

超高压处理对青稞苗汁品质的影响

甘文梅, 张炜*, 王志娟, 乜世成, 高红, 宋林
(青海师范大学化学化工学院, 青海 西宁 810008)

摘要:以昆仑十四号青稞苗为原料,探究超高压处理对青稞苗汁中多酚氧化酶(PPO)的影响,以保压压力、保压时间及pH为单因素,采用响应面法优化工艺过程,并确定多酚氧化酶最佳钝化条件为:保压压力为500 MPa、保压时间为25 min、pH为4.0,此时PPO残留酶活性为18.88%。通过对比超高压处理前后青稞苗汁理化指标变化,探究了保压压力和保压时间对青稞苗汁品质的影响。结果表明,随着压力增大和保压时间延长,微生物含量显著降低,达到国家要求的果蔬汁卫生标准;pH变化不显著;总花色苷、总黄酮、总酚含量比未超高压组含量增加显著,说明超高压处理能更好地保持青稞苗汁的品质。

关键词:青稞苗;超高压;多酚氧化酶;品质

中图分类号: O63

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2021)09-0185-07

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2021.09.037

Effect of ultra-high pressure treatment on quality of highland barley seedling juice

GAN Wen-mei, ZHANG Wei*, WANG Zhi-juan, NIE Shi-cheng, GAO Hong, SONG Lin
(School of Chemistry and Chemical Engineering, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: Kunlun No. 14 highland barley seedlings are used as raw materials to explore the effects of ultra-high pressure treatment on polyphenol oxidase in highland barley seedling juice. Response surface methodology is utilized to optimize the process by taking the holding pressure, holding time and pH as single factors. The optimal passivation conditions for polyphenol oxidase are determined as follows: the activity of polyphenol oxidase residual enzyme is 18.88% when the holding pressure is 500 MPa, the holding time is 25 min, and pH is 4.0. Through comparing the changes of physical and chemical indexes of highland barley seedling juice before and after ultra-high pressure treatment, the effects of holding pressure and holding time on the quality of highland barley seedling juice are explored. It is found that the content of microbials in the juice decreases significantly with the higher pressure and the prolonging holding time, which reaches China's health standard for fruit and vegetable juice. pH changes are not significant. The contents of total anthocyanins, total flavonoids and total phenols increases significantly compared with those in the non ultra-high pressure group, indicating that ultra-high pressure treatment can better maintain the quality of highland barley seedling juice.

Key words: highland barley seedlings; ultra-high pressure; polyphenol oxidase; quality

青稞(*Hordeum vulgare* Linn var. *nudum* Hook.f.)是大麦变种的一种,是藏区重要粮食和主要牲畜饲料来源。青稞具有适应能力强、抗寒、早熟、稳产等优点^[1-2],是青海省种植分布范围最具代表性特色粮食之一。

青稞苗含高蛋白、高纤维、高纤维素、矿物质、维生素、氨基酸等营养物质,低脂肪、低糖,经常食用可降血脂、降血压、抗氧化及抗肿瘤等^[3-7]。

褐变包括酶促与非酶促。多酚氧化酶(PPO; EC1.10.3.1)是引起青稞苗汁酶促褐变关键酶,在植物、高等真菌和其他微生物中广泛存在^[8-10]。PPO催化酚类、黄酮类物质发生氧化聚合产生褐变,使食品感官与营养成分严重损失^[11-12]。因此,抑制或控制褐变发生是青稞苗加工过程中面临的主要问题。

传统杀菌过程常以热处理为主,热处理加速多酚氧化酶褐变,破坏果蔬汁中的热敏成分^[13-14]。因此,在保证感官品质、营养成分不损失或损失很小的基础上,选择钝化PPO活性的冷加工技术意义重大。

超高压技术是一种新兴食品冷加工技术,可有效杀灭微生物、钝化品质酶^[15-16],且能很好地保持原料天然色、香、味及营养成分,已广泛应用于苹果汁^[17]、柑橘汁^[18]、猕猴桃NFC汁^[19]等领域,但UHP应用于青稞苗汁加工未见报道。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料:昆仑十四号青稞苗、8~15 cm青稞苗,采自青海省湟中县丹麻实验基地。其他试剂与生产厂

收稿日期:2020-10-19;修回日期:2021-07-13

基金项目:高原人工湿地生态平衡构建与应用示范项目(2021-SF-13)

