

高压均质对草莓汁中抗氧化成分 与抗氧化活性的影响

帅希祥 杜丽清* 涂行浩 张 明

(中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东湛江 524091)

摘要:以新鲜草莓汁为原料,研究了高压均质对草莓汁中抗氧化成分及其抗氧化活性的影响。研究表明,随着均质压力的提高,草莓汁中总酚、维生素C、花色苷含量均逐渐减少;40 MPa压力处理显著降低了总酚含量($p < 0.05$),但对维生素C和花色苷含量无显著影响($p > 0.05$);80和120 MPa压力处理显著降低了这三个指标的含量($p < 0.05$)。经过不同压力均质处理后的草莓汁的2,2-联氨基双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS⁺)自由基清除能力和铁离子还原法(FRAP)抗氧化活性,与未经处理的草莓汁相比均下降,且随着处理压力的增加,草莓汁的FRAP抗氧化活性显著降低($p < 0.05$)。80 MPa压力显著降低了ABTS⁺自由基清除能力($p < 0.05$),说明草莓汁中抗氧化成分含量与其抗氧化活性之间存在密切的相关性。

关键词:草莓汁,高压均质,抗氧化活性

Effects of high-pressure homogenization treatment on the total antioxidants content and the antioxidant activity of strawberry juice

SHUAI Xi-xiang, DU Li-qing*, TU Xing-hao, ZHANG Ming

(South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, China)

Abstract: The effect of high-pressure homogenization treatment on the total antioxidants content and the antioxidant activity of fresh strawberry juice were studied. The results indicated that the total polyphenol, the vitamin C and the anthocyanidin content were significantly decreased after high-pressure homogenization treatment. Under the pressure of 40 MPa, the content of total phenolic significantly decreased ($p < 0.05$), but the content of vitamin C and anthocyanin had no significant effect ($p > 0.05$). Under the pressure of 80 and 120 MPa, the three indicators significantly decreased ($p < 0.05$). The antioxidant activity of strawberry juice decreased after the different high-pressure homogenization pressure treatment compared with the untreated one by ABTS⁺ radical scavenging method and ferric reducing antioxidant power assay, and with the increase of high-pressure homogenization pressure, the FRAP antioxidant activity of strawberry juice was significantly reduced ($p < 0.05$), and the ABTS⁺ radical scavenging ability was significantly decreased ($p < 0.05$) under the pressure of 80 MPa, which showed that there was a close correlation between the content of antioxidant component and their antioxidant activity in strawberry juice.

Key words: strawberry juice; high-pressure homogenization; antioxidant activity

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)06-0096-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.06.009

草莓(*Fragaria ananassa* Duch),又叫洋莓、红莓、地莓等,系一种多年生常绿草本植物^[1]。草莓营养丰富,果肉中富含大量的抗氧化物质,如花色苷、多酚和维生素C等^[2],其中花色苷含量为0.148~0.503 mg/g^[3],总酚含量为0.421~0.853 mg/g^[4],维生素C含量高达0.35~0.75 mg/g^[5]。近二十年我国草莓种植面积发展迅猛,现已接近10万公顷,产量高达188万吨^[6]。草莓不耐储运,贮存期短。因此,加工对于草莓产业发展具有重要意义,将草莓制成草

莓汁,是草莓深加工过程中最有潜力的加工方式之一,既延长了其货架期,又能够通过深加工增加其附加值,同时由于草莓色泽鲜艳、柔嫩多汁、风味怡人,草莓汁被认为是一种最受欢迎的果汁和天然抗氧化的饮品。然而,鲜榨果汁中含有少量的纤维、果胶等物质,储藏过程中极不稳定,容易产生沉淀而影响果汁的品质,因此果汁生产中均质是不可缺少的重要工艺,它既可以增加果汁的储藏稳定性,又可改善口感。

收稿日期: 2016-09-01

作者简介: 帅希祥(1989-),男,硕士,研究实习员,研究方向: 农副产品精深加工, E-mail: shuaxixiang1989@163.com。

* 通讯作者: 杜丽清(1976-),男,硕士,副研究员,研究方向: 休闲农产品加工, E-mail: duliqing927618@163.com。

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(1630062016006);公益性行业(农业)科研专项(201303077)。

