

番茄籽油特色辣椒丝产品的开发与其抗氧化性比较

赖慧宁, 李瓴, 黄思莹, 韦欣怡, 欧咏欣, 何思佳, 赵振刚*

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 该研究利用番茄籽油和不同品种干辣椒(二荆条、秦椒、新疆肉椒和新疆线椒)复配特色辣椒丝产品, 探讨其抗氧化能力和感官品质。通过测定番茄籽油的理化指标, 发现其酸价为 1.40 mg(KOH)/g, 不饱和脂肪酸含量高达 78.81%。采用 DPPH 法、ORAC 法和 PSC 法评估辣椒微乳液的抗氧化性及辣椒炒制前后抗氧化能力的变化。结果表明, 新疆肉椒、新疆线椒、秦椒、二荆条微乳液的 DPPH 自由基半抑制浓度 IC_{50} 值均低于番茄籽油。新疆肉椒微乳液的 ORAC 值为 0.82 $\mu\text{mol TE/g}$, 高于番茄籽油。二荆条微乳液在过氧自由基清除能力上表现最佳, 其 PSC 值提高了 50.39%。炒制后辣椒的抗氧化能力普遍降低, 特别是新疆肉椒和秦椒。感官评定表明, 秦椒制作的产品最受欢迎。该研究为开发具特色的番茄籽油辣椒丝产品提供了理论支持, 强调了选择合适辣椒原料的重要性。

关键词: 番茄籽油; 辣椒丝产品; 抗氧化活性; 微乳液; 感官评定

文章编号: 1673-9078(2024)12-252-259

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.12.1276

Comparisons of the Development of Tomato Seed Oil Specialty Shredded Pepper Products and Their Antioxidant Properties

LAI Huining, LI Ling, HUANG Siying, WEI Xinyi, OU Yongxin, HE Sijia, ZHAO Zhengang*

(College of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In this study, tomato seed oil and different varieties of dried pepper (Erjingtiao pepper, Qinjiao pepper, Xinjiang roujiao pepper and Xinjiang line pepper) were used to combine with specialty shredded pepper products to investigate their antioxidant capacity and sensory quality. By measuring the physicochemical indexes of tomato seed oil, it was found that its acid value was 1.40 mg (KOH)/g, and the content of unsaturated fatty acids was as high as 78.81%. The DPPH method, ORAC method and PSC method were used to evaluate the antioxidant activity of pepper microemulsion and the changes in the antioxidant capacity of pepper before and after pepper frying. The results showed that the half-inhibitory concentrations (IC_{50} values) towards DPPH free radical for the microemulsions of Erjingtiao pepper, Qinjiao pepper, Xinjiang roujiao pepper and Xinjiang line pepper were lower than that of tomato seed oil. The ORAC value of Xinjiang roujiao pepper microemulsion was 0.82 $\mu\text{mol TE/g}$, which was higher than that of tomato seed oil. The highest scavenging ability for peroxy free radical was with the microemulsion of Erjingtiao pepper, with its PSC value being increased by 50.39%. The antioxidant capacity of the pepper was generally reduced after frying, especially the Xinjiang roujiao pepper and Qinjiao pepper. Sensory evaluation showed that Qinjiao pepper products were the most popular. This study provides theoretical support for the

引文格式:

赖慧宁, 李瓴, 黄思莹, 等. 番茄籽油特色辣椒丝产品的开发与其抗氧化性比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(12): 252-259.

LAI Huining, LI Ling, HUANG Siying, et al. Comparisons of the development of tomato seed oil specialty shredded pepper products and their antioxidant properties [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(12): 252-259.

收稿日期: 2023-10-23

基金项目: 新疆兵团农二师科技计划项目(2021GXGG06)

作者简介: 赖慧宁(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程, E-mail: lai05250960@163.com

通讯作者: 赵振刚(1979-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 植物天然产物活性研究, E-mail: fezzg@scut.edu.cn

development of distinct tomato seed oil shredded pepper products and highlights the importance of selecting appropriate raw pepper materials.

Key words: tomato seed oil; pepper shredded products; antioxidant activity; microemulsion; sensory evaluation

番茄籽是番茄果实的主要成分，也是番茄加工过程中产生的番茄渣主要成分之一^[1]，其占番茄总质量的1%~5%，含有丰富的活性物质，如 β -胡萝卜素、番茄红素、生育酚等，营养价值高，对人体健康有益^[2]。番茄籽中含有20%~36%的油脂^[3]，主要为高不饱和脂肪酸，是一种优质的籽油原料^[4,5]。番茄籽油具有良好的抗氧化特性^[6]，被证实具有预防动脉粥样硬化、血管扩张、血栓形成和高胆固醇等疾病的能力^[7]。因此番茄籽油具有被开发为高营养食用油和功能性食品的潜力^[8]。

辣椒是茄科辣椒种属的一年生草本植物，原产于美洲，明朝时传入我国，是一种重要的蔬菜作物。辣椒中含有丰富的维生素C、辣椒素、 β -胡萝卜素、叶酸、镁及钾等营养物质^[9,10]。其中辣椒素、辣椒多酚等物质具有消炎及抗氧化作用，有助于治疗哮喘、咳嗽等呼吸道疾病，降低心脏病、某些肿瘤及其它一些随年龄增长而出现的慢性病的风险^[11]。现有研究表明番茄和辣椒及其加工制品的摄入能够显著改善机体健康、降低罹患各种疾病的风险^[12,13]。