作者简介:甘文梅(1992-),女,硕士研究生,研究方向为天然产物分离与提取,912518@163.com;张炜(1972-),女,硕士,教授,研究方向为天然产物分离与提取,通讯联系人,zhangwei@qhnu.edu.cn。

家如表 1 所示。

表 1 试剂与厂家

试剂	厂家
邻苯二酚、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、碳酸钠	天津市大茂化学试剂厂
氯化钠、三氯化铝、醋酸钾、氯化钾、醋酸钠、盐酸、氢氧化钠、乙醇	天津市河东区红岩试剂厂
柠檬酸	郑州凯迪化工产品有限公司
马铃薯葡萄糖琼脂培养基、平板计数琼脂培养基、结晶紫中性红胆盐琼脂	北京奥博星生物技术有限公司
福林酚	上海华文生物科技
芦丁标准品	中国食品药品检定所
1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH·)	上海源叶
蒸馏水	实验室自制

1.2 实验仪器

仪器与生产厂家如表 2 所示。

表 2 仪器与厂家

仪器名称	厂家
BSA224S-CW 电子天平	北京赛多利斯科学仪器有限公司
PB-10 pH 值计	北京赛多利斯科学仪器有限公司
HPP 600 MPa/5 L 超高压食品处理装置	包头科发高压科技有限责任公司
高速离心机 H1850	湖南湘仪实验仪器开发公司
TU-1901 双光束紫外-可见分光光度计	北京普析通用公司
303 系列电热恒温培养箱	上海圣科仪器设备有限公司

1.3 实验方法

1.3.1 原料预处理

青稞苗用水清洗,沥干水分,剪成 3~5 cm 长,按 $m(\text{青稞苗}):m(\text{水})=1:3$ 打成匀浆,除残渣,移入耐抗压、柔韧性强、气密性好的聚乙烯瓶,再加入所需溶剂混匀,在一定的压力和时间下进行增压、卸压、抽滤、离心一系列操作后,将所得上清液置于冰水中,备用。

1.3.2 PPO 粗酶液的制备

量取青稞苗汁,加 pH 6.0 的磷酸缓冲液 6 mL 和 1.2 mL 邻苯二酚进行超高压操作,置于 37℃ 摇床上反应 15 min,置于冰水浴 3 min 终止反应,8 000 r/min 离心 15 min,保留上清液冰水浴冷藏,在 410 nm 测 PPO 酶活性:

$$\text{PPO 残留酶活性} = (\text{处理后酶活性} / \text{对照样品酶活性}) \times 100\%$$

1.3.3 PPO 酶活性的测定

参照 LS/T 6124—2017 中所述的方法,取适量 PPO 酶液于波长为 410 nm 处测定吸光值,计算 PPO 酶活性:

$$\text{PPO} = A_{410} / (0.001 \times m \times t) \quad (1)$$

式中: A 为吸光度; m 为青稞苗质量, g; t 为反应时间, min。

1.3.4 单因素实验

(1) 保压时间对青稞苗中 PPO 酶活力的影响

保压压力为 300 MPa,考察保压时间(5、10、15、20、25 min)对 PPO 酶活性的影响。

(2) 保压压力对青稞苗中 PPO 酶活力的影响

保压时间为 15 min,考察保压压力(100、200、300、400、500 MPa)对 PPO 酶活性的影响。

(3) pH 对青稞苗汁中 PPO 酶活力的影响

保压压力为 300 MPa、保压时间为 15 min 条件下,考察 pH(3.0、4.0、5.0、6.0、7.0)对 PPO 酶活性的影响。

1.3.5 Box-Behnken 响应面优化试验

根据单因素结果,以保压时间(A)、压力(B)、pH(C)为因素,采用响应面法,以 PPO 残留酶活性为指标^[20],因素与水平设计如表 3 所示。

表 3 响应面因素水平设计表

水平	因素		
	时间/min	压力/MPa	pH
-γ	11.59	231.82	3.32
-1	15.00	300.00	4.00
0	20.00	400.00	5.00
1	25.00	500.00	6.00
+γ	28.41	568.18	6.68

1.3.6 菌落总数、霉菌和酵母菌、大肠杆菌的测定

菌落总数参照 GB 4789.2—2016 中所述的方法进行测定;霉菌和酵母菌参照 GB 4789.15—2016 中所述的方法进行测定;大肠杆菌参照 GB 4789.3—2016 中所述的方法进行测定。