高压均质技术是一种新兴的非热加工技术^[7-9], 目前, 该技术已经广泛的应用于饮料加工, 但加工条件对果汁中的一些有效成分具有较大的影响。国内外关于高压处理对果汁中生物活性物质影响的研究报道已经很多^[10-14], 但研究主要是以杀菌为目的, 而以均质为目的, 对草莓汁进行中高压(40~120 MPa)处理, 国内还未见研究报道。本研究主要对高压均质处理对草莓果汁中维生素 C、总酚、花色苷含量及其抗氧化活性的影响进行基础研究, 为草莓果汁加工过程中的均质工序提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

草莓(美国香缇) 由中国热带农业科学院南亚热带作物研究所休闲基地提供; 没食子酸(>99%)、抗坏血酸(99.99%) 标准品 阿拉丁化学试剂有限公司; 福林酚、碳酸钠、ABTS、TPTZ、氯化铁、过硫酸钾、乙二胺四乙酸二钠、固蓝盐 B、乙酸钠、乙酸、浓盐酸、无水乙醇 均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

分析天平 奥康斯仪器有限公司; 高速离心机 上海安亭科学仪器厂; BCD-539WT 冰箱 青岛海尔股份有限公司; NanoGenizer 高压均质机 苏州微流纳米生物技术有限公司; 恒温水浴锅 江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司; 10~1000 μ L 手动可调量程单道移液器 德国 Eppendorf 公司; 高速冷冻离心机 赛默飞世尔科技(中国)有限公司; 紫外-可见分光光度计 岛津企业管理(中国)有限公司; S210 Seven Compact pH 计 梅特勒-托利多国际股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备 将草莓鲜果在流动水中清洗、去萼、打浆、纱布过滤去除果渣, 取清液 4000 r/min 离心 10 min 后, 将离心后的上清液(草莓汁) 冷藏于 4 $^{\circ}$ C 下备用。本实验将离心后的草莓汁用 APV-2000 高压破碎仪分别在 40、80、120 MPa 压力下均质处理 3 次, 收集处理后的草莓汁贮藏于 4 $^{\circ}$ C 冰箱中, 备用。

1.2.2 总酚含量的测定

1.2.2.1 没食子酸标准曲线的绘制 精密称取 0.1000 g 没食子酸, 用 10.00 mL 无水乙醇溶解, 用去离子水定容至 100 mL, 备用。分别移取上述溶液 1.00、0.50、0.20、0.10、0.05 mL 到 10 mL 容量瓶中, 用去离子水定容。分别移取上述不同浓度的标准溶液 0.20 mL 加到 10.00 mL 比色管中, 加入 1.00 mL 福林酚试剂(0.1 mol/L) 和 0.80 mL 去离子水, 混匀, 室温下静置 5 min, 然后加入 1.00 mL 碳酸钠溶液(7.5%), 混匀。将上述溶液室温下避光反应 1 h 后, 以去离子水为空白参比, 在 760 nm 波长处测定吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.2.2 草莓汁样品测定 准确吸取 0.10 mL 草莓汁于 25 mL 容量瓶中, 用去离子水定容。准确吸取 0.20 mL 上述溶液于 10 mL 比色管中, 按上述方法测

定, 在 760 nm 处测定吸光值, 并根据标准曲线计算草莓汁中总酚的含量(以没食子酸计)。

1.2.3 花色苷含量的测定 参照柳青等^[15]的测定方法, 采用 pH 示差法, 并略作修改。草莓汁不需要进行前处理, 直接取上述制备的草莓汁在 400~700 nm 范围内扫描, 确定花色苷的最大吸收波长, 然后按照柳青等花色苷的测定方法进行测定。计算公式如下:

$$\text{花色苷}(\text{mg/mL}) = \frac{A \times 433 \times 10 \times V}{22400 \times M}$$

$$A = (\text{OD}_{\lambda_{\text{max}}} - \text{OD}_{700})_{\text{pH}1.0} - (\text{OD}_{\lambda_{\text{max}}} - \text{OD}_{700})_{\text{pH}4.5}$$

式中: V-移取草莓汁体积, mL; M-移取草莓汁质量, g; 22400-天竺葵色素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数; 433-天竺葵色素-3-葡萄糖苷的相对分子量。

