

微波和巴氏杀菌对NFC苹果汁品质的影响

李根,赵岩,马寅斐,和法涛,丁辰,朱风涛,初乐*

(中华全国供销合作总社 济南果品研究院,山东 济南 250014)

摘要:研究鲜榨(not-from-concentrate, NFC)苹果汁杀菌新技术,探讨微波杀菌和巴氏杀菌对 NFC 苹果汁在杀菌效果、理化性质、功能性成分、酶活性等方面的影响。结果表明:两种杀菌方式处理后 NFC 苹果汁微生物均符合国家卫生标准,微波杀菌更为彻底;与处理组相比,两种杀菌方式对 pH 值、可溶性固形物、总酸、总糖无显著影响;通过对比处理前后果汁 L^* 、 a^* 、 b^* 值的差异,微波杀菌的 ΔE 值显著低于巴氏杀菌,说明微波杀菌能更好的保持果汁原有的颜色;微波杀菌后的果汁中多酚含量和抗氧化能力优于巴氏杀菌,同时也保留了更多的 Vc,通过相关性分析发现抗氧化能力与多酚含量呈显著正相关;通过比较处理前后果汁中多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和果胶甲酯酶(pectin methylesterase, PME)酶活性的差异,发现微波杀菌能更好的起到灭酶的效果。因此,微波杀菌不仅能起到很好的杀菌灭酶效果,还能更好的保持果汁的色泽和营养成分。

关键词: NFC 苹果汁;微波杀菌;巴氏杀菌;品质

Effect of Microwave Sterilization and Pasteurization on the Quality of NFC Apple Juice

LI Gen, ZHAO Yan, MA Yin-fei, HE Fa-tao, DING Chen, ZHU Feng-tao, CHU Le*

(Jinan Fruit Research Institute, All China Federation of Supply & Marketing Co-operatives, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: In order to development a new sterilization technology for not-from-concentrate (NFC) apple juice, the effect of microwave sterilization and pasteurization of apple juice was investigated by analyzing changes in microflora, physico-chemical properties, functional ingredients and enzyme activities. The results showed that the microwave sterilization and pasteurization could met the commercial requirement, especially by microwave treatment. The two sterilization methods had no significant effect on pH value, total soluble solid, titrable acidity and total sugar. The difference of L^* , a^* , b^* values before and after treatment was compared, the ΔE value of microwave sterilization was significant lower than pasteurization, indicating that microwave sterilization could better maintain the original color of juice. Compared with pasteurization, the polyphenol content and antioxidant capacity increased significantly, while more Vc was retained. By the pearson correlation analysis, a significant positive correlations was observed between antioxidant activity and the polyphenol content. By comparing the PPO and PME activity after treatment, microwave sterilization could make the enzymes inactivate better. As a result, microwave sterilization had good effect of sterilization, enzymes inactivation, color and quality.

Key words: NFC apple juice; microwave sterilization; pasteurization; quality

引文格式:

李根,赵岩,马寅斐,等.微波和巴氏杀菌对NFC苹果汁品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(8):96-100

LI Gen, ZHAO Yan, MA Yinfei, et al. Effect of Microwave Sterilization and Pasteurization on the Quality of NFC Apple Juice [J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 96-100

基金项目:十三五国家重点研发计划项目(2017YFD0400702-01);山东省农业科技园区产业提升工程(2017YQ016)

作者简介:李根(1993—),男(汉),硕士,研究方向:食品加工与储藏技术。

* 通信作者:初乐(1987—),女,助理研究员,研究方向:果蔬深加工。

苹果是蔷薇科(*Rosaceae*)苹果属(*Malus*)植物的果实。中国多年前就已超越美国、日本成为世界上苹果栽种规模最大、产量最高的国家,苹果总产量约占全球总产量的55%。苹果营养成分丰富,富含糖类、维生素和矿物质等多种营养成分^[1]。鲜榨(not-from-concentrate, NFC)苹果汁最大程度保留了苹果中的营养成分^[2]。但果汁是热敏性物质,传统的加热时间长温度高易影响果汁的色泽和营养成分。超高压杀菌、脉冲电场杀菌、超声波杀菌、辐照杀菌等非热杀菌^[3-6]可以避免长时间热效应,从而保护果汁的营养成分、色泽和风味。但也有其缺点,例如杀菌效果不如热杀菌,难以杀死细菌芽孢,设备成本较高等^[7]。