《中国居民营养与慢性病状况报告（2020年）》指出，我国慢性病患者基数不断增大，居民对于个人健康的关注度也在不断提升^[14]，更加关注和消费具有健康功效的特种食用油和保健食品。番茄籽油和辣椒均具有丰富的营养物质和对人体具有重要的健康功效成分，但目前将番茄籽油和辣椒结合的相关产品较少出现在消费市场。因此本研究在探究番茄籽油相关理化性质的同时，结合番茄籽油与辣椒，开发制作成番茄籽油特色辣椒丝产品，通过体外抗氧化实验检测产品的抗氧化能力，并通过感官评定的方式考察产品的品质，以期为番茄籽油食品的加工与开发提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 材料

番茄籽油由新疆百禾晶生物科技有限公司提供。选用的4种不同干辣椒的外观及来源如表1所示。

表1 不同种类干辣椒来源及外观特性

Table 1 Sources and appearance characteristics of different kinds of dried peppers

种类	外观描述	来源
二荆条	大红色，条状	山东滕州滋正食品有限公司
秦椒	深红色，条状	陕西省咸阳市兴平市臻味食品店
新疆线椒	深红色，条状	新疆哎哟喂食品有限公司
新疆肉椒	橘红色，块状	新疆哎哟喂食品有限公司

1.2 试剂与仪器

试剂：1,1-苯基-2-苦肼基自由基（DPPH），美国Sigma-Aldrich公司；2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐（ABTS），美国Sigma-Aldrich公司；Trolox（水溶性VE类似物），美国Sigma-Aldrich公司；槲皮素（Quercetin），上海源叶生物科技有限公司；2,7-二氯二氢荧光素二乙酯（DCFH-DA），美国Sigma-Aldrich公司；偶氮二异丁基脒（ABAP），美国Sigma-Aldrich公司；甲醇（色谱级），上海Anpel公司；乙腈（色谱级），上海Anpel公司；其他试剂均为分析纯。

仪器：RFM3400阿贝折光仪，英国Stanley公司；7890B-5977B型气相色谱，美国Agilent公司；ALC-210.4电子分析天平，德国ACCULAB公司；UV-1780型紫外分光光度计，日本岛津公司；多功能酶标仪，奥地利Tecan Austria GmbH公司。

1.3 实验方法

1.3.1 番茄籽油的理化指标及组成成分的测定

番茄籽油理化指标的测定：番茄籽油的折光指数参考GB/T 5527-2010测定；酸价参考GB 5009.229-2016测定；皂化值参考GB/T 5534-2008测定；过氧化值参考GB 5009.227-2016测定；碘值参考GB/T 5532-2022测定。

番茄籽油组成成分的测定：参考GB 5009.168-2016对动植物油脂脂肪酸组成检测的方法。

1.3.2 番茄籽油辣椒丝的制作工艺

1.3.2.1 番茄籽油辣椒丝产品配方

产品设计配方如下：

不同品种的辣椒 30 g, 番茄籽油 60 g, 盐 1.5 g, 味精 0.75 g, 糖 1.2 g, 醋 1.5 g。其中, 辣椒经水浸泡 30 min 后沥干切丝备用。

1.3.2.2 番茄籽油辣椒丝产品的制作流程

选取外观正常的干辣椒→冷水浸泡 30 min →沥干→切丝→120~130 °C 下干炒 1 min →按比例加入食盐、味精、食醋、白糖→120~130 °C 下炒制 30 s, 起锅→150~160 °C 下加热番茄籽油 45 s →加干辣椒混合翻炒 20 s, 起锅装罐

1.3.3 样品微乳液制备

参考陶紫等^[15]微乳液的制备方法, 进行适当修改。具体步骤如下:

①混合表面活性剂的配制: 将吐温-80 和无水乙醇按照质量比 3:1 混合, 放入磁力搅拌器中搅拌均匀, 室温下静置平衡, 得混合表面活性剂。

②微乳制备: 将混合表面活性剂和样品中的油按照质量比 8:2 混合, 搅拌均匀后作为油相。随后往油相中一边搅拌一边滴加去离子水, 配制成水分含量为 70% 的配方组分。在室温下静置平衡 24 h, 在偏振显微镜下观察, 若样品呈现各向同性且呈透明状, 即为微乳液。

1.3.4 辣椒中抗氧化物质的提取

准确称取适量的制备前后的辣椒, 以料液比 1:10 (m/V) 的比例加入 80% 甲醇溶液 (V/V), 避光振荡 4 h, 室温超声提取 1 h, 10 000 r/min 离心 5 min, 取上清液备用。

