

# 超高静压对非浓缩还原杨梅果汁中氧化酶的钝化作用

吴新怡, 孟梓怡, 朱吟非, 罗子阳, 王超, 段翰英\*

(暨南大学理工学院, 广东广州 510632)

**摘要:** 该研究以非浓缩还原 (not from concentrate, NFC) 杨梅果汁为研究对象, 研究不同超高静压 (high hydrostatic pressure, HHP) 处理 (300~600 MPa/0~30 min) 对 NFC 杨梅汁中多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 和过氧化物酶 (peroxidase, POD) 的影响。对比传统高温灭酶, 拟合建立 HHP 压力与酶活性的一级动力学回归方程, 分析得到相关参数 (压力脉冲效应 PE、压力脉冲数值  $N_D$ 、等效破坏值  $D_p$  及酶的失活速率  $K$ )。结果表明, 较高压力 (400~600 MPa) 对 PPO 与 POD 均起到钝化效果, 其中 600 MPa/10 min 能钝化 90% 的 PPO 活性, 600 MPa/20 min 钝化 80% 的 POD 活性。600 MPa/30 min 条件下, 重复加压不能明显加强钝化效果。将 PPO 和 PPO 活性与压力进行一级动力学拟合, 得到相应线性回归方程 ( $R^2>0.8$ )。随着压力从 300 MPa 升高到 600 MPa, PPO 的  $K$  值从  $3.03\times 10^{-2}$  升高到  $12.12\times 10^{-2}$ , POD 的  $K$  值从  $1.23\times 10^{-3}$  上升到  $7.67\times 10^{-3}$ 。600 MPa 条件下, PPO 和 POD 的  $N_D$  分别为 1.04 和 1.59,  $D_p$  值都为 19。同时, 压力和保压时间及其相互作用对 PPO 和 POD 活性的影响均有极高的显著性 ( $p<0.001$ )。因此, HHP 对杨梅果汁中关键的氧化酶能起到较好的钝化作用, 能够为 NFC 杨梅汁加工技术的应用提供科学依据。

**关键词:** 非浓缩还原汁; 多酚氧化酶; 过氧化物酶; 杨梅果汁; 超高静压; 动力学

文章编号: 1673-9078(2022)04-155-160

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.4.0748

## Effect of High Hydrostatic Pressure Treatment on Inactivation of Oxidase in Non-concentrated Bayberry Juice

WU Xinyi, MENG Ziyi, ZHU Yinfei, LUO Ziyang, WANG Chao, DUAN Hanying\*

(College of Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** The effect of different high hydrostatic pressure (HHP) treatments (300~600 MPa/0~30 min) on polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) in non-concentrated (NC) bayberry juice was studied. Compared to the traditional heat inactivation, the relationship between HHP treatment and enzyme activity was established by fitting the first-order kinetic regression equation and relevant parameters (pressure pulse effect PE, pressure pulse number value  $N_D$ , equivalent damage value  $D_p$  and inactivation rate  $K$  of enzyme) were obtained. The results showed that higher pressure (400~600 MPa) had inactivation effects on PPO and POD, in which 600 MPa/10 min could inactivate 90% of PPO activity and 600 MPa/20 min could inactivate 80% of POD activity. Repeated cycle at 600 MPa/30 min did not increase the passivation effects. The linear regression equation ( $R^2>0.8$ ) was obtained by fitting PPO and PPO activity with pressure. With the increase of pressure from 300 MPa to 600 MPa, the  $K$  value of PPO increased from  $3.03\times 10^{-2}$  to  $12.12\times 10^{-2}$ , and the  $K$  value of POD increased from  $1.23\times 10^{-3}$  to  $7.67\times 10^{-3}$ . At 600 MPa, the  $N_D$  of PPO and POD were 1.04 and 1.59, respectively, and the  $D_p$  values were 19. At the same time, the effects of pressure, holding time and their interaction on PPO and POD activity were extremely significant ( $p<0.001$ ). Therefore, HHP had a good inactivation effect on the key oxidase in bayberry juice, which could provide a scientific basis for the application of HHP in NC bayberry juice processing.

