

黄秋葵浓缩汁加工过程中的品质变化

李佳美¹, 刘昱迪¹, 王坤华¹, 林恒进¹, 徐怀德¹, 林长彬²

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

(2. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610011)

摘要: 采用果胶酶结合超滤对黄秋葵汁进行澄清处理, 在不同温度下对澄清汁进行真空浓缩, 以营养成分和酚类组成为指标, 研究黄秋葵浓缩汁生产过程中的品质变化及加工工艺。结果表明: 酶解汁的最佳制备工艺条件为: 酶解温度 41 ℃、酶解时间 65 min、酶用量 0.21 g/L, 45 ℃为最佳的真空浓缩温度, 孔径为 67 ku 的超滤膜进行超滤处理效果较好, 透光率可达 96.24%, 黄秋葵浓缩汁中含有 9 种酚类物质。此外, 还对黄秋葵浓缩汁生产过程中各类营养物质的变化进行研究, 从而验证优化得到的各个生产技术参数是否能够很好地保留黄秋葵原有的营养成分。主要营养成分的含量在果胶酶处理时, 含量增加 4.81%~23.42%; 超滤处理中明显损失, 保留率为 65.38%~83.59%; 真空浓缩中损失较少, 保留率均在 93.56%~98.82%。澄清和浓缩过程是黄秋葵浓缩汁生产的主要过程, 控制酶解、超滤和真空条件可为黄秋葵浓缩汁工业化生产提供理论指导。

关键词: 黄秋葵; 澄清; 浓缩汁; 品质; 酚类物质

文章编号: 1673-9078(2020)08-246-257

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.0116

Quality Change of Okra Concentrate during Processing and Its Control Technology

LI Jia-mei¹, LIU Yu-di¹, WANG Kun-hua¹, LIN Heng-jin¹, XU Huai-de¹, LIN Chang-bin²

(1. College of Food Science and Engineering Northwest A&F University, Yangling, 712100, China)

(2. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chengdu, 610011, China)

Abstract: Pectinase clarification and ultrafiltration were used to clarify okra juice and the juice was vacuum concentrated at different temperatures. The quality change and processing technology of concentrated okra juice were studied in terms of nutrient composition and phenolic composition. The results showed that the optimum preparation conditions of the enzymatic juice were as follows: the enzymatic hydrolysis temperature was 40 ℃, the enzymatic hydrolysis time was 65 min, the enzyme dosage was 0.21 g/L, the optimal vacuum concentration temperature was 41 ℃, the ultrafiltration membrane with an aperture of 67 ku had a better ultrafiltration effect, the light transmittance was up to 96.24%. And the concentrated okra juice contained 9 phenolic substances. In addition, the changes of various nutrients in the production process of concentrated okra are also studied to verify whether the optimized production technical parameters can well retain the original nutritional components of okra. In the process of concentrated okra juice production, its main nutrients contents increased by 4.81%~23.42% during pectinase treatment. It was obviously lost in ultrafiltration, with a retention rate of 65.38%~83.59%; it was less lost in vacuum concentration, and the retention rate was between 93.56%~98.82%. The clarification and concentration processes are the main processes for the production of concentrated okra concentrated juice. Controlling enzymolysis, ultrafiltration and vacuum conditions can provide theoretical guidance for the technical production of concentrated okra concentrated juice.

Key words: *Abelmoschus esculentus* (Linnaeus) Moench; clarification; concentrated juice; quality; phenolic substances

引文格式:

李佳美, 刘昱迪, 王坤华, 等. 黄秋葵浓缩汁加工过程中的品质变化[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 246-257

LI Jia-mei, LIU Yu-di, WANG Kun-hua, et al. Quality change of okra concentrate during processing and its control technology [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 246-257

收稿日期: 2020-02-11

作者简介: 李佳美 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工及贮藏

通讯作者: 徐怀德 (1964-), 男, 教授, 研究方向: 饮料加工、果品蔬菜贮藏与加工、天然产物提取; 共同通讯作者: 林长彬 (1981-), 男, 助理研究员, 研究方向: 食品科学与工程

黄秋葵拉丁文学名 *Abelmoschus esculentus* (Linnaeus) Moench, 又名美人指, 锦葵科 (*Malvaceae*) 秋葵属 (*Abelmoschus medic*) 一年生草本植物, 营养丰富, 保健功效高^[1]。黄秋葵营养丰富, 嫩果中含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素、矿质元素以及黄酮类化合物等^[2], 已有研究表明黄秋葵具有增强人体免疫力、预防心血管疾病^[3]、预防白内障^[4]、抗疲劳^[5]、抗氧化^[6,7]、降血糖^[8]等作用, 具有较高的保健功效^[9]。但黄秋葵极易腐烂变质, 不易贮存, 开发利用度不高。在我国大陆种植历史较短, 近几年才从日本等地引入, 所以中国人对黄秋葵的了解较少, 消费程度也不高^[10]。目前黄秋葵以鲜食为主, 深加工产品较少, 据文献报道黄秋葵具有产品开发价值^[11]。

果蔬汁加工过程中, 澄清是重中之重, 澄清技术对果蔬汁的感官品质和商品价值起着至关重要的作用^[12]。因为新鲜黄秋葵自身含有较多由多糖和果胶组成的黏性物质, 出汁较为困难, 且对澄清度影响较大。果胶酶能够破坏果汁中其它胶体的果胶保护膜, 从而作用产生沉淀, 使果汁澄清。果蔬打浆后, 用果胶酶酶解, 不仅能够使果汁澄清, 提高出汁率, 还能使果蔬中的营养成分得以保留, 一定程度上起到延长保质期的作用^[13,14]。超滤技术在果汁澄清中应用十分普及, 该技术条件温和、无需添加化学试剂, 十分适宜热敏感的物质, 如酶、果汁等进行分离和澄清, 是一种低耗能、高效率的分离技术^[15,16]。真空浓缩果汁过程中, 果汁的受热时间短、温度低, 既能很好的保持果汁原有风味, 又能减少营养物质的损失, 已被广泛应用于果汁加工^[17,18]。在对黄秋葵汁进行澄清处理时, 为了缩小超滤膜的负荷, 增长超滤膜的使用寿命, 因此将果胶酶澄清和超滤相结合, 减少黄秋葵汁中的杂质含量, 以免对超滤膜造成堵塞, 影响超滤澄清效果^[16]。

本文对黄秋葵浓缩汁加工技术进行研究, 并对黄秋葵浓缩汁生产过程中的营养成分变化进行分析, 旨在为黄秋葵汁工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄秋葵 (品种: 日本五角、产地: 陕西杨凌奥达果蔬生产基地), 果荚嫩绿, 长度 8~10 cm, 形态基本一致。

果胶酶、没食子酸、抗坏血酸、金丝桃苷、芦丁等均为色谱级购于美国 Sigma 公司; 硫酸、盐酸、硝酸铝、碳酸钠、氢氧化钠、硫酸铜、乙醇等均为国产分析纯购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

20A 高效液相色谱仪, 日本岛津公司; UV-mini 1240 型紫外-可见分光光度计, 日本岛津公司; SB-500DTY 型超声波多频清洗机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; CM-5 型分光测色计, 柯尼卡美能达 (中国) 投资有限公司; R-3 型旋转蒸发仪, 瑞士 Buchi 公司; HH-4 型电热恒温水浴锅, 北京科伟永兴仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 黄秋葵汁果胶酶澄清单因素试验

将黄秋葵果实按固液质量比 1:3 打浆, 用柠檬酸调节 pH 至 3.9 后, 加入一定量果胶酶, 在一定温度下恒温水浴加热, 酶解一定时间后, 取出灭酶, 4000 r/min 离心 10 min, 过滤后, 测定酶解汁的透光率。分别考察酶解温度 (30、40、50、60、70 °C)、酶解时间 (30、60、90、120、150 min)、果胶酶用量 (0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 g/L) 3 个因素对酶解果汁透光率的影响。

