

红花籽油/火龙果浆乳液的低温等离子体 杀菌及贮藏稳定性

Low temperature plasma sterilization and storage stability of safflower seed oil/dragon fruits juice emulsion

陈 涛 王华民 靳学远

CHEN Tao WANG Hua-min JIN Xue-yuan

(海南科技职业大学临床医学学院, 海南 海口 571126)

(School of Clinical Medicine, Hainan Vocational University of Science and
Technology, Haikou, Hainan 571126, China)

摘要:目的:促进红花籽油的深度开发。方法:以杀菌率为指标,利用响应面法优化红花籽油/火龙果浆乳液的低温等离子体(LTP)杀菌工艺条件,并比较热杀菌(80℃,20 min)和LTP杀菌的乳液在贮藏期间的理化指标(维生素C和花青素含量、粒径和 ζ 电位、过氧化值和酸价)的变化。结果:优化的LTP杀菌工艺条件为极距5.1 cm、处理电压6.4 kV、处理时间151.0 s,该条件下杀菌率达98.2%。贮藏20 d后,LTP处理的红花籽油/火龙果浆乳液的维生素C和花青素成分的保留率高于热处理样品,粒径小于热处理样品, ζ 电位大于热处理样品。结论:LTP处理不仅能够有效杀灭红花籽油/火龙果浆乳液中的微生物,且较热处理更有利于红花籽油/火龙果浆乳液品质的保持,是一种红花籽油/火龙果浆乳液杀菌的新方法。

关键词:低温等离子体;红花籽油;火龙果;乳液;杀菌;品质

Abstract: Objective: This study aimed to promote the deep development of safflower seed oil. Methods: Taking sterilization rate as an index, safflower seed oil/dragon fruits juice emulsion was treated by different processing distance, voltage and time. Response surface methodology was used to establish the conditions for low temperature plasma (LTP) sterilization of emulsion. The changes of physicochemical indexes (vitamin C and anthocyanin content, particle size and ζ potential, peroxide value and acid value) during storage were compared between thermal

sterilization (at 80 °C for 20 min) and LTP sterilization. Results: The optimized process conditions of LTP sterilization were treatment distance at 5.1 cm and voltage of 6.4 kV for 151.0 s. Under the control of these conditions, the sterilization rate reached 98.2%. After storage for 20 days, the retention rate of vitamin C and anthocyanin in LTP-treated emulsion was higher than that in heat-treated emulsion, and the particle size was smaller than that in heat-treated emulsion; The ζ potential was higher than that in heat-treated emulsion, and the difference was significant ($P < 0.05$). However, the difference of peroxide value and acid value was not significant. Conclusion: LTP treatment can not only effectively kill the microorganisms in the emulsion, but also maintain the quality of emulsion better than heat treatment, and the invention relates to a new method for sterilizing the safflower seed oil/dragon fruits juice emulsion.

Keywords: low temperature plasma; safflower seed oil; dragon fruits; emulsion; sterilization; quality properties

红花籽油是菊科红花属一年生草本植物红花(*Carthamus tinctorius* L.)籽中提取出来的保健油,亚油酸含量高达80%以上,具有抗氧化、降血脂、预防心脑血管疾病等功能^[1-3],但其直接食用的风味不佳。火龙果(*Hylocereus undulatus* Britt)是原产中美洲地区的热带水果^[4-5],风味独特,含有丰富的维生素^[6-7]、矿物质^[8-9]等营养和花青素^[10-11]、多糖^[12-13]等功能成分。因此,将富含亚油酸的红花籽油和火龙果浆进行重组,开发红花籽油/火龙果浆乳液,既可提供丰富的不饱和脂肪酸,又可赋予产品良好的风味。

红花籽油/火龙果浆乳液加工过程中,杀菌是其重要的工序。目前,液态食品杀菌方法主要为热杀菌方

基金项目:海南省重点研发计划(编号:ZDYF2021XDNY143)