1.2.4 维生素 C 含量的测定 采用分光光度法测定果汁中还原型维生素 C 的含量^[16]。草莓汁中的维生素 C 含量以抗坏血酸计。

1.2.4.1 抗坏血酸标准曲线的绘制 精密称取 0.1000 g 抗坏血酸, 用 20.00 mL 2 mol/L 的乙酸溶液溶解, 用去离子水定容至 100 mL, 备用。分别移取上述溶液 1.00、0.50、0.20、0.10、0.05 mL 到 10 mL 棕色容量瓶中, 加入 1.00 mL 2 mol/L 乙酸溶液, 用去离子水定容。分别移取上述不同浓度的标准溶液 2.00 mL 加到 10.00 mL 比色管中, 加入 0.30 mL 0.25 mol/L 乙二胺四乙酸二钠溶液、0.5 mL 0.5 mol/L 乙酸溶液和 1.25 mL 2 g/L 固蓝盐 B 溶液, 加水至刻度线, 混匀, 室温下静置 20 min, 以零管为空白参比, 在 420 nm 波长处测定吸光度。以抗坏血酸质量浓度为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线。

1.2.4.2 草莓汁样品测定 准确吸取 0.10 mL 草莓汁于 25 mL 容量瓶中, 用去离子水定容。准确吸取 2.00 mL 上述溶液于 10 mL 比色管中, 按上述方法测定, 在 420 nm 处测定吸光值, 并根据标准曲线计算草莓汁中维生素 C 的含量(以抗坏血酸计)。

1.2.5 抗氧化活性的测定

1.2.5.1 对 ABTS⁺ 自由基的清除能力 ABTS⁺ 溶液的配制: 用蒸馏水配制 7 mmol/L 的 ABTS 溶液和 140 mmol/L 的过硫酸钾溶液, 分别取 20 mL ABTS 溶液和 352 μ L 过硫酸钾溶液混合, 在室温下暗处静置 14 h 后, 用无水乙醇将混合液稀释, 直至稀释液在 734 nm 处吸光值为 0.700 \pm 0.020, 即得到 ABTS⁺ 自由基工作液^[17]。

样品测定: 取 0.20 mL 经不同压力均质处理后草莓汁, 加入 4.00 mL ABTS⁺ 自由基工作液, 室温下静置反应 30 min, 在 734 nm 下测定其吸光值, 以不加草莓汁的试样为空白, 用无水乙醇调零。按下列公式计算样品对 ABTS⁺ 自由基的清除率, ABTS⁺ 自由基清除率(%) = $(1 - A_{\text{样品}}) / A_{\text{空白}} \times 100$

1.2.5.2 铁离子还原能力(FRAP 法) 采用铁离子还原法测定经不同压力均质处理后草莓汁的铁还原能力, 以每毫升草莓汁相当于 mg V_c 表示^[6]。

1.3 统计分析

所有实验重复进行三次, 实验数据采用 SPSS 17.0 软件进行分析, $p < 0.05$ 表示存在显著性差异,

$p > 0.05$ 表示没有显著性差异, 结果表示为均值 \pm 标准偏差, 作图采用 Origin 8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 不同压力均质处理对草莓汁中总酚含量的影响

多酚类物质是草莓中的重要组成成分, 并对草莓的色泽及口感有重要作用。草莓中的多酚物质主要有花色苷、类黄酮化合物、鞣酸、水解单宁和酚酸^[18]。通过没食子酸标准曲线的绘制, 得出其线性回归方程为 $y = 0.0067x + 0.0094$ (x 为没食子酸含量 $\mu\text{g/mL}$, y 为吸光度, $R^2 = 0.9980$)。然后通过线性回归方程计算草莓汁中总酚的含量。图 1 为高压均质不同压力处理对草莓汁总酚含量的影响, 可以看出, 随着高压均质压力的增加, 草莓汁中总酚含量逐渐减少。未经处理的草莓汁中总酚含量为 0.72 mg/mL , 当经过 40、80、120 MPa 压力处理后, 草莓汁中总酚含量分别为 0.68 、 0.65 、 0.60 mg/mL , 与未经处理的草莓汁相比, 其总酚含量分别降低了 5.56% 、 9.72% 、 16.67% 。通过 SSPS 17.0 软件方差分析知, 未经处理与经过高压均质处理的草莓汁中总酚含量存在显著性差异 ($p < 0.05$)。这可能是由于高压均质处理激活了草莓汁中多酚氧化酶的活性, 使草莓汁中的部分多酚发生氧化而降低; 另外, 高压均质处理可能改变了多酚的分子结构, 进而影响多酚的理化性质, 使总酚的含量减少。曾庆梅等^[19]研究高压处理多酚氧化酶发现, 在一定范围的高压处理可以使梨汁中多酚氧化酶的活性显著提高; 刘凤霞等^[20]发现, 高压脉冲电场处理可以对大分子物质进行改性, 导致多酚类物质的分子结构发生可逆或者不可逆的变化, 从而使其理化性质的改变, 这与我们的推断是相似的。