1.3.5 番茄籽油及其辣椒丝产品的抗氧化活性测定

1.3.5.1 DPPH 自由基清除率测定

参考王强等^[16]的方法。配制质量浓度为 1、5、10、15、20、25 mg/mL 番茄籽油或产品油的乙酸乙酯溶液。将 2.5 mL 的样品溶液与 2.5 mL 的 DPPH 乙醇溶液混合, 记为样品组 A_i ; 将 2.5 mL DPPH 乙醇溶液与 2.5 mL 乙酸乙酯混合, 记为空白组 A_0 ; 将 2.5 mL 乙醇溶液与 2.5 mL 不同质量浓度的样品溶液混合, 记为对照组 A_j 。混合后于室温避光反应 30 min。反应结束后, 用分光光度计在 517 nm 处测定吸光度。根据公式 (1) 计算 DPPH 自由基清除率, 并绘制 DPPH 自由基清除率曲线。辣椒中提取物 DPPH 抗氧化活性的检测将乙酸乙酯改为 80% 甲醇溶液 (V/V), 阳性对照为 1 mg/mL 抗坏血酸-80% 甲醇溶液 (V/V)。

$$S = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

S ——实验样品对 DPPH 自由基清除率;

A_0 ——实验空白组的吸光度;

A_i ——实验样品组的吸光度;

A_j ——实验对照组的吸光度。

1.3.5.2 ORAC 法测定抗氧化能力

参考徐维盛等^[17]的方法。在 96 孔黑板中对应的孔加入 20 μ L 番茄籽油乳液及样品溶液、不同浓度的 Trolox 标准品或 PBS 缓冲试剂, 于 37 °C 避光孵育 10 min, 再往每孔中加入 200 μ L 荧光素钠工作液, 于 37 °C 避光孵育 20 min, 随后迅速往各个孔 (除 -ABAP 孔以外) 中加入 20 μ L ABAP 工作液, 之后立即在环境 37 °C, 激发光波长 485 nm, 发射光波长 538 nm 的条件下进行荧光强度的测定, 每 5 min 测定一次, 共测定 35 个荧光循环。其中 -ABAP 组不加 ABAP 和样品, +ABAP 组不加样品。

将相应时间点各孔的绝对荧光强度数据与 -ABAP 组空白荧光强度进行比较, 折算成各孔的相对荧光强度 f , 以此由公式 (2) 计算积分面积:

$$AUC = 0.5 \times [2 \times (f_1 + f_2 + \dots + f_{n-1} + f_n) - f_1 - f_n] \times CT \quad (2)$$

式中:

AUC ——荧光衰退曲面下的面积;

f_n ——第 n 次读取荧光值的相对荧光强度;

CT ——每次循环间隔时间。

标品或者待测样的荧光保护面积 (Net AUC) 等于标品或样品作用下的衰退曲线面积 (AUC_{sample}) 减去空白对照作用孔的荧光衰退 (AUC_{blank}) 而得的荧光衰退曲线的延迟部分面积; 样品的 ORAC 值, 由其荧光衰退曲线的保护面积与标品 Trolox 的保护面积相比而得。结果表示为每克样品的 Trolox 当量 (μ mol TE/g 样品)。计算公式见式 (3)。

$$ORAC = \frac{AUC_{Sample} - AUC_{blank}}{AUC_{Trolox} - AUC_{blank}} \times \frac{M_{Trolox}}{M_{Sample}} \quad (3)$$

式中:

AUC_{Sample} ——样品的荧光衰退曲面下的面积;

AUC_{Trolox} ——标品的荧光衰退曲面下的面积;

AUC_{blank} ——空白对照的荧光衰退曲面下的面积;

M_{Sample} ——样品的质量浓度, mg/L;

M_{Trolox} ——标品的摩尔浓度, mol/L。

1.3.5.3 过氧自由基清除能力 (PSC) 的测定

参考陈永生^[18]和郑瑞^[19]的方法, 略作修改。用 75 mmol/L 磷酸盐缓冲溶液 (pH 值 7.4) 稀释样品溶液或维生素 C 储备液。在黑色 96 孔板中依次加

入 100 μL 待测样品或标品, 再加入 100 μL DCFH-DA (20 $\mu\text{mol/L}$, 预先采用 1 mmol/L KOH 水解, 并用缓冲溶液进行稀释), 最后加入 50 μL ABAP (40 mmol/L), 立即利用酶标仪对各孔荧光变化进行测定。实验空白为缓冲溶液代替待测样品。酶标仪的条件设置为: 温度 37 $^{\circ}\text{C}$; 激发光波长 485 nm ; 发射光波长 538 nm ; 读数间隔为 5 min , 测定时长为 40 min 。

待测样品的 PSC 值为每组待测样品荧光强度变化的时间动力曲线面积, 即样品清除过氧自由基的

能力。PSC 值的计算公式见式 (4)。以 EC_{50} 值 (即阻止 50% 荧光 ($\text{PSC}=0.5$) 产生所需要的测试样品的质量浓度) 作为最终比较抗氧化活性的指数。样品的过氧自由基清除能力表示为 $\mu\text{mol vit.V equiv./mg Oil}$ 。

$$B=1-\frac{SA}{CA} \quad (4)$$

式中:

B ——PSC 值;

SA ——标准品或待测样品的荧光强度积累量;