微波杀菌作为近年来新兴的一种杀菌技术,越来越多运用食品工业中。其同时存在热效应和非热效应^[8],具有加热时间短、灭菌效果好、节能等特点。微波的热效应是食品中微生物成分被一定电磁场影响发生分子极化现象,吸收能量升温致蛋白质变性失活^[9]。除了人们公认的微波热效应外,有研究通过比较微波和传统加热对耐热性强的枯草芽孢杆菌致死曲线,表明微波对微生物的致死温度比传统加热低,同时解释了微波的非热效应^[10]。微波杀菌和巴氏杀菌对NFC苹果汁品质是否具有差异性影响,仍未见相关报道。因此,本研究采用微波和巴氏杀菌对NFC苹果汁进行处理,对比两种杀菌方式对NFC苹果汁的影响程度,对微波技术应用于NFC苹果汁提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红富士苹果,4℃贮藏,购于烟台。

Trolox试剂、福林酚、DPPH、2,4,6-三吡啶基-S-三嗪(2,4,6-tri(2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ):上海麦克林生化科技有限公司;平板计数琼脂(plate count agar, PCA):北京奥博星生物技术有限责任公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

WZD4S-01微波真空箱:南京三乐微波技术发展有限公司;pHS-3C雷磁pH计:上海仪电科学仪器股份有限公司;UV-1800型紫外可见分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;ZXS-1160型生化培养箱:上海智诚分析仪器制造有限公司;YXQ-LS-100A型蒸汽灭菌器:上海博迅实业有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

新鲜苹果→挑选→清洗→切块→破碎打浆→压榨→均质→脱气→巴氏和微波杀菌→冷却→4℃贮

藏→各指标测定。

1.3.2 试验设计

将30 mL样品(20℃,可溶性固形物12°Brix)装于50 mL玻璃瓶中,一组放于WZD4S-01微波真空箱转盘中央进行微波处理(720 W, 120 s),后迅速冰浴冷却,作为微波组;一组水浴加热至90℃保温10 s,后迅速冰浴冷却,作为巴氏杀菌组;一组不作任何处理,作为对照组。所有样品放于4℃冷藏下待测,且均为一次性制备。

1.3.3 菌落总数的测定

参照GB 47892-2010《食品微生物学检验 菌落总数》测定。

1.3.4 可溶性固形物的测定

参照GB/T 12143-2008《饮料通用分析方法》,将果汁充分混匀,用手持糖度计测定。

1.3.5 pH值的测定

用pHS-3C雷磁pH计测定。用pH 4.01和pH 6.86的校准液校正后测定。

1.3.6 总酸的测定

参照GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》,pH电位法。折算系数以苹果酸计。

1.3.7 总糖测定

参照GB/T 5009.7-2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》,直接滴定法。

1.3.8 色差的测定

采用TC-PⅡG型全自动测色色差计测定果汁的颜色,获得 L^* 、 a^* 、 b^* 、 ΔE 值[根据国际照明委员会(Commission Internationale de L'Eclairage, CIE)表色系统],平行测定3次。 L^* 表示颜色的亮度,100表示纯白色,0表示纯黑色; a^* 就是表示红色或绿色的深浅, a^* 为正值表示颜色偏红, a^* 为负值表示颜色偏绿; b^* 表示黄色或蓝色的深浅, b^* 为正值表示颜色偏橙, b^* 为负值表示颜色偏蓝; ΔE 表示色差, ΔE 越大,与对照组相比颜色变化越大。

1.3.9 V_C 的测定

参照GB/T 5009.86-2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》,2,6-二氯酚滴定法测定。

