

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016051

引用格式:于筱雨,李少华,吴奇霄,等.不同热处理方式对柠檬中酶钝化程度及主要品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(4):124-130.

YU Xiao-yu, LI Shao-hua, WU Qi-xiao, et al. Effects of different heat treating on enzymatic deactivation and quality of lemon fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(4):124-130.

不同热处理方式对柠檬中酶钝化程度及主要品质的影响

于筱雨¹, 李少华¹, 吴奇霄², 林洪斌^{1,2*}, 毕秀芳¹, 车振明¹, 邢亚阁¹

1(西华大学 食品与生物工程学院, 四川 成都, 610039) 2(四川大学 轻纺与食品学院, 四川 成都, 610065)

摘 要 研究不同热处理方式(沸水浴 1、1.5、2 min, 蒸汽处理 1、1.5、2 min)对柠檬中酶钝化程度以及主要品质的影响。结果表明, 热处理时间越长, 柠檬中过氧化物酶钝化效果越好, 但对柠檬品质影响越大, 色泽变化随着热处理时间的增加, 也越明显, 蒸汽处理会使还原糖、丙二醛、抗坏血酸以及酚类物质含量略微升高, 而在沸水浴环境下, 因物质水溶性会使其在热处理过程中溶于水使得含量下降; 经过热处理过后, 挥发性香气成分变化明显, 尤其是醇醛类、烯烃类, 都有显著的升高。

关键词 柠檬; 热处理; 酶活; 品质

柠檬(*Citrus limon*)又称益母果, 为常绿小乔木, 芸香科柑橘属, 富含柠檬酸、类黄酮、柠檬精油、柠檬果胶、柠檬苦素、香豆素以及维生素等, 具有非常高的营养价值及药用价值^[1]。四川安岳县的柠檬产量占到全国柠檬总产量的 80% 以上, 目前以鲜销为主, 次级柠檬多制成柠檬干片或柠檬饮料等产品, 产品种类及产量都较少, 柠檬精深加工技术及产品开发需进一步加强。但是柠檬在加工过程中容易发生褐变, 严重影响柠檬产品的品质, 因此, 褐变是柠檬加工产业急需解决的问题之一。

果蔬类产品, 因为其中含有氧化酶类、酚类、糖类等物质, 在储存过程中, 会发生酶促和非酶促褐变, 颜色会逐渐加深, 严重影响其感官品质及市场价值。褐变在柠檬加工过程中极易发生, 一般有 2 种: 一种是酶促褐变, 柠檬中所含酚类物质在多酚氧化酶、过氧化物酶等的作用下, 氧化成醌类物质, 进而显褐色^[2-3]。酶促褐变的抑制方法, 可以从 3 个方面考虑: 减少酚类物质含量、抑制酶活以及隔绝氧气, 真空保藏^[4-6]。另一种是非酶促褐变, 柠檬中富含抗坏血酸和酚类物质, 氧化后颜色加深。针对不同的非酶促褐变反应, 应找到相应的抑制方法^[7-10]。

国内外现有抑制柠檬褐变相关研究较少, COHEN^[11]等为解决柠檬中褐变问题, 通过测定美拉德

反应中间产物羟甲基糠醛含量来确定其褐变程度, 但此方法复杂且效率低; LEERATANARAK 等通过比较, 确定漂烫法是实际生产中抑制褐变最好的方式^[12], 但对其具体热烫方式及时间未做详细说明; HAWA 等对干燥过程中褐变对柠檬皮的影响做了研究, 但对柠檬品质介绍较少^[13]。

本研究主要探索钝化酶类物质的条件, 在尽可能不破坏原柠檬中营养物质的前提下, 有效控制加工过程中的酶促褐变。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

尤力克柠檬: 采摘自四川安岳, 8 ℃ 保藏, 使用时随取随用。

甲醇(色谱纯)、Folin-Ciocalteu 试剂(指示剂)、亚甲蓝(指示剂), 其他化学试剂均为分析纯, 成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

TB-214 型电子天平, 北京赛多利斯仪器系统有限公司; DHG-9075A 型电热恒温鼓风干燥箱, 上海益恒实验仪器有限公司; ZNHW-2000 型智能控温电热套, 天津市工兴电器厂; CP411-1 型食品多功能食品加工器, 广东德尔电器有限公司; PHS-320 型酸度计, 上海仪电科学仪器股份有限公司; Waters 2695 HPLC, 杭州瑞析科技有限公司; QP 2010 PLUS 气-质谱联用仪, 日本岛津公司; WSC-S 色差仪, 深圳市威福光电科技有限公司; SpectraMax-i3x 型酶标仪, MO-