作者简介:陈涛,男,海南科技职业大学讲师。

通信作者:靳学远(1956—),男,海南科技职业大学教授,硕士。

E-mail:jxy28888@126.com

收稿日期:2022-12-05 改回日期:2023-04-24

法^[14-16],在杀菌的同时会对其理化指标产生一定的影响。低温等离子体(low temperature plasma, LTP)作为一种非热的杀菌方法,方法简单且对液态食品的理化指标破坏小^[17-18]。Hosseini 等^[19]研究发现,在电场强度 50 kV/cm、样品深度 0.5 cm、处理时间 9 min 下,大肠杆菌可减少 6 lg(CFU/mL)。Danijela 等^[20]采用 LTP 对石榴汁进行处理,发现等离子体对石榴汁中的花青素破坏较少。高振红等^[21]研究发现,LTP 处理后猕猴桃汁的色泽、总酸、维生素 C 和总酚含量无显著性变化,基本保持了鲜榨汁原有的品质。王小媛等^[22]以 LTP 处理杜仲籽油/苹果汁乳化饮料,发现相对于热杀菌,LTP 杀菌时间短、效率高,产品乳化稳定性好。但采用 LTP 对红花籽油/火龙果浆乳液进行杀菌,并分析杀菌后产品的贮藏稳定性的研究尚未见报道。

研究拟利用 LTP 对红花籽油/火龙果浆乳液进行杀菌处理,并比较 LTP 杀菌和热杀菌的红花籽油/火龙果浆乳液的贮藏稳定性,以期对红花籽油/火龙果浆乳液的开发提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

红花籽油:食品用,新疆红花缘科技有限公司;

红心火龙果(*Hylocereus undulatus* Britt):品种为大龙,海口市海垦公司;

琼脂培养基:生物试剂,海口海发试剂有限公司;

Folin-Ciocalteu 试剂:分析纯,海口海发试剂有限公司;

抗坏血酸、香草醛、盐酸:分析纯,郑州柯莱试剂公司。

1.2 仪器与设备

高速分散机:XHF-D 型,新芝生物科技有限公司;

紫外—可见分光光度计:T6 型,北京普析能用仪器有限公司;

电动搅拌器:JJ-1 型,国华电器有限公司;

高压均质纳米机:FPG12800 型,安盛联合科技有限公司;

纳米粒度表面电位分析仪:Zetasizer NANO-ZS90 型,英国 Malvern 公司;

等离子表面处理机:TS-PL200 型,深圳市东信高科技自动化设备公司;

高速冷冻离心机:HC-3018R 型,安徽中科中佳科学仪器公司。

1.3 试验方法

1.3.1 红花籽油/火龙果浆乳液的制备 将红心火龙果去皮后切成边长为 2~3 cm 的方块,打浆,用二层纱布过滤,向汁液中加入体积分数 8% 的红花籽油、质量百分比 2% 的吐温 80,采用高速分散机分散,120 MPa 下高压均质 2 次,得到红花籽油/火龙果浆乳液。

1.3.2 红花籽油/火龙果浆乳液的 LTP 处理 将 20 mL 红花籽油/火龙果浆乳液放置于 50 mL 无菌烧杯中,500 r/min 磁力搅拌状态下,将等离子表面处理机的喷嘴置于乳液液面上,采用低压空气(0.18 MPa)为载气,在不同 LTP 离子体极距、电压、处理时间下进行处理。同时,以 80 ℃ 处理 20 min 的热处理红花籽油/火龙果浆乳液作为对照。

1.3.3 单因素试验

(1) 处理极距:固定处理电压 6 kV,处理时间 150 s,考察处理极距(4,5,6,7,8 cm)对红花籽油/火龙果浆乳液杀菌率的影响。

(2) 处理电压:固定处理极距 5 cm,处理时间 150 s,考察处理电压(4,5,6,7,8 kV)对红花籽油/火龙果浆乳液杀菌率的影响。

(3) 处理时间:固定处理极距 5 cm,处理电压 6 kV 考察处理时间(30,60,90,120,150,180 s)对红花籽油/火龙果浆乳液杀菌率的影响。

1.3.4 响应面试验 以杀菌率为指标,以 LTP 处理极距、处理电压和处理时间为因素,采用 Box-Behnken 中心组合设计,优化红花籽油/火龙果浆乳液的 LTP 处理工艺。

