021, 42(13): 11-20 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030017>

抹茶牛奶饮料配方优化

Formula Optimization of Matcha Milk Beverage

食品工业科技. 2019, 40(14): 100-107 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.017>

米糠发酵产物抑制 α -葡萄糖苷酶的工艺优化

Optimization of Inhibition of α -Glucosidase by Rice Bran Fermentation Products

食品工业科技. 2021, 42(4): 128-134 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040183>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李瑞一, 陈学锋, 陈杭君, 等. 杨梅软糖制备工艺优化及其降血糖功能分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 80-89. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020278

LI Ruiyi, CHEN Xuefeng, CHEN Hangjun, et al. Optimization of Preparation Process of Bayberry Soft Candy and Analysis of Its Hypoglycemic Function[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(23): 80-89. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020278

· 研究与探讨 ·

杨梅软糖制备工艺优化及其降血糖功能分析

李瑞一^{1,2}, 陈学锋^{3,4,+}, 陈杭君², 房祥军², 刘瑞玲², 牛 犇², 陈慧芝², 吴伟杰^{2,*}, 郜海燕^{2,*}

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350000;

2. 浙江省农业科学院食品科学研究所, 农业农村部果品采后处理重点实验室, 农业农村部蔬菜采后保鲜与加工重点实验室(部省共建), 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室, 中国轻工业果蔬保鲜与加工重点实验室, 浙江杭州 310000;

3. 嘉兴易久农业科技有限责任公司, 浙江嘉兴 314000;

4. 浙江农艺师学院, 浙江杭州 310000)

摘要: 为开发具有降血糖功能的水果软糖制品, 本研究以杨梅汁为主要原料, 卡拉胶和明胶为凝胶剂, 木糖醇为甜味剂, 以质构分析和感官得分作为评价指标, 通过单因素实验和响应面法优化制备工艺, 并且开展了杨梅软糖提取物体外降血糖功效研究, 使用 UPLC-MS/MS 检测技术对杨梅汁成分进行定性和相对定量分析, 并结合网络药理学预测降血糖成分和相关作用通路。结果表明, 在 100 mL 杨梅软糖凝胶溶液体系中, 应用响应面法优化出杨梅软糖的配方: 用体积分数为 89.37% 的杨梅汁进行溶胀和定容, 明胶添加量为 9.90%, 卡拉胶添加量为 1.41%, 木糖醇添加量为 30.86%。在此工艺下制得的杨梅软糖感官评分可达 87.30 分, 接近理论值。体外降血糖实验表明 4 mg/mL 的杨梅软糖提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶抑制率分别达到 98.58% 和 86.89%。通过网络药理学分析推测 3,5-二乙酰坦布林(YM16)、杜鹃黄素(YM17)、覆盆子酮葡萄糖苷(YM1)为杨梅汁中关键降血糖成分, 人类癌症通路、PI3K-Akt 通路为重要作用通路。通过该工艺制备的软糖弹性好, 口感酸甜, 且具有一定降血糖功效, 可为水果味功能性软糖的开发提供一定的科学依据。

关键词: 杨梅软糖, 配方优化, 响应面, α -葡萄糖苷酶, α -淀粉酶, 网络药理学

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)23-0080-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020278



本文网刊:

Optimization of Preparation Process of Bayberry Soft Candy and Analysis of Its Hypoglycemic Function

LI Ruiyi^{1,2}, CHEN Xuefeng^{3,4,+}, CHEN Hangjun², FANG Xiangjun², LIU Ruiling², NIU Ben², CHEN Huizhi², WU Weijie^{2,*}, GAO Haiyan^{2,*}

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350000, China;

2. Food Science Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Post-Harvest Handling of Fruits, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Postharvest Preservation and Processing of Vegetables (Co-construction by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fruits and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Key Laboratory of Postharvest Preservation and Processing of Fruits and Vegetables, China National Light Industry, Hangzhou 310000, China;

3. Jiaxing Yijiu Agricultural Technology Limited Liability Company, Jiaxing 314000, China;

收稿日期: 2023-02-28 +并列第一作者

基金项目: 浙江省“三农九方”科技协作计划(2022SNJF029); 温州市环大罗山省级现代农业园区科技支撑项目(WZDLS2021-10); 农业农村部“农业科研杰出人才”项目; 浙江省重点研发计划项目(2020C02038)。

作者简介: 李瑞一(1998-), 男, 硕士, 研究方向: 食品物流保鲜与品质调控, E-mail: liruiyi0825@163.com。

陈学锋(1969-), 男, 本科, 研究方向: 农产品种植经营, E-mail: 13656736926@163.com。

* 通信作者: 吴伟杰(1987-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品营养功能与品质调控, E-mail: wuweijie87@163.com。

郜海燕(1958-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 食品物流保鲜与品质调控, E-mail: spsghy@163.com。

4.Zhejiang Agronomist College, Hangzhou 310000, China)

Abstract: In order to develop soft fruit candy products with hypoglycemic function, the preparation method was optimized by single-factor and response surface studies. The texture profile analysis and sensory score was regarded as the evaluation indices, while bayberry juice was used as the main raw material, carrageenan and gelatin as the gelling agent, and xylitol as the sweetener. Additionally, the hypoglycemic effect of bayberry soft candy extract was evaluated by *in vitro* study, and the components of bayberry juice was detected by using UPLC-MS/MS assay. Finally, the hypoglycemic components and related pathways of action were predicted by network pharmacology. The results showed that in the 100 mL bayberry soft candy gel solution system, the optimal formulation of bayberry soft candy obtained by response surface methodology was as follows: 89.37% bayberry juice for swelling and constant volume, with 9.90% gelatin, 1.41% carrageenan, and 30.86% xylitol addition. The sensory score of bayberry soft candy produced under this process was 87.30, which was close to the theoretical value. The *in vitro* hypoglycemic study showed that the inhibition of α -glucosidase and α -amylase by 4 mg/mL of bayberry soft candy extract reached 98.58% and 86.89%, respectively. The network pharmacological analysis postulated that 3,5-diacetylambriin (YM16), azaleatin (YM17) and raspberry ketone glucoside (YM1) were the key hypoglycemic components in bayberry juice, in addition, the human cancer pathway and PI3K-Akt pathway were important pathways of their action. The soft candy prepared under the optimal process condition showed good elasticity, fantastic taste and certain hypoglycemic effects. These results provide a certain theoretical basis for the development of fruit-flavored functional soft candy.

Key words: bayberry soft candy; formula optimization; response surface; α -glucosidase; α -amylase; network pharmacology

杨梅(*Myrica rubra*)作为常绿杨梅科乔木植物,是我国长江流域以南等地的特色水果之一^[1-2],主要集中在我国的浙江、福建、江西等地种植。杨梅果实色泽鲜红,营养多汁,口味酸甜,含有丰富的维生素、矿物质、花色苷、酚酸类、黄酮类等物质^[3],具有抗氧化^[4]、降血糖^[5]、抗癌^[6]、助消化、祛暑生津、增强免疫^[7]等功效,深受广大消费者的喜爱。但由于杨梅果实外表无果皮包被,果肉呈放射形柱状^[8],酸甜多汁,加上杨梅多成熟于高温多雨的6~7月份^[9],所以在采摘、加工、运输和贮藏等过程中极易受到机械损伤和微生物的侵害^[10],造成杨梅资源的浪费。一般新鲜杨梅的最佳食用时间在3d以内^[11],因此拓展杨梅深加工,延长产业链,成为杨梅产业新的发展思路。市面上已经有杨梅饮料^[12]、杨梅果酒^[12]、杨梅罐头^[13]、杨梅果干^[14]、杨梅果酱^[15]等产品,有效延长了杨梅的保质期,拓宽了杨梅加工发展的方向。但是在血糖调节杨梅软糖产品的开发上并未见到报道。