1.3.2 黄秋葵汁果胶酶澄清响应面试验

通过单因素试验, 确定出响应面优化试验中酶解温度、酶解时间和果胶酶用量三个因素的水平, 根据 Box-Behnken 试验 (BBD) 设计原理, 采用 3 因素 3 水平进行分析, 以黄秋葵汁透光率作为响应值, 由此建立二次多项式回归方程的预测模型, 得出果胶酶澄清处理最优工艺参数, 因素水平见表 1。

表 1 BBD 响应面设计因素水平表

Table 1 Factors and levels of BBD Design

编码	因素		
	酶解温度 $X_1/^\circ\text{C}$	酶解时间 X_2/min	果胶酶用量 $X_3/(\text{g/L})$
-1	30	30	0.15
0	40	60	0.20
1	50	90	0.25

1.3.3 黄秋葵汁超滤澄清试验

将果胶酶澄清处理所得的黄秋葵汁分别用截留

分子量为 6、20、67、100 ku 的中空纤维膜进行超滤, 处理温度 25 °C、超滤压力 0.70 MPa、进料流速 5.50

L/min^[16], 比较不同孔径超滤所得透过液的透光率、颜色、总酚、总黄酮、总糖、咖啡碱含量以及多酚类物质组分等^[19,20]。

1.3.4 黄秋葵汁真空浓缩试验

将得到的黄秋葵澄清汁进行真空浓缩, 在真空度为 0.10 MPa 的条件下, 分别于 40、45、50、55、60 °C 条件下对黄秋葵汁进行 10 倍浓缩, 通过对所得浓缩汁的总糖、总酚、总黄酮的含量进行对比, 并结合耗能情况等, 确定出最佳的浓缩温度条件^[21,22]。

1.3.5 黄秋葵浓缩汁加工中的成分变化研究

新鲜黄秋葵经过榨汁、果胶酶处理、超滤处理和真空浓缩这四个加工环节, 最终得到 10 倍体积浓缩的浓缩汁, 对各个生产环节所得到的黄秋葵汁中可溶性固形物、总糖、总酚、总黄酮、咖啡碱以及酚类物质组分的含量进行测定, 研究黄秋葵浓缩汁生产加工过程中的品质变化^[18]。

1.3.6 指标测定

(1) 总酚: 采用 Folin-Ciocalteu 比色法测定, 参考 Bakar^[23]和 Sezai^[24]的方法, 略做修改。依次吸取 0.10 mg/mL 的没食子酸标准溶液 0.00、0.10、0.50、1.00、1.40、1.80、2.00、2.40、2.80、3.00 mL 于 25 mL 具塞刻度管中, 用蒸馏水稀释至 10 mL, 依次加入 0.50 mL 福林酚试剂和 10 mL 7.50% 碳酸钠溶液, 蒸馏水定容至刻度混匀, 置于 25 °C 水浴加热 60 min, 以不加样品液为对照, 在 750 nm 波长条件下测吸光度值, 绘制标准曲线。

称取 10 g 黄秋葵样品, 加入 100 mL 60% 乙醇溶液, 置于 40 °C 条件下超声浸提 40 min, 3500 r/min 离心 10 min, 上清液即提取液。吸取提取液 0.50 mL, 按标准曲线制作方法进行测定, 得到总酚含量。

(2) 总黄酮: 采用硝酸铝比色法测定, 参考黄阿根^[25]的方法, 略做修改。准确吸取 0.20 mg/mL 芦丁标准溶液 0.00、0.50、1.00、1.50、2.00、2.50、3.00、3.50、4.00 mL 于 10 mL 容量瓶中, 加 5% 亚硝酸钠溶液 0.30 mL, 摇匀, 静置 6 min; 加 10% 硝酸铝溶液 0.30 mL, 摇匀, 静置 6 min; 加 4% 氢氧化钠溶液 4 mL, 30% 乙醇稀释至刻度, 摇匀, 静置 10~15 min。以不加样品液为对照, 在 510 nm 波长条件下测吸光度值, 绘制标准曲线。

提取液制备方法与总酚相同, 准确吸取提取液 2 mL, 按标准曲线制作方法进行测定, 换算出总黄酮含量。

(3) 咖啡碱: 采用 GB/T 8312-2013《茶 咖啡碱测定》^[26]中的紫外分光光度法进行测定。

(4) 总糖: 采用蒽酮比色法测定, 参考翁霞^[27]

的方法, 略作修改。配制浓度为 10、20、30、40、50、60、70、80 μg/mL 的葡萄糖标准溶液, 各取 1 mL 于具塞试管中, 加 4 mL 蒽酮溶液, 混匀, 沸水浴加热 10 min, 室温避光静置 20 min, 以加蒸馏水为对照, 在 620 nm 波长条件下测定吸光值, 绘制标准曲线。

精确吸取 1 mL 样品, 依次加入亚铁氰化钾和乙酸锌溶液各 1 mL, 蒸馏水定容至 100 mL, 静置 30 min, 过滤, 即得总糖提取液。取提取液 1 mL 按制作标准曲线方法, 测定吸光值, 重复 3 次。

(5) 透光率: 采用分光光度计, 在 680 nm 条件下, 以蒸馏水为参照, 测定透光率。

(6) 颜色: 采用分光测色计, 在液体测量 SCE 模式下进行测定, 以蒸馏水为对照。

(7) 酚类物质组分分析: 样品制备: 取 20 mL 样品液, 加入 30 mL 无水乙醇, 混匀, 40 °C 超声浸提 40 min, 3500 r/min 离心 10 min, 取清液, 于 40 °C 条件下旋转蒸干, 再用 50% 甲醇 (色谱级) 溶解, 定容至 10 mL。样品在 -20 °C 条件下保存备用^[28,29]。

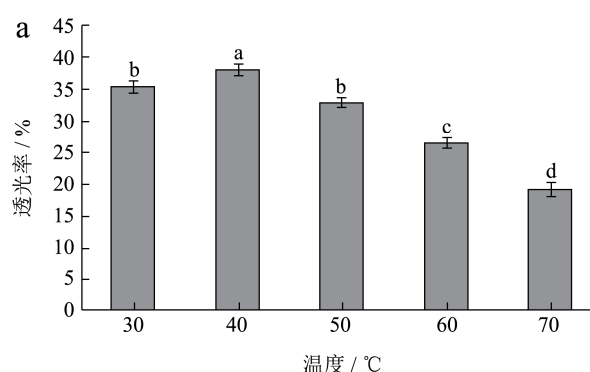
定量分析: 色谱柱: Shim-pack VP-ODS C18 (4.60×150 mm×5 μm); 流动相: 0.10% 磷酸 (A), 甲醇 (B); 梯度洗脱: 0 min, 0% B; 10 min, 30.00% B; 20 min, 48.00% B; 28 min, 53.00% B; 40 min, 57.50% B; 42 min, 70.00% B; 45 min, 30.00% B, 保持 5 min 后停止; 进样量: 20 μL; 柱温: 30 °C; 流速: 0.80 mL/min; 检测波长: 280 nm^[30]。

1.4 数据处理

采用 Design-Expert 8.05、SPSS 16.0 和 Excel 2013 软件对数据进行分析。每个实验重复 3 次, 结果表示为平均值±标准偏差, 各组间差异有显著性 ($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 酶解条件对黄秋葵汁透光率的影响



