

高压微射流技术对红枣汁理化性质的影响

吴顺红, 纵伟*, 赵光远, 贾茹, 张丽华, 刘梦培, 郭晓君
(郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:以红枣汁为研究对象, 研究高压微射流对红枣汁理化性质的影响。将红枣汁分别采用不同压力(40、80、120、160、200 MPa)和不同处理次数(1、2、3、4次)处理, 分析高压微射流处理对红枣汁的 ζ 电位、平均粒径、色差、透光率、非酶褐变程度和可溶性固形物含量的影响。结果表明: 在不同压力条件下的红枣汁的平均粒径、可溶性固形物、澄清度、非酶褐变程度和色差值有显著性差异($P < 0.05$), 160 MPa条件下处理4次的红枣汁平均粒径最小, 是对照组平均粒径的16.8%; 160 MPa条件下处理2次的红枣汁透光率达到最佳, 为77.6%; 120 MPa条件下处理4次的红枣汁可溶性固形物含量达到最高, 较对照组增加了29.6%; 160 MPa条件下处理1次的红枣汁非酶褐变程度最低, 与对照组之间差异性不显著性($P > 0.05$), 160 MPa条件下处理1次的红枣汁色差值 L^* 最大。不同处理次数的红枣汁之间的电位有显著性差异($P < 0.05$)。表明高压微射流可以改善红枣汁的理化性质, 能够为消费者提供高质量的果汁。

关键词: 红枣汁; 高压微射流; 理化性质

Effect of High-Pressure Microfluidization on Physical and Chemical Properties of Red Jujube Juice

WU Shunhong, ZONG Wei*, ZHAO Guangyuan, JIA Ru, ZHANG Lihua, LIU Mengpei, GUO Xiaojun
(College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The effect of high-pressure microfluidization (HPM) on physicochemical properties red jujube juice was investigated. The juice was treated at five different pressures (40, 80, 120, 160 and 200 MPa) and each treatment was repeated for different times. Zeta potential, mean particle size, color, clarity, non-enzymatic browning index and total soluble solid content of the treated samples were evaluated. Mean particle size, total soluble solid content, clarity, non-enzymatic browning index and color values of the juice samples showed a significant difference ($P < 0.05$) at different pressures. The mean particle size of red jujube juice treated with 160 MPa for 4 times was the lowest, 16.8% as compared to the untreated samples. The best clarity of the samples treated at 160 MPa twice was observed, as demonstrated by a transmittance rate of 77.6%. The highest total soluble solid content was recorded in the samples treated at 120 MPa for 4 times, which revealed an increase of 29.6% in comparison to the control group. Single treatment at 160 MPa resulted in the lowest non-enzymatic browning index, with no significant difference observed compared with the control group ($P > 0.05$), as well as the highest L^* value in red jujube juice. The samples treated for different times showed a significant difference in Zeta potential ($P < 0.05$). Conclusion: HPM could be used to improve physicochemical properties of red jujube juice, such as increasing total soluble solid content and clarity, and improving color positively resulting in a desirable high quality juice for consumers.

Key words: red jujube juice; high-pressure microfluidization; physical and chemical property

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201623020

中图分类号: TS255.44

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)23-0118-05

引文格式:

吴顺红, 纵伟, 赵光远, 等. 高压微射流技术对红枣汁理化性质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(23): 118-122.
DOI:10.7506/spkx1002-6630-201623020. <http://www.spkx.net.cn>

WU Shunhong, ZONG Wei, ZHAO Guangyuan, et al. Effect of high-pressure microfluidization on physical and chemical properties of red jujube juice[J]. Food Science, 2016, 37(23): 118-122. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201623020. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2016-03-11

基金项目: 河南省创新型科技团队项目(C20150024); 河南省高校科技创新团队项目(16IRTSTHN010);
国家大学生创新创业训练项目(201510462037);

食品生产与安全河南省协同创新中心研究生科技创新基金项(FCICY201605)

作者简介: 吴顺红(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬加工。E-mail: w991628080@yahoo.com

*通信作者: 纵伟(1965—), 男, 教授, 博士, 研究方向为果蔬加工。E-mail: zongwei1965@126.com

红枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.), 鼠李科枣属植物, 又名中华大枣、枣、华枣, 原产我国, 在我国已有4 000多年的栽培史^[1]。红枣风味浓郁, 属药食同源食物, 富含糖类、维生素、皂苷、矿物质、黄酮类物质和生物碱等^[2], 营养丰富, 还具有很强的医疗保健作用, 受到人们的喜爱。近年来, 中国红枣种植面积和产量逐年攀升, 但目前的加工利用率不足10%^[3], 把红枣加工成果汁不仅使红枣类产品多样化, 而且也是提高经济效益的有效途径。