第一作者: 硕士研究生(林洪斌为通讯作者, E-mail: hongbin-ok@163.com)。

基金项目: 粮油工程与食品安全四川省高校重点实验室项目(szjj2016-024); 四川省科技计划项目(2016FZ0019)

收稿日期: 2017-10-18; 改回日期: 2017-12-04

LECULAR DEVICES ;KH3200E 行超声波清洗器,昆山禾创超声仪器有限公司;HH-S4 型数显恒温水浴锅,金坛市医疗仪器厂;UV2800 型紫外可见分光光度计,上海奥析科学仪器有限公司;TDZ5-WS 型离心机,上海卢湘仪。

1.3 方法

1.3.1 柠檬样品处理

新鲜柠檬切片,厚度为 3 mm,分别取 200 g 鲜切柠檬片于 100 ℃ 的沸水浴及其水蒸汽中处理 1、1.5、2 min,然后测其中过氧化物酶活性,通过检测 pH 和色泽的直观指标,结合还原糖、丙二醛、抗坏血酸、酚类等物质含量以及香气成分,作为最终选择钝化酶条件的参考指标。

1.3.2 过氧化物酶(POD)活性测定^[14]

果肉粗酶液的制备:取柠檬果肉约 2 g,加磷酸缓冲液(0.05 mol/L, pH 7) 10 mL 研磨,样品经 8 000 r/min,4 ℃ 离心 10 min,上清液即为果肉粗酶液。

果肉参比液的配制:取 4 mL 磷酸缓冲液,加入 1 mL 愈创木酚溶液,40 ℃ 水浴预热 10 min,然后加入 1 mL 2% H₂O₂ 溶液,混匀。

果肉待测液的配制:取 3 mL 磷酸缓冲液,加入 1 mL 果肉粗酶液,加入 1 mL 愈创木酚溶液,40 ℃ 水浴预热 10 min,然后加入 1 mL 2% H₂O₂ 溶液,混匀。迅速在 470 nm 波长下进行比色测定,样品加入后开始计时,每 10 s 记 1 次 OD 值,共测 5 min。计算公式:

$$\text{酶活} = \frac{\Delta \text{OD 值}}{\text{测定时间}} \quad (1)$$

$$\text{残留酶活} = \frac{\text{处理前酶活}}{\text{处理后酶活}} \quad (2)$$

1.3.3 pH 测定^[15]

将柠檬果肉打浆,装入小烧杯中,容量需足够淹没电极,用 pH 计测其 pH 值,读数。

1.3.4 色泽测定^[16]

取柠檬果肉 10 g,研磨匀浆,采用色差仪,室温下测定 L^* 、 a^* 、 b^* 值,其中: L^* 代表亮度,其值越大,色泽越白; a^* 代表红绿值, $a^* > 0$,表示红色程度, $a^* < 0$ 表示绿色程度; b^* 代表黄蓝值, $b^* > 0$ 表示黄色程度, $b^* < 0$ 表示蓝色程度。 ΔE 表示总色差,通过公式(3)计算:

$$\Delta E = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中: ΔE ,总色差; L^* ,经过热处理后的样品亮度值;

L_0^* ,原柠檬亮度值; a^* ,经过热处理后的样品红绿值; a_0^* ,原柠檬红绿值; b^* ,经过热处理后的样品黄蓝值; b_0^* ,原柠檬黄蓝值。

1.3.5 还原糖含量测定^[17]

称取 2.5 ~ 5.0 g 粉碎后的柠檬果肉,参考 GB/T 5009.7—2008 食品中还原糖的测定方法,测定柠檬中还原糖含量。

1.3.6 丙二醛的测定^[18-19]

参照花生和橙汁中丙二醛的测定方法,采用荧光分光光度法检测柠檬中丙二醛含量,并略作修改。

称取 1 g 柠檬果肉,加入 5 mL 100 g/L 三氯乙酸溶液,研磨匀浆,在 4 ℃ 下 8 000 r/min 离心 20 min,取 2 mL 上清液加入 2 mL 0.67% 硫代巴比妥酸溶液,混合后在沸水浴中煮沸 20 min,取出后迅速冷却,离心。分别测定上清液在 450、532 和 600 nm 处的吸光度值。重复 3 次。根据公式(4)计算:

$$C(\mu\text{mol/L}) = 6.45(\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) - 0.56\text{OD}_{450}(\mu\text{mol/g}) \quad (4)$$

