

闫征, 王帆, 吴寒, 等. 不同烫漂方式对碱蓬活性成分及抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(5): 1150-1156.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.029

不同烫漂方式对碱蓬活性成分及抗氧化能力的影响

闫征¹, 王帆¹, 吴寒¹, 李春阳¹, 贾成琦², 祁海春²

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2. 江苏海苑食品有限公司, 江苏 滨海 224000)

摘要: 分别采用沸水烫漂、蒸汽烫漂和微波烫漂处理碱蓬, 测定碱蓬提取液的总酚、总黄酮、3种黄酮单体含量, 以及总抗氧化能力, DPPH·、羟自由基(·OH)、超氧阴离子(O₂⁻)清除能力和还原能力, 研究不同烫漂方式对碱蓬活性成分和抗氧化能力的影响。结果显示, 在达到相同灭酶效果的情况下, 微波烫漂制得的碱蓬样品中总酚、总黄酮、杨梅素和染料木素含量显著高于热水烫漂与蒸汽烫漂样品; 不同的烫漂方式对碱蓬提取物的抗氧化能力有明显影响, 微波烫漂制得的碱蓬提取液的总抗氧化能力, DPPH·、·OH清除能力以及还原能力显著高于热水烫漂和蒸汽烫漂法处理的碱蓬提取液($P < 0.05$), 但微波烫漂样品与蒸汽烫漂样品对O₂⁻的清除率无显著差异, 综合考虑加工成本与产品品质, 采用微波烫漂加工碱蓬更为合理。

关键词: 碱蓬; 烫漂; 活性成分; 抗氧化

中图分类号: S377 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)05-1150-07

Effects of blanching methods on active constituents and antioxidant capacities of *Suaeda salsa* L.

YAN Zheng¹, WANG Fan¹, WU Han¹, LI Chun-yang¹, JIA Cheng-qi², QI Hai-chun²

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Haiyuan Food Limited Company, Binhai 224000, China)

Abstract: The influences of blanching methods on the content of active constituents and antioxidant capacities of *Suaeda salsa* L. were studied by applying boiling water, steam and microwave during blanching. The ethanol extracts of *S. salsa* were determined for total phenolic contents, total flavone, three kinds of flavonoid monomers, total antioxidant capacity, DPPH· scavenging capacity, hydroxyl radical (·OH) scavenging capacity, superoxide anion (O₂⁻) scavenging capacity and reducing capacity. The results showed that, in the case of same enzyme deactivation, the total phenols contents, total flavones, myricetin and genistein in the samples subjected to microwave blanching were significantly higher than the samples subjected to boiling water blanching and steam blanching. The antioxidant capacities of *S. salsa* extracts subjected to microwave treatment exhibited stronger total antioxidant activity, free radical scavenging activity against DPPH· and ·OH, and reducing activity than those subjected to other two blanching treatments. No obvious difference between microwave blanching and steam blanching in O₂⁻ scavenging capacity was observed. Considering cost and product quality, microwave treatment was recommended for blanching.

Key words: *Suaeda salsa* L.; blanching; active constituent; antioxidant

收稿日期: 2017-03-24

基金项目: 2015年国家留学基金项目(201508320085); 2014年苏北科技发展计划(富民强县)项目(BN2014147)

作者简介: 闫征(1978-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为农产品加工。(E-mail) yz3737@sina.com

碱蓬(*Suaeda salsa* L.)又名盐蒿、黄须菜、海鲜菜, 为藜科(Chenopodiaceae)碱蓬属(*Suaeda*)一年生草本植物, 在中国广泛分布于东北、西北、华北及沿海各省的海滨、荒漠、及盐碱地^[1]。碱蓬资源

丰富,由于其生长于荒野滩涂,没有使用化肥和农药,远离污染,是一种公认的绿色蔬菜,所含黄酮类、多酚类、萜类等活性成分高于大多数蔬菜,常食用可起到促进人体酸碱平衡,降血脂的作用,另外还具有清热解毒、助消化、抗癌、预防和治疗糖尿病、预防高血压以及减肥、美容等功效^[2-5]。大量研究表明碱蓬中丰富的黄酮等生物活性成分具有很强的抗氧化作用^[5-8],其功能保健作用越来越受到人们的重视。