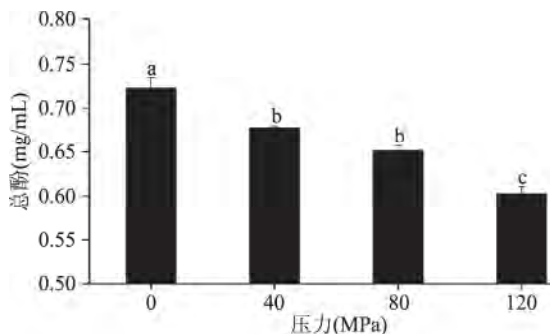


图 1 不同压力均质处理对草莓汁总酚含量的影响

Fig.1 The effect of high-pressure homogenization treatment on the total polyphenol content of strawberry juice

注: a、b、c 代表存在显著性差异 $p < 0.05$; 图 2、图 3 同。

2.2 不同压力均质处理对草莓汁中维生素 C 含量的影响

草莓中维生素 C 含量很高, 但因其分子结构中含连烯二醇的结构, 性质稳定性较差, 在加工过程中受温度、压力、光照等影响极易被氧化而损失降解^[21]。通过抗坏血酸标准曲线的绘制, 得出其线性回归方程为 $y = 0.0007x + 0.0091$ (x 为抗坏血酸含量 μg , y 为吸光度, $R^2 = 0.9997$)。图 2 为不同压力高压均质处理对草莓汁维生素 C 含量的影响, 可以看出,

随着高压均质压力的增加, 草莓汁中维生素 C 含量逐渐减少, 这与前面总酚含量的变化是非常相似的。未经处理的草莓汁中维生素 C 含量为 0.51 mg/mL , 当经过 40、80、120 MPa 压力处理后, 草莓汁中维生素 C 含量分别为 0.49 、 0.41 、 0.36 mg/mL , 与未经处理的草莓汁相比, 其维生素 C 含量分别降低了 3.92% 、 19.60% 、 29.41% 。通过 SSPS 17.0 软件方差分析知, 与未经处理的草莓汁相比, 经过 40 MPa 处理的草莓汁中维生素 C 含量没有显著性差异 ($p > 0.05$), 而随着处理压力 (80、120 MPa) 的增加, 未经处理与经过处理的草莓汁中维生素 C 含量出现显著性差异 ($p < 0.05$)。Tiwari 等^[22]研究发现超声处理草莓汁, 使其中的维生素 C 含量损失了 11% , 这可能是由于自由基引起了氧化反应和声空化效应有关。李倣等^[23]研究发现经动态高压微射流处理后, 菠萝汁中的维生素 C 呈下降趋势。李沐生等^[20]利用超高压处理鲜榨菠萝汁后发现, 超高压处理样品和对照样两者维生素 C 含量有显著性差异 ($p < 0.05$)。通过文献分析, 高压均质可能破坏了维生素 C 的分子结构, 从而使其含量降低。

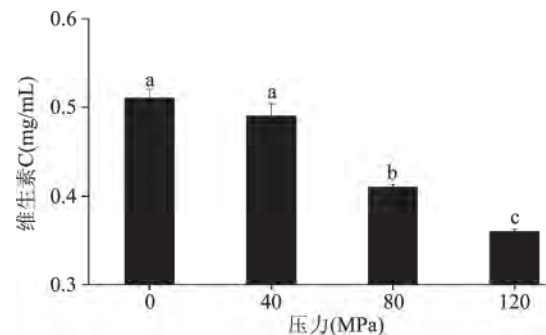


图 2 不同压力高压均质处理对草莓汁维生素 C 含量的影响

Fig.2 The effect of high-pressure homogenization treatment on the vitamin C content of strawberry juice