1.3.7 抗坏血酸含量测定^[20]

色谱条件: C_{18} 色谱柱;二极管阵列检测器;流动相:体积比为 95:5 草酸(质量分数 0.1%) : 甲醇混合液;流速为 1.0 mL/min;柱温 30 ℃;进样量 20 μL ;测波长 254 nm

样品溶液的配制:冷钵体中加入 1 倍体积的草酸溶液,研磨柠檬果肉,过滤,分别取上清液 2 mL 置于 5、10 mL 容量瓶中,并用 $V(\text{草酸}):V(\text{甲醇}) = 95:5$ (流动相) 的溶液定容。将每种质量浓度的待测样品,用 0.45 μL 的一次性过滤器进行过滤,HPLC 取样量设置为 20 μL ,检测时间为 10 min。

1.3.8 酚类物质的含量测定^[21-22]

样品前处理:取柠檬果肉匀浆 2.5 g,加入 20 mL 60% 的乙醇,40 ℃ 水浴避光超声提取 30 min,处理后样品离心 10 min,上清液定容至 25 mL,摇匀 4 ℃ 冰箱保存备用。

样品测定:取 0.5 mL 待测液于与 5.5 mL 蒸馏水混合,加 0.5 mL 福林-酚试剂,混匀,再加入 0.5 mL 10% NaCO₃ 溶液,充分混合,30 ℃ 避光放置 0.5 h,以蒸馏水为空白对照,在 760 nm 处测定吸光值,每个样品平行 6 次。

1.3.9 挥发性香气成分的测定^[23-24]

固相微萃取:取柠檬果肉 5 g,放入顶空瓶,加入 3 g NaCl,放入 40 ℃ 水浴中平衡预热 10 min 后顶空吸附 40 min,用萃取针收集样品。

色谱条件: J&W DB-5 石英毛细柱 (30 m × 0.25 mm); 程序升温: 柱初温 35 ℃, 保持 5 min, 以 3 ℃/min 上升到 180 ℃, 保持 2 min, 再以 5 ℃/min 上升至 240 ℃, 保持 2 min; 进样口温度为 250 ℃; 载气为氦气, 流速 1.5 mL/min; 不分流进样。

质谱条件: 电子轰击 (EI); 电子能量为 70 eV; 传输线温度 280 ℃, 离子源温度 230 ℃; 四极杆温度 150 ℃; 质量扫描范围 m/z 35 ~ 400。

1.4 数据处理与统计分析方法

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行整理统计分析, 各项指标结果以“平均数 ($n = 5$) ± 标准偏差”表示, 采用 S-N-K 法进行差异显著性分析 ($p < 0.05$), 图中标注不同字母的数据表示数据间具有显著性差异 ($p < 0.05$); 采用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 不同热处理方式对柠檬酶活的影响

本实验对柠檬中的酶钝化条件进行探究, VAMOS-VIGYAZO 等^[25]发现, POD 酶相对于多酚氧化酶 (PPO) 热稳定性较强, 可作为钝酶效果指标酶。不同的热处理方式对柠檬中过氧化物酶 (POD) 酶活的影响如表 1 所示。不同方式热处理, 对柠檬中酶活都有一定的影响, 且钝化时间越长, 钝化效果越好。沸

水热烫 2 min 后, 残留酶活仅剩 29.4%, 蒸汽处理 2 min 后, 残留酶活为 37.2%。

表 1 柠檬中 POD 酶活分析
Table 1 Analysis of POD activity in lemon

处理方式	POD 酶活/(U · g ⁻¹)	残留酶活/%
原柠檬	11.6 ± 0.31 ^b	100
水浴 1 min	4.49 ± 0.22 ^a	38.7
水浴 1.5 min	3.68 ± 0.20 ^a	31.7
水浴 2 min	3.41 ± 0.13 ^a	29.4
蒸汽 1 min	5.59 ± 0.15 ^a	48.2
蒸汽 1.5 min	4.65 ± 0.20 ^a	39.1
蒸汽 2 min	4.32 ± 0.11 ^a	37.2

注: 采用 S-N-K 法进行差异显著性分析 ($p < 0.05$), 图中标注不同字母的数据表示数据间具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.2 不同热处理方式对柠檬 pH 和色泽的影响