软糖也被称为凝胶糖果,是一种柔软且具有一定弹性和韧性的糖果^[16],具有不粘牙,不易引起蛀齿、低热量和低糖度等优点^[17]。同时,软糖也是国内发展较快的一个糖果种类,逐渐成为糖果研发的新热点。随着广大消费者健康饮食观念的日益增强,传统糖果已经无法达到人们对健康的更高需求,近年来,功能性糖果成为糖果发展的一个主流趋势^[18],将功能性成分加入到糖果中,从而提高糖果的感官和营养品质。本论文以杨梅汁、明胶、卡拉胶和木糖醇为主要原料,通过单因素和响应面试验,筛选出杨梅软糖的最佳制作工艺,同时对杨梅软糖降血糖功能进行初步探究,使用UPLC-MS/MS检测技术对杨梅汁化学成分进行定性和相对定量分析,并结合网络药理学预测降血糖成分和相关作用通路。不仅为杨梅深加工提供了一些方法,也为杨梅功能性软糖的研发提供一定

的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

杨梅 品种为‘东魁’,2022年6月采摘于浙江省台州市仙居县杨梅种植合作社;明胶、卡拉胶、木糖醇 浙江多味生物科技有限公司; α -葡萄糖苷酶(比活力50 U/mg) 美国sigma公司; α -淀粉酶(猪胰腺,比活力10 U/mg) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;4-硝基苯- α -D-吡喃葡萄糖苷(PNPG) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;其他试剂 均为分析纯。

KS-520 破壁机料理机 广州市祈和电器有限公司;C21-WT2116 多功能电磁炉 广东省美的生活电器制造有限公司;TA.XT Plus 质构仪 厦门超技仪器设备有限公司;ExionLC™ AD 高效液相色谱仪、Applied Biosystems 6500 QTRAP 串联质谱仪 美国SCIEX公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 杨梅软糖制作流程图如下(图1)。

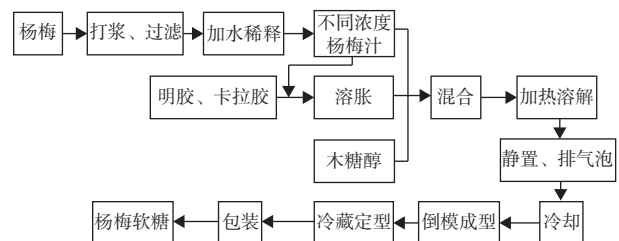


图1 杨梅软糖的制备工艺流程图

Fig.1 Process flow chart for making bayberry soft candy

1.2.2 操作要点

1.2.2.1 不同体积分数杨梅汁制备 将杨梅进行去核处理后,放入破壁机中打碎,将打碎后的汁液和果

肉一同放入 80 目食品级筛网中过滤,保留杨梅汁,重复 2~3 次,随后再经 50 目食品级筛网过滤。将杨梅汁原液和纯净水按照体积比混合,配制成分含 60%、70%、80%、90%、100%(原液)体积分数的杨梅汁溶液,用于后续凝胶原料的溶胀和混合溶液的定容(100 mL)。

1.2.2.2 明胶预处理 将明胶中加入 5 倍体积的杨梅汁浸泡 1 h,进行溶解膨胀,70 °C 水浴加热搅拌 30 min,保温备用。

1.2.2.3 卡拉胶预处理 将卡拉胶中加入 5 倍体积的杨梅汁浸泡 1 h,进行溶解膨胀,70 °C 水浴加热搅拌 30 min,保温备用。

1.2.2.4 物料混合、加热 将溶胀好的明胶和卡拉胶混合,向其中加入适量木糖醇,使用不同体积分数的杨梅汁进行定容。然后在 70 °C 水浴下搅拌 20 min,使充分溶解。

1.2.2.5 排气泡、冷却倒模 将混合液体静置 10 min,排除气泡,待温度冷却至 50 °C 时,将混合液体倒入食品级硅胶模具内。

1.2.2.6 冷却定型 将混合液体和硅胶模具一同放入 4 °C 冰箱冷却 4 h,定型。

1.2.2.7 包装、成品 将定型好的杨梅软糖取出后,切割,包装即为杨梅软糖。

1.2.3 单因素实验 设定不同体积分数杨梅汁、不同明胶添加量、不同卡拉胶添加量和不同木糖醇添加量共四个指标进行单因素实验。参考杨娟等^[19]的实验方法绘制感官评价得分表作为评价标准(表 1),选定 10 名具有食品相关背景的人员进行品尝打分,具体步骤如下。

表 1 杨梅软糖感官评价得分标准

Table 1 Scoring criteria of sensory evaluation of bayberry soft candy

项目	评分标准	得分(分)
口感(25分)	口感细腻,咀嚼性好,酸甜适中	20~25
	口感较细腻,咀嚼性一般,酸甜味中等	15~19
	口感较细腻,咀嚼性一般,偏甜或偏酸	10~14
	口感差,咀嚼性差,偏甜或者偏酸	0~9
香味(25分)	杨梅香味浓郁,无明显腥味	20~25
	杨梅香味较淡,无明显腥味	15~19
	有较淡杨梅香味,也有较淡明胶腥味	10~14
色泽(25分)	无杨梅香味,有明显腥味	0~9
	颜色均一,有光泽	20~25
	颜色较为均一,光泽偏弱	15~19
	颜色相对均一,略有光泽	10~14
组织形态(25分)	颜色不均一,无光泽	0~9
	弹性适中,不粘牙	20~25
	弹性稍差,相对粘牙	15~19
	弹性较差,比较粘牙	10~14
	无弹性,粘牙	0~9

1.2.3.1 不同体积分数杨梅汁的选择 在固定明胶

添加量为 10%,卡拉胶添加量为 1.5%,木糖醇添加量为 30% 的条件下,研究不同体积分数(60%、70%、80%、90% 和 100%)杨梅汁(参照 1.2.2.1 制备)溶胀和定容对杨梅软糖品质的影响,通过感官评分筛选出最佳体积分数的杨梅汁。

1.2.3.2 明胶添加量的选择 在固定卡拉胶添加量为 1.5%,木糖醇添加量为 30%,90% 体积分数的杨梅汁进行溶胀胶体和定容,研究不同添加量(6%、8%、10%、12% 和 14%)明胶对杨梅软糖品质的影响,通过感官评分筛选出最佳明胶添加量。

1.2.3.3 卡拉胶添加量的选择 在固定明胶添加量为 10%,木糖醇添加量为 30%,90% 体积分数的杨梅汁进行溶胀胶体和定容,研究不同添加量(0.5%、1%、1.5%、2% 和 2.5%)卡拉胶对杨梅软糖品质的影响,通过感官评分筛选出最佳卡拉胶添加量。

1.2.3.4 木糖醇添加量的选择 在固定明胶添加量为 10%,卡拉胶添加量为 1.5%,90% 体积分数杨梅汁进行溶胀胶体和定容,研究不同添加量(10%、20%、30%、40%、50%)木糖醇对杨梅软糖品质的影响,通过感官评分筛选出最佳木糖醇添加量。

1.2.4 质构特性分析 参照唐莹等^[20]的方法并进行稍微修改,按照 1.2.3 进行不同单因素软糖的制作,将其倒入直径 1.8 cm、深度 1.5 cm 的圆柱形模具中,4 °C 冷藏 3 h 后,使用 TA.XT plus 质构仪进行质构分析。参数设置:柱形 P6 探头,采用下压模式测定,测前速度 1 mm/s,测中、后速度 0.5 mm/s,下压深度 5 mm,压力 5 g,下压时间 5 s,测定硬度、弹性、内聚性、胶着性、咀嚼度和回弹性。

1.2.5 响应面试验设计 参考许粟等^[21]方法并加以修改,通过前期单因素实验基础上,使用响应面 Box-Behnken 进行试验设计(表 2),以感官评分为响应值,进行 4 因素 3 水平的试验设计。

表 2 响应面试验设计因素和水平

Table 2 Factors and levels of response surface methodology

水平	因素			
	杨梅汁体积分数(%)	明胶添加量(%)	卡拉胶添加量(%)	木糖醇添加量(%)
-1	80	8	1.0	20
0	90	10	1.5	30
1	100	12	2.0	40

1.2.6 杨梅软糖体外降血糖实验

1.2.6.1 杨梅软糖预处理 将杨梅软糖切成小块,其中加入适量体积 95% 乙醇,超声辅助提取 2 h,过滤后滤渣中再次加入 95% 乙醇进行提取,重复 2~3 次,收集滤液,使用旋转蒸发仪将滤液浓缩成黏稠状态后冷冻干燥,将干燥后的样品使用液氮研磨成粉末,得到杨梅软糖乙醇提取物,超低温保存。