1.3.5 杀菌率测定 按式(1)计算杀菌率。

$$S = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S——杀菌率,%;

N_0 ——杀菌前的菌落总数,CFU/mL;

N——杀菌后的菌落总数,CFU/mL。

1.3.6 菌落总数的测定 按 GB 4789.2—2016 执行。

1.3.7 理化指标的测定

(1) 维生素 C 含量:按 GB 5009.86—2016 执行。

(2) 花青素含量:采用香草醛—盐酸法^[23]。

(3) 粒径和 ζ -电位:采用激光粒度仪测定。

(4) 过氧化值:按 GB 5009.227—2016 执行。

(5) 酸价:按 GB 5009.229—2016 执行。

1.3.8 红花籽油/火龙果浆乳液贮藏稳定性测定 将红花籽油/火龙果浆乳液于 25 ℃ 贮藏 20 d,每隔 5 d 测定样品的相关指标。

1.3.9 数据处理 所有处理均平行 3 次,数据以平均值±标准偏差表示,采用 *t* 检验进行统计学检验($P < 0.05$),采用 Excel 2007 软件绘图,Design-Expert 8.0 软件进行响应面试验。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验

由图 1 可知,当极距 < 5 cm 时,极距对乳液 LTP 杀菌率的影响不显著;当极距 ≥ 5 cm 时,极距对乳液 LTP

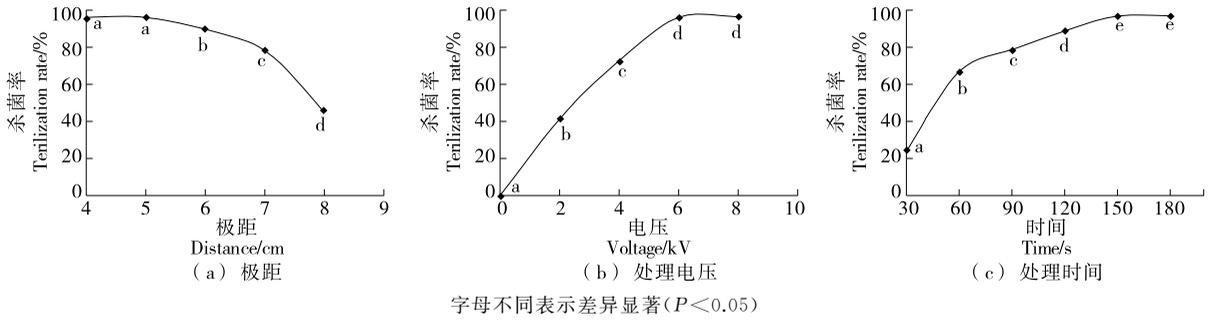


图 1 LTP 处理参数对乳液杀菌率的影响

Figure 1 Effects of LTP treatment parameters on sterilization rate of emulsion

杀菌率的影响差异显著 ($P < 0.05$), 且杀菌率与极距呈负相关。当处理电压 < 6 kV 时, LTP 对乳液的杀菌率与电压呈正相关, 且差异显著 ($P < 0.05$); 当处理电压 ≥ 6 kV 时, 处理电压对乳液 LTP 杀菌率的影响不显著。当杀菌时间 < 150 s 时, 乳液杀菌率与杀菌时间呈正相关, 且差异显著 ($P < 0.05$); 当杀菌时间 ≥ 150 s 时, 杀菌时间对乳液杀菌率的影响不显著。