2.3 不同压力均质处理对草莓汁中花色苷含量的影响

花色苷属于酚类化合物中的类黄酮类, 是多种水果蔬菜中呈色和功能物质。图 3 为不同压力高压均质处理对草莓汁花色苷含量的影响, 可以看出, 随着高压均质压力的增加, 草莓汁中花色苷含量逐渐减少, 这与前面总酚和维生素 C 含量的变化是相似的。未经处理的草莓汁中花色苷含量为 0.34 mg/mL , 这与 Pilando 等^[3]报道的草莓汁中花色苷含量差别较大, 这可能是因为在过滤和离心过程中, 分离的果渣中含有大量的花色苷。当经过 40、80、120 MPa 压力处理后, 草莓汁中花色苷含量分别为 0.33 、 0.30 、 0.27 mg/mL , 与未经处理的草莓汁相比, 其花色苷含量分别降低了 2.94% 、 11.76% 、 20.59% 。可见, 高压均质对草莓汁中花色苷含量具有较大的影响, 通过 SSPS 17.0 软件方差分析知, 与未经处理的草莓汁相比, 经过 40 MPa 处理的草莓汁中花色苷含量没有显著性差异 ($p > 0.05$), 而随着处理压力 (80、120 MPa) 的增加, 未经处理与经过处理的草莓汁中花色苷含量出现显著性差异 ($p < 0.05$)。Klopotek 等^[24]发现经

过巴氏杀菌的草莓汁和莓浆中花色苷损失率分别为27%和39%。Gimenez等^[25]发现HHP处理样品中花色苷损失比热处理少,但是在后期的贮存过程中,HHP处理样品中花色苷稳定性较差,这与样品中维生素C保留率较高及存在部分致花色苷降解的内源酶有关。Zabetakis等^[26]研究发现经400 MPa处理后的草莓汁,在不同条件下贮藏,其花色苷的含量均比未处理样品的损失大,这是因为在此条件下草莓中的葡萄糖苷酶被激活,导致花色苷降解而被降低。

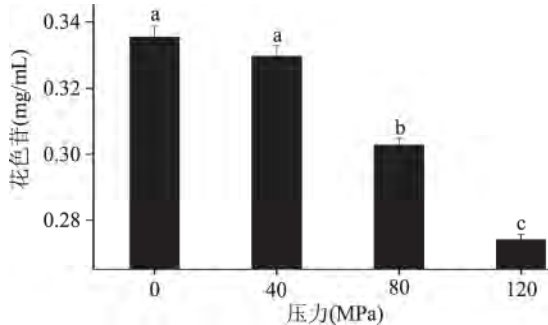


图3 不同压力高压均质处理对草莓汁花色苷含量的影响

Fig.3 The effect of high-pressure homogenization treatment on the anthocyanidin content of strawberry juice

2.4 不同压力均质处理对草莓汁中抗氧化活性的影响

ABTS经氧化后生成相对稳定的蓝绿色ABTS⁺自由基抗氧化剂,与ABTS⁺自由基反应后使其溶液褪色越明显说明该物质的抗氧化能力越强^[27]。从图4可以看出,随着均质处理压力的增加,草莓汁对ABTS⁺的清除能力逐渐降低,未经处理的草莓汁对ABTS⁺的清除率为94.53%,但经过40、80、120 MPa压力均质处理后,对ABTS⁺清除率分别下降了1.72%、11.90%、12.37%。通过SSPS 17.0软件方差分析知,与未经处理的草莓汁相比,经过40 MPa处理的草莓汁对ABTS⁺的清除率没有显著性差异($p > 0.05$),而随着处理压力的增加,未经处理与经过80 MPa和120 MPa处理的草莓汁对ABTS⁺的清除率出现显著性差异($p < 0.05$)。

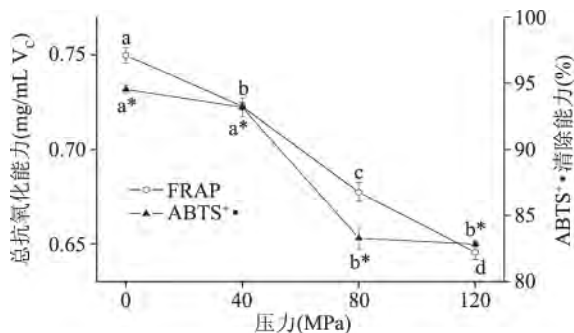


图4 不同压力高压均质处理对草莓汁抗氧化活性的影响

Fig.4 The effect of high-pressure homogenization treatment on the antioxidant activity of strawberry juice