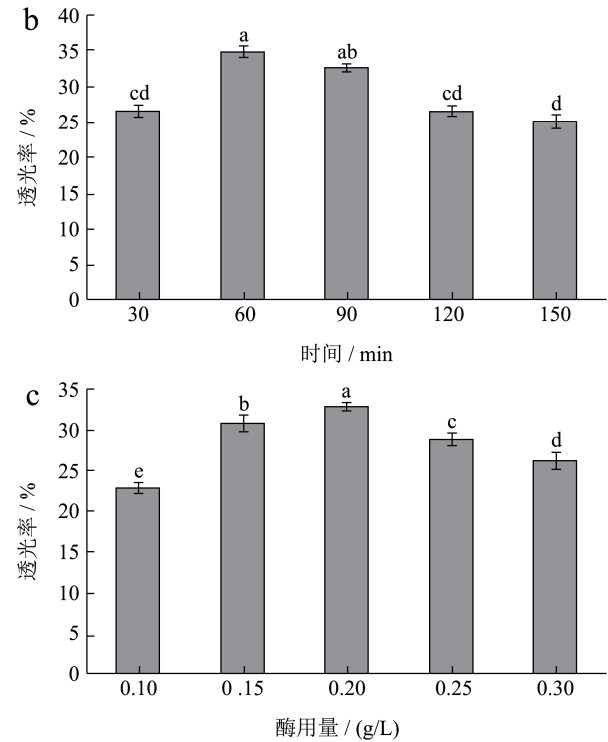


图1 果胶酶处理对黄秋葵汁透光率的影响

Fig.1 Effect of enzyme dosage on transmittanc of okra juice

注：图 a：酶解温度对黄秋葵汁透光率的影响；图 b：酶解时间对黄秋葵汁透光率的影响；图 c：酶用量对黄秋葵汁透光率的影响。图中字母 a~e 表示数据之间差异的显著性。

由图 1a 可知，随着酶解温度升高，黄秋葵汁的透光率呈先升高后下降的趋势，40 ℃时达到最大值 37.82%，这是因为酶促反应对温度条件较为敏感，当低于最适温度时，果胶酶的活性随温度升高而增大，当高于最适温度时，果胶酶的活性则会随着温度的升高而降低，当温度过高时还会完全失去酶活性^[31]。由图 1b 可知，随着酶解时间延长，黄秋葵汁的透光率先增加后降低，60 min 时达到最大值 34.73%，这是由于在酶解反应过程中，若反应时间过长，果胶酶将某些大分子物质充分分解为小分子物质，小分子物质更加容易分散于黄秋葵汁中，致使透光率下降^[32]。由图 1c 可知，酶用量为 0.20 g/L 时，黄秋葵汁的透光率最高，为 32.78%，随着酶用量增加，黄秋葵汁的透光率先增大后逐渐减小。这是由于在酶解过程中，过量的酶分散在黄秋葵汁中，对透光率也产生一定影响，使透光率变小^[13]。

2.2 响应面试验结果与分析

(1) 响应面试验设计和结果：根据黄秋葵汁酶解澄清的单因素试验结果，以黄秋葵汁透光率为指标，进行 BBD 响应面优化试验设计，设计和结果见表 2，共设 17 组试验，其中 12 组析因试验，5 组中心试验。

表 2 BBD 响应面优化试验设计和结果

Table 2 Experimental design and results for BBD response surface analysis				
编号	X ₁	X ₂	X ₃	Y
	酶解温度/℃	酶解时间/min	果胶酶用量/(g/L)	透光率/%
1	0	-1	1	25.87
2	0	-1	-1	21.24
3	0	0	0	42.33
4	0	0	0	41.42
5	1	-1	0	26.55
6	-1	0	1	37.64
7	0	0	0	42.06
8	0	0	0	41.29
9	0	0	0	39.77
10	1	0	1	36.05
11	1	0	-1	33.30
12	-1	-1	0	17.26
13	-1	0	-1	29.11
14	0	1	1	39.98
15	0	1	-1	34.47
16	1	1	0	32.66
17	-1	1	0	35.32

表 3 回归模型的方差分析

Table 3 Analysis of variance for response surface quadratic

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	913.96	9	101.55	96.09	<0.0001	**
X ₁ -酶解温度	10.61	1	10.61	10.04	0.0157	*
X ₂ -酶解时间	331.45	1	331.45	313.64	<0.0001	**
X ₃ -果胶酶用量	57.39	1	57.39	54.31	0.0002	**
X ₁ X ₂	35.68	1	35.68	33.76	0.0007	**
X ₁ X ₃	8.32	1	8.32	7.87	0.0263	*
X ₂ X ₃	0.19	1	0.19	0.18	0.6829	
X ₁₂	100.94	1	100.94	95.51	<0.0001	**
X ₂₂	306.32	1	306.32	289.86	<0.0001	**
X ₃₂	25.35	1	25.35	23.99	0.0018	**
残差	7.40	7	1.06			
失拟项	3.43	3	1.14	1.15	0.4297	
净误差	3.96	4	0.99			
总离差	921.36	16				

注: **极显著, $p < 0.01$; *显著, $p < 0.05$; $R^2=0.9920$; $R^2_{Adj}=0.9816$ 。

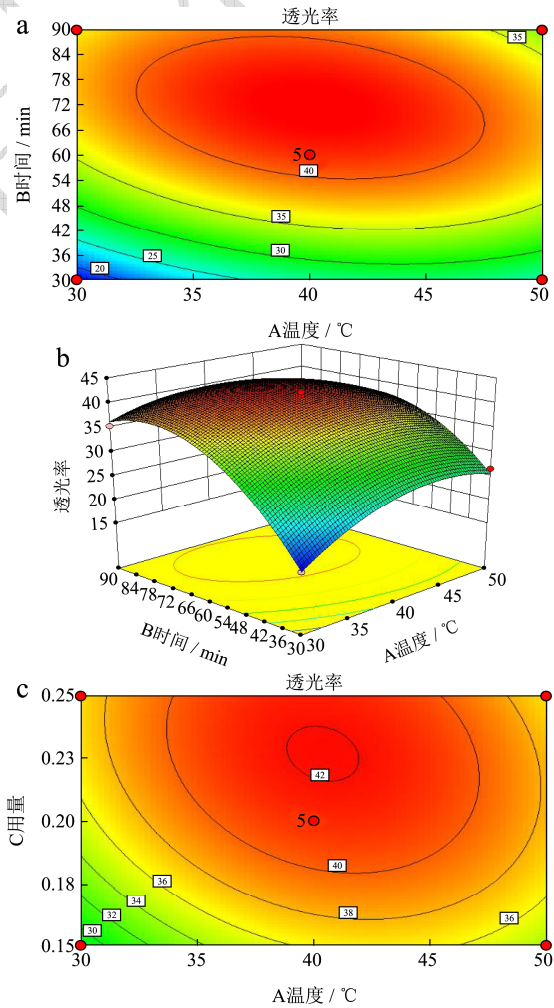
(2) 回归方程的方差分析: 用 Design Expert 数据软件进行回归分析, 所得结果见表 3, 得到三个因素与黄秋葵汁透光率之间的二次回归方程为:

透光率 (Y) = 41.37 + 1.15X₁ + 16.44X₂ + 2.68X₃ - 2.99X₁X₂ - 1.44X₁X₃ + 0.22X₂X₃ - 4.90X₁² - 8.53X₂² - 2.45X₃²

由表 3 可知, 以黄秋葵汁的透光率为响应值, 所建立模型的 F 值为 96.09, p 值 < 0.0001, 说明该模型方程极显著, 用该模型可以预测不同条件果胶酶处理所得黄秋葵汁的透光率, 具有统计学意义。 $R^2=0.9920$, 说明因变量与自变量之间的线性关系显著, 校正决定系数系数为 $R^2_{Adj}=0.9816$, 说明该模型能够模拟 98.16%透光率的变化, 可信度高, 与实际情况拟合良好, 失拟项 $p=0.4297 > 0.05$, 不显著, 说明本试验的二次回归方程能很好地对黄秋葵汁透光率进行分析和预测。

如表 3 的方差分析结果所示, 各因素中一次项 X₂、X₃、交互项 X₁X₂ 以及二次项 X₁²、X₂²、X₃² 极显著, 一次项 X₁、交互项 X₁X₃ 显著。因此各具体实验因子对响应面的影响不是简单的线性关系, 而是呈二次抛物面关系, 各因素对模型影响大小的顺序为: X₂ > X₃ > X₁。

(3) 响应曲面图分析与验证: 通过 Design-Expert 软件的预测分析功能, 将三因素的其中一个因素设定为 0 水平, 可得到另外两个因素交互作用对响应值透光率的响应曲面图及等高线图, 见图 2。