1.3.10 多酚含量的测定

采用福林酚法测定^[11]。吸取1 mL稀释50倍的样品液,加入5 mL水,1 mL福林酚,3 mL 7.5%的碳酸钠溶液,于10 mL比色管中混匀,室温避光显色2 h。测定765 nm吸光度。以没食子酸标准溶液为参比绘制标准曲线,计算总酚含量(以没食子酸计)。

1.3.11 DPPH自由基清除率的测定

采用Jiang等的方法略作修改^[12],取0.1 mL样品

稀释液,加入 0.04 mg/mL 的 DPPH 工作液 3.9 mL,充分混匀,37 ℃下避光保存水浴 1 h,在波长 517 nm 下测吸光度,用无水乙醇参比调零。以不同浓度的 Trolox 溶液做标准曲线,果汁的抗氧化能力表示为 trolox 等价抗氧化能力 (trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC)值(mmol/L)。

1.3.12 还原能力测定

采用铁离子还原能力 (ferric reducing ability of plasma, FRAP)方法^[13]。取 0.1 mL 样品稀释液,加入 3.9 mL TPTZ 工作液(0.3 mol/L 醋酸盐缓冲溶液:10 mmol/L 的 TPTZ 溶液:20 mmol/L 的 FeCl₃ 溶液=10:1:1,体积比),充分混匀,室温下放置 10 min,在波长 593 nm 处测吸光度。以不同浓度的 FeSO₄ 还原力做标准曲线,果汁抗氧化能力表示为 FRAP 值(mmol FeSO₄/L)。

1.3.13 酶活性的测定

1.3.13.1 多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)酶活性的测定

PPO 酶活性的测定采用分光光度法^[14],反应底物为 0.07 mol/L 的邻苯二酚溶液 (pH 6.5 的磷酸缓冲液溶)。取 2 mL 底物,加入 1 mL 提取的粗酶液,立即在 420 nm 处测定吸光值随时间的变化曲线,曲线直线部分的斜率即为酶活。

1.3.13.2 果胶甲酯酶(pectin methylesterase, PME)酶活性的测定

PME 酶活性的测定采用电位滴定法^[15],反应底物为 1 %的果胶盐溶液(pH 7.5 含 0.1 mol/L NaCl)。取 10 mL 底物溶液在 30 ℃水浴下用 2 mol/L NaOH 溶液和 0.05 mol/L NaOH 迅速调至 pH 值为 7.5,后加入 0.05 mL,0.05 mol/L 的 NaOH 溶液和 2 mL 粗酶液,计算 pH 值重新回到 7.5 的时间 t。

$$\text{PME 酶活}/(\text{U/mL})=(C \cdot V_0)/(V_1 \cdot t)$$

式中:C 为 NaOH 浓度, mol/L; V₀ 为加入 NaOH 体积, mL; V₁ 为粗酶液体积, mL; t 为时间, min。

2 结果与分析

2.1 微波杀菌和巴氏杀菌对 NFC 苹果汁杀菌效果的影响

微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁菌落总数的影响见表 1。由表 1 可知,与对照组相比,巴氏杀菌和微波杀菌对 NFC 苹果汁杀菌效果都显著 ($p<0.05$),且杀菌后均符合国家饮料卫生标准的规定 (菌落总数 ≤ 100 cfu/mL)。微波杀菌除了公认的热效应外,微波的电磁场使微生物细胞膜电位和周围的电荷产生改变叫做微波的非热效应^[16]。由于存在双重效应。微波杀菌后残菌率为 0.08 %,基本检测不到细菌,巴氏杀菌后

汁菌落总数从 1.2×10^4 cfu/mL 下降到 51 cfu/mL,残菌率为 0.42 %。说明微波杀菌比巴氏杀菌对 NFC 苹果汁的杀菌效果更加显著 ($p<0.05$)。

表 1 微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁菌落总数的影响 (n=3)

Table 1 Effect of microwave sterilization or pasteurization on microflora in apple juice (n=3)