**Key words:** non-concentrated; polyphenol oxidase; peroxidase; bayberry juice; high hydrostatic pressure; kinetics

引文格式:

吴新怡, 孟梓怡, 朱吟非, 等. 超高静压对非浓缩还原杨梅果汁中氧化酶的钝化作用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 155-160

WU Xinyi, MENG Ziyi, ZHU Yinfei, et al. Effect of high hydrostatic pressure treatment on inactivation of oxidase in non-concentrated bayberry juice [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 155-160

收稿日期: 2021-07-16

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2019B020212004)

作者简介: 吴新怡 (2000-), 女, 本科生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: xinyi88@stu2018.jnu.edu.cn

通讯作者: 段翰英 (1978-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 农产品加工, E-mail: dhyjnu@sina.com

杨梅作为我国主要的亚热带水果,果色鲜艳、汁液丰富、酸甜适度、风味独特,深受消费者青睐,具有很高的经济价值和营养价值<sup>[1]</sup>。果汁、果醋、蜜饯果脯、水果罐头等为杨梅主要的深加工产品,其中杨梅果汁的产量最大<sup>[2-4]</sup>。NFC果汁是以鲜果为原料,直接经榨汁和杀菌等工序所制得的一种果汁产品<sup>[5]</sup>。由于其不经过高温浓缩和还原等工序,可最大程度地保持果汁的原有风味、口感和营养价值,健康新鲜,符合当前的消费趋势和市场需求。

目前,NFC及传统果汁的灭菌方式仍以热处理为主,这种方式严重破坏了产品的营养、风味、色泽,导致了非酶褐变、维生素分解和挥发性化合物损失等问题的产生。近年来,以超高静压(HHP)等为主的非热杀菌技术在食品行业中发展迅猛。HHP实现低温灭菌,更大程度地保留了食品感官和营养特性,极大满足了消费者对最少化食品加工的需求。在对NFC橙汁品质影响的研究中发现,相比高温短时杀菌(110℃,8.6s),HHP处理(600MPa/1min)对NFC橙汁杀菌效果较好,且对总酚、维生素C、抗氧化活力、天然色泽和感官风味起到了更好的保护作用<sup>[6]</sup>。

多酚氧化酶(PPO)与过氧化物酶(POD)是影响果汁褐变、品质劣变的主要氧化酶,HHP可钝化酶从而提高果汁品质。Zhang等<sup>[7]</sup>发现HHP处理能通过钝化PPO与POD的活性,从而显著降低西瓜汁的褐变程度。经HHP处理的香蕉豆浆复合汁,其PPO、POD活性分别在压力为400MPa、100~400MPa时显著降低<sup>[8]</sup>;Ortuño等<sup>[9]</sup>报道了菲律宾番石榴果泥中的POD经600MPa/5min后,其活性下降了78%。桃汁经600MPa/25min后,其PPO活性下降了79%<sup>[10]</sup>。可见不同果汁中的氧化酶对HHP的耐压性不同,但有关HHP对杨梅果汁中氧化酶的影响未见报道。

本文主要研究了HHP压力与保压时间,以及持续保压对杨梅果汁中PPO与POD钝化的影响。对比传统高温灭菌,拟合建立HHP压力与酶活性的一级动力学回归方程,得到PE、N<sub>D</sub>、D<sub>p</sub>及K等关键性指标,为杨梅果汁中氧化酶的钝化起指导预测作用,以期HHP加工果汁、延长果汁保质期提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

新鲜杨梅(原产地:中国仙居)。

PPO活性检测试剂盒(BC0190)、POD活性检测试剂盒(BC0095),中国北京索莱宝科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

CQC2-600型全液相超高静压食品灭菌机,北京速原中天公司;HR2874榨汁机,荷兰飞利浦公司;14886真空包装机,浙江宁波得力有限公司;YC-520L医用冷藏箱,中科美菱低温科技股份有限公司;Centrifuge5810R离心机,德国Eppendorf公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 杨梅汁制备