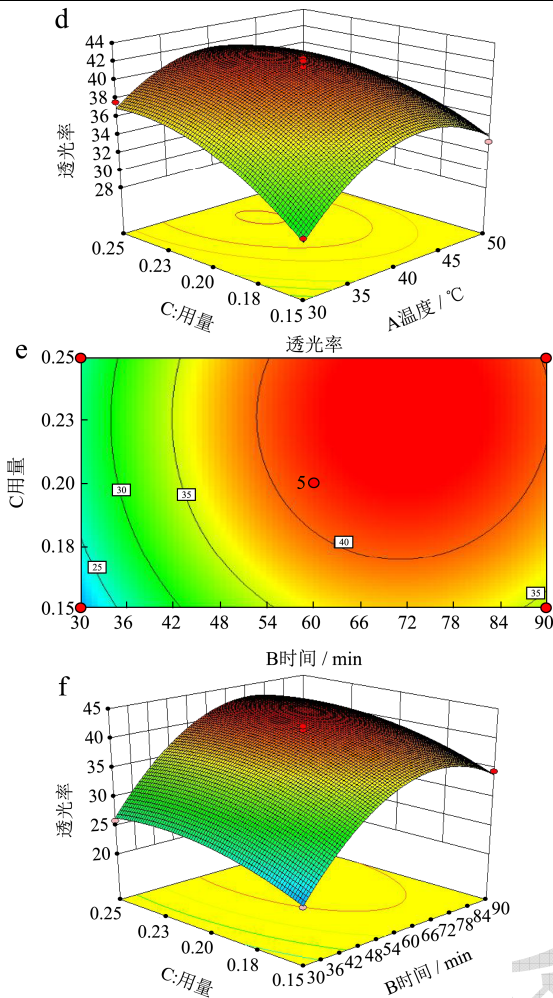


图2 各两因素交互作用对透光率的等高线和响应面图

Fig.2 Interactive effects of two factors on the contour plots and response surface of transmittance

注：图 a、b：酶解温度与酶解时间；图 c、d：酶解温度与酶用量；图 e、f：酶解时间与酶用量

图 2a 所示为酶解温度与酶解时间的交互作用，其响应曲面的等高线图呈椭圆，说明这两个因素的交互作用极显著，酶解温度的选取显著影响酶解时间的设

表 4 不同膜孔径超滤对黄秋葵汁颜色及透光率的影响

Table 4 The influence of different ultrafiltration membrane aperture on okra juice color and transmittance

项目	6 ku	20 ku	67 ku	100 ku
L	98.88±0.06 ^a	98.32±0.02 ^b	97.98±0.05 ^{bc}	96.57±0.02 ^d
a*	-0.19±0.01 ^d	-0.09±0.02 ^c	0.09±0.03 ^b	0.16±0.01 ^a
b*	1.79±0.04 ^d	4.08±0.01 ^c	5.69±0.02 ^{bc}	8.70±0.01 ^a
透光率/%	99.23±0.41 ^a	98.62±0.32 ^b	96.24±0.62 ^c	92.63±0.54 ^d

注：数据后字母（a~d）表示数据之间差异的显著性。

在超滤过程中，超滤膜会截留部分大分子物质，包括部分显色物质，因而导致滤液颜色有所变化。不同孔径超滤膜过滤对所得黄秋葵汁色泽的影响如表 4 所示，超滤膜孔径越小，L 值越高，a*、b*值越低，说明超滤膜孔径越小的黄秋葵滤液亮度越高，颜色越

定，当酶解温度水平较低时，应适当延长酶解时间，反之，当酶解温度较高时，果胶酶活性高，酶解速率加快，但也要防止小分子物质的形成，对黄秋葵汁透光率造成影响，就必须缩短酶解时间。图 2b 为酶解温度与酶用量的交互作用，其响应曲面的等高线图呈椭圆状，但是较 2a 的等高线图偏圆，说明二者的交互作用显著，酶解温度的高低影响酶用量的选择，酶解温度较高时，由于酶活性较高，则可以减少酶用量，当酶解温度较低时，由于活性较低，则可适当增加酶用量。图 2c 为酶解时间与酶用量的交互作用，其响应曲面的等高线图呈圆形，表明这两个因素的交互作用不明显，说明在酶解温度确定的情况下，应更多考虑澄清过程中尽量节约时间及成本。以上响应曲面及等高线图所示的结果与表 3 中的方差分析结果一致，进一步验证了方差分析结果的可靠性。

响应面法优化得到的结果为：酶解温度 41.33 ℃、酶解时间 64 min、酶用量 0.21 g/L，该条件下黄秋葵汁透光率的预测值为 42.40%。根据实际条件，将酶解澄清技术条件修正为：酶解温度 41 ℃、酶解时间 65 min、酶用量 0.21 g/L，以该条件对响应面结果进行可靠性验证，重复 5 次试验，得到的黄秋葵汁透光率平均值为 41.50%，与预测值的相对偏差较小，可见，响应面优化所得的酶解澄清技术参数较为准确，具有实际应用价值。董彩文^[33]等的研究中果胶酶用量为 0.12 g/L，但其酶解时间为 142.80 min、酶解温度为 50.80 ℃耗能较大。本试验可以缩短酶解时间和降低酶解温度，从而更好的保留营养物质和节约成本。

2.3 不同膜孔径超滤对黄秋葵汁品质的影响

2.3.1 不同膜孔径超滤对黄秋葵汁颜色及透光率的影响

浅。这是由于在超滤过程中，孔径越小的膜通过的物质越少，因此滤液中存留的大分子物质较少，从而引起液体的色泽较浅较明亮。姬晨^[16]对红枣汁超滤的结果表明超滤可大幅度增大样品透光率且对营养物质损失较少，有利于果汁的长期保存。由结果可知，经孔

径为 6 ku 和 20 ku 的膜超滤处理后, 黄秋葵滤液的透光率分别为 99.23% 和 98.62%, 但颜色过淡, 不具有黄秋葵汁应有的色泽; 67 ku 和 100 ku 超滤处理得到的黄秋葵滤液颜色较好, 透光率分别为 96.24% 和 92.63%。Ghosh Payel^[34]等的研究结果表明果汁澄清工艺中超滤法较优于酶处理和离心法, 可明显延长果汁的货架期, 提高果汁的品质。

2.3.2 不同膜孔径超滤对黄秋葵汁主要营养物质的影响

超滤处理时, 截留黄秋葵汁中杂质的同时, 部分营养成分也会流失, 造成营养损失, 因此应选择既能达到澄清效果, 又能降低果汁原有营养成分损失的滤膜。不同膜孔径超滤处理所得黄秋葵滤液成分对比如表 5 所示, 其中 6 ku 和 20 ku 超滤处理的澄清效果较好, 得到的黄秋葵超滤汁的透光率均达到 98.62% 以上。但黄秋葵汁的营养物质损失较为严重, 6 ku 超滤处理总糖、总酚、总黄酮、咖啡碱的损失率依次为 46.54%、59.05%、74.36%、92.31%, 20 ku 超滤处理四种营养成分的损失率依次为 32.82%、47.57%、

53.85%、69.23%, 各种成分损失率均大于 40.00%, 使得黄秋葵汁的营养和保健价值大幅度降低。67 ku 超滤处理四种成分损失率依次为 16.41%、31.77%、23.08%、34.62%, 100 ku 超滤处理四种成分损失率依次为 11.03%、19.33%、15.38%、30.77%, 67 ku 和 100 ku 超滤处理所得黄秋葵汁的营养损失均较少损失率均小于 35.00%, 这也与龚彦文^[35]等对橙汁超滤处理所得结果基本一致。超滤处理会在不同程度上对黄秋葵汁中营养物质造成损失, 导致其滤液中某些营养成分含量有所减少。膜孔径越小, 超滤处理的澄清效果越好, 但营养成分和酚类物质损失率越大。这是由于超滤处理在除去果汁中的杂质的同时, 还会截留部分大分子物质, 从而导致总糖、总酚、总黄酮、咖啡碱等成分有所损失, 尤其是其中部分咖啡碱与蛋白质结合, 因此在超滤时随着蛋白质大分子一起被截留, 致使其含量显著降低^[16]。李富华^[36]等对桑葚汁超滤时, 100 ku 超滤处理总多酚提升 11.40%, 抗氧化活性提高两倍以上, 18 ku 超滤处理营养物质损失较大且稳定性远低于 100 ku 超滤处理时。