柠檬经不同热处理后, pH 及色泽变化如表 2 所示。经过水浴和蒸汽处理后, 柠檬果肉 pH 值略有降低, 因为温度升高, 由水电离出的 H⁺ 和 OH⁻ 的浓度都会升高, 而 pH 值是指 H⁺ 浓度, 因此, 通过热处理过的柠檬, pH 值会略降低。不同方式热处理过后柠檬的颜色指标 L^* 、 a^* 、 b^* 值均有不同程度的升高, 经过热烫处理的柠檬, 亮度增加, 色泽加深, 说明热处理后有更多的色素物质溶出^[16]。其中沸水热烫 1.5 min 色差 ΔE 最小。

表 2 不同热烫方式对柠檬 pH 和色泽的影响

Table 2 Effects of different blanching methods on pH and colors of lemon

处理方式	pH	颜色指标			
		L^*	a^*	b^*	ΔE
原柠檬	2.65 ± 0.01 ^c	54.98 ± 2.404 ^b	-1.84 ± 0.282 ^a	14.34 ± 0.716 ^a	
水浴 1 min	2.51 ± 0.01 ^d	68.62 ± 3.547 ^a	-2.64 ± 0.428 ^c	14.13 ± 2.300 ^a	13.59 ± 1.49 ^b
水浴 1.5 min	2.58 ± 0.01 ^c	65.55 ± 2.686 ^a	-2.71 ± 0.045 ^{bc}	15.56 ± 1.784 ^a	11.98 ± 1.31 ^b
水浴 2 min	2.64 ± 0.02 ^a	65.86 ± 3.141 ^a	-2.92 ± 0.115 ^c	14.32 ± 0.177 ^a	11.39 ± 2.45 ^b
蒸汽 1 min	2.61 ± 0.01 ^b	68.30 ± 1.354 ^a	-3.05 ± 0.108 ^b	16.25 ± 1.641 ^b	13.97 ± 3.51 ^b
蒸汽 1.5 min	2.59 ± 0.02 ^c	66.75 ± 1.198 ^a	-2.94 ± 0.317 ^b	16.05 ± 1.104 ^a	10.88 ± 2.37 ^a
蒸汽 2 min	2.63 ± 0.05 ^b	65.90 ± 2.258 ^a	-3.08 ± 0.207 ^{bc}	16.30 ± 2.600 ^a	10.95 ± 3.11 ^b

注: 采用 S-N-K 法进行差异显著性分析 ($p < 0.05$), 图中标注不同字母的数据表示数据间具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.3 不同热处理方式对柠檬品质的影响

2.3.1 不同热处理方式对柠檬还原糖含量的影响

柠檬中所含的糖主要是葡萄糖、果糖和蔗糖等。不同热处理方式对柠檬中还原糖含量的影响如图 1。原柠檬中还原糖含量为 41.31 g/kg, 经过沸水热烫 1、1.5、2 min 后柠檬中还原糖含量分别降低了 6.39%、5.23%、3.49%; 蒸汽处理 1、1.5、2 min 后柠檬中还原糖含量有微量增加, 分别增加了 1.65%、2.83%、3.17%。主要是因为还原糖易溶于水, 柠檬中的一部

分还原糖会溶解于水中而损失掉; 而蒸汽处理, 因为柠檬片不与水直接接触, 因此几乎无溶出损失。

除此之外, 柠檬在放置过程中, 会发生美拉德反应, 产生一些中间产物带有醛基, 在滴定过程中同时被滴定出来; 柠檬中含有的部分转化糖也会在放置过程中, 转化为还原糖。当然, 其中不可避免因为柠檬个体不同, 其本身的还原糖含量有差异。但大体趋势如图 1 所示。综上蒸汽处理 1 min 后对还原糖含量影响最小。