CA ——空白对照的荧光强度积累量。

表 2 番茄籽油辣椒丝感官评分表

Table 2 Sensory rating scale of tomato seed oil shredded pepper

项目	评价标准	评分参考 (0分为最低, 7分为最高)
外观	辣椒形态正常, 含水量正常, 表面光滑完整, 有少量油包裹表面;	7分
	辣椒形态总体正常, 表面存在部分皱缩, 有少量油包裹表面;	4分
	辣椒整体皱缩, 有大量油包裹表面;	0分
色泽	颜色正常, 均匀无杂色;	7分
	颜色较正常, 有 30% 左右的杂色 (如红色颜色深浅程度不均);	4分
	60% 以上颜色异常不均匀 (如黑色, 黄色)	0分
气味	气味正常, 产品特征性气味 (如辣味) 明显;	7分
	气味正常, 产品特征性气味较淡;	4分
	气味异常 (如有明显的哈喇味、霉味等), 无产品特征性气味;	0分
辣度	产品的辣味强度适宜, 余味易接受;	7分
	产品的辣味不强, 余味较淡;	4分
	产品的辣味浓郁且强烈, 或没有丝毫的辣味;	0分
甜度	产品的甜味强度适当;	7分
	产品的甜味较适当, 甜度较强;	5分
	产品的甜度过分强烈, 余味不易接受, 或甜度低, 甚至无甜味;	0分
咸度	产品的咸味强度适当, 余味易接受;	7分
	产品的咸味强度较低, 余味较淡;	4分
	产品的咸度强烈, 咸味太重, 或产品咸味低, 甚至无咸味;	0分
酸度	产品的酸味适当, 余味易接受;	7分
	产品的酸味较淡;	4分
	产品的酸味强烈, 不易接受, 或者没有酸味;	0分
咀嚼适口程度	咀嚼口感细腻, 组织均匀, 韧性程度适当;	7分
	咀嚼口感较细腻, 组织较均匀, 韧性程度较差;	4分
	咀嚼口感差, 组织不均匀, 韧性程度差;	0分
辣味持久时间	持续时间不超过 30 s, 基本不需要饮用水;	7分
	持续时间为 1 min 左右, 需要饮用少量水;	4分
	持续时间超过 2 min, 需要饮用大量水;	0分

1.3.6 感官评定

结合 GB/T 29605-2013 感官分析食品感官质量控制导则并参考文献方法^[20,21], 采用定量描述分析法对制作的 4 种番茄籽油辣椒丝产品进行感官评价, 组织 20 名符合感官评价的人员, 男性 10 人, 女性 10 人, 所有人身体健康, 五感正常, 无抽烟酗酒等恶习, 具有感官评定经验和良好的表达能力, 具备良好的分辨差异能力。将感官评价小组人员进行感官评价培训, 培训基本的味觉、嗅觉、描述等能力, 并进行样品培训, 提高评估的一致性与可重复性。将产品装入一次性透明塑料碗中, 进行随机三位数编码, 每次提供一份给评价小组, 然后分发感官评分表, 并为每位评价成员提供纯净水漱口用以去除前一试样的残余味道。每位评价成员先对试样的气味、色泽、外观进行评分, 然后将样品放入口中对其味道、质地进行评分。每次进行嗅觉和味觉的测试前, 评价成员需要进行漱口、喝水、嗅闻手背等方式消除气味和味觉的干扰, 从而降低评价误差。具体的感官评定细则如表 2 所示。

1.4 数据处理和分析

试验对加入各种辣椒丝的番茄籽油样品进行编号, 编号 821 为秦椒, 697 为二荆条, 460 为新疆线椒, 752 为新疆肉椒。每个试验设置 3 个平行, 采用 Excel 2019 软件进行数据处理, 结果用平均值 ± 标准差表示。样品间各指标的差异采用 SPSS 27 软件, 利用单因素方差分析 (ANOVA) 和 Duncan 多重范围检验, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 表示无显著差异。实验结果绘图均采用 Origin 2022 软件。

2 结果与分析

2.1 番茄籽油的理化性质

由表 3 所示, 番茄籽油的过氧化值为 $0.24 \text{ g (I}_2\text{)/100 g}$, 酸价为 1.40 mg (KOH)/g , 均符合国家对植物油的规定指标, 说明用于本次实验的番茄籽油产品品质较纯, 新鲜程度较好。其检测指标的数值与相关文献有所不同^[13,22,23], 可能是因为番茄品种品质、生产加工方式、储存条件等因素的不同, 造成指标数值的差异。

番茄籽油样品的脂肪酸组成成分由表 4 所示。由结果可知, 番茄籽油样品的主要成分为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸, 其中不饱和脂肪酸占比为 78.81%。其结果与王永瑞等^[24]测得的番茄

籽油脂肪酸组成相似。

表 3 番茄籽油样品的理化性质

Table 3 Physical and chemical properties of tomato seed oil sample

理化指标	数值	植物油指标
过氧化值	$0.24 \pm 0.01 \text{ g (I}_2\text{)/100 g}$	$\leq 0.25 \text{ g (I}_2\text{)/100 g}$
酸价	$1.40 \pm 0.17 \text{ mg (KOH)/g}$	$\leq 3 \text{ mg (KOH)/g}$
皂化值	$219.40 \pm 3.52 \text{ mg (KOH)/g}$	—
碘值	$159.56 \pm 4.43 \text{ g (I}_2\text{)/100 g}$	—
折光指数	1.4706 ± 0.0002	—