1.2.6.2 α -葡萄糖苷酶抑制能力的测定 参考杨玉洁等^[22]的方法并加以修改,将杨梅软糖乙醇提取物和

阳性对照物阿卡波糖分别配制成浓度为 0.25、2.5、1、2、4 mg/mL 的待测样品,使用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH6.8)配制 7.5 mmol/L 的 PNPG 和 0.2 U/mL α -葡萄糖苷酶溶液。吸取 1 mL 待测样品于试管中,向其中加入 2 mL 的 α -葡萄糖苷酶溶液,37 °C 反应 10 min,加入 1 mL 的 PNPG 溶液,37 °C 保温反应 25 min,405 nm 处测定吸光度值。计算公式如下:

$$I_g(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A}\right) \times 100$$

式中: I_g 表示为 α -葡萄糖苷酶抑制率,%; A_1 表示待测样品 405 nm 处吸光度值; A_2 表示以相同体积磷酸缓冲液代替 α -葡萄糖苷酶溶液,测定的样品 405 nm 处吸光度值; A 表示以同等体积的蒸馏水代替待测样液,测定的 405 nm 处吸光度值。

1.2.6.3 α -淀粉酶抑制能力的测定 采用 DNS 法^[23]进行测定,参照 1.2.6.2 制备杨梅软糖乙醇提取物和阿卡波糖待测样液,使用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH6.8)配制 5% 的可溶性淀粉溶液和 2 U/mL 的 α -淀粉酶溶液。吸取 300 μ L 杨梅软糖待测溶液,向其中加入 400 μ L 的 α -淀粉酶溶液,37 °C 下反应 10 min,随后加入 300 μ L 的可溶性淀粉溶液,37 °C 反应 15 min 后加入 2 mL 的 DNS 试剂进行显色反应,沸水浴 10 min 终止反应,冷却后定容到 10 mL,540 nm 处测定吸光度值。计算公式如下:

$$I_a(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A}\right) \times 100$$

式中: I_a 表示为 α -淀粉酶抑制率,%; A_1 表示待测样品 540 nm 处吸光度值; A_2 表示以相同体积磷酸缓冲液代替 α -淀粉酶溶液,测定的样品 540 nm 处吸光度值; A 表示以同等体积的蒸馏水代替待测样液,测定的 540 nm 处吸光度值。

1.2.7 杨梅汁化学成分分析及活性成分的筛选

1.2.7.1 成分分析 将 100 μ L 杨梅汁样本加入到 100 μ L 含内标提取液的 70% 甲醇中,涡旋,离心后取上清,使用微孔滤膜(0.22 μ m)过滤后保存到进样瓶中,使用 UPLC-MS/MS 检测。

1.2.7.2 色谱条件 C_{18} 色谱柱;流动相 A: 0.1% 甲酸的超纯水,流动相 B: 0.1% 甲酸的乙腈;流速 0.35 mL/min;柱温 40 °C;进样量 2 μ L。

1.2.7.3 质谱条件 使用电喷雾离子源(electrospray

ionization, ESI), 温度 500 °C, 正离子电压 5500 V, 负离子电压-4500 V, 离子源气体 I、II 和气动气(CUR)分别为 50、60 和 25 psi, 碰撞诱导电离参数为高。QQQ 扫描为 MRM 模式,将碰撞气体氮气设为中等。

1.2.7.4 杨梅汁活性成分选择及靶点预测 通过 PubChem 数据库获取成分的分子式及 SMILES 号。设定口服生物利用度(oral bioavailability, OB) \geq 30% 和类药性(drug-like, DL) \geq 0.18, 通过 TCMSP 和 Swiss ADME 寻找杨梅汁中酚酸类及黄酮类物质的相关靶点。通过 OMIM、DrugBank 和 Gene-Cards 三个数据库查找 II 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)相关靶点,并使用 Uni-prot 数据库将筛选的靶点蛋白转化为对应的基因,选出成分靶点和疾病靶点的交集靶点,使用 Venny2.1 制作 VENN 图,使用 Cytoscape3.9.1 构建网络关系图。

1.3 数据处理

本文中所有数据使用 Excel 进行数据统计,使用 SPSS 软件进行显著性分析,使用 Origin 2021 进行表格绘制,当 $P < 0.05$ 时,表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 杨梅汁体积分数的确定 从表 3 可以看出,杨梅汁体积分数从 60% 增加到 100%,杨梅软糖的硬度、内聚性、胶着性、咀嚼性分别上升了 30.50%、47.92%、95.42%、91.64%,回弹性下降 28.57%,推测可能是因为较低体积分数的杨梅汁中水分占比较高,一方面使凝胶网络中可有效增大凝胶硬度的糖浆浓度降低;另一方面过高的水分使得凝胶网络变得疏松^[24],因而软糖硬度随杨梅汁体积分数增大而增大。而 90% 的杨梅汁进行溶胀和定容感官得分较高,可能是杨梅汁能够赋予杨梅软糖特殊的风味,低体积分数的杨梅汁风味较淡,高体积分数的杨梅汁经过加热处理后酸味增加从而导致评分较低。因此选择 90% 体积分数的杨梅汁进行溶胀和定容。

2.1.2 不同明胶添加量 从表 4 中可以看出,随着明胶添加量从 6% 增加到 14%,杨梅软糖的硬度、弹性、内聚性、胶着性、咀嚼性和回弹性分别增加了 114.29%、5.32%、52.08%、228.59%、237.16%、35.29%,在影响明胶凝胶性质因素中,明胶浓度的影响最为重

表 3 不同体积分数杨梅汁的杨梅软糖质构分析和感官评价得分表

Table 3 Texture analysis and sensory evaluation scores of bayberry soft candy with different volume fractions of bayberry juice

杨梅汁体积分数(%)	硬度(g)	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼性	回弹性	感官评分(分)
60	318.02±6.58 ^c	0.99±0.01 ^a	0.48±0.03 ^c	151.20±9.78 ^c	150.50±10.26 ^c	0.49±0.03 ^a	73.60±2.50 ^d
70	343.76±23.19 ^b	0.98±0.01 ^a	0.52±0.02 ^{bc}	178.60±19.00 ^{bc}	171.69±20.84 ^{bc}	0.50±0.04 ^a	76.90±2.23 ^{cd}
80	367.06±7.67 ^b	0.99±0.01 ^a	0.56±0.04 ^b	205.73±12.83 ^b	202.41±15.30 ^b	0.44±0.04 ^{ab}	80.30±2.75 ^c
90	394.52±11.50 ^a	0.99±0.01 ^a	0.69±0.01 ^a	273.06±10.96 ^a	268.66±9.34 ^a	0.38±0.02 ^{bc}	90.00±3.06 ^a
100	415.01±13.66 ^a	0.98±0.02 ^a	0.71±0.03 ^a	295.48±21.65 ^a	288.42±25.54 ^a	0.35±0.03 ^c	84.90±4.51 ^b

注: 同列不同小写字母表示处理组间存在显著性差异, $P < 0.05$, 表4~表6同。

表4 不同明胶添加量对杨梅软糖质构分析和感官评价得分表

Table 4 Texture analysis and sensory evaluation scores of bayberry soft candy with different gelatin additions

明胶添加量(%)	硬度(g)	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼度	回弹性	感官评分(分)
6	265.52±17.30 ^e	0.94±0.01 ^b	0.48±0.06 ^c	125.68±14.86 ^d	121.90±13.32 ^d	0.34±0.04 ^c	71.70±2.06 ^c
8	312.57±15.22 ^d	0.95±0.02 ^b	0.49±0.03 ^c	152.09±17.29 ^d	144.70±12.47 ^d	0.35±0.04 ^c	80.00±3.89 ^{ab}
10	383.93±11.39 ^c	0.98±0.02 ^a	0.64±0.06 ^b	243.49±21.56 ^c	237.79±24.64 ^c	0.39±0.04 ^{bc}	84.00±3.94 ^a
12	450.53±27.22 ^b	0.98±0.01 ^a	0.73±0.04 ^a	329.00±21.01 ^b	326.94±21.16 ^b	0.44±0.01 ^{ab}	82.70±5.33 ^{ab}
14	568.98±6.86 ^a	0.99±0.01 ^a	0.73±0.03 ^a	412.97±12.76 ^a	411.00±13.47 ^a	0.46±0.02 ^a	78.50±6.69 ^b