杨梅清洗后浸泡于冰水浴中,去核,用榨汁机挤压得到粗杨梅汁;然后用冷冻高速离心机于8000r/min离心10min(4℃),取上清液,得到澄清杨梅汁(鲜榨杨梅汁)。

#### 1.3.2 HHP及高温处理

因考虑压力的上升会带来温度的增加(压力每上升100MPa,样品和加压介质温度上升3℃)<sup>[11,12]</sup>,分别用300、450、600MPa压力处理杨梅果汁0、5、10、15、25、30min,并对600MPa/30min处理组,进行2~3次重复加压(即2~3次600MPa/30min处理)。另取一组高温灭菌(100℃,15min)。每个实验均重复三次,处理完成后将所有样品于4℃冷藏储存。

#### 1.3.3 酶活性测定

PPO活性和POD活性测定按各自检测试剂盒说明使用方法操作。

吸取0.005mL鲜榨杨梅汁或高温、HHP处理的杨梅果汁,加入1mL试剂盒内的酶提取液进行冰浴匀浆;8000×g4℃离心10min,取上清,置冰上待测。分别调节分光光度计波长至410nm、酶标仪波长至470nm处测定PPO、POD样品的吸光度,通过计算得到酶活性A(U/mL):

$$A_{\text{PPO}}(\text{U/mL}) = 12000 \times \Delta\text{ABS} \quad (1)$$

$$A_{\text{POD}}(\text{U/mL}) = 9800 \times \Delta\text{ABS} \quad (2)$$

式中:

A—t(min)时间HHP处理后剩余酶活性,U/mL;

ΔABS—吸光度变化值。

文中出现的酶活性(%)计算公式如下:

$$\text{酶活性}(\%) = \frac{A}{A_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

A<sub>0</sub>—酶的初始活性,U/mL。

#### 1.3.4 数据的实验设计和统计分析

以压力水平 (300~600 MPa) 和保压时间 (0~30 min) 为自变量, 运用 IBM SPSS Statistics 25 进行数据分析, 评价压力和时间及其交互作用对酶活性的影响。采用广义线性方法 (generalized linear model, GLM) 对结果进行方差分析, 通过邓肯多重比较各因素水平之间的显著性差异。酶活性 (因变量) 与自变量水平 (压力、时间) 的相关性由公式 (4) 定义为:

$$X_{ijk} = \mu + \partial_j + \partial_k + \partial_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (4)$$

式中:

$X_{ijk}$ ——各种因素的共同影响;

$\mu$ ——各种处理的观测结果;

$\partial_j$ ——第一个影响因素;

$\partial_k$ ——第二个影响因素;

$\partial_{jk}$ ——相互影响因素;

$\varepsilon_{ijk}$ ——实验误差分析。

### 1.3.5 动力学数据分析

将酶的压力失活分为两种影响效应, 一是加压与降压引起的活性变化 (相当于压力脉冲效应), 二是在保压时间内压力对酶活性的一级动力学分析。在保压时间内, 酶的压力失活是以一级速率动力学为基础的, 如公式 (5):

$$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = -Kt \quad (5)$$

式中:

$K$ ——反应速率常数,  $\text{min}^{-1}$ 。

在给定的压力下, 导致酶初始活性下降 90% 的保压时间, 即酶活性减少一个对数值所花的时间称之为 D 值, D 值可从  $\log(A/A_0)$  与时间的对应关系中得到, 如公式 (6)。

$$D = \frac{2.303}{K} \quad (6)$$

根据 Riahi 等<sup>[11]</sup>定义, 压力脉冲为保压时间为 0 min 的压力处理技术, 即样品被加压到指定压力后立即减压的过程。PE 为初始活性减去经过脉冲后的活性 (对数标度) 得到<sup>[11,13]</sup>, 如公式 7。 $N_D$  表示酶活性降低一个对数所需要的压力脉冲数<sup>[14]</sup>, 如公式 (8)。

$$PE = \lg \frac{A_0}{A} \quad (7)$$

$$N_D = \frac{1}{PE} \quad (8)$$

$D_p$  值为时间等效值, 定义为在给定的压力下脉冲一次等同于在这个压力下保持时间的效果, 即一个压力脉冲实现的等效破坏。由于 D 值为在给定的压力下与其保压时间的关系, 所以  $D_p$  值可以由 PE 而导致的酶