注:不同字母代表同一指标不同压力

处理间存在显著性差异($p < 0.05$)。

FRAP法是用来反映样品的总抗氧化活性。从

图4可以看出,随着均质处理压力的增加,草莓汁对铁离子还原能力逐渐降低,未经处理的草莓汁为0.75 mg V_c当量/mL,但经过40、80、120 MPa压力均质处理后,其分别为0.72、0.68、0.65 mg V_c当量/mL,分别下降了4.00%、9.33%、13.33%。通过SSPS 17.0软件方差分析知,与未经处理的草莓汁相比,经过高压均质处理的草莓汁对铁离子还原能力出现显著性差异($p < 0.05$)。这与前面的研究结果是相一致的,高压均质处理对草莓汁中的抗氧化成分如总酚、花色苷和维生素C的含量都有一定程度的降低,进而其抗氧化能力随之下降,说明草莓汁中抗氧化成分含量与其抗氧化活性之间存在密切的相关性。李淑等^[21]研究也发现经动态高压微射流处理后,菠萝汁的总抗氧化能力减小。

3 结论

3.1 本文研究了高压均质对草莓汁抗氧化物质含量的影响。研究表明,随着均质压力的提高,草莓汁中总酚、维生素C、花色苷含量均逐渐减少;40 MPa压力显著降低了总酚含量($p < 0.05$),但对维生素C和花色苷含量无显著影响($p < 0.05$);80、120 MPa压力显著降低了这三种成分的含量($p < 0.05$)。

3.2 研究高压均质对草莓汁抗氧化活性的影响,发现经过不同压力均质处理后的草莓汁的ABTS⁺自由基清除能力和FRAP抗氧化活性与未经处理的草莓汁相比均下降,且随着处理压力的增加,草莓汁的FRAP抗氧化活性显著降低($p < 0.05$),与未经处理的草莓汁相比,80 MPa和120 MPa压力显著降低了ABTS⁺自由基清除能力($p < 0.05$),说明草莓汁中抗氧化成分含量与其抗氧化活性之间存在密切的相关性。

3.3 与曹霞敏^[6]、柳青^[15]等研究相比,本研究显著降低了高压均质压力,在实际生产应用中,在可以达到草莓汁均质效果的前提下,应适当的降低高压均质处理的压力,从而降低草莓汁中抗氧化活性物质的损失,后续将进一步研究在达到均质效果的前提下,尽可能保证草莓汁中抗氧化成分及抗氧化活性损失最小的最适均质压力,对促进草莓汁的深加工及工业化生产具有重要的指导意义。

参考文献

- [1]曹霞敏,孙建霞,廖小军,等.加工方法对草莓汁中抗氧化活性物质与抗氧化活性的影响[J].食品工业科技,2010,31(9):390-393.
- [2]Wang H, Cao G, Prior R L. Total antioxidant capacity of fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44: 701-705.
- [3]Pilando L S, Wrolstad R E. Influence of fruit composition, maturity and mould contamination on the colour and appearance of strawberry wine[J]. Journal of Food Science, 1985, 50: 1121-1125.
- [4]Jani M K, Anu M H, Pirjo H M. Contents of Anthocyanins and Ellagitannins in Selected Foods Consumed in Finland[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry 2007, 55: 1612-1619.
- [5]陆道礼,李国文,董英,等.草莓汁加工贮藏过程中维生素

稳定性的研究[J].食品研究与开发 2004 25(6):121-123.

[6]曹霞敏,许文文,廖小军等.高压静压工艺中单元操作对草莓汁饮料中抗氧化物质含量与抗氧化活性影响[J].中国食物与营养 2011 17(10):30-35.

[7]Bevilacqua A,Corbo M R,Sinigaglia M. Use of natural antimicrobials and high pressure homogenization to control the growth of *Saccharomyces bayanus* in apple juice [J]. Food Control 2012 24: 109-115.

[8]Maresca P ,Donsi F ,Ferrari G. Application of a multi-pass high pressure homogenization treatment for the pasteurization of fruit juices [J]. Journal of Food Engineering ,2011a ,104: 364-372.

[9]Liu W ,Liu J ,Xie M ,Liu C ,et al. Characterization and high pressure microfluidization - induced activation of polyphenoloxidase from Chinese pear(*Pyrus pyrifolia* Nakai) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2009 57(12): 5376-5380.