表 5 不同膜孔径对黄秋葵滤液成分的影响

Table 5 The influence of different ultrafiltration membrane aperture on composition of okra juice filtrate

项目	酶解汁	6 ku	20 ku	67 ku	100 ku
SSC/°Brix	2.0	0.8	1.0	1.4	1.6
总糖/(mg/mL)	7.80±0.09 ^a	4.17±0.18 ^d	5.24±0.19 ^c	6.52±0.18 ^b	6.94±0.13 ^b
总酚/(mg GAE/L)	75.83±0.55 ^a	31.05±0.11 ^e	39.76±0.18 ^d	51.74±0.04 ^c	61.17±0.11 ^b
总黄酮/(mg/mL)	0.39±0.03 ^a	0.10±0.02 ^d	0.18±0.04 ^c	0.30±0.04 ^b	0.33±0.02 ^b
咖啡碱/(mg/mL)	0.26±0.01 ^a	0.02±0.01 ^d	0.08±0.02 ^c	0.17±0.03 ^b	0.18±0.02 ^b

注: 数据后字母 (a-e) 表示数据之间差异的显著性。

2.3.3 不同膜孔径超滤对黄秋葵汁酚类组成的影响

图 3 所示为黄秋葵酶解汁和酚类标准对照品的高效液相色谱图。由图 3 可知, 黄秋葵汁中的酚类物质组成复杂多样, 在 280 nm 波长条件下, 检测到黄秋葵酶解汁中含有 9 种酚类物质, 它们分别为: 原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芦丁、金丝桃苷和杨梅素。

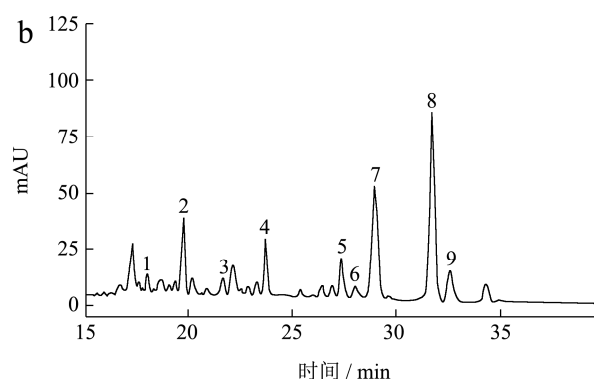
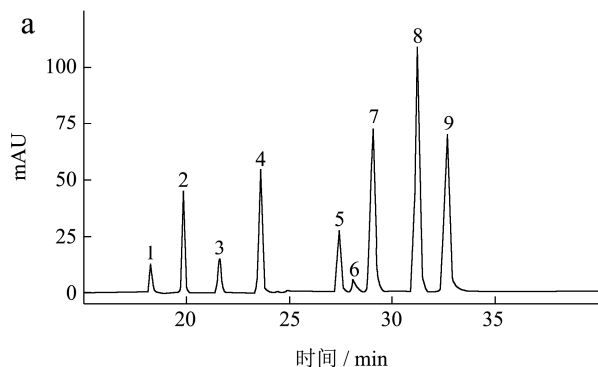


图 3 酚类物质高效液相色谱图

Fig.3 Chromatogram of phenolic compounds by HPLC

注: a: 标准对照品图谱; b: 酶解汁图谱。色谱峰: 1-原儿茶酸; 2-儿茶素; 3-绿原酸; 4-咖啡酸; 5-对香豆酸; 6-阿魏酸; 7-芦丁; 8-金丝桃苷; 9-杨梅素。

黄秋葵汁经过不同膜孔径超滤处理后滤液的酚类组成如表 6 所示, 可知不同膜孔径超滤对不同酚类物质的截留程度是不同。经 67 ku 和 100 ku 超滤处理所

得黄秋葵滤液中含有 9 种酚类物质, 分别是: 原儿茶酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芦丁、金丝桃苷和杨梅素, 而以 6 ku 和 20 ku 超滤处理所得到的黄秋葵滤液中只含有 7 种酚类物质, 不包含的两种酚类物质为金丝桃苷和杨梅素。黄薇^[37]的研究表明, 30 ku 超滤处理后红枣汁中 12 种酚类物质现在减少, 总酚下降 42.00%。黄婉玉^[38]的研究表明, 超

滤膜的孔径越大, 枣汁滤液中营养成分保留越多, 但所得到的枣汁稳定性越差。超滤处理时超滤膜也会截留黄秋葵汁中与大分子相结合的酚类物质, 超滤膜孔径越小, 酚类物质被截留的越多, 且芦丁、金丝桃苷、杨梅素等相对分子量较大的酚类物质, 被截留的量越多。

表 6 不同膜孔径对黄秋葵滤液酚类组成的影响

Table 6 The influence of different ultrafiltration membrane aperture on phenolic composition of okra juice filtrate

项目/($\mu\text{g/mL}$)	酶解汁	6 ku	20 ku	67 ku	100 ku
原儿茶酸	1.44 $\pm$ 0.01 ^a	0.43 $\pm$ 0.03 ^c	0.92 $\pm$ 0.02 ^c	0.99 $\pm$ 0.01 ^{bc}	1.05 $\pm$ 0.01 ^b
儿茶素	17.62 $\pm$ 0.05 ^a	10.79 $\pm$ 0.04 ^e	12.99 $\pm$ 0.06 ^d	14.11 $\pm$ 0.04 ^c	16.07 $\pm$ 0.06 ^b
绿原酸	2.15 $\pm$ 0.04 ^a	0.46 $\pm$ 0.02 ^e	1.22 $\pm$ 0.05 ^d	1.57 $\pm$ 0.03 ^c	1.70 $\pm$ 0.04 ^b
咖啡酸	3.32 $\pm$ 0.05 ^a	0.65 $\pm$ 0.03 ^e	0.94 $\pm$ 0.03 ^d	1.43 $\pm$ 0.04 ^c	1.67 $\pm$ 0.03 ^b
对香豆酸	1.30 $\pm$ 0.04 ^a	0.18 $\pm$ 0.05 ^e	0.35 $\pm$ 0.03 ^d	0.71 $\pm$ 0.04 ^{cd}	0.99 $\pm$ 0.05 ^b
阿魏酸	0.80 $\pm$ 0.03 ^a	0.15 $\pm$ 0.03 ^e	0.24 $\pm$ 0.02 ^d	0.35 $\pm$ 0.04 ^c	0.43 $\pm$ 0.03 ^b
芦丁	41.54 $\pm$ 0.34 ^a	2.56 $\pm$ 0.33 ^e	13.91 $\pm$ 0.49 ^d	22.45 $\pm$ 0.41 ^c	24.96 $\pm$ 0.40 ^b
金丝桃苷	25.37 $\pm$ 0.34 ^a	-	-	9.27 $\pm$ 0.42 ^c	11.73 $\pm$ 0.41 ^b
杨梅素	4.14 $\pm$ 0.04 ^a	-	-	1.45 $\pm$ 0.05 ^c	1.87 $\pm$ 0.04 ^b
总量	97.68 $\pm$ 1.44 ^a	15.22 $\pm$ 0.53 ^e	30.57 $\pm$ 0.70 ^d	52.33 $\pm$ 1.08 ^c	60.47 $\pm$ 1.07 ^b

注: 数据后字母 (a~e) 表示数据之间差异的显著性。

表 7 不同浓缩温度对黄秋葵浓缩汁品质的影响

Table 7 The influence of different Concentration Temperatures on the Quality of Okra Concentrated Juice