1.3.7 pH 测定

直接用 PB-10 pH 计进行测定,每个待测液重复测 3 次。

1.3.8 总花色苷含量的测定

参照 Chen 等^[22]的方法,采用 pH 示差法并稍作修改。取 1.0 mL 待测样,各加入 0.025 mol/L pH 1.0 的氯化钾溶液 4 mL 和 0.4 mol/L pH 1.0 的醋酸钠溶液,混匀,避光反应 15 min,测定 510、700 nm

处吸光值,计算式如下:

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH} 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH} 4.5}$$

$$C(\text{mg/L}) = [(A_0 - A_1) \times M_w \times DF \times 1000] / \varepsilon \quad (2)$$

式中: M_w 为以矢车菊素-3-葡萄糖苷为标准,499.2; ε 为26900; DF 为稀释倍数。

1.3.9 总黄酮含量的测定及芦丁标准曲线的绘制

准确称取0.0200 g芦丁标准品,加95%乙醇溶解,移入100 mL容量瓶中,稀释至刻度。吸取0.0、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 mL标准芦丁使用液,分别置于50 mL比色管。标准管和试样管分别加入2.5 g/100 mL的三氯化铝2.0 mL、9.82 g/100 mL醋酸钾2.0 mL,加30%乙醇至刻度,混匀,静置,30 min内在415 nm处待测,绘制标准曲线 $Y = 0.16474X + 0.00249$, $R^2 = 0.9997$,如图1所示。

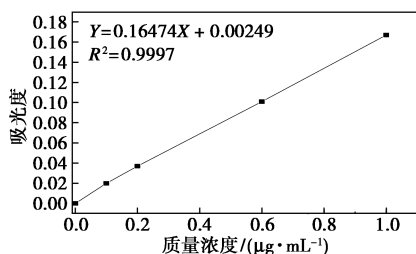


图1 黄酮标准曲线

1.3.10 总酚含量的测定

采用Folin-Ciocalteu法并参照许牡丹等^[23]的研究方法稍作修改后进行测定。标准曲线 $Y = 0.8286X + 0.0249$, $R^2 = 0.99943$ 。取1 mL样品+1 mL福林酚溶液+5%碳酸钠6 mL,室温避光反应1 h,在760 nm处进行测定。

2 结果与分析

2.1 保压时间对青稞苗中PPO残留酶活性的影响

保压时间对青稞苗汁中PPO酶活性的影响如图2所示。

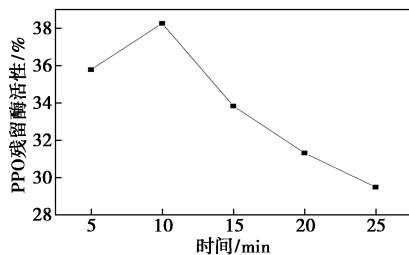


图2 保压时间对青稞苗汁中PPO酶活性的影响

由图2中可以看出,压力为300 MPa时,在5~25 min内PPO残留酶活性不断减小,在10 min时相对酶达到活性最大,这是由于随着保压时间的延长

使原料溶胀,与底物充分接触;25 min使酶活性显著降低,故选择保压时间为25 min。

2.2 保压压力对青稞苗汁中PPO酶活力的影响

保压压力对青稞苗汁中PPO酶活力的影响如图3所示。

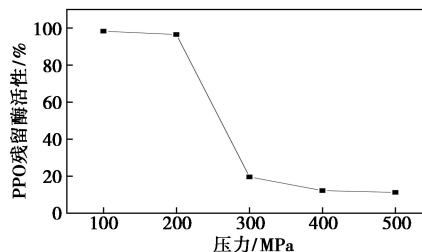


图3 压力对青稞苗汁PPO酶活力的影响

由图3中可以看出,保压时间为15 min时,在保压压力100~200 MPa时PPO残留酶活性为98.8%,这是由于在较低压力下使酶活性中心暴露,底物与酶活性中心充分接触;当压力达到500 MPa时,PPO残留酶活性下降显著,这是由于较大压力使酶构象发生改变,进而抑制酶活性造成的结果,故选择保压压力为500 MPa。