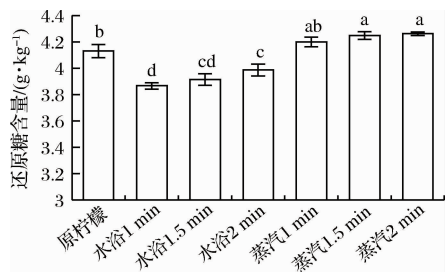


图1 柠檬中还原糖的含量

Fig. 1 The content of reducing sugar in lemon

2.3.2 不同热处理方式对柠檬丙二醛含量的影响

丙二醛是柠檬中细胞膜质过氧化程度的体现,丙二醛含量高,说明柠檬细胞膜质过氧化程度高,细胞膜受到的伤害严重。不同热处理方式对柠檬中丙二醛含量的影响如图2,原柠檬中丙二醛含量为0.45 $\mu\text{mol/L}$,经过蒸汽处理后柠檬中丙二醛含量略有上升,说明其细胞膜经过热处理时间增加,受到的伤害更严重;而经过沸水热烫1、1.5、2 min后柠檬中丙二醛含量有一定的降低,分别降低了2.53%、9.54%、24.96%,沸水处理过后柠檬中丙二醛含量显著降低,是因为丙二醛是一种易溶于水的物质,随着水浴时间的增加,丙二醛溶出量也增加,因此检测出柠檬中丙二醛含量反而降低。综上,蒸汽处理1、1.5 min后对丙二醛含量影响较小。

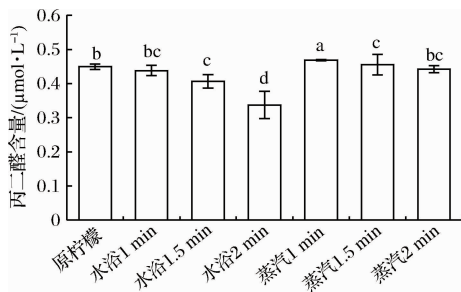


图2 柠檬中丙二醛的含量

Fig. 2 The content of reducing malonaldehyde in lemon

2.3.3 不同热处理方式对抗坏血酸含量的影响

不同热处理方式对柠檬中抗坏血酸含量的影响如图3,原柠檬中抗坏血酸含量为25.65 $\mu\text{g/mL}$,经过沸水热烫1、1.5、2 min后柠檬中抗坏血酸含量分别降低了17.91%、33.92%、34.11%,损失显著;蒸汽处理1、1.5 min后柠檬中抗坏血酸含量与原柠檬相差不大,蒸汽处理2 min,抗坏血酸含量损失5.95%。主要因为抗坏血酸是一种受热易分解且易溶于水的物质,抗坏血酸降解有两个途径:有氧分解及无氧分解,有氧反应形成脱氢抗坏血酸,再脱水形成2,3-二

酮古洛糖酸(DKG)后,脱羧产生酮木糖,最终产生还原酮;无氧分解其主要产物为糠醛,当氧气完全消耗或者低至某一浓度时便开始进行无氧分解^[26]。因此在热处理过程中,尤其是水浴处理,一部分抗坏血酸会受热分解或溶于水中,而使得经过热烫的柠檬中测得的抗坏血酸含量损失显著。综上,蒸汽处理1 min、1.5 min后对抗坏血酸含量影响较小。

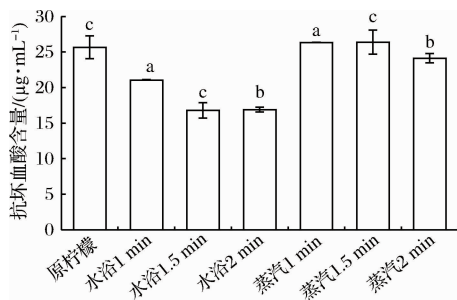


图3 柠檬中抗坏血酸的含量

Fig. 3 The content of ascorbic acid in lemon

2.3.4 不同热处理方式对多酚含量的影响

多酚是在柠檬中起到抗氧化的作用,多酚中的酚基结构中的邻位酚羟基很容易被氧化,同时对活性氧等自由基具有很强的捕捉能力,这使多酚具有了抗氧化线以及清除自由基的能力。不同热处理方式对柠檬中多酚含量的影响如图4。

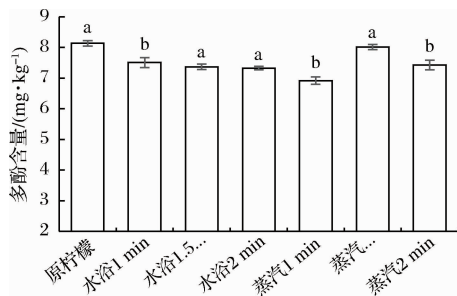


图4 柠檬中多酚物质的含量

Fig. 4 The content of polyphenols in lemon

原柠檬中多酚含量为7.138 mg/kg ,经过沸水热烫1、1.5、2 min、蒸汽处理1、1.5、2 min后,柠檬中多酚含量增加5.23%、3.29%、2.65%、0.28%、9.52%、4.10%。主要是因为高温环境中,随着水分减少,游离酚会通过疏水键和多点氢键与果肉中蛋白质和糖类发生缩合反应,向结合酚转化,游离酚含量减少,结合酚含量增加^[21]。结合酚含量与还原能力呈正相关,本实验通过多酚的还原性,将磷钨钼酸还原成蓝色,通过比色得到酚类物质含量的原理,进行多酚类物质含量的比较。因此经过热处理的柠檬