项目	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
总糖/(mg/mL)	62.53 $\pm$ 1.12 ^a	60.95 $\pm$ 1.62 ^a	57.12 $\pm$ 1.28 ^b	56.31 $\pm$ 0.99 ^b	55.23 $\pm$ 0.87 ^b
总酚/(mg GAE/L)	502.69 $\pm$ 3.19 ^a	493.78 $\pm$ 2.58 ^a	463.33 $\pm$ 2.17 ^b	452.48 $\pm$ 2.08 ^b	421.97 $\pm$ 2.06 ^c
总黄酮/(mg/mL)	3.12 $\pm$ 0.10 ^a	2.89 $\pm$ 0.11 ^{ab}	2.68 $\pm$ 0.13 ^b	2.41 $\pm$ 0.14 ^c	2.02 $\pm$ 0.13 ^{cd}

注: 数据后字母 (a~d) 表示数据之间差异的显著性。

2.4 浓缩温度对黄秋葵浓缩汁品质的影响

表 7 所示为不同温度条件下, 真空浓缩所得黄秋葵浓缩汁中的总糖、总酚、总黄酮含量情况。由表可知, 在真空浓缩过程中, 将黄秋葵汁浓缩到相同倍数的情况下, 随着浓缩温度的升高, 黄秋葵汁中的总糖、总酚和总黄酮含量逐渐下降, 这是由于果汁中的糖类、酚类等营养物质在高温条件下容易遭到破坏, 温度越低, 对果汁中的营养物质破坏就越小^[35]。李靖靖^[39]等对苹果汁浓缩结果表明随着浓缩温度升高营养成分损失率也加快增加, 在 60 °C 条件下损失率在 56.80% 以上。试验结果显示, 40 °C 和 45 °C 条件所得黄秋葵浓缩汁的总糖、总酚、总黄酮含量明显较高, 采用 40 °C 和 45 °C 这两个温度进行真空浓缩, 总糖、总酚和总黄酮的保存率均在 90.00% 以上且无显著性差异, 然而将黄秋葵汁浓缩到相同倍数的情况下, 与 45 °C 相比较, 40 °C 所用的浓缩时间明显较长, 因此从节约时间、

环保节能的角度考虑, 选取 45 °C 条件对进行真空浓缩最为佳。有研究表明真空压 0.09 MPa、60 °C 下浓缩红枣汁, 虽然其总酚和总黄酮有微量降低, 但其热敏性物质大幅度下降^[37]。

2.5 黄秋葵浓缩汁加工过程中品质的变化

2.5.1 黄秋葵浓缩汁加工过程中主要营养物质的变化

黄秋葵浓缩汁在加工过程中主要营养物质的变化情况如表 8 所示。在果胶酶处理过程中, 黄秋葵汁的可溶性固形物、总糖、总酚、总黄酮、咖啡碱含量依次增加 11.11%、23.42%、4.81%、5.41%、8.33%, 这是因为果胶酶既可以将果胶分解为可溶性的半乳糖醛酸, 也可以促进细胞壁及胞间层瓦解, 释放出糖、酸、维生素、矿物质等^[13]。董彩文^[40]等对壳聚糖澄清黄秋葵汁的处理中各营养成分均有所降低, 黄酮含量降低 2.99%。在使用 67 ku 孔径的超滤膜对黄秋葵酶解汁进

行澄清处理时,超滤膜对酶解汁中的杂质等进行截留,达到了很好的澄清效果,但所得黄秋葵超滤汁中的可溶性固形物、总糖、总酚、总黄酮、咖啡碱保留率依次为 70.00%、83.59%、68.23%、76.92%、65.38%,金振宇^[41]对蓝莓汁超滤处理研究中糖含量变化无显著性差异,但其他结果基本一致。通过真空浓缩技术

对黄秋葵超滤汁进行浓缩处理,可以较好地保留可溶性固形物、总糖、总酚、总黄酮、咖啡碱等营养物质,保存率依次为 94.29%、93.56%、95.44%、96.67%、98.82%,秦贯丰^[42]等的研究表明真空浓缩时也可以较好地保留维生素 C 及芳香物。

表 8 黄秋葵浓缩汁加工中主要营养物质的变化

Table 8 Changes of the main nutritious ingredients during processing of concentrated okra juice				
项目	原汁	酶解汁	超滤汁	浓缩汁
SSC/°Brix	1.8	2.0	1.4	13.2
总糖/(mg/mL)	6.32±0.12 ^c	7.80±0.09 ^b	6.52±0.18 ^c	60.95±0.52 ^a
总酚/(mg GAE/L)	72.35±0.73 ^b	75.83±0.55 ^b	51.74±0.04 ^c	493.78±2.31 ^a
总黄酮/(mg/mL)	0.37±0.05 ^b	0.39±0.03 ^b	0.30±0.04 ^{bc}	2.90±0.11 ^a
咖啡碱/(mg/mL)	0.24±0.03 ^b	0.26±0.01 ^b	0.17±0.03 ^c	1.68±0.10 ^a

注:数据后字母(a~c)表示数据之间差异的显著性。

表 9 黄秋葵浓缩汁加工中酚类物质的变化

Table 9 Phenolic composition changes during processing of concentrated okra juice				
项目/(μg/mL)	原汁	酶解汁	超滤汁	浓缩清汁
原儿茶酸	0.95±0.01 ^c	1.44±0.01 ^b	0.99±0.01 ^c	9.95±0.02 ^a
儿茶素	7.87±0.04 ^d	17.62±0.05 ^b	14.11±0.04 ^c	145.06±0.12 ^a
绿原酸	1.50±0.04 ^c	2.15±0.04 ^b	1.57±0.03 ^c	16.99±0.07 ^a
咖啡酸	0.86±0.02 ^d	3.32±0.05 ^b	1.43±0.04 ^c	18.88±0.05 ^a
对香豆酸	-	1.30±0.04 ^b	0.71±0.04 ^c	7.92±0.05 ^a
阿魏酸	-	0.80±0.03 ^b	0.35±0.04 ^c	3.52±0.29 ^a
芦丁	77.03±0.64 ^b	41.54±0.34 ^c	22.45±0.41 ^d	209.57±0.92 ^a
金丝桃苷	13.24±0.32 ^c	25.37±0.34 ^b	9.27±0.42 ^d	102.06±0.82 ^a
杨梅素	5.16±0.03 ^b	4.14±0.04 ^b	1.45±0.05 ^c	12.01±0.07 ^a
总量	106.61±1.10 ^b	97.68±1.44 ^c	52.33±1.08 ^d	525.96±2.41 ^a

注:数据后字母(a~d)表示数据之间差异的显著性。

2.5.2 黄秋葵浓缩汁加工过程中酚类物质含量的变化

表 9 所示为黄秋葵浓缩汁生产加工过程中,其酚类物质的变化情况。由表可知,在黄秋葵酶解汁、超滤汁和浓缩汁中均检测出 9 种酚类物质如:原儿茶素、儿茶素、绿原酸等,而原汁中检测出除对香豆酸和阿魏酸的其他 7 种酚类物质。黄秋葵原汁中不含对香豆酸和阿魏酸,经过果胶酶处理所得黄秋葵酶解汁中却含有这两种酚类物质,这是因为对香豆酸和阿魏酸与多糖、木质素交联,广泛存在于植物细胞壁中^[17]因而不易溶解于黄秋葵原汁中,在果胶酶处理时,黄秋葵汁 pH 为 3.9,呈酸性,而烷基和芳香基链接的醚键对酸较为敏感,在该条件下易发生断裂,释放出通过醚键结合的对香豆酸和阿魏酸^[18],因此得到的黄秋葵酶解汁中出现了阿魏酸和对香豆酸这两种原汁中没有的酚类物质。与黄秋葵原汁相比较,酶解汁中除芦丁和