表 4 番茄籽油的脂肪酸组成

Table 4 Fatty acid composition of the tomato seed oil

脂肪酸种类	脂肪酸相对含量/%	俗名
十六酸	13.90	棕榈酸
十八烷酸	7.30	硬脂酸
(顺)-9-十八碳烯酸	25.15	油酸
(反)-9-十八碳烯酸		
(顺,顺)-9,12-十八碳二烯酸	51.44	亚油酸
(顺,顺,顺)-9,12,15-十八碳三烯酸	2.21	亚麻酸

2.2 不同种类的番茄籽油辣椒丝产品的抗氧化性

2.2.1 DPPH 自由基清除率

实验研究了番茄籽油微乳液、4 种辣椒产品中番茄籽油微乳液、炒制前后辣椒的抗氧化能力。各样品的 DPPH· 清除率如图 1 所示。在 1~10 mg/mL 范围内, 各样品微乳液的 DPPH· 清除率与其质量浓度呈正相关。随着样品微乳液质量浓度的升高, 其 DPPH· 清除能力越强。但在 15~25 mg/mL 范围内, DPPH· 清除率随样品质量浓度变化并不显著。从图 1 可知, 番茄籽油具有一定的 DPPH· 清除能力, 且 DPPH· 清除率与其质量浓度呈正相关。Ghosh 等^[5]采用极性溶剂与非极性溶剂分别萃取新鲜提取的番茄籽油并测试其 DPPH· 清除率, 发现油样质量浓度为 10 mg/mL 时 DPPH· 清除率分别为 74% 和 76%。Shao 等^[25]提取番茄籽油时发现其对 DPPH· 的抑制浓度 IC_{50} 值为 8.67 mg/mL。文献数据均优于本次实验中的番茄籽油 DPPH·, 这可能与番茄籽油的提取方式、储存时间以及油样的新鲜程度等因素有关。本次实验中番茄籽油的 IC_{50} 值为 11.16 mg/mL。新疆肉椒微乳液、新疆线椒微乳液、秦椒微乳液、二荆条微乳液的 IC_{50} 值分别为 7.07、6.62、8.26、

8.33 mg/mL。说明番茄籽油辣椒丝产品的 DPPH·清除率较番茄籽油均有所提高,其抗氧化能力比番茄籽油强。其中新疆线椒微乳液的抗氧化能力相对较强。加热会促进番茄籽油中油脂发生氧化^[26],但在加入辣椒丝后,由于辣椒中含有的脂溶性抗氧化成分如类胡萝卜素和辣椒素类物质的加入^[27],使微乳液的整体抗氧化能力得到提升,因此体现出较高的 DPPH·清除率。

在炒制前,各种辣椒提取液的 DPPH·清除能力较为接近,且与抗坏血酸的 DPPH·抗氧化能力相近,说明辣椒原料具有较好的 DPPH·抗氧化能力。但是在经过炒制后,辣椒提取液的 DPPH·清除能力下降显著,说明在辣椒丝产品制作过程中,会造成辣椒中抗氧化成分的损失,导致辣椒的 DPPH·清除能力下降较多,但其中新疆肉椒的抗氧化能力降低相对较少。

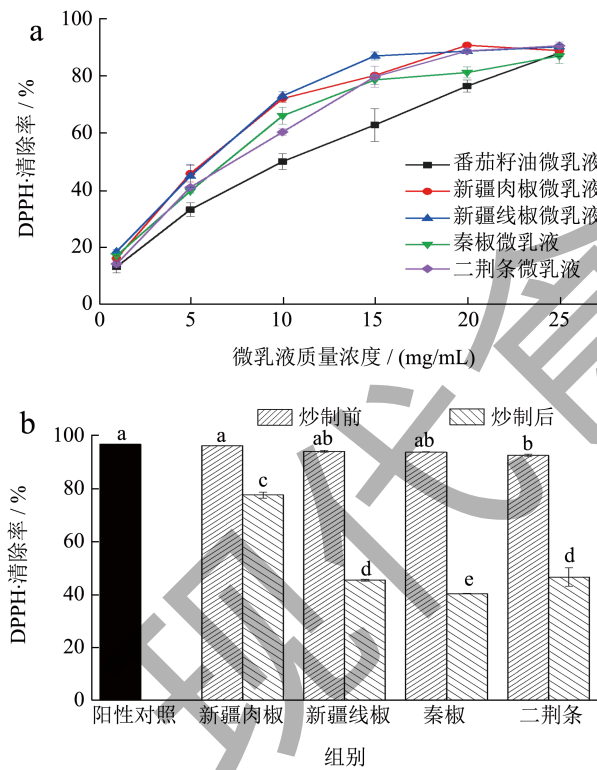


图1 各样品的 DPPH·清除率

Fig.1 DPPH· clearance of each sample

注:字母表示 DPPH·清除率的显著性 ($P < 0.05$),字母相同则无显著性差异,字母不同则有显著性差异。

2.2.2 ORAC法测定抗氧化能力

ORAC 方法对物质总抗氧化能力的评价具有特异性好、灵敏度高、测定范围广等优点^[28]。该方法以 ABAP 作为自由基的引发剂,通过样品的抗氧化能力作用,计算荧光衰退曲线下面积与荧光自然衰