2.3 pH对青稞苗汁中PPO酶活力的影响

pH对青稞苗汁中PPO酶活力的影响如图4所示。

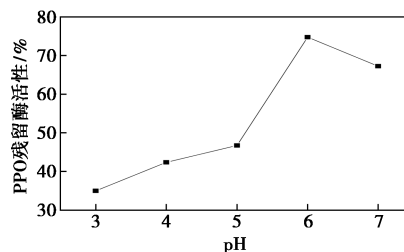


图4 pH对青稞苗汁中PPO酶活力的影响

由图4中可以看出,酶在适宜的pH条件下活性最佳,过酸或过碱都会导致酶遭受不可逆或永久失活。保压时间为15 min、保压压力为300 MPa下,pH 6.0时PPO残留酶活性最大;pH小于4.0时,PPO残留酶活性明显低,这是由于PPO是一种含铜离子的蛋白酶,强酸性环境下铜离子完全被解离出来,破坏酶结构;故选择pH为4.0。

3 响应面优化试验

3.1 响应面实验设计和结果

选取保压时间(A)、保压压力(B)、pH(C)进行三因素三水平的Box-Behnken试验设计,结果如表4所示。

表 4 响应面试验设计及结果

试验号	时间/min	压力/MPa	pH	PPO 相对活性/%
1	25.00	500.00	4.00	18.36
2	20.00	400.00	3.32	19.98
3	25.00	300.00	4.00	33.04
4	20.00	400.00	5.00	42.07
5	20.00	400.00	5.00	43.65
6	20.00	400.00	6.68	43.63
7	20.00	400.00	5.00	45.62
8	25.00	300.00	6.00	38.69
9	15.00	500.00	6.00	44.26
10	28.41	400.00	5.00	31.71
11	20.00	400.00	5.00	42.06
12	25.00	500.00	6.00	36.62
13	15.00	300.00	4.00	31.33
14	15.00	500.00	4.00	30.78
15	20.00	568.18	5.00	30.67
16	20.00	400.00	5.00	43.83
17	20.00	400.00	5.00	45.65
18	20.00	231.82	5.00	37.38
19	15.00	300.00	6.00	39.91
20	11.59	400.00	5.00	39.66

3.2 回归模型的建立与检验

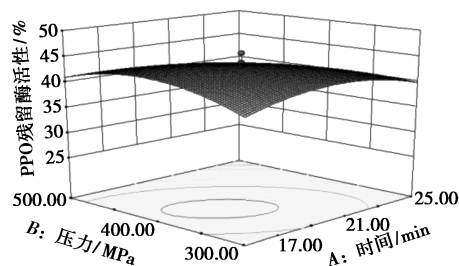
对表 4 中的数据进行多元线性回归拟合,得回归方程: PPO 酶相对活性/% = + 43.83 - 0.73A - 2.41B + 7.33 - 2.19 + 2.61 + 1.07 - 2.86A² - 2.14B² - 3.88C²。PPO 方差分析结果如表 5 所示。

表 5 PPO 方差分析结果

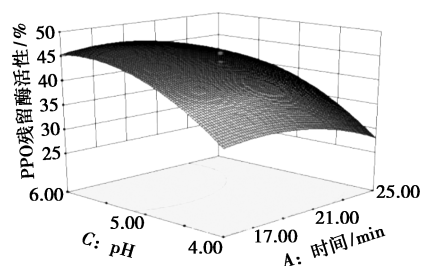
来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1170.01	9	130.00	26.28	<0.0001	显著
A	79.47	1	79.47	1.36	0.0004	*
B	45.57	1	45.57	14.85	0.0026	*
C	538.08	1	538.08	137.46	<0.0001	**
AB	52.75	1	52.75	7.21	0.0016	*
AC	0.42	1	0.42	10.18	0.7084	
BC	38.37	1	38.37	1.70	0.0044	*
A2	105.17	1	105.17	22.11	0.0001	*
B2	148.89	1	148.89	12.33	<0.0001	**
C2	239.19	1	239.19	40.66	<0.0001	**
残差	28.64	10	2.86			
失拟项	15.87	5	3.17	1.24	0.4085	不显著
纯误差	12.77	5	2.55			
总和	1198.65	19				

由表 5 中可以看出,该模型 $F=26.28, P=0.0001$, 说明该模型极显著, F 值是由误差造成的; $R^2=0.9761$, 说明模型能解释 97.61% 响应值的变化; $R^2_{Adj}=0.9546$, 说明回归方程拟合度和可信度均很高。