LTP 杀菌是利用外部电场施加的能量将气体分子电离为电子、离子、自由基、激发态原子等, 这些物质和微生物细胞的细胞膜、DNA 等相互作用产生杀菌作用^[24-25]。因此, 处理电压和处理时间的增加, 有利于产生高反应活性的物质, 但这些物质需要作用到达乳液内部才可以发挥作用, 降低极距有利于高活性物质到达液体内部, 但当处理电压和处理时间增加到一定程度时, 电离作用基本完成, 继续增加处理电压和处理时间, 对杀菌率影响不显著; 当极距降低到一定程度, 高活性物质即可到达乳液内部, 继续降低极距, 杀菌作用效果不再显著变化。

2.2 响应面实验

LTP 对红花籽油/火龙果浆乳液杀菌的响应面实验因素水平见表 1, 试验设计及结果见表 2。

通过 Design-Expet 8.0 软件对试验数据进行多元回归拟合, 得到 LTP 对红花籽油/火龙果浆乳液杀菌的二次多项回归模型方程为:

$$Y = 94.06 + 0.70A + 6.48B + 1.45C + 0.075AB + 2.92AC - 0.78BC - 5.19A^2 - 3.84B^2 - 5.94C^2 \quad (2)$$

由表 3 可知, 模型 $P < 0.000 1$, 说明此模型极显著, 失拟项 P 值为 $0.105 2 > 0.05$, 表明失拟的可能性 $< 10.52\%$,

表 1 因素与水平

Table 1 Factors and levels

水平	A 极距/cm	B 处理电压/kV	C 处理时间/s
-1	4.5	5.5	140
0	5.0	6.0	150
1	5.5	6.5	160

表 2 试验设计及结果

Table 2 Experimental design and results

试验号	A	B	C	杀菌率/%
1	0	0	0	93.8
2	1	-1	0	78.7
3	1	0	1	88.6
4	1	1	0	91.3
5	-1	0	1	79.9
6	0	0	0	92.9
7	0	0	0	93.1
8	-1	-1	0	78.9
9	0	1	-1	90.2
10	-1	0	-1	83.1
11	-1	1	0	91.2
12	0	-1	-1	75.2
13	0	0	0	94.2
14	0	1	1	91.8
15	0	0	0	94.6
16	0	-1	1	79.9
17	1	0	-1	80.1

因此, 可用该模型预测红花籽油/火龙果浆乳液的杀菌率。

由图 2 可知, 各因素交互作用的曲面呈峰形且存在中心点, 通过对模型进行回归分析, 得到红花籽油/火龙果浆乳液杀菌的最佳工艺条件为极距 5.05 cm, 处理电压 6.42 kV、处理时间 150.92 s, 此时杀菌率预测值为 98.86%。根据实际应用情况, 将其修正为极距 5.1 cm、处理电压 6.4 kV、处理时间 151.0 s, 该条件下进行 3 次验证实验, 得到实际杀菌率为 98.20%, 与理论预测值基本吻合。因此, 优化的红花籽油/火龙果浆乳液杀菌工艺可靠。

2.3 红花籽油/火龙果浆乳液的贮藏稳定性

2.3.1 贮藏时间对乳液中维生素 C 和花青素含量的影响

由图 3 可知, 杀菌结束后, LTP 处理的乳液中维生素 C 含量和花青素含量显著高于热处理的 ($P < 0.05$);

表 3 回归方程系数显著性检验[†]
Table 3 Results of analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	753.74	9	83.75	91.29	<0.000 1**
A	3.92	1	3.92	4.27	0.077 6
B	335.41	1	335.41	365.59	<0.000 1**
C	16.82	1	16.82	18.33	0.003 6*
AB	0.02	1	0.02	0.03	0.880 0
AC	34.22	1	34.22	37.30	0.000 5**
BC	2.40	1	2.40	2.62	0.149 6
A ²	113.52	1	113.52	123.74	<0.000 1**
B ²	62.17	1	62.17	67.76	<0.000 1**
C ²	148.69	1	148.69	162.07	<0.000 1**
残差	6.42	1	0.92		
失拟项	4.83	3	1.61	4.05	0.105 2
纯误差	1.59	4	0.40		
总误差	760.16	16			

[†] * 表示显著 ($P < 0.05$); ** 表示极显著 ($P < 0.01$); $R^2 = 0.895 1$; $R_{adj}^2 = 0.980 7$ 。