自然生长于沿海滩涂上的碱蓬产量十分可观,但由于属于季节性野生蔬菜,鲜食量有限。目前碱蓬的深加工主要是速冻和脱水等,其生产工艺中烫漂是必须的步骤。烫漂的主要目的是破坏酶的活性,防止蔬菜在后续加工保存过程中褐变,改善蔬菜质构,软化纤维组织从而提高产品品质^[9]。但烫漂也会造成营养成分的损失,尤其是生物活性物质热稳定性差,更加容易在烫漂过程中失活。目前,针对碱蓬烫漂处理的研究报道不多,在不同方法对碱蓬烫漂过程中生物活性物质损失方面的研究还未见报道。本研究以新鲜碱蓬为样品,研究了热水、蒸汽和微波加热烫漂灭酶处理对碱蓬活性物质和抗氧化活性的影响,旨在能够更好地开发利用碱蓬这一优质资源,并为以后碱蓬精深加工提供工艺参数。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

盐地碱蓬由江苏海苑食品有限公司提供,于2015年3月25日采自江苏省滨海县沿海滩涂,直接采摘碱蓬的可食用嫩茎叶部分,清洗后沥干水分备用;没食子酸标准品、芦丁、杨梅素、染料木素标准品(HPLC纯度 $\geq 98\%$)购于上海源叶生物科技有限公司;福林酚溶液、邻苯二胺溶液等购于南京寿德生物科技有限公司;总抗氧化试剂盒购于南京建成生物工程研究所;其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

HH-6型数显恒温水浴锅(国华电器有限公司生产),HP706微波杀菌机(南京策木微波科技有限公司生产),Eyela FDU-1200冷冻干燥机(东京理化器械株式会社生产),752S紫外可见分光光度计(上海棱光技术有限公司生产),高效液相色谱-质谱联用仪Agilent 1100 HPLC/MS(SL)(美国Agilent公司生产)。

1.3 原料处理

沸水烫漂处理:将处理好的样品按料水比1:4(质量比)放入沸水中进行烫漂,分别烫漂0 s、15 s、30 s、45 s、60 s、75 s、90 s、105 s、120 s,烫漂后样品立刻放入4℃水中冷却。

蒸汽烫漂处理:将处理好的样品放入蒸汽中进行烫漂,分别烫漂0 s、15 s、30 s、45 s、60 s、75 s、90 s、105 s、120 s,烫漂后样品立刻放入4℃水中冷却。

微波烫漂处理:将处理好的样品放入微波专用盒,薄层平铺,用700 W功率分别处理0 s、15 s、30 s、45 s、60 s、75 s、90 s、105 s、120 s,烫漂后样品立刻放入4℃水中冷却。

样品提取液制备:取不同处理方式处理的样品和对照品沥干水分,置于-30℃冰箱冷冻24 h,再放入真空冷冻干燥机中冻干36 h至恒质量,冻干样品粉碎成粉后密封,-20℃冰箱中保存。取冻干样品2.5 g于20.0 ml离心管中,加入75%乙醇,使乙醇总体积为10.0 ml,超声提取1 h,10 000 r/min离心15 min,将上清液转移至25 ml容量瓶中,残渣用少量75%乙醇重复洗涤再次离心,合并上清液后定容。

1.4 测定方法

1.4.1 过氧化物酶活性测定 采用邻苯二胺法测定^[10],取沥干水分后的湿样品10 g,加入pH为7.0的0.50 mol/L磷酸盐缓冲溶液10.0 ml,研磨匀浆后10 000 r/min离心10 min。取上清液0.1 ml,分别加入1%邻苯二胺的乙醇溶液0.1 ml、pH7.0的0.5 mol/L磷酸盐缓冲溶液3.0 ml、10.00 mol/L H₂O₂ 0.2 ml。以470 nm波长下1 min内吸光度的变化值表示过氧化物酶活性大小,烫漂处理后样品的POD活性残留率按下式计算:

$$POD \text{ 活性残留率} = (\Delta A_{470} \text{ 处理} / \Delta A_{470} \text{ 对照}) \times 100\%$$