高压微射流 (high pressure microfluidization, HPM) 技术是一种新兴的高压均质技术, 液体物料在处理过程中受到强烈剪切、剧烈、高速撞击中能量瞬间释放, 产生巨大的压力降, 对物料起着较好的超细化处理效果^[4-5]。当前, HPM技术在食品、药品、生化等方面都有应用, 主要是对样品进行乳化均质、湿法超微化、大分子改性、灭菌等处理^[6-11], 目前, 国内外关于高压均质对不同果汁的研究也有报道, Karacam等^[12]研究了HPM对奥斯曼草莓汁抗氧化活性、总酚含量、色泽和总可溶性固形物含量的影响; Ángela等^[13]研究了超高压均质对澄清苹果汁抗氧化活性的影响; Velázquez等^[14]研究了超高压均质化处理对橙汁生物活性化合物及抗氧化活性的影响; 但HPM对红枣汁理化特性的影响目前仍鲜见报道, 本研究考察了HPM处理对红枣汁的粒径、电位、澄清度、色泽等理化特性的影响, 为枣汁加工新技术的探究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新郑红枣 (干) 好想你枣业股份有限公司; 果胶酶 (16 000 U/g) 丹麦诺维信公司; 其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

SC-80C全自动色差计 北京康光光学仪器有限公司; T6新世纪分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; Bench-top型高压纳米均质机 英国SFP公司; Nano-ZS90型激光散射仪 英国Malvern公司; PAL-1手持糖度计 北京阳光亿事达科技有限公司; JYZ-B521榨汁机 九阳股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 红枣汁的制备

称取500 g红枣, 用清水洗净, 去核, 加5倍质量的水煮沸至软, 冷却至室温, 用榨汁机打浆, 加入质量浓度为1 800 mg/L果胶酶, 在40 ℃条件下酶解4 h后进行煮沸灭酶, 然后用胶体磨磨3遍, 磨隙20 μm, 5 000 r/min离心20 min, 得到红枣汁原液。

1.3.2 HPM处理

采用高压纳米均质机在不同均质压力条件下 (40、80、120、160、200 MPa) 对枣汁原液进行1、2、3、4次循环处理, 分析红枣汁理化特性。同时, 以未经处理

的红枣汁作为对照组, 对所有样品组经处理后立即进行指标测定。

1.3.3 红枣汁指标及测定方法

1.3.3.1 粒径和ζ电位

采用Nano-ZS90型激光散射仪对不同条件下处理的样品同时进行粒径和ζ电位分析。

1.3.3.2 可溶性固形物含量

参照文献[15]中的方法, 用PAL-1手持糖度计测定样品可溶性固形物的含量。

1.3.3.3 非酶褐变程度

参照文献[15]中的方法, 移取15 mL红枣汁, 加入95%的乙醇溶液15 mL, 摇匀, 在3 000 r/min条件下离心30 min, 取上清液, 于420 nm波长处测定吸光度, 根据吸光度的大小来判断红枣汁的非酶褐变程度。

1.3.3.4 透光率

参照文献[15]中的方法, 以蒸馏水做参比, 用分光光度法在625 nm波长处测定样品的透光率。

1.3.3.5 色泽

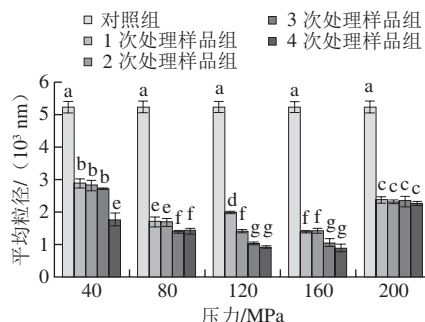
参照文献[15]中的方法, 取不同条件处理的样品通过色差计测定其色差, 色泽指标包括: L^* 值表示亮度 (0=黑色, 100=白色), L^* 值越大亮度越大; a^* 值表示红绿色度 (a^* 为正代表红色, a^* 为负代表绿色); b^* 值表示黄蓝色度 (b^* 为正代表黄色, b^* 为负代表蓝色)。