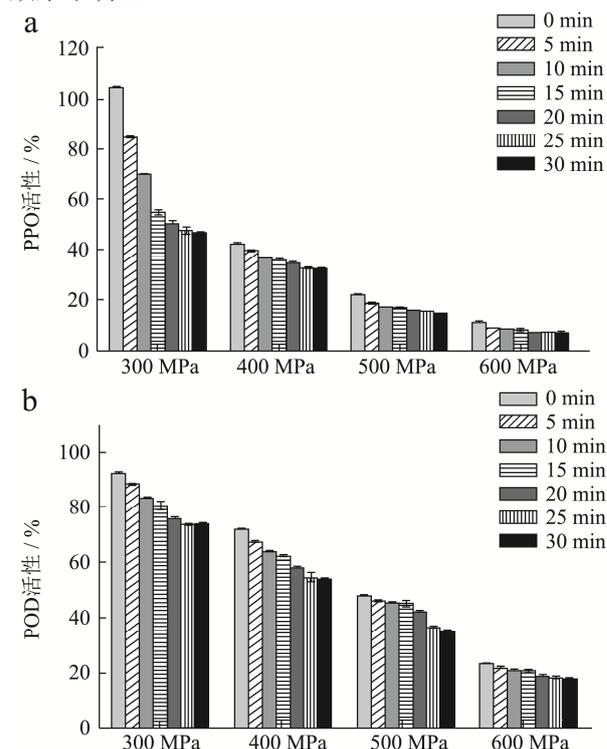
活性对数减少获得<sup>[11]</sup>, 如公式 (9):

$$D_p = D \cdot PE \quad (9)$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 HHP 压力和时间对 PPO 和 POD 活性的影响

鲜榨杨梅果汁中 PPO 初始活性为 17.14 U/mL, POD 为 48.10 U/mL。HHP 处理对 PPO 和 POD 的酶活性影响如图 1a、1b 所示。随着压力升高、时间延长, 酶活性均会有不同程度的下降。压力大小、保压时间及其相互作用对酶活性的影响是极其显著的 ( $p < 0.001$ )。同时, 不同压力水平下酶活性水平平均值均有显著性差异, 且不受保压时间的影响。对比 POD, HHP 对钝化 PPO 的效果更好。300 MPa/0 min 处理的 PPO 和 POD 的钝酶效果最差, PPO 甚至出现了激活现象, 其酶活性为鲜榨的 105%; 而在 600 MPa、保压时间大于 20 min 时, PPO 灭酶率达到 90% 以上, POD 达到 80% 以上。在 600 MPa 处理时, 保压时间的延长对酶活性下降影响很小 (均下降不到 5%)。将杨梅汁在 600 MPa/30 min HHP 重复 2~3 次处理, 同时对比高温灭菌 (100 °C, 15 min) 处理组, PPO 和 POD 活性变化分别见图 1c、1d。高温灭菌后, 两种酶都完全被灭活, HHP 处理中, 酶未被完全灭活, 且随着 HHP 处理次数的增加, 其活性变化小于 1%, 钝化效果不明显。