1.4.2 总酚含量测定 采用Folin-Ciocalteu法测定,取样品提取液1.0 ml于比色管中,添加6.0 ml蒸馏水,再加入1.00 mol/L福林酚试剂0.5 ml,振荡后暗处放置3 min,加20%碳酸钠溶液1.5 ml,蒸馏水定容为10.0 ml混匀,室温放置2 h,于765 nm下测定吸光值。以没食子酸为标准样品(0~50 μg/ml)绘制标准曲线,线性回归方程为 $Y = 0.013x - 0.007$ ($R^2 = 0.992$)。

1.4.3 总黄酮含量测定 采用分光光度法测定,取

提取液 1.0 ml 于 25 ml 的容量瓶中,加入 5% 的 NaNO_2 溶液 1.0 ml,充分混匀后静置 6 min,再加入 10% 的 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液 1.0 ml,摇匀后放置 6 min,加入 4% NaOH 溶液 10.0 ml,用 30% 的乙醇定容后摇匀,放置 15 min 后置于 1 cm 的比色皿中测定吸光值。以芦丁为标准样品 (0~20 $\mu\text{g}/\text{ml}$) 绘制标准曲线,线性回归方程为 $Y = 32.700x - 0.007$ ($R^2 = 0.999$)。

1.4.4 标准品的配制 选取文献报道过的碱蓬中含量较高的 3 种黄酮(杨梅素、芦丁、染料木素)作为标准品^[11]。准确称取上述 3 种对照品各 0.010 0 g,用 75% 乙醇 50 ml 配制成单标对照品溶液。吸取单标对照品溶液适量配制成混标对照品溶液。

1.4.5 HPLC-MS 分析 色谱条件:Zorbax SB-C18 色谱柱(4.6 mm×250.0 mm,5 μm),柱温 30 $^\circ\text{C}$,流动相 A 为 0.1% 甲酸/水溶液,B 为甲醇。梯度:0~35 min,5%~80% 甲醇;35~45 min,80%~5% 甲醇。进样量 20 μl 。检测波长为 280 nm。流速为 0.6 ml/min。

质谱条件:雾化气 N_2 ,干燥气 N_2 ,毛细管温度为 350 $^\circ\text{C}$,毛细管电压负离子模式下 3.0 kV。质量扫描范围范围 200~2 000 m/z。

1.4.6 总抗氧化能力的测定 采用 FRAP 法测定,以样品提取液浓度为 10 mg/ml,使用总抗氧化能力检测试剂盒测定。

1.4.7 DPPH 自由基清除率的测定 取 2.0 ml 稀释后的样品提取液(浓度分别为 2.5 mg/ml、5.0 mg/ml、7.5 mg/ml、10.0 mg/ml),分别加入 0.10 mmol/L 的 DPPH 溶液 3.0 ml,振荡混匀,放入 30 $^\circ\text{C}$ 避光保温 30 min,以 75% 乙醇溶液为空白,在 517 nm 处测定吸光值 A_1 ,以 75% 乙醇溶液代替提取液作为空白测定吸光值 A_0 ,按下式计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

1.4.8 $\cdot\text{OH}$ 清除率的测定 采用邻二氮菲- Fe^{2+} 氧化法测定。取 0.2 mol/L 磷酸盐缓冲液 5.0 ml 和蒸馏水 5.0 ml 于试管中混匀,作为空白;取 0.2 mol/L 磷酸盐缓冲液 5.0 ml、0.75 mmol/L 邻二氮菲溶液 1.0 ml、0.75 mmol/L 的 FeSO_4 溶液 1.0 ml 和蒸馏水 3.0 ml 于试管中混匀,作为未损伤处理;取磷酸盐缓冲液 5.0 ml、邻二氮菲溶液 1.0 ml、 FeSO_4 溶液 1.0