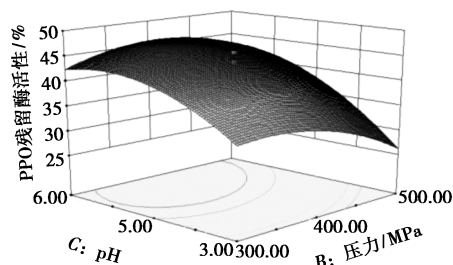
多种因素交互对 PPO 残留酶活性的影响见图 5。



(a) 压力和时间对 PPO 残留酶活性的影响



(b) pH 和时间对 PPO 残留酶活性的影响



(c) pH 和压力对 PPO 残留酶活性的影响

图 5 多种因素交互对 PPO 残留酶活性的影响

3.3 PPO 最佳钝化工艺条件的验证

PPO 最佳钝化工艺条件为: 保压时间为 24.99 min、保压压力为 499.79 MPa、pH 为 4.0, 在该条件下 PPO 相对活性达 18.36%。为方便实际操作, 设置保压时间为 25 min、保压压力为 500 MPa、pH 为 4.0, 该条件下 PPO 相对活性为 18.88%, 与预测活性较吻合, 故该模型可靠。

3.4 保压时间对青稞苗汁菌落总数、霉菌和酵母菌数变化的影响

超高压时间对菌落总数、霉菌和酵母菌数变化的影响如图 6 所示。

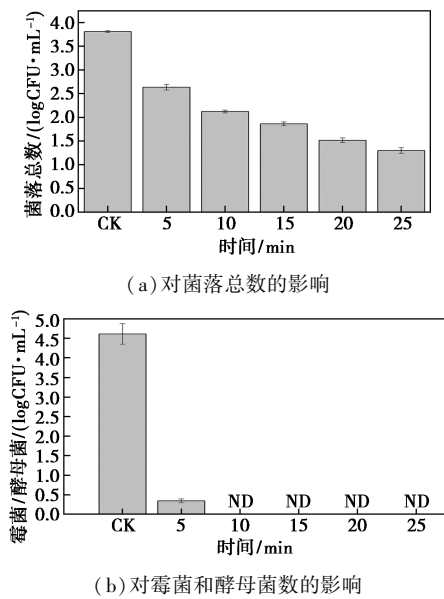


图 6 超高压时间对菌落总数、霉菌和酵母菌数变化的影响

美国联邦果汁危险性分析关键控制点 (HACCP) 规定:加工过程中果汁中微生物含量必须减少到 5 LogCFU/mL 或 99.999%^[23]。由图 6 中可以看出,未超高压处理青稞苗汁菌落总数为 3.81 LogCFU/mL,霉菌和酵母菌为 4.62 LogCFU/mL。微生物含量显著降低,符合商业无菌,与 MECNUN 等研究结果一致。

3.5 压力对青稞苗汁菌落总数、霉菌和酵母菌数变化的影响

压力对青稞苗汁菌落总数、霉菌和酵母菌数变化的影响如图 7 所示。

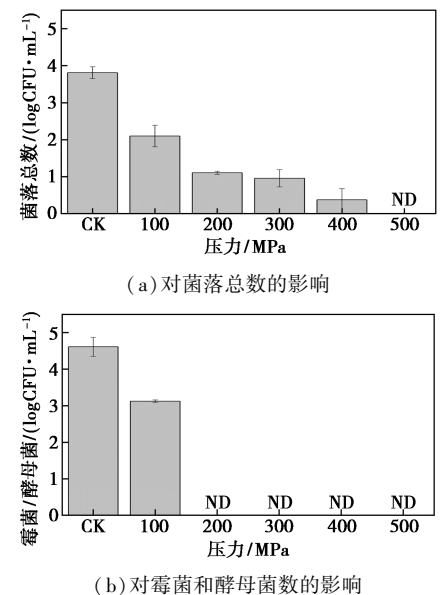


图 7 超高压压力对菌落总数、霉菌和酵母菌数变化的影响

由图 7 中可以看出,在保压时间为 25 min,微生物含量随着压力的增大明显下降。压力为 500 MPa 时菌落总数未检出,霉菌和酵母菌在 200 MPa 未检出,说明霉菌和酵母菌比菌落对压力更敏感,符合商业无菌条件。赵凤等^[26]超高压枸杞汁在 500 MPa 下处理 5 min 菌落总数为 0.7 LogCFU/mL,霉菌和酵母菌未检出。