中所测得的多酚类物质含量有明显升高。REENA等^[27]研究人为热处理过后总酚含量增加的原因主要是因为热处理导致了细胞壁的破裂,从而使某些酚类物质溶出,同时某些共轭的酚类物质在热处理过程中会发生氧化聚合作用,分解使得酚类物质含量增加。

2.4 热处理方式对柠檬中挥发性香气成分的影响

不同热处理方式对柠檬挥发性香气成分的影响

如表3所示。据国外学者分析,柠檬中的柠檬烯、罗勒烯、芳樟醇、香叶醇、香柠檬烯等是柠檬特征香气成分,水果的芳香物质是果汁等加工品风味的主要构成成分,是评价果实内在品质的重要指标之一,香气是柠檬果实品质的重要组成部分,体现种类和品种的差异性,香气成分的研究对提高柠檬品质、育种及其深加工有着重要的意义^[20]。

表 3 不同热烫方式对柠檬中挥发性香气成分的影响

Table 3 Effects of different blanching methods on volatile aroma compounds of lemon

编号	保留 时间/min	挥发性 香气成分	峰面积						
			原柠檬	水浴 1 min	水浴 1.5 min	水浴 2 min	蒸汽 1 min	蒸汽 1.5 min	蒸汽 2 min
1	11.028	二甲硅烷二醇	1 084 421	1 422 067	ND	7044960	ND	ND	ND
2	14.172	己醛	880 932	ND	ND	520 864	333 928	ND	ND
3	18.718	α-水芹烯	155 262	329 503	173 284	83 124	84 959	ND	ND
4	20.432	β-月桂烯	11 379 264	29 117 400	29 127 820	15 189 645	6 893 327	8 380 620	8 442 076
5	21.047	辛醛	697 437	1 583 657	1 213 922	1 425 696	290 151	469 308	137 519
6	21.726	γ-松油烯	456 030	1 351 380	1 121 307	1 020 907	397 277	507 457	349 915
7	22.323	柠檬烯	79 071 454	132 842 394	141 545 339	106 770 351	86 466 639	85 830 570	88 240 352
8	22.637	罗勒烯	1 674 525	5 755 133	7 526 202	2 960 486	183 241	549 972	410 739
9	23.329	δ-3-萜烯	7 526 214	23 552 789	23 359 426	16 978 380	8 657 339	10 210 839	11 453 658
10	24.506	异松油烯	805 835	2 512 978	2 428 240	1 896 717	701 834	1 132 770	1 134 482
11	24.864	芳樟醇	2 270 506	4 905 839	2 742 290	3 363 416	1 585 911	6 979 273	1 054 047
12	25.118	壬醛	2 352 312	5 380 041	5 217 531	4 524 075	1 428 107	2 439 409	1 546 116
13	26.797	(E)-β-金 合欢烯	841 568	3 983 236	2 522 115	1 206 469	503 706	918 776	499 594
14	27.543	(S)-顺式- 马鞭草烯醇	1 441 908	8 179 124	4 451 620	2 694 565	796 062	1 558 112	340 997
15	27.962	1-辛醇	130 497	ND	425 612	326 246	95 630	ND	ND
16	28.301	顺-马鞭草烯醇	3 694 840	11 465 340	6 012 807	3 724 463	2 931 753	3 246 941	884 543
17	28.813	4-萜烯醇	6 619 882	9 700 831	7 655 092	7 773 814	3 978 800	5 889 975	1 356 765
18	29.338	α-松油醇	18 370 074	12 684 372	11 666 398	10 547 003	12 817 336	6 843 804	3 180 104
19	30.415	橙花醇	7 070 760	5 000 798	5 218 402	4 589 994	2 439 153	4 457 892	888 721
20	31.018	橙花醛	7 206 486	32 532 675	18 334 574	12 406 190	5 367 738	7 796 549	2 367 934
21	31.465	香叶醇	9 836 160	6 576 992	7 214 264	5 094 661	1 775 379	3 912 799	499 198
22	32.282	香叶醛	11 815 772	49 818 502	29 320 542	18 858 551	6 380 722	11 219 739	3 369 376
23	33.174	环己硅氧烷	1 373 312	2 913 855	1 517 999	3 919 486	3 516 788	677 879	279 068
24	33.976	癸醛	158 761	1 512 051	1 010 096	302 456	973 681	68 007	126 801
25	36.111	橙花醇乙酸酯	3 722 985	29 721 252	20 914 173	11 393 621	2 706 212	2 585 395	2 401 831
26	36.965	乙酸香叶酯	3 287 226	16 422 320	14 198 303	4 860 950	2 362 463	1 727 222	1 468 172
27	38.863	(E)-α- 香柠檬烯	ND	525 766	307 979	74 054	2 173 728	ND	88 416
28	39.538	1,9-癸二炔 6-甲基-2-(4-甲	345 160	4 176 641	2 282 195	1 391 066	3 418 196	610 595	891 047
29	42.976	基-3-环己烯-1- 基)-1,5-庚二烯	1 972 381	12 164 729	8 638 071	3 394 908	2 064 213	873 994	1 330 227