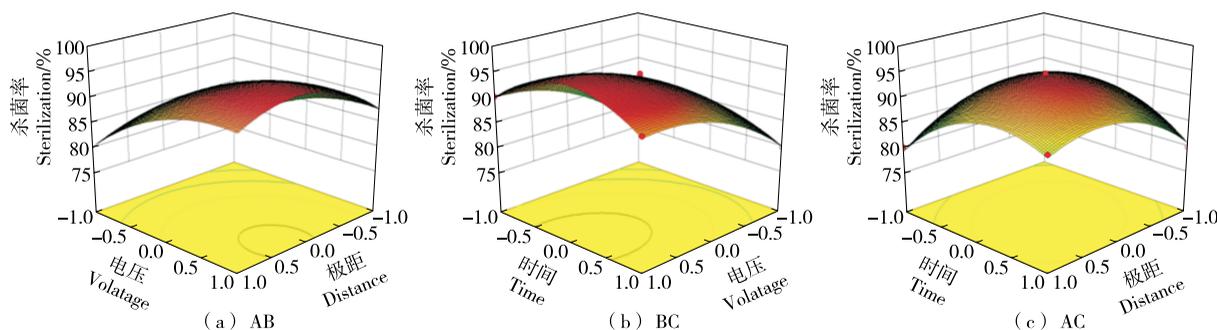
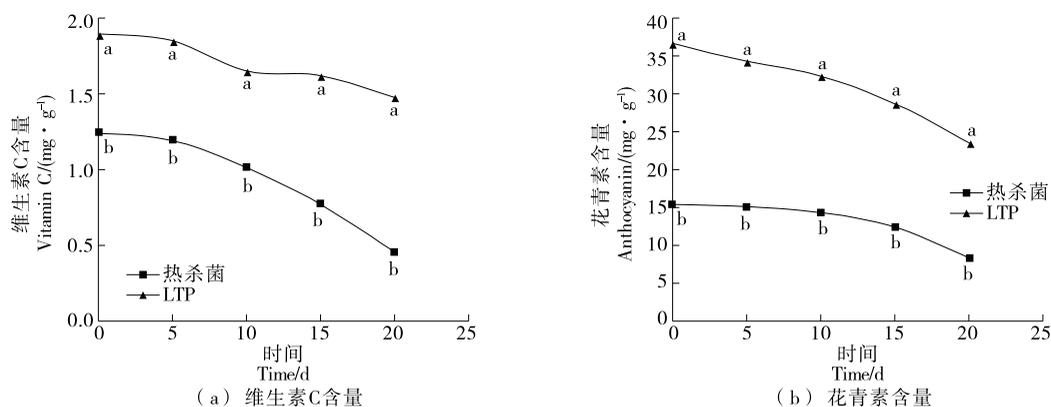