退下曲线面积的差值,将结果以 Trolox 作为标准进行换算,以此作为衡量样品的抗氧化能力指标^[17]。试验中各样品的氧自由基吸收能力如图 2 所示。四种微乳液中新疆肉椒微乳液的 ORAC 值最高,达到 $0.82 \mu\text{mol TE/g}$,其次便是番茄籽油,其 ORAC 值达到 $0.74 \mu\text{mol TE/g}$ 。其他三种微乳液的 ORAC 值均低于番茄籽油。由此可得,加工后的番茄籽油总抗氧化活性相对于番茄籽油呈现下降的趋势,但其中新疆肉椒微乳液的抗氧化活性反而大于番茄籽油,其 ORAC 值比番茄籽油提高了 10.96%。该结果与 DPPH 试验结果并不一致,其主要原因可能是因为两种试验方法的原理具有差异。DPPH 法属于单电子转移机制,测定的是样品对高价态离子的还原能力,但不包括活性氧,而 ORAC 法却可以反映样品中抗氧化活性成分阻断或打破自由基链式反应的能力^[28]。Eller 等^[29]研究发现不同的提取技术得到的番茄籽油 ORAC 值存在显著差异性,超临界二氧化碳提取的番茄籽油 ORAC 值是 $0.96 \mu\text{mol TE/g}$,热乙醇提取的番茄籽油 ORAC 值是 $1.17 \mu\text{mol TE/g}$,热己烷提取的番茄籽油 ORAC 值是 $1.47 \mu\text{mol TE/g}$,且 ORAC 值与番茄红素的含量呈正相关。

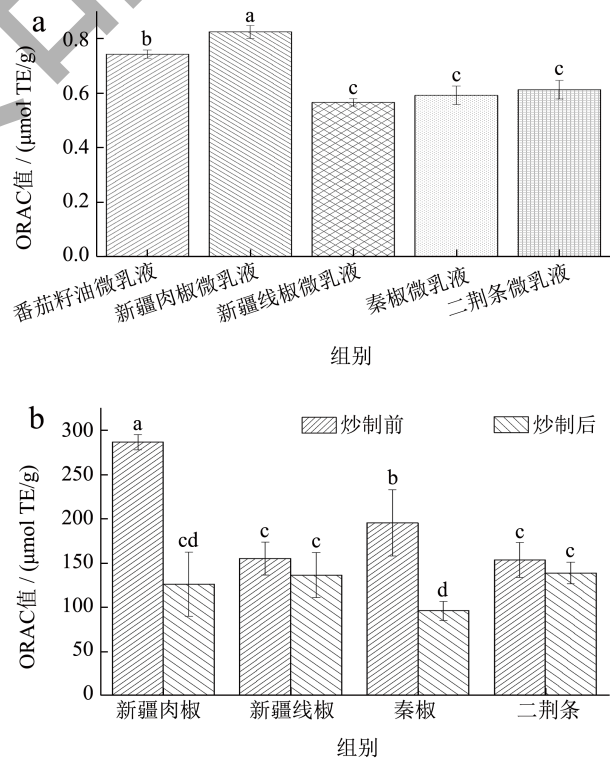


图2 各样品的氧自由基吸收能力值

Fig.2 Oxygen radical absorption capacity values of each sample

注:字母表示 ORAC 值的显著性 ($P < 0.05$),字母相同则无显著性差异,字母不同则有显著性差异。

图中炒制前的辣椒提取液 ORAC 值均大于炒制后的辣椒提取液 ORAC 值, 其中新疆肉椒、秦椒的 ORAC 值变化显著, 而新疆线椒、二荆条的 ORAC 值变化相对较小。炒制前辣椒之间的 ORAC 值差异显著, 但经过炒制后, 各辣椒的 ORAC 值之间差异并不显著。炒制前新疆肉椒的 ORAC 值为 286.45 $\mu\text{mol TE/g}$, 炒制后 ORAC 值为 126.22 $\mu\text{mol TE/g}$, 仅为炒制前 ORAC 值的 44.06%, 炒制前秦椒的 ORAC 值为 195.29 $\mu\text{mol TE/g}$, 炒制后 ORAC 值为 96.10 $\mu\text{mol TE/g}$, 是炒制前 ORAC 值的 49.21%。而新疆线椒、二荆条的炒制后 ORAC 值分别为炒制前 ORAC 值的 87.97%、90.37%。说明不同辣椒之间的抗氧化能力是存在显著差异的, 但经过热加工之后, 辣椒中的抗氧化活性成分如维生素 C 等被破坏, 从而发生抗氧化能力的下降。

2.2.3 过氧自由基清除能力 (PSC) 的测定

过氧自由基清除能力 (PSC) 的评价模型是一种快速且灵敏的评价物质对过氧自由基清除能力的化学方法, 其以 DCFH-DA 为荧光探针, 监测物质与自由基之间的反应^[30]。脂溶性样品与水溶性样品均可进行评价^[31]。