ml、蒸馏水 2.0 ml 和 H_2O_2 (0.01%) 1.0 ml 于试管中混匀,作为损伤处理;取磷酸盐缓冲液 5.0 ml、稀释后的样品提取液 2.0 ml(浓度分别为 2.5 mg/ml、5.0 mg/ml、7.5 mg/ml、10.0 mg/ml) 和蒸馏水 3.0 ml 于试管中混匀,作为样品参比;取 5.0 ml 磷酸盐缓冲液、邻二氮菲溶液 1.0 ml、 FeSO_4 溶液 1.0 ml、稀释后的样品提取液 2.0 ml(浓度分别为 2.5 mg/ml、5.0 mg/ml、7.5 mg/ml、10.0 mg/ml) 和 H_2O_2 (0.01%) 1.0 ml 于试管中混匀,作为样品。将上述试管同时于 37 $^\circ\text{C}$ 恒温水浴锅中保温 60 min,在 536 nm 波长处测定吸光度。

$$\cdot\text{OH 清除率} = \frac{A_{\text{样品}} - A_{\text{参比}} - (A_{\text{损伤}} - A_{\text{空白}})}{A_{\text{未损伤}} - A_{\text{损伤}}}$$

1.4.9 超氧阴离子自由基 O_2^- 清除率测定 采用氮蓝四唑光照法测定。取稀释后样品提取液 0.4 ml(浓度分别为 2.5 mg/ml、5.0 mg/ml、7.5 mg/ml、10.0 mg/ml),分别加入 pH7.8 的磷酸盐缓冲液 2.4 ml、 1.50×10^{-5} mol/L 核黄素溶液 0.4 ml、0.02 mol/L 的甲硫氨酸 0.4 ml、 5.00×10^{-3} mol/L 的 NBT 溶液 0.4 ml,在避光容器内用日光灯照射 20 min 后在 560 nm 处测定吸光值 A_1 。以 75% 乙醇溶液代替提取液作为空白测定吸光值 A_0 。

$$\text{O}_2^- \text{清除率} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

1.4.10 还原力的测定 取稀释后样品提取液 1.0 ml(浓度分别为 2.5 mg/ml、5.0 mg/ml、7.5 mg/ml、10.0 mg/ml),加入 0.20 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH 6.6) 2.5 ml 和 1% 的 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 溶液 2.5 ml,50 $^\circ\text{C}$ 水浴保温 20 min。加入 10% 三氯乙酸溶液 2.5 ml 后 3 000 r/min 离心 10 min。取上清液 2.5 ml 加入到 0.1% 的 FeCl_3 溶液 0.5 ml 和蒸馏水 2.5 ml 构成的体系中,37 $^\circ\text{C}$ 保温 10 min,在 700 nm 处测定吸光度,以 75% 乙醇溶液作为空白参比。以待测液与空白对照吸光度的差值为样品的还原力。

1.5 数据处理

各指标重复测定 3 次,数据用 SPSS17.0 分析。

2 结果与分析

2.1 烫漂时间对过氧化物酶(POD)残留活性的影响

果蔬中过氧化物酶是耐热性最强的酶类,因此烫漂过程中经常以 POD 残留活性为指标评价灭菌的效果^[12]。本试验比较了采用 3 种烫漂方式处理

碱蓬不同时间后 *POD* 残留活性的变化(图 1),3 种烫漂方式都使 *POD* 残留活性随着时间的延长迅速降低,且处理间差异显著($P<0.05$)。经过一定时间的烫漂后样品的 *POD* 残留活性均趋近于零,酶被完全钝化。有研究者指出,蔬菜的烫漂过程并不需要使 *POD* 完全钝化,当蔬菜 *POD* 残留活性在 2.9%~8.2%时,蔬菜的冷冻品质更好,而且加热时间过长不仅增加能耗还会降低蔬菜品质^[13]。本试验中当 *POD* 残留活性低于 5%时即认为烫漂完成,因此确定碱蓬的 3 种烫漂方式最佳处理时间分别为沸水烫漂 90 s、蒸汽烫漂 75 s、微波烫漂 105 s。