图 2 各因素交互作用对杀菌率的影响

Figure 2 Effects of interaction of various factors on sterilization rate



同一贮藏时间字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

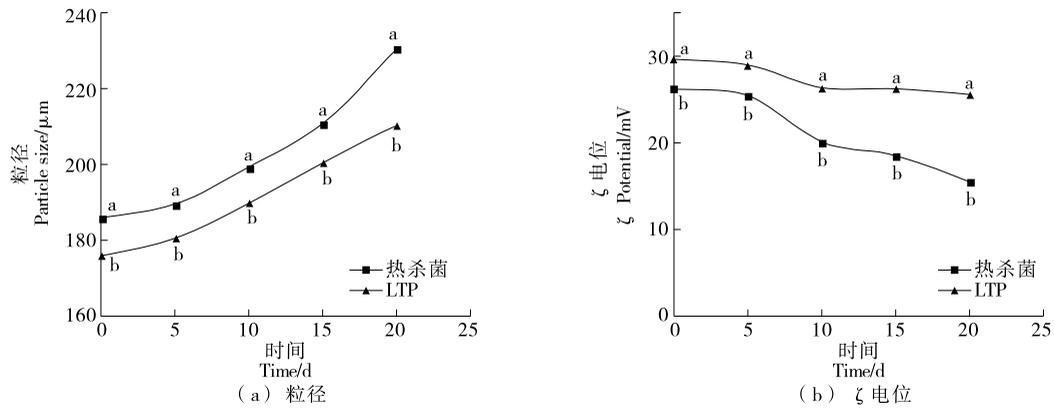
图 3 贮藏时间对乳液中维生素 C 和花青素含量的影响

Figure 3 Effects of storage time on vitamin C and anthocyanin content in emulsion

同一贮藏时间下,两种杀菌方法得到的乳液的维生素 C 含量和花青素含量差异显著;贮藏 20 d 后,LTP 处理的红花籽油/火龙果浆乳液的维生素 C 含量和花青素含量仍大于热处理的 ($P < 0.05$),表明 LTP 处理更有利于红花籽油/火龙果浆乳液的功能成分保留。

2.3.2 贮藏时间对乳液粒径和 ζ 电位的影响 由图 4 可知,杀菌结束后,LTP 处理的红花籽油/火龙果浆乳液的粒径小于热处理的, ζ 电位大于热处理的 ($P < 0.05$)。贮藏过程中,两种杀菌方法的乳液粒径均逐渐增加, ζ 电位逐渐降低。同一贮藏时间下,两种杀菌方法得到的乳液的粒径和 ζ 电位差异显著,贮藏 20 d 后,LTP 处理的红花籽油/火龙果浆乳液的粒径仍小于热处理的, ζ 电位仍大于热处理的 ($P < 0.05$),表明 LTP 处理的红花籽油/火龙果浆乳液的稳定性更好。这可能是在热处理过程中,加热促进了颗粒之间的布朗运动,导致颗粒之间碰撞加剧,颗粒聚集、加大。

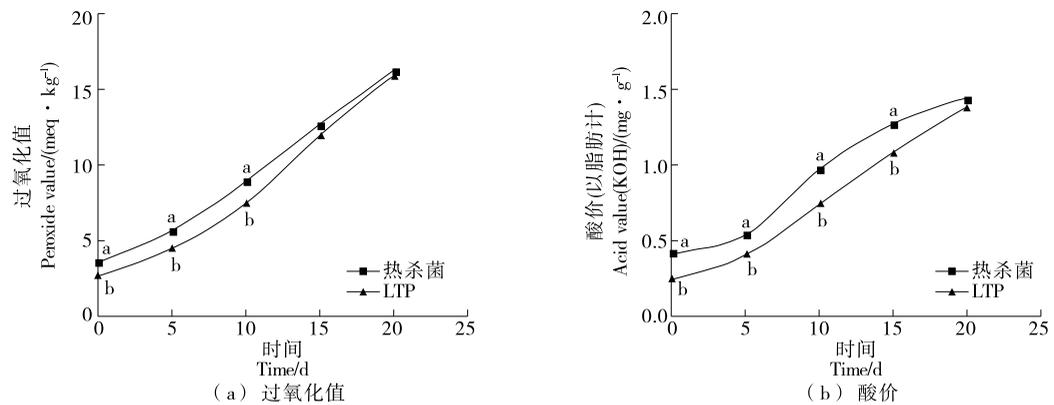
2.3.3 贮藏时间对乳液过氧化值和酸价的影响 由图 5 可知,杀菌结束后,LTP 处理的红花籽油/火龙果浆乳液的过氧化值和酸价小于热处理的 ($P < 0.05$),表明杀菌过程中,热处理更容易导致脂肪氧化。贮藏过程中,两种杀



同一贮藏时间下字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 4 贮藏时间对乳液中粒径和 ζ 电位的影响

Figure 4 Effects of storage time on particle size and ζ potential in emulsion



同一贮藏时间下字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 5 贮藏时间对乳液的粒径中过氧化值和酸价的影响

Figure 5 Effects of storage time on peroxide value and acid value in particle size of emulsion