1.4 数据处理

采用Origin 7.0软件进行绘图, 及SPSS 22.0分析软件进行方差分析, 当 $P<0.05$ 时表示差异显著^[16], 所有实验数据均采用3次重复实验的平均值。

2 结果与分析

2.1 HPM不同处理压力和循环处理次数对红枣汁粒径的影响



小写字母不同代表差异显著 ($P<0.05$)。下同。

图1 HPM不同处理压力及次数对红枣汁平均粒径的影响

Fig. 1 Effect of HPM on mean particle size of red jujube juice

粒径是评价悬浮液是否稳定的重要参数标准之一。红枣汁的平均粒径变化可反映HPM对果汁稳定性的影响。降低粒径能够减弱果汁的分层程度,保持红枣汁的稳定性。由图1可知,经过HPM处理后的红枣汁平均粒径较对照组显著下降,处理过的红枣汁平均粒径大小随着处理压力的增加,总体趋势是先减小而后增大,但较对照组而言平均粒径大小都在很大程度上有所降低。相比200 MPa的压力相同处理次数,120、160 MPa处理的样品平均粒径更小。究其原因可能是小分子物质由于受到范德华力的吸引而不断团聚,或者是在200 MPa均质压力下,红枣汁溶液中蛋白质发生了聚合现象^[17]。结果表明压力对其粒径大小的影响差异显著($P<0.05$)。在同一压力条件下,不同处理次数的样品与同压力条件下对照组相比,平均粒径大小也显著降低,在120 MPa条件下经过1、2、3、4次循环处理的红枣汁的平均粒径与对照组相比,分别减少到40%、25%、20%、17%。因红枣汁通过高压纳米均质机时,加速进入反应器后,样品分成多股细流,然后在极小空间进行强烈的垂直撞击,在撞击过程中瞬间产生巨大能量,产生了压力差,大颗粒物质高度破碎^[18]。结果表明同压力不同循环处理次数,导致部分样品间平均粒径大小差异显著($P<0.05$)。这些与研究者们对苹果汁、番茄汁、西番莲汁、柑橘汁得出的结论类似^[13,19-21]。

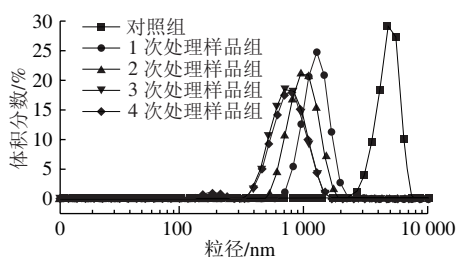


图2 120 MPa HPM条件下不同循环处理次数对红枣汁粒径分布的影响

Fig. 2 Effect of HPM treatment at 120 MPa on particle size distribution of red jujube juice

由图2可知,在120 MPa条件下,经过4次循环处理的红枣汁粒径分布更均匀,粒径分布峰随循环处理次数的增加均向小粒子峰移动,处理组相对于对照组移动越大,小粒子体积粒径百分比逐渐增加,但是各处理组之间,每一次处理,相对于前一次处理,波峰移动幅度稍有减小。同一压力(如120 MPa)条件下不同次数处理组与对照组之间差异性显著(图1),但该压力条件下处理3次与处理4次之间差异不显著,而不同压力条件下同一循环处理次数时(如1次),处理组与对照组之间差异显著,说明压力与循环处理次数相比对红枣汁粒径的影响更大。

2.2 HPM不同处理压力和循环处理次数对红枣汁 ζ 电位的影响

在红枣汁中,颗粒能稳定地存在不仅与颗粒大小有

关,还与其表面带电情况密切相关。由图3可知,HPM对红枣汁 ζ 电位的影响差异性显著($P<0.05$)。所有样品的 ζ 电位都是负值,说明颗粒表面带负电荷,表面带相同电荷的粒子间相互排斥,粒子间不易聚集,增加了果汁颗粒的悬浮稳定性,从而使红枣汁体系趋于稳定。对照组与部分处理样品组相比,随着压力的增大与处理次数的增多, ζ 电位有所下降,其原因可能是HPM破坏了颗粒表面结构,导致颗粒内部部分带正电荷的物质暴露,使 ζ 电位下降。该结果与Yamasald等^[22]研究的苹果汁结果相同。结果表明把红枣加工成果汁是可取的一种加工方式。