要,随着明胶添加量的增加,明胶浓度随之增加,明胶所形成的三维立体凝胶网络就越紧密,破坏结构所需要的应力也就增大,硬度等随之增大^[25]。而10%的明胶添加量感官评分最高,推测可能是因为较低明胶添加量的软糖质地较软,咀嚼性较差,而较高的明胶添加量使硬度太大,两者都无法保持较好的质构特性,感官评分较低。因此选择10%作为最佳明胶添加量。

2.1.3 不同卡拉胶添加量 从表5中可以看出,卡拉胶添加量从0.5%增加到2.5%,杨梅软糖的硬度、胶着性、咀嚼性分别增加了168.61%、100.77%和93.19%,而弹性、内聚性、回弹性分别下降了4.04%、24.71%和32.96%,表明适宜的卡拉胶添加量能够极大地改善杨梅软糖的硬度、胶着性和咀嚼性等,但是添加过多的卡拉胶会导致其韧性不足,受到应力容易开裂,且随着卡拉胶添加量的增加,感官评分先上升后下降,推测可能是较低的卡拉胶添加量导致杨梅软糖偏软,成型效果不好,而较高的卡拉胶添加量则导致杨梅软糖过硬且容易受力开裂。两者达不到软糖标准,所以选取1.5%作为卡拉胶最佳添加量。

2.1.4 不同木糖醇添加量 从表6可以看出,木糖醇添加量从10%增加到50%,杨梅软糖硬度、内聚性、胶着性、咀嚼性和回弹性分别上升了40.34%、22.22%、73.11%、58.75%和11.11%,推测是木糖醇含量增多,糖浆浓度上升,更多的糖分子能够填充在凝胶网络中,导致硬度的上升^[24]。感官评分先上升后下降,

推测可能是过低的木糖醇添加量导致杨梅软糖过酸,而添加量较高时甜味过腻,均降低了感官评价得分,所以选择30%为最佳木糖醇添加量。

2.2 响应面试验结果

根据上述单因素实验结果,以不同体积分数杨梅汁(A)、不同明胶添加量(B)、不同卡拉胶添加量(C)和不同木糖醇添加量(D)为自变量,以感官评分为响应值,通过Box-Behnken试验进行预测,试验设计及结果如表7所示,其中1~24为析因实验,25~29为中心实验。

2.2.1 方差分析 回归模型方差分析如表8所示,根据Design Expert软件分析得出回归方程为: $Y = 87.86 - 0.1667A - 0.1917B - 0.6583C + 0.6667D - 0.15AB - 0.2AC - 0.25AD - 0.025BC - 0.2BD + 0.35CD - 1.17A^2 - 2.03B^2 - 1.78C^2 - 3.67D^2$,其中 $P < 0.0001$ 说明模型极为显著,而失拟值 $P = 0.1656 > 0.05$,为不显著,表明该模型具有较高的可信度, $R^2 = 0.9535$, $R^2_{adj} = 0.9069$ 表明拟合程度好,根据表中F值可以看出,各因素对感官评分的影响程度为:木糖醇添加量>卡拉胶添加量>明胶添加量>杨梅汁体积分数。

2.2.2 响应面分析 在图2a~图2b中可以看出,明胶添加量、卡拉胶的添加量均与不同体积分数杨梅汁呈现一定的交互作用,而从图2c~图2e可以看出,木糖醇添加量和不同体积分数杨梅汁、明胶添加量、卡拉胶添加量的交互十分明显,说明不同浓度木糖醇添加量对产品的感官评价得分影响十分显著。综上

表5 不同卡拉胶添加量对杨梅软糖质构分析和感官评价得分表

Table 5 Texture analysis and sensory evaluation scores of bayberry soft candy with different carrageenan additions

卡拉胶添加量(%)	硬度(g)	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼度	回弹性	感官评分(分)
0.5	240.84±2.39 ^e	0.99±0.01 ^a	0.85±0.01 ^a	206.15±4.94 ^d	203.86±3.90 ^d	0.52±0.01 ^a	76.70±3.27 ^b
1	305.20±17.25 ^d	0.97±0.01 ^b	0.71±0.02 ^b	217.26±8.94 ^{cd}	209.94±7.34 ^{cd}	0.46±0.01 ^b	81.30±4.47 ^a
1.5	396.24±18.07 ^c	0.97±0.01 ^b	0.62±0.03 ^c	247.69±25.15 ^c	240.61±31.13 ^c	0.34±0.03 ^c	84.00±3.94 ^a
2	486.02±16.19 ^b	0.94±0.03 ^c	0.61±0.04 ^c	295.19±12.83 ^b	277.37±8.69 ^b	0.32±0.03 ^c	76.40±3.13 ^b
2.5	646.92±15.83 ^a	0.95±0.01 ^c	0.64±0.05 ^c	413.89±23.16 ^a	393.83±24.66 ^a	0.35±0.05 ^c	71.40±2.07 ^c

表6 不同木糖醇添加量对杨梅软糖质构分析和感官评价得分表

Table 6 Texture analysis and sensory evaluation scores of bayberry soft sugar with different xylitol additions

木糖醇添加量(%)	硬度(g)	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼度	回弹性	感官评分(分)
10	305.64±19.18 ^d	0.99±0.02 ^a	0.63±0.02 ^c	191.79±5.30 ^d	198.98±6.06 ^d	0.36±0.04 ^a	68.30±2.98 ^c
20	325.50±25.78 ^{cd}	0.98±0.01 ^a	0.71±0.01 ^b	230.47±15.90 ^c	224.83±19.48 ^c	0.37±0.02 ^a	75.20±3.12 ^c
30	357.35±11.97 ^b	0.96±0.03 ^a	0.73±0.04 ^{ab}	262.69±9.37 ^b	251.37±9.22 ^b	0.39±0.01 ^a	84.70±4.69 ^a
40	408.39±8.21 ^a	0.96±0.02 ^a	0.77±0.06 ^{ab}	313.72±22.02 ^a	300.30±15.39 ^a	0.40±0.03 ^a	82.70±3.43 ^{ab}
50	428.92±21.66 ^a	0.95±0.01 ^a	0.77±0.01 ^a	332.00±11.55 ^a	315.89±14.15 ^a	0.40±0.02 ^a	80.30±3.40 ^b

表 7 响应面试验设计及感官评价结果

Table 7 Response surface test design and sensory evaluation results

实验号	A杨梅汁 体积分数	B明胶 添加量	C卡拉胶 添加量	D木糖醇 添加量	感官评分(分)
1	-1	-1	0	0	85.0
2	1	-1	0	0	84.0
3	-1	1	0	0	85.2
4	1	1	0	0	83.6
5	0	0	-1	-1	82.4
6	0	0	1	-1	80.2
7	0	0	-1	1	83.5
8	0	0	1	1	82.7
9	-1	1	1	-1	82.0
10	1	0	0	-1	83.5
11	-1	0	0	1	83.5
12	1	0	0	1	84.0
13	0	-1	-1	0	85.0
14	0	1	-1	0	85.1
15	0	-1	1	0	83.5
16	0	1	-1	0	83.5
17	-1	0	-1	0	85.5
18	1	0	-1	0	85.2
19	-1	0	1	0	85.0
20	1	0	1	0	83.9
21	0	-1	0	-1	81.9
22	0	1	0	-1	81.2
23	0	-1	0	1	83.5
24	0	1	0	1	82.0
25	0	0	0	0	88.2
26	0	0	0	0	87.7
27	0	0	0	0	88.0
28	0	0	0	0	88.2
29	0	0	0	0	87.2