3.6 保压时间和压力对青稞苗汁大肠杆菌变化的影响

保压时间和压力对青稞苗汁大肠杆菌变化的影响如图 8 所示。

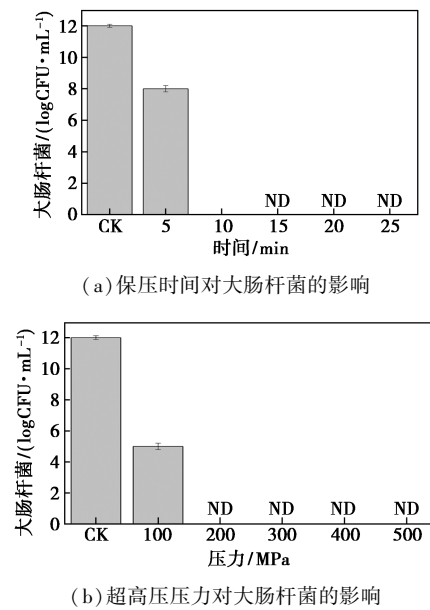
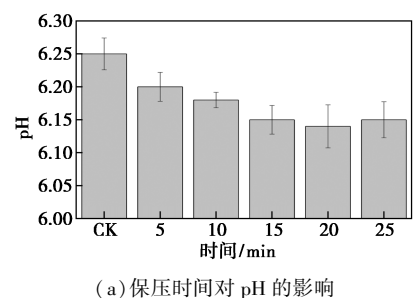


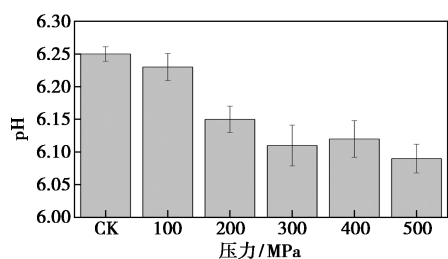
图 8 保压时间和超高压压力对大肠杆菌的影响

由图 8 中可以看出,设定压力为 200 MPa 处理 5 min 时,大肠杆菌有 8 LogCFU/mL,保压时间为 10 min 时大肠杆菌未检出;张学杰等^[27]研究鲜切生菜时超高压压力在 50 MPa、5 min 时大肠杆菌明显得到抑制。不同种类的食品进行超高压处理时,大肠杆菌灭活压力与时间不同。

3.7 保压时间和压力对 pH 的影响

保压时间和超高压压力对 pH 的影响如图 9 所示。





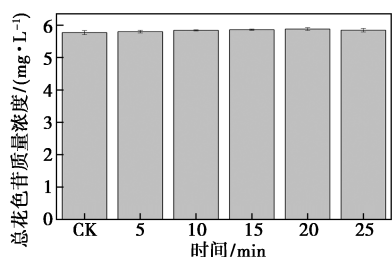
(b) 超高压压力对 pH 的影响

图 9 保压时间和超高压压力对 pH 的影响

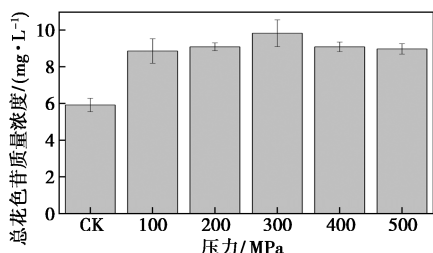
由图 9 中可以看出,超高压处理过的青稞苗汁 pH 变化不显著;Kaushik N 等^[28]发现超高压会使整个体系的 pH 发生变化,高压会使 H₂O 分子中的共价键断裂,H⁺离子浓度增加,进而引起 pH 下降,但不显著,与康欢等^[29]研究的超高压处理复合南瓜汁的结果一致。

3.8 保压时间和压力对总花色苷质量浓度的影响

保压时间和超高压压力对花色苷含量的影响如图 10 所示。



(a) 保压时间对花色苷质量浓度的影响



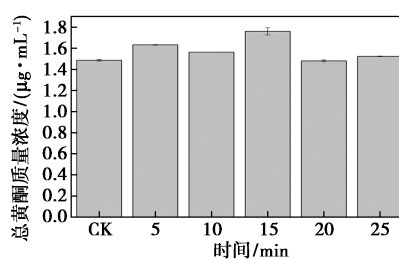
(b) 超高压压力对花色苷质量浓度的影响

图 10 保压时间和超高压压力对花色苷质量浓度的影响

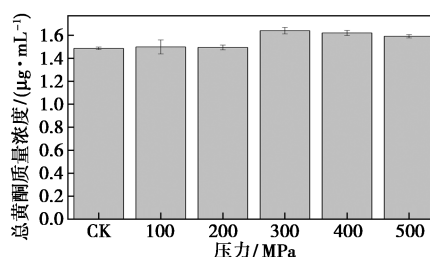
由图 10 中可以看出,花色苷是具有抗氧化能力的水溶性色素。保压时间对花色苷质量浓度无影响,花色苷质量浓度随保压压力的增加明显比未超高压处理高。10 min、300 MPa 下花色苷质量浓度达到(9.6±0.12) mg/L。