杨梅素外,其余 7 种酚类物质含量均升高,这是由于芦丁的热稳定性较差,加热易分解,因此在酶解中遭到破坏导致其含量降低。

3 结论

3.1 综合对黄秋葵浓缩汁营养物质的保留、透光率、节约成本等方面的考虑,确定果胶酶澄清黄秋葵汁的最佳条件为:酶解温度 41 °C、酶解时间 65 min、酶用量 0.21 g/L,所得黄秋葵酶解汁的透光率可达 41.50%,酶解汁中各营养物质的含量增加 4.81%~23.42%,并且能够去除了大部分杂质,能够减小对后续超滤处理中超滤膜的负荷;采用 67 ku 孔径超滤膜进行超滤处理不仅色泽自然,澄清效果较好,还能够更好地保留黄秋葵汁的风味和营养成分,所得黄秋葵超滤汁的透光率可达 96.24%,但各营养成分明显损失,保留率在 65.38%~83.59%;最终确定 45 °C

为最佳的真空浓缩温度,该条件下浓缩时间短,各营养成分的损失较少,保留率均在 93.56%~98.82%,所得浓缩汁很好地保持了营养成分及原有的风味和色泽;高效液相色谱法分析结果显示,黄秋葵酶解汁、超滤汁和浓缩汁中共检测出 9 种酚类物质。其中浓缩汁所含酚类物质种类和含量分别为:原儿茶酸 9.95 $\mu\text{g/mL}$ 、儿茶素 145.06 $\mu\text{g/mL}$ 、绿原酸 16.99 $\mu\text{g/mL}$ 、咖啡酸 18.88 $\mu\text{g/mL}$ 、对香豆酸 7.92 $\mu\text{g/mL}$ 、阿魏酸 3.52 $\mu\text{g/mL}$ 、芦丁 209.57 $\mu\text{g/mL}$ 、金丝桃苷 102.06 $\mu\text{g/mL}$ 、杨梅素 12.01 $\mu\text{g/mL}$,原汁中仅检测出除对香豆酸和阿魏酸的其他 7 种酚类物质。

3.2 本研究经过对黄秋葵浓缩汁加工过程中品质变化的研究,优化了黄秋葵浓缩汁加工环节的关键工艺参数,得到的浓缩汁很好地保留了黄秋葵的风味和营养成分,其中富含多种酚类物质,具有营养价值和潜在的保健功效以及较大的市场应用前景,为生产实践提供部分理论依据。

参考文献

- [1] 吴秋敏.黄秋葵总黄酮的微胶囊化及其应用在冷鲜肉保鲜上的研究[D].杭州:浙江大学,2015
WU Qiu-min. The research of the microencapsulation of flavones of okra's flowers and its application on preservation of chilled meat [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [2] Sahoo P K, Srivastava A P. Physical properties of okra seed [J]. Biosystems Engineering, 2003, 83(4): 441-448
- [3] Roy A, Shrivastava S L, Manda S M. Functional properties of okra *Abelmoschus esculentus* L. (Moench): traditional claims and scientific evidences [J]. Plant Science Today, 2014, 1(3): 121-130
- [4] 徐碧珍,沈文杰,李育军,等.黄秋葵育种及其研究前景[J].长江蔬菜,2018,466(20):45-50
XU Bi-zhen, SHEN Wen-jie, LI Yu-jun, et al. Okra breeding and its research prospects [J]. Yangtze Vegetables, 2018, 466(20): 45-50
- [5] 王君耀,周峻,汤谷平.黄秋葵抗疲劳作用的研究[J].中国现代应用药学,2003,20(4):316-317
WANG Jun-yao, ZHOU Jun, TANG Gu-ping. Study on anti-fatigue effect of okra [J]. China Modern Applied Pharmacy, 2003, 20(4): 316-317
- [6] 李孟秋,翟俊乐,田欢,等.黄秋葵提取物体外抗氧化活性的研究[J].中国食品添加剂,2015,10:65-69
LI Meng-qiu, ZHAI Jun-le, TIAN Huan, et al. Study on antioxidant capacity of extracts from okra [J]. China Food Additives, 2015, 10: 65-69
- [7] Hu L, Yu W, Li Y, et al. Antioxidant activity of extract and its major constituents from okra seed on rat hepatocytes injured by carbon tetrachloride [J]. Biomed Research International, 2015, 2014(350): 341-291
- [8] Ghorri M U, Mohammad M A, Rudrangi S R S, et al. Impact of purification on physicochemical, surface and functional properties of okra biopolymer [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 71: 311-320
- [9] Alba, Katerina. Isolation, characterization and functional properties of okra pectin [J]. Anticancer Research, 2015, 1(2): 4601-4606
- [10] 陈宏毅.秋葵主要栽培品种特性与栽培技术[J].蔬菜,2012, 12:22-25
CHEN Hong-yi. Okra's main cultivar characteristics and cultivation techniques [J]. Vegetables, 2012, 12: 22-25
- [11] Yuennan P, Sajjaanantakul T, Goff H D. Effect of okra cell wall and polysaccharide on physical properties and stability of ice cream [J]. Journal of Food Science, 2014, 79(8): 1522-1527
- [12] 陈亮.贮藏温度对神秘果果实采后品质、生理代谢及病害的影响[J].热带作物学报,2015,36(6):1173-1178
CHEN Liang. Effects of storage temperature on postharvest quality, physiological metabolism and disease in *Synsepalum dulcificum* daniell [J]. Chinese Journal of Tropical Crops Chin J Trop Crop, 2015, 36(6): 1173-1178
- [13] 俞丽娜,张兴龙,刘红星,等.果胶酶澄清枇杷果汁工艺的优化研究[J].食品工业科技,2016,37(3):201-205
YU Li-na, ZHANG Xing-long, LIU Hong-xing, et al. Study on optimal clarification process of loquat fruit juice with pectinase [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(3): 201-205
- [14] 李素清,秦文,杨雨薇,等.响应面法优化青柠汁的果胶酶澄清工艺[J].饮料工业,2015,2:39-43
LI Su-qing, QIN Wen, YANG Yu-wei, et al. Optimization of lime juice clarification treated with pectinase by response surface methodology [J]. The Beverage Industry, 2015, 2: 39-43
- [15] 王周利,伍小红,岳田利,等.苹果酒超滤澄清工艺的响应面法优化[J].农业机械学报,2014,45(1):209-213
WANG Zhou-li, WU Xiao-hong, YUE Tian-li, et al. Optimization of cider ultrafiltration clarification process by response surface methodology [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 209-213
- [16] 姬晨,徐怀德.红枣汁超滤澄清工艺研究[J].农产品加工,