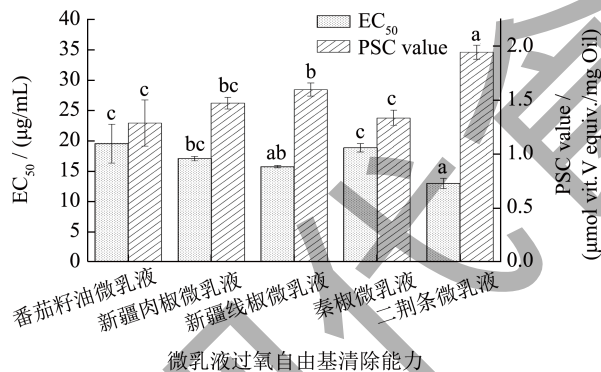


图 3 各微乳液的过氧自由基清除能力

Fig.3 Peroxyl radical scavenging capacity of each microemulsion

注: 字母表示数值的显著性 ($P < 0.05$), 字母相同则无显著性差异, 字母不同则有显著性差异。

番茄籽油与各种微乳液展现出的过氧自由基清除能力如图 3 所示。EC₅₀ 值越小, 说明阻止 50% 荧光产生所需要的测试样品的质量浓度越低, 也代表过氧自由基清除能力越强。而 PSC 值则表示每单位样品相当于维生素 C 清除过氧自由基的能力, PSC 值越大, 则表示过氧化自由基清除能力越强。番茄籽油的 EC₅₀ 值最大, 为 19.52 $\mu\text{g/mL}$, PSC 值最小, 为 1.29 $\mu\text{mol vit. V equiv./mg Oil}$ 。

二荆条微乳液的过氧自由基清除能力最强, 其 EC₅₀ 值最小, 为 12.94 $\mu\text{g/mL}$, PSC 值最大, 为 1.94 $\mu\text{mol vit. V equiv./mg Oil}$, 比番茄籽油微乳液的 PSC 值提高了 50.39%。

2.3 不同种类的番茄籽油辣椒丝产品的感官评定结果

从四类辣椒丝产品的感官评分雷达图中可以看出, 各类产品在外观、色泽、气味、适口程度上的评分相对相近。外观评分上除新疆线椒产品的评分相对较低外, 其他种类的产品均相近。色泽评分上秦椒产品相对较高, 新疆肉椒产品相对较低。辣味和甜味评分则呈现相反趋势, 其中新疆肉椒产品的甜味评分最高, 说明其味道偏甜, 因而在辣味上的评分则相对较低。辣味评分中, 二荆条产品的可接受程度最好。在辣味持久时间的评分上, 秦椒产品的持续时间较短, 而新疆肉椒产品的持续时间相对较长, 可能与其辣椒的种类有关。从整体的评分情况看, 秦椒产品的总评分最高, 说明其可接受程度最好, 其次是新疆线椒产品。而新疆肉椒产品的总评分最低, 可能的原因是肉椒的甜味较大, 减轻了其辣味和咸味, 令其产品的滋味口感变淡, 使整体评分降低。

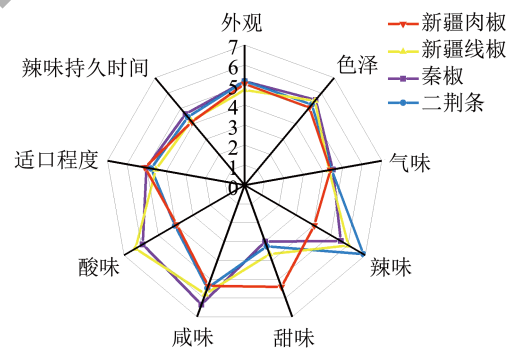


图 4 番茄籽油辣椒丝产品的感官评分雷达图

Fig.4 Sensory score radar map of tomato seed oil shredded pepper products

3 结论

本文研究了番茄籽油的理化性质及其辣椒丝产品的抗氧化活性对比情况。试验结果表明, 番茄籽油辣椒丝产品微乳液的 DPPH· 清除率、ORAC 值和 PSC 值展现出不同程度的上升。其中新疆线椒微乳液的 DPPH· 清除能力相对较强, 其 IC₅₀ 值为 7.03 mg/mL; 新疆肉椒微乳液的 ORAC 值最大,

达到 0.82 $\mu\text{mol TE/g}$ 。PSC 实验中,二荆条微乳液呈现出较好的过氧自由基清除能力,其 EC_{50} 值达到 12.94 $\mu\text{g/mL}$,PSC 值为 1.94 $\mu\text{mol vit. V equiv/mg Oil}$,比番茄籽油 PSC 值提高了 50.39%。辣椒产品微乳液抗氧化能力的提升可能是由于辣椒丝中含有的脂溶性抗氧化成分如类胡萝卜素、辣椒素等物质溶解在番茄籽油中导致的。对于炒制前后辣椒的抗氧化活性方面,发现经过炒制后,辣椒的抗氧化能力整体下降,说明热加工会导致辣椒中部分抗氧化活性物质的损失。感官评定中秦椒产品的总评分最高,其可接受程度最好。本研究将番茄籽油与辣椒相结合,比较其产品的体外抗氧化能力,通过感官评价探究番茄籽油辣椒丝产品的可接受程度,为选用合适的辣椒原料研发具有健康功效的番茄籽油辣椒丝产品提供理论基础,并为番茄籽油的应用与开发提供一定的参考。