杀菌方式	菌落总数/(cfu/mL)	残菌率/%
对照组	$1.2 \times 10^4 \pm 732^a$	
巴氏杀菌	51 ± 4^b	0.42
微波杀菌	6 ± 2^c	0.08

注:数值为平均值 $\pm$ 标准差, n=3;同一列中不同上标字母的数值之间显著差异, $p<0.05$ 。

2.2 微波杀菌和巴氏杀菌对 NFC 苹果汁理化性质的影响

微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁理化性质的影响见表 2。

表 2 微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁理化性质的影响 (n=3)

Table 2 Effect of microwave sterilization or pasteurization on the physico-chemical properties in apple juice (n=3)

杀菌方式	pH 值	可溶性固形物/Brix	总酸/(g/kg)	总糖/(g/100 g)
对照组	4.69 ± 0.08^a	14.00 ± 0.03^a	2.34 ± 0.02^a	11.95 ± 0.07^a
巴氏杀菌	4.50 ± 0.04^a	13.75 ± 0.02^a	2.49 ± 0.02^a	10.65 ± 0.12^a
微波杀菌	4.57 ± 0.05^a	13.75 ± 0.01^a	2.37 ± 0.01^a	10.83 ± 0.16^a

注:数值为平均值 $\pm$ 标准差, n=3;同一列中相同上标字母的数值之间差异性不显著 ($p>0.05$)。

由表 2 可知,与对照组相比,微波杀菌和巴氏杀菌使果汁 pH 值降低,可溶性固形物降低,总酸含量上升,总糖含量降低,但差异均不显著 ($p>0.05$)。因此微波杀菌和巴氏杀菌后 NFC 苹果汁基本理化性质变化不显著。这与周笑犁等^[17]报道的变化趋势相似:微波杀菌后总酸上升, pH 值、总酸、总糖含量降低,而总酸含量与之研究结果相反。微波杀菌、巴氏杀菌处理后,果汁的理化性质变化不显著,这与我们研究结果一致。

2.3 微波杀菌和巴氏杀菌对 NFC 苹果汁色泽的影响

微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁色泽的影响见表 3。果汁的色泽通过 L^* 、 a^* 、 b^* 值来表示,如表 3 所示,经过两种杀菌方式处理后, L^* 值均比对照组显著增加 ($p<0.05$)。其中微波杀菌组的 L^* 值显著高于巴氏杀菌 ($p<0.05$),果汁颜色变亮。这可能是在杀菌过程中伴随着温度的升高,苹果汁中的 PPO 酶活性受到抑制,果汁的酶促褐变减轻^[17],同时升温可使某些物质变化或反应,使果汁亮度增加。巴氏杀菌后果汁的 a^* 值较对照组和微波杀菌显著降低 ($p<0.05$),根据 Sapers 等^[19]人报道,果汁 L^* 值变小、 a^* 值增大表明发生了褐变。说

表 3 微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁色泽的影响(n=3)
Table 3 Effect of microwave sterilization or pasteurization on the color in apple juice(n=3)

杀菌方式	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	Δ <i>E</i>
对照组	35.46±0.57 ^c	-3.17±0.52 ^a	13.43±0.54 ^a	
加热杀菌	36.24±0.01 ^b	-1.74±0.14 ^b	10.45±0.95 ^c	3.44 ^a
微波杀菌	37.13±0.43 ^a	-2.34±0.02 ^a	11.75±0.48 ^b	2.64 ^b

注:数值为平均值±标准差,n=3;同一列中不同上标字母的数值之间有显著差异(*p*<0.05)。

明巴氏杀菌温度更高,果汁发生了 Maillard 反应使果汁非酶褐变增加。两种杀菌方式与对照组相比果汁的*b*^{*}值均显著下降(*p*<0.05),说明果汁的黄色均有不同程度变淡。通过计算发现,微波杀菌与对照组、巴氏杀菌与对照组的Δ*E*值分别为2.64和3.44,微波杀菌的Δ*E*值显著低于巴氏杀菌的Δ*E*值(*p*<0.05),说明微波杀菌对 NFC 苹果汁色泽影响较小。