注:ND 表示没有检测到。

醇类和醛类物质是柠檬中挥发性成分的主要组分,包括乙醛、辛醛、芳樟醛、α-松油醇,橙花醇等^[28],这些易挥发的成分经过热处理后呈现含量增加并且有随热烫时间变长而增大的现象,可能是因为柠檬中含有还原糖,加热促进还原糖与氨基发生反应,产生醛类物质;烯炔类化合物是柠檬之中挥发性

成含量最高的一类,包括了α-水芹烯、柠檬烯、罗勒烯、异松油烯等,烯炔类物资经过热烫处理后的含量变化和醇类和醛类物质含量变化相同,热处理后含量增加并且有随热烫时间变长而增大;酯类和酮类化合物虽然含量较低,但对柠檬的香气有着一定的贡献,大多酯类具有特殊的水果香味,本次实验主要检测出

来的是橙花醇乙酸酯,这类物质经过热处理后含量要小于原柠檬中的含量,其主要的原因是酯类遇高温发生了水解反应,含量会有所下降。据统计,在蒸汽处理 1.5 min 后的柠檬中所含香气成分与原柠檬香气成分最接近。

3 结论

本研究以过氧化物酶为酶活检测物,通过检测 pH 和色泽直观指标,还原糖、抗坏血酸、酚类等营养物质含量,氧化应激标志物丙二醛及挥发性香气成分等指标,比较选择出最适宜工业上处理的灭酶条件而抑制柠檬在加工过程中的酶促褐变,得到以下结论:热处理对柠檬的 pH 影响不大,但对色泽影响较为明显,亮度深浅都有变化;蒸汽处理会使还原糖、丙二醛、抗坏血酸以及酚类物质含量略微升高,而沸水水浴处理会使其含量下降,主要是在热烫过程中溶于水的损失;经过热烫处理过后,挥发性香气成分变化明显,尤其是醇醛类、烯炔类,都有显著的升高。热处理方式和处理时间都是影响产品品质的重要因素,热处理时间越长,酶钝化效果越好,但柠檬是热敏性的水果,营养成分和风味稳定性差。