参考文献

- [1] MECHMECHE M, KACHOURI F, CHOUABI M, et al. Optimization of extraction parameters of protein isolate from tomato seed using response surface methodology [J]. Food Analytical Methods, 2017, 10(3): 809-819.
- [2] MANOJ K, MAHARISHI T, JYOTI B D, et al. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seed: a review on bioactives and biomedical activities [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2021, 142: 112018.
- [3] 朱敏敏,魏长庆. 响应面法优化冷榨提取番茄籽油工艺的研究[J].食品工业,2017,38(6):137-139.
- [4] 周士琦,周亚西,闫文杰. 七种籽油新食品原料的研究进展[J].食品工业科技,2022,43(21):433-433.
- [5] GHOSH S, GHOSH M, BHATTACHARYYA D K. Comparative study of chemical characteristic analysis of different solvent-extracted *Solanum lycopersicum* (tomato seed) oil [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2023, 195(4): 2149-2157.
- [6] BAGHABRISHAMI R G, GOLI S A H. Tomato seed oil-enriched tomato juice: effect of oil addition type and heat treatment on lycopene bioaccessibility and oxidative stability [J]. Food Chemistry, 2023, 402: 134217.
- [7] ANBARASAN R, SUMIT K, KRISHNAPPA S C, et al. Recent advances in the utilization of industrial byproducts and wastes generated at different stages of tomato processing: Status report [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(11): e17063.
- [8] SZABO K, DULF F V, TELEKY B-E, et al. Evaluation of the bioactive compounds found in tomato seed oil and tomato peels influenced by industrial heat treatments [J]. Foods, 2021, 10(1): 110.
- [9] 郭超男. 新疆辣椒化学信息指纹图谱的建立及其在辣椒干制品品种鉴定的应用[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [10] 王蜜蜜,胡能兵,庞丹丹,等. 辣椒主要营养品质比较[J].安徽科技学院学报,2019,33(6):38-42.
- [11] ALONSO-VILLEGAS R, GONZÁLEZ-AMARO R M, FIGUEROA-HERNÁNDEZ C Y, et al. The genus capsicum: a review of bioactive properties of its polyphenolic and capsaicinoid composition [J]. Molecules, 2023, 28(10): 4239.
- [12] 余佳浩. 番茄/辣椒加工过程中美拉德初期反应、番茄红素异构化及生理功效研究[D].无锡:江南大学,2019.
- [13] LIU Z, CAI S, ZHANG S, et al. A systematic review on fermented chili pepper products: Sensorial quality, health benefits, fermentation microbiomes, and metabolic pathways [J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 141: 104189.
- [14] 中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)[J].营养学报,2020,42(6):521.
- [15] 陶紫,赵振刚. 香茅草精油微乳液的构建及其抗氧化活性分析[J].现代食品科技,2018,34(10):156-164.
- [16] 王强,王存,王睿,等. 微波辅助水酶法提取番茄籽油工艺优化及理化特性研究[J].中国粮油学报,2015,30(10): 3-48,53.
- [17] 徐维盛,李东,刘静,等. ORAC法对12种水果总抗氧化能力评价研究[J].食品工业,2014,35(1):247-250.
- [18] 陈永生. 杨桐叶酚类物质的抗氧化活性、抗增殖活性及抗增殖作用机理研究[D].广州:华南理工大学,2017.
- [19] 郑瑞. 甘蔗多酚抗氧化、降血糖、抗肿瘤细胞增殖活性研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [20] FANG Y, HONGHUI G, PEI G, et al. Comparison of methodological proposal in sensory evaluation for Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) by data mining and sensory panel [J]. Food Chemistry, 2021, 356: 129698.
- [21] 徐建宗. 熏马肉干丝辣椒酱产品开发及工艺优化[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
- [22] 张伟光,赵国君. 超声辅助法提取番茄籽油的工艺研究[J].粮食与油脂,2017,30(9):92-94.
- [23] 周靖,刘文玉,陈友志,等. 制备工艺对番茄籽油品质的影响[J].食品科学,2022,43(5):76-83.
- [24] 王永瑞,朱敏敏,刘文玉,等. 水酶法提取的番茄籽油脂肪酸及香气成分分析[J].食品工业,2018,39(3):327-330.
- [25] SHAO D, ATUNGULU G C, PAN Z, et al. Study of optimal extraction conditions for achieving high yield and antioxidant activity of tomato seed oil [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(7-9): E202-E208.
- [26] 李徐. 加热和煎炸过程油脂极性物质组成的变化规律及应用研究[D].无锡:江南大学,2021.
- [27] 陈琪. 辣椒红油的制备、光稳定性研究及其在风干肠的应用[D].成都:成都大学,2023.
- [28] 续洁琨,姚新生,栗原博. 抗氧化能力指数(ORAC)测定原理及应用[J].中国药理学通报,2006,8:1015-1021.
- [29] ELLER F J, MOSER J K, KENAR J A, et al. Extraction and analysis of tomato seed oil [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 87(7): 755-762.
- [30] 郭瑞雪. 沙棘酚类物质生物活性、生物利用度及其体内外抑制乳腺癌细胞增殖的机理研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [31] ADOM K K, LIU R H. Rapid peroxy radical scavenging capacity (PSC) assay for assessing both hydrophilic and lipophilic antioxidants [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(17): 6572-6580.