3.9 保压时间和压力对青稞苗汁中总黄酮质量浓度的影响

保压时间和压力对青稞苗汁中总黄酮质量浓度的影响如图 11 所示。



(a) 保压时间对总黄酮质量浓度的影响



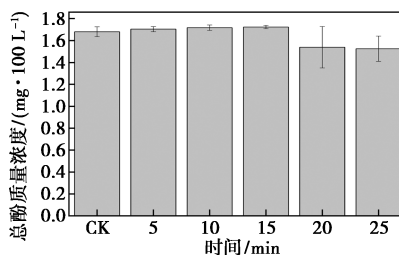
(b) 超高压压力对总黄酮质量浓度的影响

图 11 保压时间和超高压压力对总黄酮质量浓度的影响

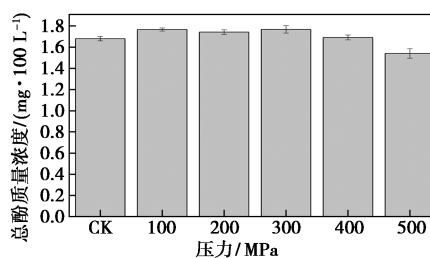
由图 11 中可以看出,超高压处理的样品中黄酮质量浓度增加,15 min 时黄酮质量浓度比未处理的显著提高;当压力达到 300 MPa 时黄酮质量浓度增加明显。Aadil 等^[30]利用超高压处理柚子汁,以相比对照组超高压处理组中黄酮质量浓度也稍有提升。

3.10 保压时间和压力对青稞苗汁中总酚质量浓度的影响

保压时间和压力对青稞苗汁中总酚质量浓度的影响如图 12 所示。



(a) 保压时间对总酚质量浓度的影响



(b) 超高压压力对总酚质量浓度的影响

图 12 保压时间和超高压压力对总酚质量浓度的影响

由图 12 中可以看出,超高压处理时间和保压压力对总酚质量浓度无显著影响,说明超高压能很好地保留青稞苗汁中的酚类物质。与 Cao 等^[31]对草莓汁超高压处理研究的结果相同,UHP 处理样品后总酚质量浓度未发生显著性变化。小于 1 000 MPa 的高静压处理不会损坏分子内部的共价键。

4 结论

青稞苗汁中 PPO 最佳钝化工艺为:保压压力为 500 MPa、保压时间为 25 min、pH 为 4.0,在该条件下 PPO 重复 3 次平均残留酶活性为 18.88%

超高压处理青稞苗汁,随着压力增大和保压时间延长,微生物含量显著降低,在 200 MPa、10 min 时霉菌与酵母菌及大肠杆菌没有被检出,菌落总数在 500 MPa、25 min 时未检出,符合商业无菌条件,说明超高压冷杀菌效果好。超高压处理青稞苗汁,pH 无显著变化;总花色苷质量浓度、总黄酮质量浓度、总酚质量浓度比未超高压组质量浓度增加较显著,说明超高压处理工艺能很好地保持青稞苗汁中的营养成分,本实验为超高压杀菌应用于青稞苗汁品质加工提供一定的理论依据。