所述,木糖醇添加量是导致感官评价的主导评审小组打分的重要因素,推测可能是本次评定小组人员对酸

表 8 响应面模型方程方差分析结果

Table 8 Response surface model equation and variance analysis results

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	117.13	14	8.37	20.49	<0.0001	极显著
A	0.3333	1	0.3333	0.8164	0.3815	不显著
B	0.4408	1	0.4408	1.08	0.3164	不显著
C	5.20	1	5.20	12.74	0.0031	显著
D	5.33	1	5.33	13.06	0.0028	显著
AB	0.0900	1	0.0900	0.2204	0.5459	不显著
AC	0.1600	1	0.1600	0.3919	0.5414	不显著
AD	0.2500	1	0.2500	0.6123	0.4470	不显著
BC	0.0025	1	0.0025	0.0061	0.9387	不显著
BD	0.1600	1	0.1600	0.3919	0.5414	不显著
CD	0.4900	1	0.4900	1.20	0.2918	不显著
A ²	8.84	1	8.84	21.65	0.0004	极显著
B ²	26.73	1	26.73	65.47	<0.0001	极显著
C ²	20.55	1	20.55	50.34	<0.0001	极显著
D ²	87.25	1	87.25	213.68	<0.0001	极显著
残差	5.72	14	0.4083			
失拟值	5.00	10	0.5004	2.81	0.1656	不显著
净误差	0.7120	4	0.1780			
总离差	122.84	28				

注: P<0.05表示指标显著, P<0.001表示指标极显著。

甜口味较为敏感,而木糖醇作为代糖为杨梅软糖提供甜味,在感官评定中起着重要作用。因此,为了符合广大消费者的口感需求,需要优化控制杨梅软糖的木糖醇添加量。

2.2.3 响应面验证实验 通过响应面分析得到杨梅软糖最佳的制作工艺为:在固定 100 mL 凝胶溶液前提下,使用 89.37% 体积分数的杨梅汁进行溶胀和定

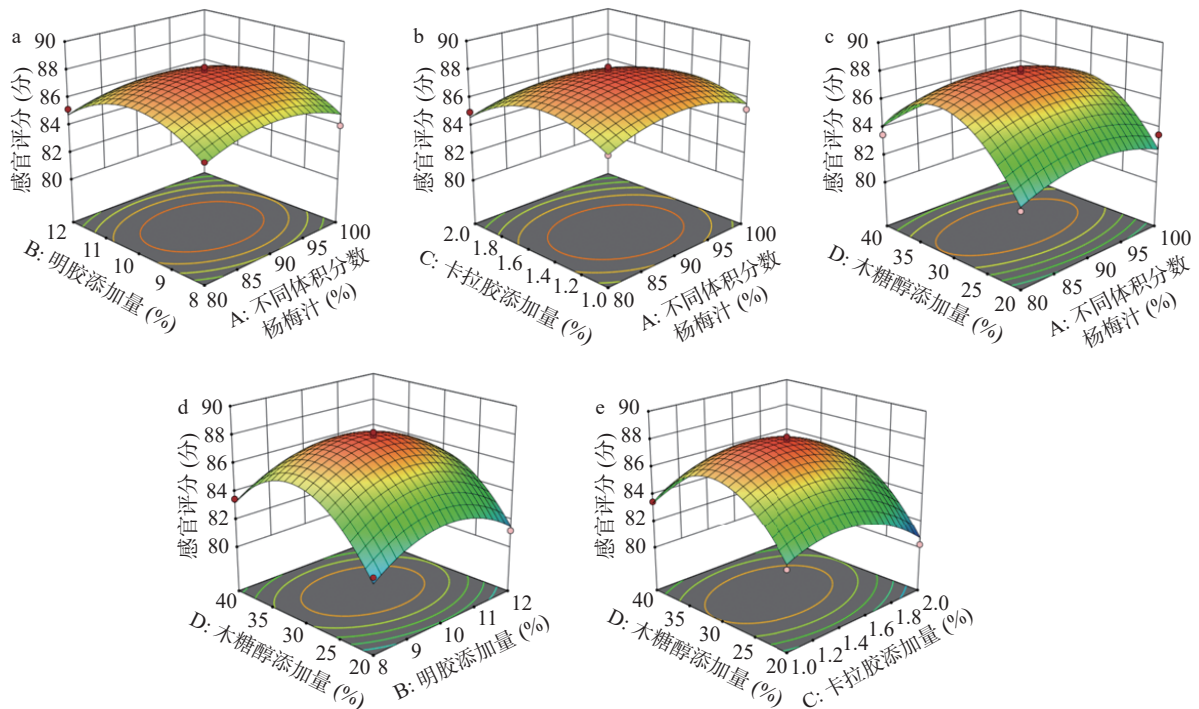


图 2 不同物质添加量对感官评分交互影响的响应曲面图

Fig.2 Response surface graph of interactive effects of different additive amounts on sensory scores

容, 9.90%的明胶添加量, 1.41%的卡拉胶添加量和30.86%的木糖醇添加量。在此工艺下制得的杨梅软糖理论感官评分为87.96分, 实际得分为87.30分, 接近理论值。按上述优化配方进行验证实验, 制作重复3次, 所制得的杨梅软糖口感细腻, 酸甜适中, 验证了杨梅软糖配方模型的可靠性。

2.3 杨梅软糖体外降血糖活性

α -葡萄糖苷酶是人体消化系统中的重要酶, 同时在临床实验中也是重要的控制血糖的靶点^[26], α -淀粉酶与 α -葡萄糖苷酶作用相似, α -淀粉酶活性也会影响餐后人体血糖的浓度, 两者都是消化吸收的重要酶类, 都可以水解食物中的糖类物质从而产生葡萄糖, 改变机体血糖水平^[27-28]。如图3所示, 杨梅软糖提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的抑制率均随着浓度的增加而上升, 且呈现一定的剂量-效应关系。4 mg/mL的杨梅软糖提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的抑制率分别达到了98.58%和86.89%, 显著高于($P < 0.05$)0.25 mg/mL杨梅软糖提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的抑制率, 4 mg/mL的阿卡波糖(阳性对照)对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的抑制率为86.39%和82.94%, 说明杨梅软糖提取物对 α -葡

萄糖苷酶和 α -淀粉酶活性具有良好的抑制效果, 具有较好的体外降血糖功效。本研究结果与常国立等^[29]的研究结果相似。

2.4 杨梅成分降血糖网络药理学研究

2.4.1 杨梅汁成分分析 如图4所示为多反应监测模式下的MRM代谢物检测到的杨梅汁中的成分物质, 不同颜色代表不同类别的代谢产物, 杨梅汁经过UPLC-MS/MS检测共得到18种化合物(见表9), 其中黄酮类化合物4种, 酚酸类化合物14种, 根据相对含量排序为: 木犀草素-4'-O-葡萄糖苷>覆盆子酮葡萄糖苷>(S)-2-苯基环氧乙烷>4-硝基苯酚>3-O-甲基没食子酸>2,5-二羟基苯甲酸>香豆酸甲酯>对香豆醇>呋喃(2,3-f)-1,3-苯并二唑>2,4,6-三羟基苯甲酸>3,5-二乙酰坦布林>6-O-乙酰熊果苷>5-羟基多巴胺>杜鹃黄素>香草醛葡萄糖苷>4-(3,4,5-三羟基苯甲基)苯甲酸>没食子酸>花旗松素-3-O-鼠李糖苷。

2.4.2 网络药理学分析 将在UPLC-MS/MS检测得到的18种化合物进一步在Swiss Target Prediction数据库中筛选, 共得到符合要求的靶点283个, 在OMIN、DrugBank和Gene-Cards数据库中以“type 2 diabetes mellitus”为关键词, 共计筛选出1603个疾