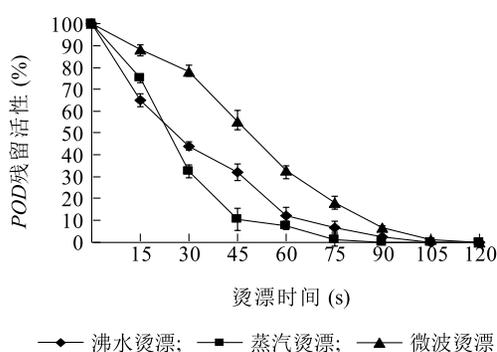


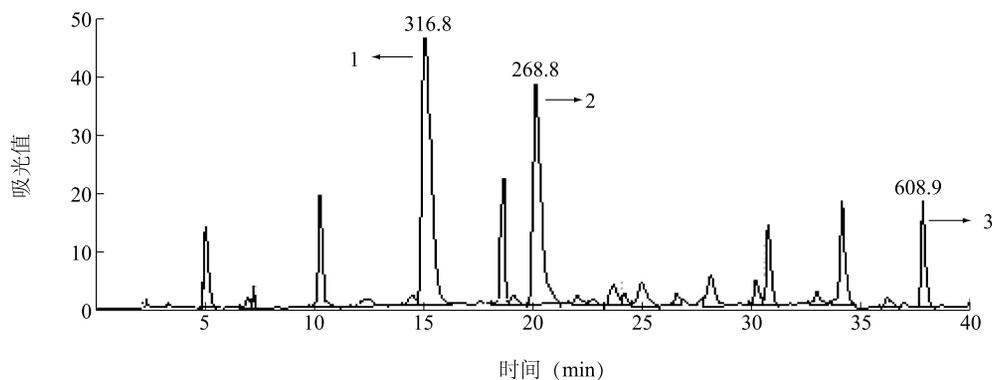
图 1 烫漂时间对碱蓬过氧化物酶(*POD*)残留活性的影响

Fig.1 Effect of blanching treatment time on the residual activity of *POD* in *Suaeda salsa* L.

2.2 不同烫漂方式对碱蓬总酚和总黄酮含量的影响

碱蓬中含有丰富的酚类和黄酮类物质,它们赋予了碱蓬独特的功效。通过HPLC-MS对碱蓬中黄

酮成分进行了鉴定(图 2),通过质谱测得的 3 种主要黄酮类物质峰 1 至峰 3 的负离子 m/z 分别为 316.8、268.8、608.9,根据参考文献并结合保留时间与标准品的对比可知碱蓬中含量最高的 3 种单体分别是杨梅素、染料木素、芦丁^[11]。由于酚类和黄酮类物质在烫漂等热处理过程中容易降解失活,因此本试验比较了不同烫漂方式处理前后碱蓬总酚、总黄酮以及主要黄酮成份杨梅素、染料木素、芦丁的含量,结果见表 1。由表 1 可以看出,不同烫漂方式处理后的碱蓬乙醇提取物中总酚、总黄酮含量存在显著差异($P<0.05$),3 种烫漂方式与未处理空白相比总酚和总黄酮含量显著下降,可见热处理过程会造成碱蓬功能性成分的损失。本试验中,沸水烫漂制得的样品中总酚、总黄酮含量均最低,其原因有 2 个方面:首先,沸水烫漂的高温处理过程较长;其次,沸水烫漂中样品与水接触,使碱蓬中部分可溶性成分流失到了水中。微波烫漂处理样品的总酚总黄酮含量最高,这主要是由于微波烫漂钝酶的作用机理除了微波的热效应外,还有非热生化效应的作用使酶蛋白质变性,因此微波处理达到同等钝酶效果比单纯热处理时需要达到的温度要低,从而减少了热敏活性成分的损失^[14]。3 种黄酮单体中杨梅素和染料木素在不同处理条件下的变化规律与总黄酮一致,但芦丁经不同烫漂方式处理前后含量变化差异不显著,可见不同的黄酮成份对烫漂过程的敏感性是有一定差异的。



1: 杨梅素;2: 染料木素;3: 芦丁。

图 2 碱蓬样品中黄酮 HPLC-MS 色谱图

Fig.2 HPLC-MS chromatogram of flavone in *S. salsa* sample

表 1 不同烫漂方式对碱蓬总酚和总黄酮含量的影响

Table 1 The total phenolic and total flavonoid content of suaeda with different blanching methods