- 2015,6:33-36
- JI Chen, XU Huai-de. Clarification process of red jujube juice using ultrafiltration technology [J]. Processing of Agricultural Products, 2015, 6: 33-36
- [17] 余炼,滕建文.真空浓缩对芒果汁香气成分影响的分析[J].现代食品科技,2010,26(9):1020-1022
- YU Lian, TENG Jian-wen. Influence of vacuum concentration on aroma compounds of mango juice [J]. Modern Food Science & Technology, 2010, 26(9): 1020-1022
- [18] 郑亚军,李艳,胡荣,等.常压浓缩和真空浓缩对浓缩椰浆的品质影响[J].食品工业科技,2015,36(22):241-245
- ZHENG Ya-jun, LI Yan, HU Rong, et al. Effect of atmospheric concentration and vacuum concentration on the quality of concentrated coconut milk [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(22): 241-245
- [19] 刘崑,杨玲辉,闫迎春.果胶酶澄清葡萄汁的工艺研究[J].中国农学通报,2011,27(5):447-451
- LIU Kun, YANG Ling-hui, YAN Ying-chun. Study on the clarification technology of grape juice using pectinase [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(5): 447-451
- [20] Gulec H A, Bagci P O, Bagci U. Clarification of apple juice using polymeric ultrafiltration membranes: a comparative evaluation of membrane fouling and juice quality [J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(5): 875-885
- [21] Chin N L, Chan S M, Yusof Y A, et al. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(2): 134-140
- [22] 杨许作.真空浓缩设备的防结垢污染[J].机电信息,2012,17: 42-45
- YANG Xu-zuo. Anti-fouling pollution of vacuum concentration equipment [J]. Electromechanical Information, 2012, 17: 42-45
- [23] Bakar M F A, Mohamed M, Rahmat A. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*) [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 479-483
- [24] Ercisli S, Orhan E, Ozdemir O, et al. The genotypic effects on the chemical composition and antioxidant activity of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries grown in Turkey [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 115(1): 27-33
- [25] 黄阿根,陈学好,高云中,等.黄秋葵的成分测定与分析[J].食品科学,2007,28(10):451-455
- HUANG A-gen, CHEN Xue-hao, GAO Yun-zhong, et al. Determination and analysis of ingredient in okra [J]. Food Science, 2007, 28(10): 451-455
- [26] 胡银凤,吴小婷,陈秋香,等.GB/T 8312-2013 高效液相色谱法与紫外分光光度法检测固态速溶茶中咖啡碱含量的比较[J].中国茶叶,2019,41(7):43-48
- HU Yin-feng, WU Xiao-ting, CHEN Qiu-xiang, et al. GB/T 8312-2013 Comparison of high performance liquid chromatography and ultraviolet spectrophotometric determination of caffeine content in solid instant tea [J]. Chinese Tea, 2019, 41(7): 43-48
- [27] 翁霞,辛广,李云霞.蒽酮比色法测定马铃薯淀粉总糖的条件研究[J].食品研究与开发,2013,17:86-88
- WENG Xia, XIN Guang, LI Yun-xia. Study on determination conditions of total sugar from potato starch by anthrone colorimetry [J]. Food Research and Development, 2013, 17: 86-88
- [28] Baschieri A, Ajvazi M D, Tonfack J L F, et al. Explaining the antioxidant activity of some common non-phenolic components of essential oils [J]. Food Chemistry, 2017, 232: 656-663
- [29] Yasir M, Sultana B, Anwar F. LC-ESI-MS/MS based characterization of phenolic components in fruits of two species of solanaceae [J]. Journal of Food Science & Technology, 2018, 55(7): 2370-2376
- [30] 温文旭.丝瓜褐变过程酚类物质的分析与研究[D].福州:福建农林大学,2017
- WEN Wen-xu. Analysis and study of phenols in the browning process of luffa [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017
- [31] 任曼妮,姜辰昊,彭中兰,等.果胶酶处理对花红清汁出汁率和澄清度的影响[J].食品工业,2019,40(6):47-50
- REN Man-ni, JIANG Chen-hao, PENG Zhong-lan, et al. Effects of pectinase treatment on juice yield and clarification of malus asiatica juice [J]. Food Industry, 2019, 40(6): 47-50
- [32] Roy Karabi, Dey Sujana, Uddin Md Kamal, et al. Extracellular pectinase from a novel bacterium *Chryseobacterium indologenes* strain SD and its application in fruit juice clarification [J]. Enzyme Research, 2018, 2018: 1-7
- [33] 董彩文,段蒙蒙,耿培栋,等.响应面法优化黄秋葵汁酶解工艺条件研究[J].食品工业,2015,36(8):137-141
- DONG Cai-wen, DUA Meng-meng, GENG Pei-dong, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis of okra juice by response surface methodology [J]. Food Industry, 2015, 36(8): 137-141
- [34] Ghosh Payel, Garg Sourav, Mohanty Indrani, et al. Comparison and storage study of ultra-filtered clarified jamun (*Syzygium cumini*) juice [J]. Journal of Food Science and

- Technology, 2019, 56(4): 1877-1889
- [35] 龚彦文, 申艳敏, 程雪妮. 橙汁超滤澄清工艺研究[J]. 食品科技, 2010, 35(7): 131-134
- GONG Yan-wen, SHEN Yan-min, CHENG Xue-ni. Study on ultrafiltration of orange juice [J]. Food Science & Technology, 2010, 35(7): 131-134
- [36] Li Fuhua, Yan Huiming, Li Weizhou, et al. A comparative study of the effects of ultrafiltration membranes and storage on phytochemical and color properties of mulberry juice [J]. Journal of Food Science, 2019, 84(12): 3565-3572
- [37] 黄微. 加工和贮藏对红枣浓缩汁酚类物质的影响[D]. 西安: 西北大学, 2012
- HUANG Wei. Effects of processing and storage on phenolics in jujube concentrated juice [D]. Xi'an: Northwest University, 2012
- [38] 黄婉玉. 超滤对红枣汁理化性质和抗氧化活性的影响[D]. 西安: 西北大学, 2010
- HUANG Wan-yu. Effects of ultrafiltration on physicochemical properties and antioxidant activity of jujube juice [D]. Xi'an: Northwest University, 2010
- [39] 李靖靖, 李红梅. 温度对浓缩加工苹果汁过程中抗氧化成分的影响[J]. 农产品加工, 2018, 14: 42-44
- LI Jing-jing, LI Hong-mei. Effect of temperature on antioxidant content in process of concentrated processing of apple juice [J]. Processing of Agricultural Products, 2018, 14: 42-44
- [40] 董彩文, 汤久停, 段蒙蒙, 等. 响应面法对壳聚糖澄清黄秋葵汁工艺的优化[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(22): 5922-5925, 5930
- DONG Cai-wen, TANG Jiu-ting, DUAN Meng-meng, et al. Optimization of the clarification technology of okra juice with chitosan by response surface methodology [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(22): 5922-5925, 5930
- [41] 金振宇, 杨宏志. 中空纤维超滤膜澄清蓝莓果汁工艺研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 260-264
- JIN Zhen-yu, YANG Hong-zhi. Optimization of hollow fiber on ultrafiltration in membrane clarification for blueberry juice by response surface methodology [J]. Food and Machinery, 2014, 30(5): 260-264
- [42] 秦贯丰, 丁中祥, 原姣姣, 等. 苹果汁冷冻浓缩与真空蒸发浓缩效果的对比实验研究[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 102-109
- QIN Guan-feng, DING Zhong-xiang, YUAN Jiao-jiao, et al. Comparative experimental study on the effect of freeze concentration and vacuum evaporation concentration of apple juice [J]. Food Science, 2020, 41(7): 102-109
-
- (上接第 79 页)
- [19] 张佳, 王莹, 张峰, 等. 滤纸片法测定黄花蒿提取物对霉菌的抑制活性[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1153-1154
- ZHANG Jia, WANG Ying, ZHANG Feng, et al. Filter method for determining the inhibitory activity of extracts from a. annua to mold [J]. Journal of Hubei Agricultural Science, 2009, 48(5): 1153-1154
- [20] 马利华, 宋慧, 秦杰. 牛蒡提取物体外抗氧化性的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 69-72
- MA Li-hua, SONG Hui, QIN Jie. Burdock extract *in vitro* antioxidant activity research [J]. Journal of Food and Machinery, 2007, 23(1): 69-72
- [21] 张晓洁. 兔皮明胶/迷迭香酸复合膜的制备及性能研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018
- ZHANG Xiao-jie. The rabbit skin gelatin/rosemary acid composite membrane preparation and properties of research [D]. Chongqing: Southwest University, 2018
- [22] Cao Z, Wang D, Lyu L, et al. Fabrication and characterization of PCL/CaCO₃ electrospun composite membrane for bone repair [J]. RSC Advances, 2016, 6(13): 10641-10649
- [23] Lian H, Zhang L, Meng Z. Biomimetic hydroxyapatite/gelatin composites for bone tissue regeneration: fabrication, characterization, and osteogenic differentiation *in vitro* [J]. Materials & Design, 2018, 156: 381-388
- [24] 刘洋, 夏俪宁, 贾慧, 等. 马哈鱼鱼皮明胶提取温度和甘油质量浓度对其成膜特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(7): 236-242
- LIU Yang, XIA Ling-ning, JIA Hui, et al. The salmon fish skin gelatin extraction temperature and quality of glycerine concentration influence on its membrane characteristics [J]. Journal of Food Science, 2018, 39(7): 236-242