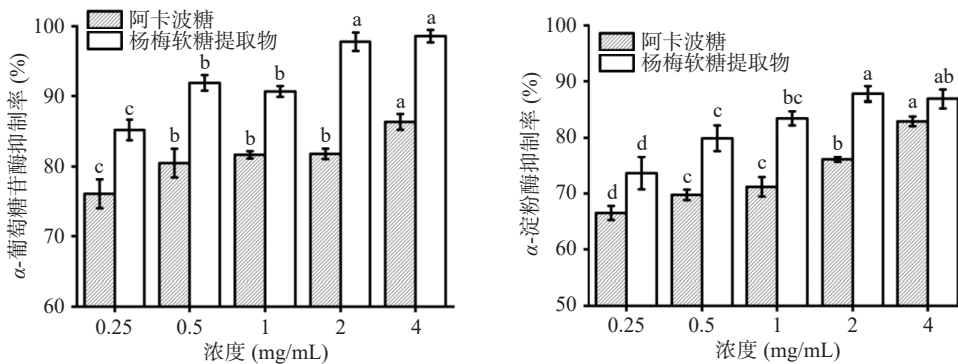
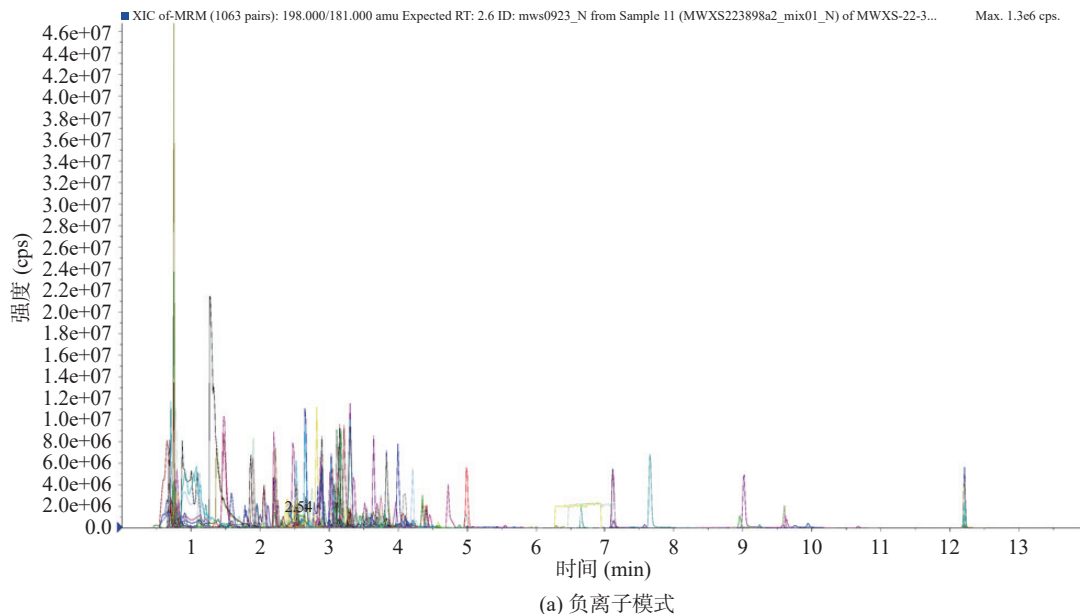


图3 不同浓度杨梅软糖提取物对 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶抑制率的影响

Fig.3 Effects of different concentration of bayberry soft candy extract on α -glucosidase and α -amylase inhibition rates

注: 不同小写字母表示处理组间存在显著性差异, $P < 0.05$ 。



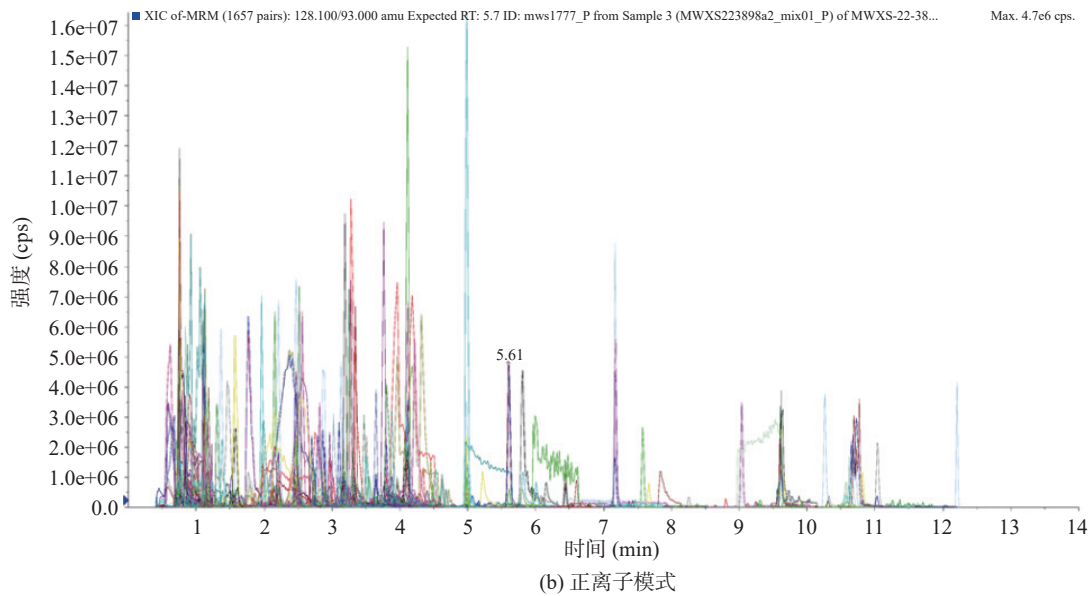


图 4 MRM 代谢物检测多峰

Fig.4 MRM metabolite detection multi-peak diagram

表 9 杨梅汁成分分析

Table 9 Analysis of components of bayberry juice

序号	分子式	化合物	物质	一级分类	Q1 (Da)	Q3 (Da)	分子量(Da)
YM1	C ₁₆ H ₂₂ O ₇	Raspberryketone glucoside	覆盆子酮葡萄糖苷	酚酸类	325.13	145.07	326.14
YM2	C ₈ H ₈ O	(S)-2-Phenylloxirane	(S)-2-苯基环氧乙烷	酚酸类	121.06	77.04	120.06
YM3	C ₆ H ₅ NO ₃	4-Nitrophenol	4-硝基苯酚	酚酸类	140.03	98.96	139.03
YM4	C ₈ H ₈ O ₅	3-O-Methylgallic Acid	3-O-甲基没食子酸	酚酸类	183.03	124.02	184.04
YM5	C ₇ H ₆ O ₃	2,5-Dihydroxybenzaldehyde	2,5-二羟基苯甲醛	酚酸类	137.02	93.03	138.03
YM6	C ₇ H ₆ O ₄	Methyl cumulate	香豆酸甲酯	酚酸类	153.02	109.03	154.03
YM7	C ₉ H ₁₀ O ₂	p-Coumaryl alcohol	对香豆醇	酚酸类	149.06	131.05	150.07
YM8	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	Furo(2,3-f)-1,3-benzoxdioxole	呋喃(2,3-f)-1,3-苯并二唑	酚酸类	271.06	149.02	270.05
YM9	C ₇ H ₆ O ₅	2,4,6-Trihydroxybenzoic acid	2,4,6-三羟基苯甲酸	酚酸类	171.03	81.03	170.02
YM10	C ₁₄ H ₁₈ O ₈	6-O-Acetylartbutin	6-O-乙酰熊果苷	酚酸类	315.12	255.10	314.10
YM11	C ₈ H ₁₁ NO ₃	5-Hydroxydopamine	5-羟基多巴胺	酚酸类	170.08	124.07	169.07
YM12	C ₁₄ H ₁₈ O ₈	Glucovanillin	香草醛葡萄糖苷	酚酸类	315.11	153.16	314.10
YM13	C ₁₄ H ₁₀ O ₇	4-(3,4,5-Trihydroxybenzoxy)benzoic acid	4-(3,4,5-三羟基苯甲氧基)苯甲酸	酚酸类	289.04	137.02	290.04
YM14	C ₇ H ₆ O ₅	Gallic acid	没食子酸	酚酸类	169.01	125.02	170.02
YM15	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	Luteolin-4'-O-glucoside	木犀草素-4'-O-葡萄糖苷	黄酮	449.11	287.05	448.10
YM16	C ₂₂ H ₂₀ O ₉	3,5-Diacetylambulin	3,5-二乙酰坦布林	黄酮	429.12	385.09	428.11
YM17	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	Azaleatin (5-O-Methylquercetin)	杜鹃黄素	黄酮	317.07	302.04	316.06
YM18	C ₂₁ H ₂₂ O ₁₁	Taxifolin-3-O-rhamnoside (Astilbin)	花旗松素-3-O-鼠李糖苷	黄酮	449.11	303.08	450.12