2.4 微波杀菌和巴氏杀菌对 NFC 苹果汁 V_C、多酚和抗氧化能力能影响

NFC 苹果汁中含有丰富的功能性营养成分,但在杀菌过程中随着温度的升高,一些功能成分易受到损失。因此,在杀菌后能更多保留一些营养成分是需要解决的问题。微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁 V_C、多酚和抗氧化能力的影响见表 4。

表 4 微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁 V_C、多酚和抗氧化能力的影响(n=3)
Table 4 Effect of microwave sterilization or pasteurization on the V_C, polyphenols, antioxidant capacity in apple juice(n=3)

杀菌方式	多酚/(mg/L)	DPPH 自由基/(mmol/L)	FRAP/(mmol/L)	V _C /(mg/100g)
对照组	1093.74±4.61 ^c	0.781±0.06 ^c	0.82±0.05 ^c	80.64±1.06 ^a
巴氏杀菌	1159.65±13.47 ^b	0.844±0.07 ^b	2.68±0.03 ^b	52.32±0.86 ^c
微波杀菌	1308.08±3.58 ^a	0.922±0.01 ^a	2.72±0.02 ^a	73.53±0.25 ^b

注:数值为平均值±标准差,n=3;同一列中不同上标字母的数值之间有显著差异(*p*<0.05)。

由表 4 可知,微波杀菌和巴氏杀菌与对照组相比多酚含量显著提升了 214.34 mg/L 和 65.91 mg/L),而微波杀菌多酚含量还显著高于巴氏杀菌(*p*<0.05)。可能是温度升高有利于小分子量的酚类溶出,而由于微波破坏了酚酸糖苷键和酯键等,使酚酸从结合态转换为游离态^[20],使多酚含量显著升高。除此之外,微波杀菌后多酚氧化酶残存活性低于巴氏杀菌,保留了更多的酚类物质。

杀菌处理后果汁的抗氧化能力有一定的变化。由表 4 可知,经过杀菌后果汁的抗氧化能力显著增强,其中微波杀菌后果汁 DPPH 自由基和铁还原能力都显著高于巴氏杀菌(*p*<0.05),表明微波杀菌后果汁有更好

的抗氧化能力。

V_C是保持人体健康的重要物质,但在加工过程中受热、光照等易分解。由表 4 可知,经过微波杀菌和巴氏杀菌后 V_C含量都显著降低(*p*<0.05),巴氏杀菌 NFC 苹果汁中 V_C含量显著下降到 52.32 mg/100 g,保留率为 64.88 %,微波杀菌 NFC 苹果汁 V_C含量下降到 73.53 mg/100 g,保留率为 91.18 %。说明相比于巴氏杀菌,微波杀菌能更好的保留果汁中的 V_C。

2.5 相关性分析

微波杀菌和巴氏杀菌处理后主要抗氧化物质与抗氧化活性的相关性分析见表 5。

表 5 不同处理方式主要抗氧化物质与抗氧化活性的相关性分析
Table 5 Correlation analysis between the main antioxidant parameters and antioxidant capacity by different methods

种类	多酚	DPPH 自由基	FRAP	抗坏血酸
多酚	1	0.981 ^{**}	0.760 [*]	-0.023
DPPH 自由基		1	0.846 ^{**}	-0.175
FRAP			1	-0.666
抗坏血酸				1

注:*,** 分别表示在 *p*<0.05 或 *p*<0.01 水平条件下的相关显著性。

由表 5 所示,通过对不同处理方式后果汁中主要抗氧化物质和抗氧化能力进行相关性分析,探究 NFC 苹果汁中主要抗氧化物质和抗氧化能力之间的关系。多酚含量与 DPPH 溶液体系呈现极显著相关(*R*²=0.981,*p*<0.01),与 FRAP 体系呈现显著相关(*R*²=0.760,*p*<0.05)。由此说明,果汁的多酚含量与抗氧化能力均呈现显著正相关,对抗氧化能力作用最大,这与 Maisuthisakul 等^[21]的研究结果一致,他们发现酚类物质与抗氧化活性直接相关。而抗坏血酸对抗氧化能力影响不显著。DPPH 溶液体系和 FRAP 体系的抗氧化呈极显著相关(*R*²=0.846,*p*<0.01),表明两种方法可用于分析 NFC 苹果汁的抗氧化能力。