处理方法	含量 (mg/g)				
	总酚	总黄酮	杨梅素	染料木素	芦丁
不烫漂(对照)	15.62±0.56a	6.73±0.24a	1.08±0.06a	0.84±0.09a	0.38±0.07a
沸水烫漂	11.86±0.44b	4.32±0.14b	0.77±0.04b	0.66±0.04b	0.32±0.04b
蒸汽烫漂	13.96±0.46c	5.88±0.22c	0.92±0.02c	0.76±0.03c	0.37±0.02a
微波烫漂	14.74±0.48d	6.02±0.28d	0.99±0.05d	0.80±0.04a	0.38±0.03a

同一列数据后字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液的总抗氧化能力

FRAP 法测定的抗氧化能力可以反映样品总抗氧化活性,而不是针对某种自由基的抗氧化活性^[15]。由图 3 可以看出,当提取液浓度为 10 mg/ml 时,微波烫漂样品显示出相对其他烫漂方式更强的总抗氧化能力,蒸汽烫漂样品次之。这表明总抗氧化能力与其总酚总黄酮含量具有一定的相关性,这与前人的研究结果一致^[16]。

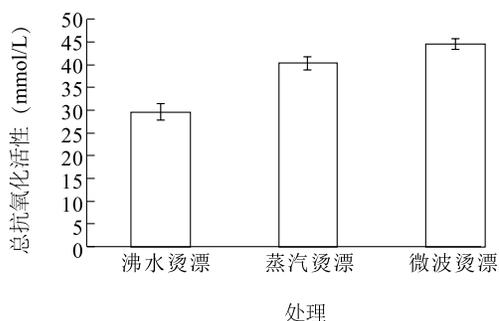


图 3 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液的总抗氧化能力

Fig. 3 The total antioxidant capacity of *S. salsa* extracts blanching differently

2.4 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液对 DPPH· 的清除能力

DPPH· 清除能力是评价样品对体外自由基清除能力的常用方法。图 4 为相同体系下不同烫漂方式处理的样品在不同浓度下对 DPPH· 清除能力的对比,结果表明,清除能力总体随着样品浓度升高而增强。微波烫漂样品对 DPPH· 清除率显著高于其他方法处理的样品($P < 0.05$)。相近温度条件下,蒸汽烫漂处理样品对 DPPH· 清除率始终显著高于沸水烫漂($P < 0.05$)。沸水烫漂、蒸汽烫漂、微波烫漂清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值分别为 8.02 mg/ml、6.43 mg/ml、4.82 mg/ml。

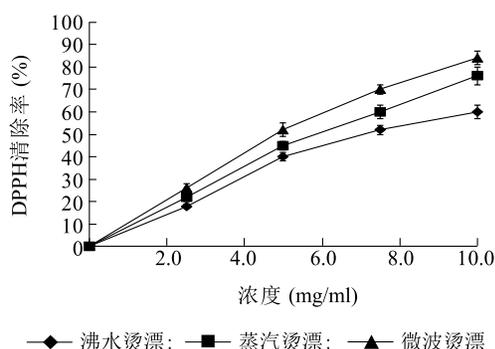


图 4 不同烫漂方式处理碱蓬提取液清除 DPPH 能力

Fig. 4 The DPPH scavenging capacity of *S. salsa* extracts blanching differently

2.5 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液对羟自由基的清除能力

羟自由基($\cdot OH$)在人体中的寿命极短但反应性极强,破坏作用大,一直以来被认为是毒性最强的活性氧自由基^[17]。如图 5 所示,不同烫漂方式处理的碱蓬提取液对 $\cdot OH$ 的清除能力随着样品浓度提高而增强,沸水烫漂、蒸汽烫漂、微波烫漂对 $\cdot OH$ 的清除能力的 IC_{50} 值分别为 9.92 mg/ml、8.12 mg/ml、7.84 mg/ml。3 种方法制得样品的提取液对 $\cdot OH$ 的清除能力由高到低分别为:微波烫漂>蒸汽烫漂>沸水烫漂,且相互间差异显著($P < 0.05$)。