[10]Yu Y S ,Xu Y J ,Wu J J ,et al. Effect of ultra-high pressure homogenization processing on phenolic compounds ,antioxidant capacity and anti-glucosidase of mulberry juice [J]. Food Chemistry 2014 153:114-120.

[11]Suarez-jacobo A ,Rufer C E ,Gervilla R ,et al. Influence of ultra-high pressure homogenization on antioxidant capacity , polyphenol and vitamin content of clear apple juice [J]. Food Chemistry 2011 127(2): 447-454.

[12]Silva V M ,Sato A C K ,Barbosa G ,et al. The effect of homogenization on the stability of pineapple pulp [J]. International Journal of Food Science & Technology ,2010 45(10): 2127-2133.

[13]Chen X H ,Qin W D ,Ma L H ,et al. Effect of high pressure processing and thermal treatment on physicochemical parameters , antioxidant activity and volatile compounds of green asparagus juice [J]. Food Science and Technology 2015 62: 927-933.

[14]Ferrari G ,Maresca P ,Ciccarone R. the application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: pomegranate juice [J]. J Food Eng 2010 100(2): 245-253.

[15]柳青,赵晓燕,张超,等.超高压处理对草莓汁贮藏期微生物及品质的影响[J].中国食品学报,2014,11(14): 111-116.

[16]国家标准局.GB/T 5009.159-2003 中华人民共和国国家标准[S].北京:中国标准出版社 2003.

[17]张启贵,魏梓芳,杨婷婷,等.不同品种甘薯汁抗氧化活性的研究[J].食品工业科技 2012 22(33): 119-122.

[18]刘文旭,黄午阳,曾晓雄,等.草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J].食品科学,2011,23(32): 130-133.

[19]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 18(2): 144-148.

[20]刘凤霞,孙建霞,李静.高压脉冲电场技术在食品加工中的应用研究新进展[J].食品与发酵工业,2010,136(4): 138-142.

[21]李沛生,张微,梅灿辉.超高压和热灭菌对鲜榨菠萝汁品质影响的比较[J].农业工程学报 2010 26(1): 359-363.

[22]Tiwari B K ,Cullen P J. Anthocyanin and ascorbic acid degradation in sonicated strawberry juice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2008 56: 10071-10077.

[23]李佩,李倩,徐金龙,等.动态高压微射流对菠萝汁维生素C、总酚含量及其抗氧化性的影响[J].高压物理学报,2013 27(6): 936-940.

[24]Klopotek Otto K. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C , total phenolics , total anthocyanins and antioxidant capacity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2005 53: 5640-5646.

[25]Gimenez J ,Kajda P ,Margomenou L ,et al. A study on the colour and sensory attributes of high-hydrostatic-pressure jams as compared with traditional jams [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture 2001 81(13): 1228-1234.

[26]Zabetakis I ,Koulentianos A. The effects of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds [J]. Food Chemistry , 2007 71: 51-55.

[27]朱玉昌,焦必宁.ABTS法体外测定果蔬类总抗氧化能力的研究进展[J].食品与发酵工业 2005 31(8): 77-80.

(上接第95页)

Pilot plant scale extraction of alginates from *Macrocystis pyrifera*. 2. Studies on extraction conditions and methods of separating the alkaline-insoluble residue [J]. Journal of Applied Phycology , 1999 11(6): 493-502.

[17]Zubia M ,Payri C ,Deslandes E. Alginate ,mannitol ,phenolic compounds and biological activities of two range-extending brown algae , *Sargassum mangarevense* and *Turbinaria ornata* (Phaeophyta: Fucales) ,from Tahiti (French Polynesia) [J]. Journal of Applied Phycology 2008 20(6): 1033-1043.

[18]Grasdalen H. High-field $^1\text{H-NMR}$ spectroscopy of alginate: sequential structure and linkage conformations [J]. Carbohydrate Research 1983 118(1): 255-260.

[19]Grasdalen H ,Larsen B ,Smidsrød O. A pmr study of the composition and sequence of urinate residues in alginates [J]. Carbohydrate Research 1979 68(1): 23-31.

[20]Larsen B ,Salem DMSA ,Sallan MAE ,et al. Characterization of the alginates from algae harvested at the Egyptian Red Sea coast [J]. Carbohydrate Research 2003 338(22): 2325-2336.