菌方法的过氧化值和酸价均逐渐增加,贮藏第 20 天, LTP 处理的红花籽油/火龙果浆乳液的过氧化值和酸价差异不显著,但仍小于热处理的,可能是 LTP 处理过程中产生了大量的自由基,在杀菌过程中杀菌时间短,自由基对油脂氧化的进程还未完成,在贮藏过程中,这些自由基会继续促进油脂氧化。

3 结论

试验表明,低温等离子体对红花籽油/火龙果浆乳液杀菌的最佳工艺条件为极距 5.1 cm、处理电压 6.4 kV、处理时间 151.0 s,该条件下的杀菌率达到 98.2%。与热杀菌相比,低温等离子体处理更有利于红花籽油/火龙果浆乳液的维生素 C 和花青素成分的保留,更有利于乳液的稳定性保持,虽然在贮藏过程中,油脂的氧化速度快,但贮藏期间,其过氧化值和酸价均低于热处理的样品。因此,低温等离子体处理不仅能够有效杀灭红花籽油/火龙果浆乳液中的微生物,而且较热处理更有利于红花籽油/火龙果浆乳液品质的保持,是

一种红花籽油/火龙果浆乳液杀菌的新方法。后续将进一步加强低温等离子体处理对乳液中微生物杀灭及品质影响作用机理的研究。

参考文献

- [1] 申思洋, 裴建峰, 柴逸飞, 等. 红花籽油和紫苏籽油不同配比降血脂作用研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(2): 106-110.
SHEN S Y, CHANG J F, CHAI Y F, et al. Hypolipidemic effect of different proportions of safflower seed oil and perilla seed oil[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(2): 106-110.
- [2] 梁慧珍, 许兰杰, 余永亮, 等. 红花籽油中脂肪酸组成评价与分析[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 244-249.
LIANG H Z, XU L J, YU Y L, et al. Evaluation and analysis of fatty acid composition and contents in safflower oil [J]. Food Science, 2021, 42(6): 244-249.
- [3] 齐凤敏, 王来忠, 张佳佳, 等. 不同均质方式对红花籽油 O/W 乳液乳化效果的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(12): 8-11.
QI F M, WANG L Z, ZHANG J J, et al. Effects of different homogenization methods on O/W emulsion emulsification of