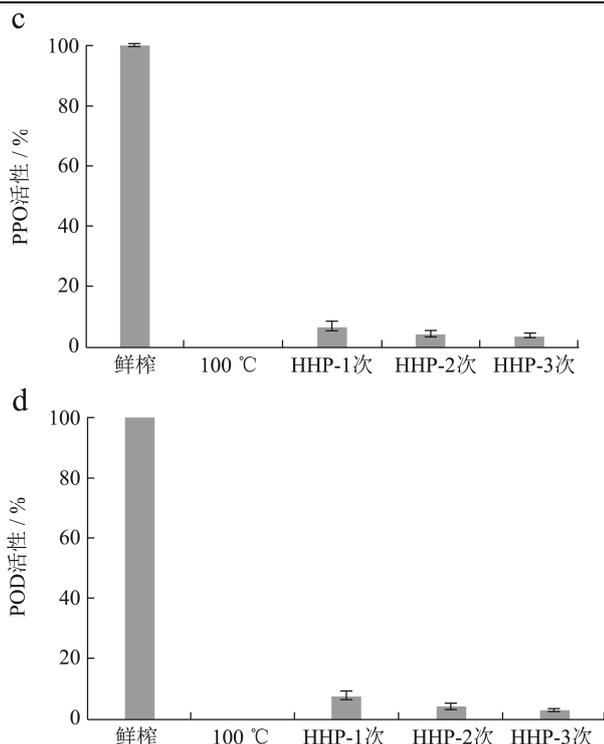


图1 不同HHP处理对PPO和POD活性的影响

Fig.1 Effects of different HHP treatments on PPO and POD activity

注: a: HHP处理对PPO活性的影响; b: HHP处理对POD活性的影响; c: 600 MPa/30 min条件下重复加压对PPO活性的影响; d: 600 MPa/30 min条件下重复加压对POD活性的影响。

改变酶活性的方式主要分为两种。一种是对酶(主要成分为蛋白质)二、三级构象的改变,另一种是改变酶的修饰位点。酶的三级结构由疏水键和离子相互作用力(静电相互作用力和范德华作用力)维持,二级结构主要由氢键链接,从而保持酶结构的稳定。酶在HHP下会出现类似于高温处理下结构的变化<sup>[15]</sup>,压力通过破坏酶蛋白的离子相互作用力和各种非共价键(疏水键、氢键)来钝化酶的活性<sup>[16]</sup>。这些作用力和分子运动的减弱会进一步导致酶蛋白二三级结构的展开,而形成酶活性中心的氨基酸残基仅在分子的自然

结构中发生作用,因此折叠结构的展开将会导致酶部分结构解体,从而导致酶活性的丧失<sup>[17,18]</sup>。在低压下,根据Balny等<sup>[19]</sup>和Cheftel<sup>[20]</sup>的研究,压力不足以使蛋白酶三级结构完全展开,而通过改变部分空间结构位置从而暴露出酶的部分修饰位点,最终增加酶活性。因此,杨梅汁中PPO的部分修饰位点在300 MPa处理后暴露出来,增加了其活性;而在高压400 MPa以上,PPO和POD的空间结构发生改变,从而使酶钝化。但酶活性变化还受水果种类影响。Riahi等<sup>[11]</sup>报道了苹果汁在400 MPa水平下,PPO活性降低了0.12个对数周期。而葡萄汁在经400 MPa/15 min处理后,PPO得到了激活<sup>[21]</sup>。POD相对耐压性较强,苹果和辣根中的POD已被证明在极端HHP下仍具有较高的抗压能力,即使在压力高达1000 MPa的情况下,也未能被完全灭活,且在保压时间15~30 min内时,钝化效果并不明显<sup>[22]</sup>。

## 2.2 酶的钝化动力学分析

### 2.2.1 PPO和POD的动力学拟合

如表1所示,对PPO和POD活性进行一级动力学拟合,得到一级线性回归方程。各个压力水平下R<sup>2</sup>值均大于0.8,说明模型与实际拟合较好,线性回归方程可以较好地拟合杨梅汁中保压时间分别和PPO、POD活性之间的关系;皮尔逊相关系数为负值,表明酶活性随着保压时间的增加而减少,同时其绝对值均大于0.9,进一步表明了保压时间与酶活性具有显著相关性。因此,线性回归方程对杨梅汁中PPO和POD活性与HHP条件处理条件的拟合结果是可靠的。