注: 其中Q1为母离子分子量, Q3为子离子分子量, 单位为Da。

病靶点, 将二者进行比对后, 共获得 114 个相同靶点 (图 5a)。如图 5b 所示, 通过 Cytoscape 构建“成分-靶点-疾病”网络图, 依据 Degree 值 17 为平均节点, 共筛选出 5 个关键成分, 根据结点数大小排序为: 3,5-二乙酰坦布林(41)>杜鹃黄素(28)>覆盆子酮葡萄糖苷(21)>6-O-乙酰熊果苷(19)>5-羟基多巴胺(19)。使用 DAVID 数据库对杨梅汁中潜在的基因进行了通路富集分析, 结果如图 5c 所示, 人类癌症通路(Pathways in cancer)位于首位, 此外富集的通路还有脂质与动脉粥样硬化 (Lipid and atherosclerosis) 通路、AGE-RAGE 信号通路在糖尿病并发症中的作用(AGE-RAGE signaling pathway in diabetic

complications) 通路、肿瘤坏死因子 (TNF signaling pathway) 通路、低氧诱导因子 1 (HIF-1 signaling pathway) 通路, 可见杨梅汁活性成分通过多通路协同发挥抑制 II 型糖尿病的作用, 与孔红铭等^[30] 的研究结果相似。随后使用 Metascape 数据库进行筛选后发现在癌症通路中有“Insulin signaling pathway”、“Insulin resistance”和“Type II diabetes mellitus”三条有关降血糖子通路, 将三个子通路的靶点与杨梅活性成分靶点进行交叠分析(图 5d)后发现 3,5-二乙酰坦布林(YM16)、杜鹃黄素(YM17)、覆盆子酮葡萄糖苷(YM1)等中都含有三条子通路相关靶点基因。且有相关研究表明, 位居第三位的 PI3K-Akt 这条信

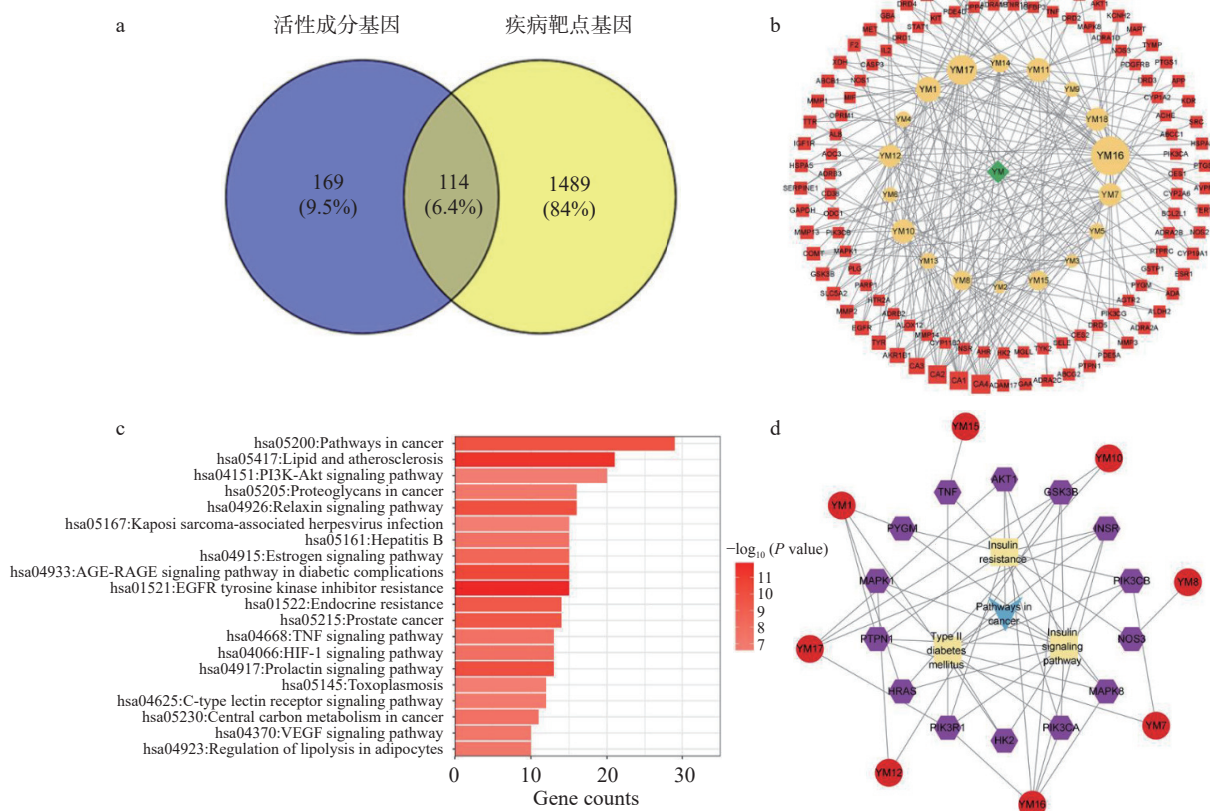


图5 杨梅汁活性成份网络药理学分析

Fig.5 Network pharmacological analysis of bioactive components in bayberry juice

注: a. 活性成分-疾病靶点 Venn 图; b. 成分-靶点-疾病网络图; c. KEGG 通路富集分析图; d. 人类癌症通路-降血糖相关通路-杨梅活性成分网络图。

号通路是胰岛素抵抗 (Insulin resistance) 信号通路的下游通路, 并且预测的 PI3K-Akt 信号通路上富集的靶点与糖尿病的基因靶点密切相关^[31], 此外, PI3K-Akt 还能加快细胞内能量的代谢, 加速体内葡萄糖等的消耗。

3 结论

本课题研究了杨梅软糖的最佳工艺配方为: 89.37% 体积分数的杨梅汁进行溶胀和定容, 9.90% 的明胶添加量, 1.41% 的卡拉胶添加量和 30.86% 木糖醇添加量; 此工艺下的杨梅软糖预测感官评分为 87.96 分, 实际得分为 87.30 分, 接近理论值。杨梅软糖提取物体外降血糖实验结果表明 4 mg/mL 的杨梅软糖提取物对 α -葡萄糖苷酶抑制率和 α -淀粉酶抑制率分别为 98.58% 和 86.89%, 具有良好降血糖作用。此外, 使用 UPLC-MS/MS 共得到 18 个杨梅汁中的化合物, 经过数据库筛选后推测 3,5-二乙酰坦布林 (YM16)、杜鹃黄素 (YM17)、覆盆子酮葡萄糖苷 (YM1) 等为杨梅汁中关键降血糖成分, 人类癌症通路、PI3K-Akt 通路为重要作用通路, 在动物或者人体中的具体降血糖作用还有待进一步深入研究。最佳工艺条件下制备的软糖质构特性好, 口感酸甜, 同时本研究对杨梅软糖对血糖的调节进行了初步探究, 不仅为杨梅深加工提供了一些方法, 也为杨梅功能性软糖的研发提供一定的理论基础。

参考文献

[1] 蔡继业, 房祥军, 韩延超, 等. 气调贮藏对东魁杨梅品质的影响[J]. *浙江农业学报*, 2022, 34(2): 352-359. [CAI J Y, FANG X J, HAN Y C, et al. Effect controlled atmosphere storage on postharvest preservation of Dongkui bayberry[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2022, 34(2): 352-359.]

[2] BAO T, LI Y, XIE J, et al. Systematic evaluation of bioactive components and antioxidant capacity of some new and common bayberry cultivars using an *in vitro* gastrointestinal digestion method[J]. *Food Research International*, 2018, 103: 326-334.

[3] 周强, 韩延超, 陈杭君, 等. 电商物流贮藏过程杨梅品质的变化及货架寿命预测[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(11): 112-119. [ZHOU Q, HAN Y C, CHEN H J, et al. Quality change and shelf-life prediction of *Myrica* during e-commerce logistics storage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(11): 112-119.]

[4] 柳萌, 郝海燕, 房祥军, 等. 不同成熟度杨梅酚酸的超声-微波协同优化提取及其抗氧化性对比[J]. *食品科学*, 2021, 42(3): 112-120. [LIU M, GAO H Y, FANG X J, et al. Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of phenolic acids from Chinese bayberries (*Morella rubra* Sieb. et Zucc) of different maturities and a comparative study of their antioxidant activities[J]. *Food Science*, 2021, 42(3): 112-120.]