参考文献

- [1] 杨得玉,郝力壮,刘书杰,等.青海省反刍动物常用精饲料营养价值研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2016,(21):127-128,132.
- [2] 冯格格,余永新,洪思慧,等.青稞中主要功效成分最新研究进展[J].农产品质量与安全,2020,(2):82-89.
- [3] 林宣贤,林升清,廖惠珍.麦苗的营养成份及安全性实验[J].中医药信息,1996,(4):47-48.
- [4] 闵芳,李冬梅,夏日耀,等.小麦苗活力成分及抗氧化、抑制亚硝化能力分析[J].中国食品学报,2018,18(11):219-224.
- [5] 施琰,汪梅,徐娟,等.麦苗汁的营养成分及其抗氧化活性测定[J].食品科学,2005,(1):215-218.
- [6] 臧靖巍,阚建全,陈宗道,等.青稞的成分研究及其应用现状[J].中国食品添加剂,2004,(4):43-46.
- [7] 乔文静.麦苗的营养及制品研究[J].中国食物与营养,2009,(7):59-61.
- [8] 王炜,刘春泉,刘春菊,等.大麦若叶苗粉研究进展[J].食品工业科技,2017,38(3):395-399.
- [9] Taranto Francesca, Pasqualone Antonella, Mangini Giacomo, et al. Polyphenol oxidases in crops: Biochemical, physiological and genetic aspects [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2017, 18(2):377.
- [10] 刘芳,赵金红,朱明慧,等.多酚氧化酶结构及褐变机理研究进展[J].食品研究与开发,2015,36(6):113-119.
- [11] 潘永贵,陈维信.鲜切莲藕组织中多酚氧化酶的分离纯化[J].食品与生物技术学报,2008,27(2):55-60.
- [12] 代丽,宫长荣,史霖,等.植物多酚氧化酶研究综述[J].中国农学通报,2007,(6):312-316.
- [13] 苏光明,朱松明,胡菲菲,等.超高压对酱曲多酚氧化酶激活和钝化作用动力学研究[J].农业机械学报,2015,46(10):257-265.
- [14] 苏菲烟,雷激,刘江,等.雪梨多酚氧化酶酶学特性及其果汁褐变控制技术[J].食品科技,2020,45(2):303-310.
- [15] 段振,朱彩平,刘俊义,等.超高压技术及其在提取植物天然活性成分中的应用进展[J].食品与发酵工业,2017,43(12):245-252.
- [16] 曾庆梅,潘见,谢慧明,等.超高压处理对多酚氧化酶活性的影响[J].高压物理学报,2004,(2):144-148.
- [17] 李慧.不同甜椒品种鲜切加工适宜性评价及超高压处理对其品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [18] Zhao L, Wang Y, Qiu D, et al. Effect of ultrafiltration combined with high-pressure processing on safety and quality features of fresh apple juice [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(11):3246-3258.
- [19] 李楠楠,贾蒙,马亚琴.杀菌方式对柑橘汁品质影响的研究进展[J].农产品加工,2019,(18):63-67.
- [20] 邓红,刘旻昊,马婧,等.UHP 与 HTST 杀菌处理的猕猴桃 NFC 果汁贮藏期品质变化[J].食品工业科技,2020,41(9):269-277,296.
- [21] 何嘉敏,于新,刘学云.响应面优化益生菌发酵复合果蔬汁的加工工艺[J].现代食品科技,2019,35(5):206-213.
- [22] Chen D, Xi H, Guo X, et al. Comparative study of quality of cloudy pomegranate juice treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 19(4):85-94.
- [23] 许牡丹,樊凡,徐颖,等.超高压、超声波及协同处理对红枣浊汁的影响[J].食品工业,2020,41(1):26-29.
- [24] Patas A, Brunton N P, Pieve S D, et al. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(3):308-313.
- [25] Mecnun M, Sencer B, Hami A. Effects of high hydrostatic pressure on microflora and some quality attributes of grape juice [J]. High Pressure Research, 2013, 33(1):55-63.
- [26] 赵凤,梅潇,张焱,等.超高压和热杀菌对枸杞汁品质的影响[J].中国食品学报,2018,18(3):169-178.
- [27] 张学杰.高压对鲜切生菜品质与微生物的影响及机理研究[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [28] Kaushik N, Kaur B P, Rao P S. Application of high pressure processing for shelf life extension of litchi fruits. (Litchi Chinensis cv. Bombal) during refrigerated storage [J]. Food Science and Technology International, 2014, 20(7):527-541.
- [29] 康欢,马涛,户昕娜,等.超高压处理对南瓜复合汁杀菌效果与品质的影响[J].食品工业,2019,40(5):153-159.
- [30] Aadir R M, Zeng Xian, Jabbar S, et al. Quality e-valuation of grapefruit juice by thermal and high pressure processing treatment [J]. Pakistan Journal of Agricultural Research, 2017, 30(3):181-190.
- [31] Cao Xiamin, Bi Xiufang, Huang Wenshu, et al. Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012, 16(4):85-94. ■