### 2.2.2 PPO和POD的动力学参数分析

进一步利用N<sub>D</sub>和D<sub>p</sub>等值表明压力脉冲次数、保压时间与酶活性的关系(表2)。PE则表示酶活性每降低一个对数所需要在该压力条件下施加的脉冲次数的倒数。例如,PE为0.2时表示在五个压力脉冲下酶活性降低一个对数;对应于相应的N<sub>D</sub>值,即酶活性降低一个对数所需要的压力脉冲数为5。

表1 不同压力水平下PPO和POD活性的动力学拟合

Table 1 PPO and POD activity fitting results under different pressure levels

酶	压力/MPa	拟合回归方程	皮尔逊相关系数(PCCs)	R <sup>2</sup>
PPO	300	Y=1.98-0.0122X	-0.96	0.92
	400	Y=1.62-0.00391X	-0.98	0.96
	500	Y=1.31-0.00496X	-0.95	0.90
	600	Y=1.00-0.00575X	-0.95	0.90
POD	300	Y=1.96-0.00351X	-0.98	0.96
	400	Y=1.85-0.00428X	-0.99	0.99
	500	Y=1.69-0.00446X	-0.93	0.87
	600	Y=1.36-0.00397X	-0.98	0.96

表 2 NFC 杨梅汁中 PPO 和 POD 的 PE、失活率、 $N_D$ 、D、K、 $D_p$  值

酶	压力/MPa	PE	失活率/%	$N_D$	D 值/min	K 值/ $\text{min}^{-1}$	$D_p$
PPO	300	-0.02	-4.63	-50	76	$3.03 \times 10^{-2}$	-2
	400	0.37	57.61	2.70	46	$5.01 \times 10^{-2}$	17
	500	0.66	78.22	1.52	27	$8.53 \times 10^{-2}$	18
	600	0.96	89.11	1.04	19	$12.12 \times 10^{-2}$	19
POD	300	0.03	7.47	33.33	187	$1.23 \times 10^{-3}$	6
	400	0.14	28.18	7.14	90	$2.55 \times 10^{-3}$	12
	500	0.32	52.29	3.13	54	$4.26 \times 10^{-3}$	17
	600	0.63	76.76	1.59	30	$7.67 \times 10^{-3}$	19

因此,对于 PPO,在 400 MPa 时,约 3 次压力脉冲才能使 PPO 活性下降一个对数;而在 600 MPa 时, $N_D$  值为 1.04,表示约一个压力脉冲即可使酶活性降低一个对数。但在 300 MPa 时, $N_D$  值却为负值,这是由于 PPO 为蛋白质类内源酶,在较低压力下,其三级结构被破坏,部分活性修饰位点暴露,酶被激活。对于 PPO, K 值随着压力的增大而增大,表明压力越高,该压力下压力保持时间对杨梅汁中 PPO 所产生的钝化效果越强,推测有可能是在较低压力下,酶的三级结构未被完全破坏,在保压过程中,所施加的压力影响也不足以使其结构得到完全不可逆破坏,而较高压力下 PPO 的二、三级结构在保压过程中出现持续性不可逆失活,破坏氢键和分子间相互作用力,从而对酶活性产生较强的抑制效果。

对于 POD,在 600 MPa 时, $N_D$  值为 1.59,表明单独施加一次高压脉冲并不能达到钝化 POD 90%酶活性的效果。此外,两种酶的 K 值都逐渐增大,而 POD 的 K 值所增加的速度远低于 PPO,这也表明 POD 活性受压力影响比 PPO 弱,体现了 POD 更好的耐压性。同时,两种酶在 600 MPa 时  $D_p$  值都为 19,表明在该压力下,保压 19 min 对酶产生的影响都相当于施加一次高压脉冲所产生的效果。这与一些研究结果相似,如在对 HHP 处理黑果枸杞汁影响的研究中,300 MPa 以上 HHP 处理能有效钝化 POD 酶,其酶活降为鲜榨的 50%。对于 PPO 酶,300 MPa 未能显著降低其酶活性,400 MPa 以上压力则有较好的钝化效果,使 PPO 活性降低到 0.5 U/mL 以下<sup>[23]</sup>。