2.6 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液对 $O_2^{\cdot -}$ 的清除能力

$O_2^{\cdot -}$ 是一种由氧激发而形成的自由基,超氧化物歧化酶等酶类在正常细胞内可构成抗氧化系统,将其清除,但病理条件下往往机体抗氧化酶类活力下降,易造成 $O_2^{\cdot -}$ 积累,从而造成细胞损伤^[18]。如图 6 所示,沸水烫漂处理样品提取液对 $O_2^{\cdot -}$ 的清除率显著低于蒸汽烫漂和微波烫漂处理的样品($P < 0.05$)。当提取液浓度为 2.5 mg/ml、7.5 mg/ml、10.0 mg/ml

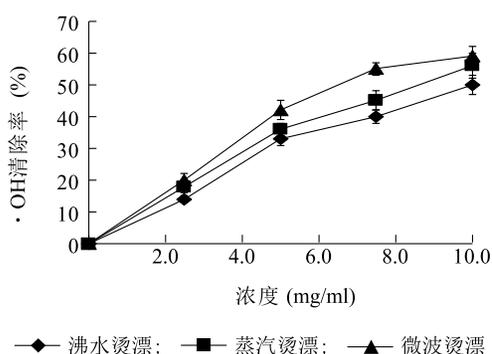


图5 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液的·OH清除能力比较

Fig. 5 The ·OH scavenging capacity of *S. salsa* extracts blanching differently

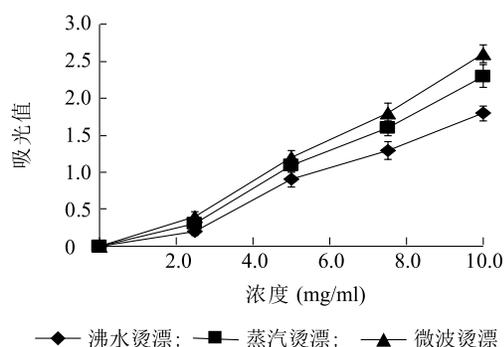


图7 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液的还原能力比较

Fig.7 The reducing capacity of *S. salsa* extracts blanching differently

时,蒸汽烫漂和沸水烫漂处理的样品提取液对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率比较接近,差异不显著。沸水烫漂、蒸汽烫漂、微波烫漂对 $O_2^{\cdot-}$ 清除率的 IC_{50} 值分别为 12.44 mg/ml、10.67 mg/ml、10.54 mg/ml。

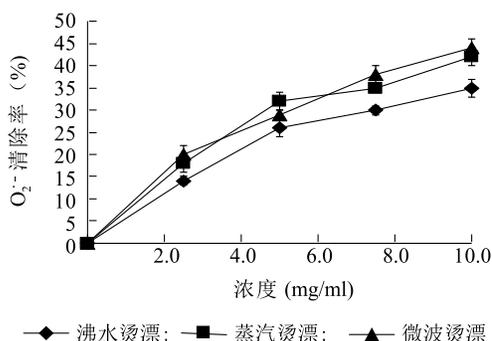


图6 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液的 $O_2^{\cdot-}$ 的清除能力

Fig.6 The $O_2^{\cdot-}$ scavenging capacity of *S. salsa* extracts blanching differently

2.7 不同烫漂方式处理的碱蓬提取液的还原能力

还原能力也是反映样品抗氧化能力的一项指标,具有还原能力的物质一般情况下都能还原脂质过氧化中产生的中间体,表现出一定的抗氧化作用^[19]。图7所示为铁氰化钾还原体系下3种烫漂方式处理样品提取液的还原能力,虽然由不同烫漂方式制得的提取液的还原能力均随浓度增加而上升,但微波烫漂样品的吸光度变化斜率要显著高于其他方法处理的样品 ($P < 0.05$),可见在达到相同灭酶效果的前体下,微波烫漂过程造成样品还原能力的损失最小。