[5] 占刘欢. 杨梅果实降血糖活性物质稳定性及制备工艺放大研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021. [ZHAN L H. Stability and scale-up of separation on anti-diabetic compounds from Chinese bayberry (*Morella rubra* Sieb. et Zucc.)[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.]

[6] ZHANG Y, CHEN S, WEI C, et al. Flavonoids from Chinese

- bayberry leaves induced apoptosis and G1 cell cycle arrest via Erk pathway in ovarian cancer cells[J]. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2018, 147: 218–226.
- [7] ZHANG Q, HUANG Z, WANG Y, et al. Chinese bayberry (*Myrica rubra*) phenolics mitigated protein glycooxidation and formation of advanced glycation end-products: A mechanistic investigation[J]. *Food Chemistry*, 2021, 361: 130102.
- [8] 高雪, 陈荣紫. 水杨酸(SA)处理结合低温保鲜杨梅的研究[J]. *北方园艺*, 2018(6): 102–105. [GAO X, CHEN R Z. Preservation of *Myrica rubra* fruit by salicylic acid treatment and low temperature storage[J]. *Northern Horticulture*, 2018(6): 102–105.]
- [9] LI J, CHENG H, LIAO X, et al. Inactivation of *Bacillus subtilis* and quality assurance in Chinese bayberry (*Myrica rubra*) juice with ultrasound and mild heat[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 108: 113–119.
- [10] GE S, WANG L, MA J, et al. Biological analysis on extractives of bayberry fresh flesh by GC-MS[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2018, 25(4): 816–818.
- [11] SHI L Y, CAO S F, SHAO J R, et al. Chinese bayberry fruit treated with blue light after harvest exhibit enhanced sugar production and expression of cryptochrome genes[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 111: 197–204.
- [12] 刘永吉, 冯小燕, 郭红辉. 悬浮型杨梅果粒饮料关键工艺优化研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(5): 121–126. [LIU Y J, FENG X Y, GUO H H. Optimization of key process for red bayberry pulp particle drink production[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(5): 121–126.]
- [13] 张宁. 杨梅果粒色泽和质构品质保持技术研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2016. [ZHANG N. Research the preservation technology on the color and texture of the quantity of bayberry granule [D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2016.]
- [14] 叶双全, 秦国正, 游旋. 杨梅果干加工工艺[J]. *农村新技术*, 2020(4): 58. [YE S Q, QIN G Z, YOU X. Processing technology of dried bayberry fruit[J]. *New Technology in the Countryside*, 2020(4): 58.]
- [15] 潘旭婕, 刘瑞玲, 邓尚贵, 等. 乳酸菌发酵杨梅果酱工艺优化及其风味成分分析[J]. *浙江农业学报*, 2022, 34(7): 1502–1512. [PAN X J, LIU R L, DENG S G, et al. Optimization of process and volatile flavor components analysis of bayberry pulp fermented by lactic acid bacteria[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2022, 34(7): 1502–1512.]
- [16] 唐森, 张夺, 柳富杰, 等. 百香果软糖制备工艺的优化[J]. *食品工业*, 2022, 43(3): 64–68. [TANG S, ZHANG D, LIU F J, et al. Optimized preparation of passion fruit soft candy[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(3): 64–68.]
- [17] 钟秋丽, 陈国康, 陈玉红, 等. 橘红软糖的制备及其工艺优化[J]. *农产品加工*, 2022(17): 25–29. [ZHONG Q L, CHEN G K, CHEN Y H, et al. Preparation and process optimization of *Exocarpium citri Grandis* soft candy[J]. *Farm Products Processing*, 2022(17): 25–29.]
- [18] KUMAR V, KUSHWAHA R, GOYAL A, et al. Process optimization for the preparation of antioxidant rich ginger candy using beetroot pomace extract[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245(15): 168–177.
- [19] 杨娟, 戴家宁, 梁楚彤, 等. 杜仲凝胶软糖的制备工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(3): 147–152. [YANG J, DAI J N, LIANG C T, et al. Optimization of preparation technology of *Eucommia ulmoides* gel soft sweets[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(3): 147–152.]
- [20] 唐莹, 邹波, 余元善, 等. 佛手益生菌软糖的制备及其体外消化耐受性分析[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(7): 256–263, 300. [TANG Y, ZOU B, YU Y S, et al. Preparation of *Citrus medica* 'fingred' probiotic gummies and analysis of its *in vitro* digestive tolerance[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(7): 256–263, 300.]
- [21] 许粟, 姚绍炉, 刘宇泽, 等. 响应面优化淀粉型刺梨凝胶软糖配方工艺[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(17): 240–247. [XU S, YAO S L, LIU Y Z, et al. Optimization of preparation processing of starchy roxburgh rose gel soft sweet by responsesurface analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(17): 240–247.]
- [22] 杨玉洁, 刘焯, 王淑惠, 等. 基于酶活力和细胞模型分析广佛手多糖降血糖活性及作用机制[J]. *食品科学*, 2022, 43(23): 149–157. [YANG Y J, LIU H, WANG S H, et al. Hypoglycemic effect and mechanism of polysaccharides from finger citron from guangdong province based on enzyme activities and cell model[J]. *Food science*, 2022, 43(23): 149–157.]
- [23] ADEFEGHA S A, OBOH G, OMOJOKUN O S, et al. *In vitro* antioxidant activities of African birch (*Anogeissus leiocarpus*) leaf and its effect on the α -amylase and α -glucosidase inhibitory properties of acarbose[J]. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 2016, 11(3): 236–242.
- [24] 马卓. 凝胶软糖质构影响因素及品质分析[D]. 延吉: 延边大学, 2017. [MA Z. The influence factors and quality analysis of jelly soft sugar[D]. Yanji: Yanbian University, 2017.]
- [25] 张献伟, 周梁, 蒋爱民, 等. 食品胶特性及其在食品中应用[J]. *食品与机械*, 2011, 27(1): 166–169. [ZHANG X W, ZHOU L, JIANG A M, et al. Properties of food gum and its application on food[J]. *Food & Machinery*, 2011, 27(1): 166–169.]
- [26] TUNDIS R, LOIZZO M R, MENICHINI F. Natural products as α -amylase and α -glucosidase inhibitors and their hypoglycaemic potential in the treatment of diabetes: An update[J]. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 2010, 10(4): 315–331.
- [27] YANG Y, LEI Z, ZHAO M, et al. Microwave-assisted extraction of an acidic polysaccharide from *Ribes nigrum* L.: Structural characteristics and biological activities[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 147: 112249.
- [28] JIANG Z, YU G, LIANG Y, et al. Inhibitory effects of a sulfated polysaccharide isolated from edible red alga *Bangia fusco-purpurea* on α -amylase and α -glucosidase[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2019, 83(11): 2065–2074.
- [29] 常国立, 房祥军, 陈明, 等. 杨梅核多酚提取优化及体外抗氧化和降血糖活性研究[J]. *食品科技*, 2022, 47(1): 212–218. [CHANG G L, FANG X J, CHEN M, et al. Extraction optimization and *in vitro* antioxidant and hypoglycemic activity of polyphenols from *Myrica rubra* kernel[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(1): 212–218.]
- [30] 孔红铭, 叶嘉昕, 赵雅婷, 等. 基于网络药理学和分子对接探讨枇杷叶防治Ⅱ型糖尿病的作用机制[J]. *核农学报*, 2022, 36(12): 2436–2446. [KONG H M, YE J X, ZHAO Y T, et al. Mechanism of loquat leaf on type 2 diabetes based on network pharmacology and molecular docking[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2022, 36(12): 2436–2446.]
- [31] 卢明星, 赵茂, 王道平, 等. 基于网络药理学-分子对接探讨黄芪生脉散对糖尿病的作用机制[J]. *世界科学技术-中医药现代化*, 2022, 24(9): 3449–3464. [LU M X, ZHAO M, WANG D P, et al. Exploration on mechanism of Huangqi Shengmai powder on diabetes based on network pharmacology and molecular docking[J]. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology*, 2022, 24(9): 3449–3464.]