### 3 结论

3.1 杨梅果汁经过 HHP 处理后,随着压力升高、时间延长,酶活性产生不同程度的下降,300 MPa/0 min 条件下 HHP 处理的钝酶效果最差。HHP 的压力大小和保压时间及其相互作用对 PPO 和 POD 活性的影响均有极高的显著性 ( $p < 0.001$ )。但 600 MPa/30 min 条

件下,加压次数的增加不能明显加强钝化效果。

3.2 PPO 在 300 MPa 处理下 PE 值为-0.02,出现酶激活现象,说明在低压条件下,压力效应有可能使 PPO 更多的酶促位点得到暴露,从而增强了酶活性。在较高压力(400~600 MPa)处理下,PPO 活性受到了不同程度的钝化,在 600 MPa/10 min 即可达到钝化 90%酶活性的效果。在 300~600 MPa 之间,随压力增大,K 值从  $3.03 \times 10^{-2}$  到  $12.12 \times 10^{-2}$  依次递增,表明压力越高,该压力下压力保持时间对杨梅汁中 PPO 所产生的钝化效果越强。在 600 MPa 下  $N_D$  值为 1.04,表明在实际生产中,施加一次高压脉冲即可钝化近 90%; $D_p$  值为 19 表明在该压力下,保压 19 min 对酶产生的影响相当于施加一次高压脉冲所产生的效果。

3.3 POD 在 300~600 MPa 压力处理下均显示出不同程度的钝化效果,但与 PPO 相比,POD 表现出了较高的耐压性,在 500 MPa 下仅能钝化 50%左右活性,即使在 600 MPa 下加压 30 min、重复多次的情况下,都未能达到钝化 90%酶活性的效果。在 300~600 MPa 之间,随着压力的增大,K 值从  $1.23 \times 10^{-3}$  依次增加到  $7.67 \times 10^{-3}$ ,但斜率小于 PPO,表明 POD 的耐压性要高于 PPO。在 600 MPa 下  $N_D$  值为 1.56,表明单独施加一次高压脉冲并不能达到钝化 POD 90%酶活性的效果; $D_p$  值也为 19,表现出了与 PPO 相类似的规律。这些参数对 NFC 杨梅果汁中氧化酶的钝化起到了一定指导预测作用,同时在实际生产中能够进一步满足企业需求、节省生产时间。

### 参考文献

- [1] Yu H, Zhang Y, Zhao J, et al. Taste characteristics of Chinese bayberry juice characterized by sensory evaluation, chromatography analysis, and an electronic tongue [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(5): 1624-1631
- [2] 辛修锋,余小林,胡卓炎,等.澄清汁及浓缩汁中花色苷热降