3 讨论

本试验中当处理时间分别为沸水烫漂 90 s、蒸汽烫漂 75 s、微波烫漂 105 s 时达到灭酶要求。微波烫漂样品的总酚、总黄酮以及黄酮单体杨梅素和染料木素含量显著高于沸水烫漂和蒸汽烫漂样品 ($P < 0.05$)。与之对应的是,微波烫漂样品提取液的总抗氧化能力、DPPH·清除能力与羟自由基清除能力、还原能力显著高于沸水烫漂和蒸汽烫漂样品 ($P < 0.05$),但微波烫漂与蒸汽烫漂样品对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除率差异不显著,这可能是由于不同化合物对不同抗氧化体系的作用能力不同造成的^[20]。综上所述,沸水烫漂过程中由于高温和部分水溶性成分流失到水中造成部分多酚和黄酮类物质损失,从而其抗氧化活性也受到很大影响;微波烫漂的过程中也会引起碱蓬酚类黄酮类物质的损失,但损失程度要低于蒸汽烫漂处理。从烫漂处理样品的提取物抗氧化活性的角度考虑,微波烫漂是相对最佳的烫漂方式,综合考虑实际生产中的节能降耗的需要,采用微波烫漂更为适合碱蓬的加工利用。

参考文献:

[1] 顾克余,茆训东,钱兵,等. 碱蓬生物学特性及其脱盐土设施栽培技术[J]. 江苏农业学报,2000,16(2):78-79.
 [2] 万洪善,刘帅帅,冯巧玉. 滩涂盐生植物碱蓬化学成分提取及酪氨酸酶抑制活性的试验[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):526-527.
 [3] 张泽生,王婷婷,韩顺凯,等. 盐地碱蓬提取物对高脂血症仓鼠血脂的影响[J]. 2012,37(12):227-230.
 [4] 张泽生,刘甜甜,贺伟,等. 盐地碱蓬提取物抗衰老作用的研

- 究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(12): 15-17.
- [5] 赵学思, 师仁丽, 李岩, 等. 碱蓬黄酮提取物的体外抗氧化及抑菌性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 63-66.
- [6] 庞庭才, 钟秋平, 熊拯, 等. 响应面分析法优化碱蓬多糖提取工艺及其抗氧化性分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(7): 1280-1286.
- [7] 万洪善, 李凡. 盐生植物碱蓬黄酮类物质的提取及抗氧化活性研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(4): 296-298.
- [8] 黄晓昆, 黄晓冬, 卞美君. 南方碱蓬叶黄酮类化合物含量及其体外抗氧化活性研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(3): 1432-1434.
- [9] SONIA Z V, DANIELA F O, CLAUDIO M M, et al. Quality of (*Brassica oleracea* L. gemmifera DC) as affected by blanching method[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 218-225.
- [10] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 120-121.
- [11] 李岩. 河北滨海地区四种盐生植物黄酮类化合物分析[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [12] CHEN M, YAO S J, ZHANG H, et al. Purification and characterization of a versatile peroxidase from edible mushroom *Pleurotus eryngii*[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2010, 18(5): 824-829.
- [13] 陈惠, 唐明霞, 宋居易, 等. 烫漂对蚕豆感官品质及过氧化物酶活性的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(3): 708-710.
- [14] ZHANG Y L, TANG T X, HE H J, et al. Influence of several postharvest processing methods on polyphenol oxidase activity and cichoric acid content of *Echinacea purpurea* roots [J]. Industrial Crops Products, 2011, 34(1): 873-881.
- [15] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [16] 郭泽美, 任章成, 陈腾, 等. 干燥方式对葡萄皮多酚及其抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 117-121.
- [17] 金鸣, 蔡亚欣, 李金荣, 等. 邻二氮菲- Fe^{2+} 氧化法检测 H_2O_2/Fe^{2+} 产生的羟自由基[J]. 生物化学与生物物理进展, 1996, 23(6): 553-555.
- [18] 范明月, 吴昊, 朱俊向, 等. 干燥方式对南瓜粉物化特性及抗氧化活性的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 109-114.
- [19] ZHAO H F, CHEN W F, LU J, et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers [J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1150-1158.
- [20] 李凤英, 刘素稳, 郭朔. 紫玉兰花干燥方法对其活性成分和抗氧化性的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(6): 1150-1156.

(责任编辑: 陈海霞)