- safflower seed oil[J]. The Food Industry, 2020, 41(12): 8-11.
- [4] ZHENG Q M, WANG X K, ZHOU J L, et al. Complete genome sequence of a new member of the genus Badnavirus from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) [J]. Archives of Virology, 2020, 165: 749-752.
- [5] ZHENG Q M, WANG X K, QI Y, et al. Selection and validation of reference genes for qRT-PCR analysis during fruit ripening of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) [J]. Febs Open Bio, 2021, 11(11): 3 142-3 152.
- [6] 唐美玲, 段伟文, 段振华, 等. 超高压处理对百香果—火龙果复合饮料品质的影响及杀菌工艺优化[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 182-186, 236.
- TANG M L, DUAN W W, DUAN Z H, et al. Effect of ultra high pressure treatment on the quality of passion fruit-pitaya compound beverage and optimization of sterilization process [J]. Food & Machinery, 2020, 36(2): 182-186, 236.
- [7] JIANG H T, ZHANG W L, LI X G, et al. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 116(10): 199-217.
- [8] TZE N L, HAN C P, YUSOF Y A, et al. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant[J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(3): 675-682.
- [9] MAYRA S B P, MONICA A N, CARMEN I V. Nutritional and antioxidant properties of *Physalis peruviana* L. fruits from the argentinean northern Andean region [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2019, 74: 68-75.
- [10] 阳辛凤, 王盼, 郭晓杰, 等. 火龙果果实甜菜苷类色素组成与分布[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 20-25, 32.
- YANG X F, WANG P, GUO X J, et al. Study on the components and distribution of betalain pigments in different species of pitaya fruit[J]. Food & Machinery, 2021, 37(7): 20-25, 32.
- [11] FATHORDOOBADY F, MANAP M Y, SELAMT J, et al. Development of supercritical fluid extraction for the recovery of betacyanins from red pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel: A source of natural red pigment with potential antioxidant properties [J]. International Food Research Journal, 2019, 26(3): 1 023-1 034.
- [12] CHEN R Z, LUO S J, WANG C X, et al. Effects of ultra-high pressure enzyme extraction on characteristics and functional properties of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectic polysaccharides[J]. Food Hydrocolloid, 2021, 21: 107016.
- [13] WIJITRA L, SANDY V B, STEFANIE C, et al. An explorative study on the cell wall polysaccharides in the pulp and peel of dragon fruits (*Hylocereus* spp.) [J]. European Food Research and Technology, 2013, 237: 341-351.
- [14] 胡坤, 邢锐伟, 黎景恒, 等. 热处理对红肉火龙果色素稳定性及其清除羟基自由基能力的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(8): 945-948.
- HU K, XING R W, LI J H, et al. Effects of heat treatment on stability and hydroxyl radical scavenging activity of red pitaya pigment[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(8): 945-948.
- [15] MA Y, XU Y P, CHEN Y Y, et al. Effect of different sterilization methods on the microbial and physicochemical changes in *Prunus mume* juice during storage[J]. Molecules, 2022, 27(4): 1 197.
- [16] MUKHTAR K, NABI B G, ARSHAD R N, et al. Potential impact of ultrasound, pulsed electric field, high-pressure processing and microfluidization against thermal treatments preservation regarding sugarcane juice (*Saccharum officinarum*) [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2022, 90: 106194.
- [17] MA T J, LAN W S. Effects of non-thermal plasma sterilization on volatile components of tomato juice [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2015, 12: 3 767-3 772.
- [18] LIVIA M N P, THATYANE V F, VALERIA S O, et al. Cold plasma effects on functional compounds of Siriguela juice[J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12: 110-121.
- [19] HOSSEINI S M, ROSTAMI S, SAMANI B H, et al. The effect of atmospheric pressure cold plasma on the inactivation of *Escherichia coli* in sour cherry juice and its qualitative properties [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(2): 870-883.
- [20] DANIJELA B, KOVAC E, PREDRAG P. Effects of cold atmospheric gasphase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice[J]. Food Chemistry, 2015, 190: 317-323.
- [21] 高振红, 杨绍兰, 王世清, 等. 射频低温等离子体降解鲜榨猕猴桃汁中氯吡脞[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2020, 37(2): 119-122, 128.
- GAO Z H, YANG S L, WANG S Q, et al. Degradation of forchlorfenuron in fresh-pressed kiwifruit juice by radio frequency low temperature plasma [J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2020, 37(2): 119-122, 128.
- [22] 王小媛, 牛涵, 靳学远, 等. 杜仲籽油苹果汁饮料低温等离子体和热杀菌的比较分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 206-214.
- WANG X Y, NIU H, JIN X Y, et al. Comparative analysis of cold plasma and thermal sterilization of *Eucommia ulmoides* seed oil-apple juice beverage [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 206-214.
- [23] 朱曼利, 郭会明, 孙宏韬, 等. 火龙果酵素中原花青素含量测定方法的建立[J]. 中国酿造, 2017, 36(4): 184-187.
- ZHU M L, GUO H M, SUN H T, et al. Establishment of determination method of proanthocyanidins content in pitaya enzyme[J]. China Brewing, 2017, 36(4): 184-187.
- [24] 张关涛, 张东杰, 李娟, 等. 低温等离子体技术在食品杀菌中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 417-426.
- ZHANG G T, ZHANG D J, LI J, et al. Advances in the application of cold plasma technology in food sterilization [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 417-426.
- [25] 许童桐, 党庆秋. 低温等离子体杀菌技术研究现状[J]. 现代食品, 2021, 27(4): 51-53.
- XU T T, DANG Q Q. Research satus of low-temperature plasma sterilization technology[J]. Modern Food, 2021, 27(4): 51-53.