综合柠檬营养风味成分与酶钝化程度指标对柠檬产品品质影响,认为选择蒸汽处理柠檬 1.5 min,可以灭掉 60% 以上的酶活,且还能保持较好的色泽、营养成分及柠檬原有风味。该研究可为柠檬类产品加工生产中褐变问题提供理论参考,特别是在制备柠檬干片、果脯及柠檬茶等柠檬相关产品进行护色处理,对产品褐变有一定的抑制作用。在柠檬其他加工产品上的应用还需要进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 程劲. 柠檬加工利用研究[J]. 四川食品与发酵, 2005, 41(1): 11-15.
- [2] QUEVEDO R, PEDRESCHI F, BASTIAS J M, et al. Correlation of the fractal enzymatic browning rate with the temperature in mushroom, pear and apple slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 406-413.
- [3] QUEVEDO R, ROMCEROS B, GARCIA K, et al. Enzymatic browning in sliced and pureed avocado: a fractal kinetic study[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(2): 210-215.
- [4] 朱春华, 龚琪, 李进学, 等. 柠檬干片制作过程及贮藏期间颜色变化[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(3): 630-634.
- [5] 增顺德, 张超, 张迎君, 等. 柠檬干片高效褐变抑制剂筛选[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 212-213.
- [6] 林河通. 龙眼果实采后果皮褐变机理和采后处理技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003: 4-13.
- [7] UDOMKUN P, NAGLE M, MAHAYOTHEE B, et al. Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pre-treated papaya[J]. Food Science and Technology, 2015, 60: 914-922.
- [8] ROIG M G, BELLO J F, RIVERA Z S, et al. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice[J]. Food Research International, 1999, 32: 609-619.
- [9] ARGYROPOULOS D, MULLER J. Kinetics of change in colour and rosmarinic acid equivalents during convective drying of lemon balm[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2014, 1: 15-22.
- [10] GARZA S, IBARZ A, PAGAN J, et al. Non-enzymatic browning in peach puree during heating[J]. Food Research International, 1999, 32: 335-343.
- [11] COHEN E, BIRK Y, MANNHEIM C. K, et al. A rapid method to monitor quality of apple juice during thermal processing[J]. Food Science and Technology, 1998, 31(7-8): 612-616.
- [12] LEERATANARAK N, DEVAHASTINS, CHIEWCHAN N. Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 77(3): 635-643.
- [13] HAWA L C, ALI S B, FUJII S, et al. Effects of pre-treatments on browning of lemon peels during drying[J]. Japan Journal of Food Engineering, 2014, 15(3): 181-187.
- [14] 黎婕. 柚子加工过程的褐变研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 23-44.
- [15] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB 10468—89 水果和蔬菜产品 pH 值的测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
- [16] 许文文, 曹霞敏, 廖小军. 热烫方式对草莓内源酶与主要品质影响的品质[J]. 中国食品与营养, 2011, 17(8): 25-32.
- [17] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB/T 5009.7—2008 食品中还原糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [18] 林克敏. 荧光分光光度法检测花生油中的丙二醛[J]. 广西医学, 1995(5): 371-373.
- [19] 王小明. 橙汁加工过程的酶解工艺优化与褐变控制研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013: 50-58.

- [20] 李桂峰. 苹果果肉褐变机理和近红外无损检测技术研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2008: 21 – 23.
- [21] 李鹏飞. 柠檬生物活性成分分析及其组织培养技术研究[D]. 成都: 西华大学, 2014: 15 – 16.
- [22] LAMUELA-RAVENTOS R M, SINGLETON V L, ORTHOFER R. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. *Methods in Enzymology*, 1999, 299: 152 – 178.
- [23] 何朝飞, 张耀海, 田景华, 等. 套袋对柠檬香气成分的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(4): 144 – 149.
- [24] 朱春华, 李进学, 高俊燕, 等. GC-MS 分析柠檬不同品种果皮精油成分[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(9): 1 223 – 122.
- [25] VAMOS-VIGYAZO L. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1981, 15: 49 – 127.
- [26] 吴敏. 包装盒贮藏条件对荔枝果汁品质的影响研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016: 42 – 45.
- [27] RANDHIR R, KWON Y I, SHETTY K. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2008, 9(3): 355 – 364.
- [28] 何朝飞, 冉玥, 曾林芳, 等. 柠檬果皮香气成分的 GC-MS 分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(6): 175 – 179.

Effects of different heat treating on enzymatic deactivation and quality of lemon fruits

YU Xiao-yu¹, LI Shao-hua¹, WU Qi-xiao², LIN Hong-bin^{1,2*},
BI Xiu-fang¹, CHE Zhen-ming¹, XING Ya-ge¹

1(School of Food Science and Biological Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

2(School of Textile and Food, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT The effects of different heat treating (water bathing 1, 1.5, 2 min, steam treating 1, 1.5, 2 min) on the enzyme deactivation and main quality of lemon were studied herein. The results showed that longer heat treatment time gave better peroxidase passivation effect in lemon, but could cause greater impact on lemon quality. With the increase of blanching time, and the color change was more obvious, the steam treatment slightly increased the contents of sugar, malondialdehyde, ascorbic acid and phenolic. While in the boiling water, their contents decreased due to their water solubility. After blanching, volatile aroma compounds increased significantly, especially aldehydes and olefins.

Key words lemon; heat treating; enzyme activity; quality