- 解动力学的研究[J].农业工程学报,2007,9:251-255
- XIN Xiufeng, YU Xiaolin, HU Zhuoyan, et al. Thermal degradation kinetics of anthocyanins in *Myrica rubra* juice and concentrate [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 9: 251-255
- [3] 曾洁,李颖畅.果酒生产技术[M].北京图书股份有限公司, 2011
- ZENG Jie, LI Yingchang. Fruit Wine Production Technology [M]. Beijing Book Co Inc, 2011
- [4] 卢可,娄永江,周湘池.响应面优化杨梅果醋发酵工艺参数研究[J].中国调味品,2011,36(2):57-60
- LU Ke, LOU Yongjiang, ZHOU Xiangchi. Response surface methodology to optimize vinegar fermentation from *Myrica rubra* [J]. China Condiment, 2011, 36(2): 57-60
- [5] 李笑颜,张宏康,曾晓房,等.NFC 果汁生产新技术及其在柠檬汁加工中的应用[J].农产品加工,2018,10:60-62
- LI Xiaoyan, ZHANG Hongkang, ZENG Xiaofang, et al. New technology of NFC juice production and its application in lemon juice processing [J]. The Processing of Agricultural Products, 2018, 10: 60-62
- [6] 黄晓玲,王永涛,廖小军,等.超高压和高温短时杀菌对 NFC 橙汁品质的影响[J].食品工业科技,2021,42(6):1-8,14
- HUANG Xiaoling, WANG Yongtao, LIAO Xiaojun, et al. Effects of ultra-high pressure and high temperature short-time sterilization [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(6): 1-8, 14
- [7] Zhang C, Trierweiler B, Li W, et al. Comparison of thermal, ultraviolet-c, and high pressure treatments on quality parameters of watermelon juice [J]. Food Chemistry, 2011, 126(1): 254-260
- [8] 尹琳琳,杨孟杨,丁蕊,等.超高压处理对香蕉豆浆复合汁品质稳定性的影响[J].食品科技,2019,44(7):122-127
- YIN Linlin, YANG Mengyang, DING Rui, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on quality stability of banana soybean milk compound juice [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(7): 122-127
- [9] Ortuño C, Duong T, Balaban M, et al. Combined high hydrostatic pressure and carbon dioxide inactivation of pectin methylesterase, polyphenol oxidase and peroxidase in Feijoa puree [J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2013, 82: 56-62
- [10] Rao L, Guo X, Pang X, et al. Enzyme activity and nutritional quality of peach (*Prunus persica*) juice: effect of high hydrostatic pressure [J]. International Journal of Food Properties, 2014, 17(6): 1406-1417
- [11] Riahi E, Ramaswamy H S. High-pressure processing of apple juice: kinetics of pectin methyl esterase inactivation [J]. Biotechnology Progress, 2003, 19(3): 908-914
- [12] Fam S N, Khosravi-darani K, Massoud R, et al. High-pressure processing in food [J]. Biointerface Research in Applied Chemistry, 2021, 11(4): 11553-11561
- [13] Basak S, Ramaswamy H S. Ultra high pressure treatment of orange juice: a kinetic study on inactivation of pectin methyl esterase [J]. Food Research International, 1996, 29(7): 601-607
- [14] Mussa D M. High-pressure processing of milk and muscle foods: evaluation of process kinetics, safety and quality changes [J]. McGill University, Canada, 1999, 264
- [15] Prestamo G, Arabas J, Fonberg-broczek M, et al. Reaction of *B. cereus* bacteria and peroxidase enzymes under pressures>400 MPa [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(6): 2830-2834
- [16] Bridgman P W. The coagulation of albumen by pressure [J]. J. Biol Chem, 1914, 19: 511-512
- [17] Balny C, Masson P. Effects of high pressure on proteins [J]. Food Reviews International, 1993, 9(4): 611-628
- [18] Chakraborty S, Kaushik N, Rao P S, et al. High-pressure inactivation of enzymes: a review on its recent applications on fruit purees and juices [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2014, 13(4): 578-596
- [19] Balny C, Masson P. Effects of high pressure on proteins [J]. Food Reviews International, 1993, 9(4): 611-628
- [20] Cheftel J C. Effects of high hydrostatic pressure on food constituents: an overview [J]. High Pressure Biotechnology, 1992: 195-209
- [21] Del Pozo-insfran D, Del Follo-martinez A, Talcott S T, et al. Stability of copigmented anthocyanins and ascorbic acid in muscadine grape juice processed by high hydrostatic pressure [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(4): S247-S253
- [22] The Food High Pressure Processing (HPP) Technologies Market Forecast 2015-2025: Pascalization & Bridgmanization [R]. London: Visiongain, Mar 17, 2015
- [23] 蒲莹,高庆超,孙培利,等.超高压处理对黑果枸杞汁贮藏及品质特性的影响[J].食品工业科技,2020,41(18):280-286
- PU Ying, GAO Qingchao, SUN Peili, et al. Effect of ultra high pressure treatment on storage and quality characteristics of *Lycium ruthenicum* Murr juice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(18): 280-286