2.6 微波杀菌和巴氏杀菌对 NFC 苹果汁 PPO 和 PME 的影响

微波杀菌和巴氏杀菌对苹果汁 PPO 和 PME 的影响见表 6。

表 6 微波杀菌和巴氏杀菌对 NFC 苹果汁 PPO 和 PME 酶活性的影响
Table 6 Effect of microwave sterilization or pasteurization on the enzymatic activity of PPO and PME in apple juice

杀菌方式	PPO 酶活性/(U/mL)	PME 酶活性/(U/mL)
未处理	15.4	1.56
巴氏杀菌	0.8	0.18
微波杀菌	0.2	0.13

NFC 苹果汁中含有 PPO 和 PME 两种内源酶,会对果汁的色泽和浑浊稳定性产生影响^[22,23]。如表 6 所

示,经过杀菌之后果汁中的PPO和PME酶活性都显著降低,巴氏杀菌后果汁中PPO和PME残存酶活为5.1%和11.53%,微波杀菌后果汁中PPO和PME残存酶活为1.3%和8.3%,表明微波杀菌比巴氏杀菌有更好的钝酶作用。与Marszalek等^[24]和Tajchakavit等^[25]研究结果一致,前者发现微波杀菌后PPO和POD的活性降低了98%和100%。后者发现微波杀菌的橙汁中果胶甲酯酶的失活比传统加热更为明显。因此,为保证NFC苹果汁质量,在加工过程中应先进行灭酶工艺再进行后续的工艺来保证果汁的质量。

3 结论

巴氏杀菌和微波杀菌后果汁中的微生物数量都符合国家卫生标准,同时由于微波的双重效应,对果汁的杀菌更为彻底;与对照组相比,两种杀菌方式对果汁的pH值、可溶性固形物、总糖、总酸影响不显著;通过对比处理前后果汁 L^* 、 a^* 、 b^* 值的差异,两种杀菌方式都通过抑制酶活性使果汁颜色变亮,微波杀菌的 ΔE 更低,说明微波杀菌能更好的保持果汁原有的颜色;两种杀菌方式都使果汁多酚含量显著提高、DPPH自由基清除能力和铁还原能力显著增强、 V_c 含量显著降低,但微波杀菌较巴氏杀菌更好的保留了 V_c ,同时显著提升了多酚含量和抗氧化能力,相关性分析表明了体系的抗氧化能力和多酚含量呈现显著正相关;通过杀菌处理可钝化果汁中的内源酶PPO和PME,微波杀菌较巴氏杀菌能更好的起到钝酶的效果。

综上可知,微波杀菌对NFC苹果汁不仅能起到显著的杀菌钝酶效果,还能更好的保持果汁原有的色泽和营养成分。因此,后续可以对微波杀菌后果汁贮藏期内稳定性的情况进行深入研究。

参考文献:

- [1] 王皎,李赫宇,刘岱琳,等.苹果的营养成分及保健功效研究进展[J]. 食品研究与开发,2011,32(1):164-168
- [2] 廖小军,辛力,胡小松.鲜榨苹果汁工业化生产技术[J].食品工业科技,1998(6):60-61
- [3] HUANG H W, WU S J, LU J K, et al. Current status and future trends of high-pressure processing in food industry[J]. Food Control, 2017, 72:1-8
- [4] 蒋宝.高压脉冲电场在苹果汁加工中的应用研究进展[J].食品与机械,2018,34(1):177-181
- [5] Abid M, Jabbar S, Hu B, et al. Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice [J]. Ultrasonics - Sonochemistry, 2014, 21(3):984-990
- [6] Kim N H, Ryang J H, Lee B S, et al. Continuous ohmic heating of commercially processed apple juice using five sequential electric fields results in rapid inactivation of Alicyclobacillus acidoterrestris spores[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 246:80-84
- [7] 康孟利,崔燕,尚海涛,等.非热杀菌在 NFC 果汁上的应用前景[J]. 北方园艺,2016(18):190-193
- [8] Kang Y, Kato S, Sung M, et al. Thermal and non-thermal germicidal effect of microwave radiation[J]. Journal of Environmental Engineering, 2011, 76(667):793-798
- [9] Lopes L C, Barreto M T, Alvarez H M, et al. Stability and structural changes of horseradish peroxidase: Microwave versus conventional heating treatment[J]. Enzyme Microb Technol, 2015, 69:10-18
- [10] 王绍林.微波辐照对细菌致死作用的分析[J].包装与食品机械, 1994(1):13-16
- [11] YU L, Perret J, Harris M, et al. Antioxidant properties of bran extracts from "Akron" wheat grown at different locations [J]. Journal of Agricultural And Food Chemistry, 2003, 51(6):1566
- [12] JIANG Z, WANG L, WU W, et al. Biological activities and physico-chemical properties of Maillard reaction products in sugar-bovine casein peptide model systems[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3837-3845
- [13] Vhangani L N, Van W J. Antioxidant activity of Maillard reaction products (MRPs) derived from fructose-lysine and ribose-lysine model systems[J]. Food Chemistry, 2013, 137(1/4):92-98
- [14] Terefe N S, Yang Y H, Kai K, et al. High pressure and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in strawberry puree [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(1):52-60
- [15] 廖小军.高压脉冲电场系统设计及其杀菌灭酶效果与对苹果汁品质影响研究[D].北京:中国农业大学,2004:69-70
- [16] 陈海英,牟伟勋.微波杀菌技术在不同形态食品领域的应用分析[J]. 食品工业,2016,37(10):255-257
- [17] 周笑犁,谢国芳,王瑞,等.微波和巴氏灭菌对猕猴桃汁品质影响的比较[J].食品工业科技,2014,35(18):137-140
- [18] 赵玉红,刘瑞颖,张立钢.巴氏杀菌对黑加仑果汁特性和 DPPH 自由基清除能力的影响[J].食品工业科技,2016,37(15):140-144
- [19] Sapers G M, Jr F W D. Measurement of Enzymatic Browning at Cut Surfaces and in Juice of Raw Apple and Pear Fruits [J]. Journal of Food Science, 1987, 52(5):1258-1285
- [20] 徐贵华,叶兴乾,徐国能,等.微波处理对胡柚皮酚酸、黄酮酮糖苷含量及抗氧化性的影响[J].中国食品学报,2007(5):69-74
- [21] Maisuthisakul P, Pongsawatmanit R, Gordon M H. Characterization of the phytochemicals and antioxidant properties of extracts from Teaw (*Cratogeomys formosum* Dyer)[J]. Food Chemistry, 2007, 99(4): 1620-1629
- [22] Février H, Quéré J M L, Bail G L, et al. Polyphenol profile, PPO activity and pH variation in relation to colour changes in a series of red-fleshed apple juices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 85
- [23] Tiwari B K, Muthukumarappan K, O'Donnell C P, et al. Inactivation kinetics of pectin methylesterase and cloud retention in sonicated orange juice[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(2):166-171
- [24] Krystian M, Marta M, Sylwia S. Effect of Continuous Flow Microwave and Conventional Heating on the Bioactive Compounds, Colour, Enzymes Activity, Microbial and Sensory Quality of Strawberry Purée[J]. Food & Bioprocess Technology, 2015, 8(9):1864-1876
- [25] Tajchakavit S, Ramaswamy H S. Thermal vs. microwave inactivation kinetics of pectin methylesterase in orange juice under batch mode heating conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 1997, 30(1):85-93

收稿日期:2018-10-29