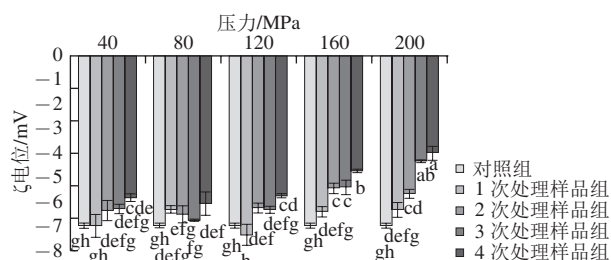


图3 HPM对红枣汁 ζ 电位的影响

Fig. 3 Effect of HPM on ζ potential of red jujube juice

2.3 HPM不同处理压力和循环处理次数对红枣汁可溶性固形物含量的影响

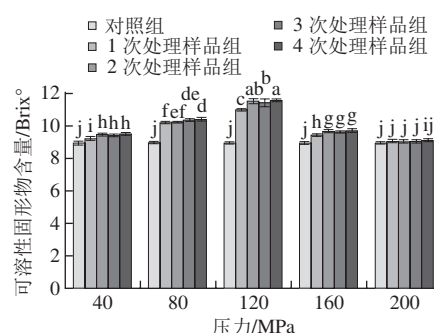


图4 HPM对红枣汁可溶性固形物含量的影响

Fig. 4 Effect of HPM on total soluble solid content of red jujube juice

可溶性固形物含量是果蔬汁行业常用的重要参数。由图4可知,与对照组相比,同批次样品经40~200 MPa不同压力条件下处理后可溶性固形物的含量变化呈现先增加后减小的趋势,到120 MPa时可溶性固形物含量达到最大,且与对照组相比提高了29.6%。160、200 MPa条件下可溶性固形物含量有所下降,但仍然高于对照组。统计表明,HPM对红枣汁可溶性固形物含量的影响差异性显著($P<0.05$)。究其原因是红枣汁通过高压微射流均质机时,加速进入反应器后,强烈的撞击过程中瞬间生成巨大能量,使果汁中的糖、维生素及矿物质等

大颗粒物质破碎^[21],同时,压力过高、能量密度和能量输入过高,红枣汁中小分子物质发生团聚,导致可溶性固形物含量相应的有所减少。统计结果表明,总体上,同压力条件下的不同循环处理次数样品中可溶性固形物含量虽然有所增加,但是部分样品之间差异并不显著($P>0.05$)。Karacam等^[12]对奥斯曼草莓汁的研究也得出类似的结论。

2.4 HPM不同处理压力和循环处理次数对红枣汁非酶褐变程度的影响

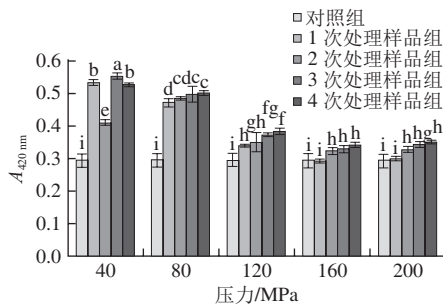


图5 HPM对红枣汁非酶褐变程度的影响

Fig. 5 Effect of HPM on non-enzymatic browning index of red jujube juice

果蔬汁在加工过程中会因发生非酶促褐变而影响食品品质。由图5可知,与对照组相比,经过HPM处理的红枣汁非酶褐变的程度得到了一定的减轻。40、80 MPa条件下不同次数处理组与对照组之间 $A_{420\text{ nm}}$ 差异显著($P<0.05$),且褐变程度比较严重。压力在120~200 MPa范围内,红枣汁褐变程度明显减弱,部分样品与对照组之间差异不显著($P>0.05$);同一处理次数条件下,经不同压力处理的红枣汁非酶褐变程度相对减小,因压力增大,会抑制类黑精的游离自由基的生成,从而抑制非酶褐变反应,这与Tamaoka等^[23]研究压力对美拉德反应过程的影响结果相似。当压力 >40 MPa时,同一压力条件下,非酶褐变程度随处理次数的增加而增大,其原因是样品的处理次数增大,暴露在空气中的时间相对增加,因而进一步促进褐变的发生。结果表明,处理压力越高,红枣汁褐变程度越低,红枣汁色泽的稳定性越好。

2.5 HPM不同处理压力和循环处理次数对红枣汁透光率的影响

果蔬汁透光率反映果蔬汁稳定性。由图6可知,除40 MPa条件下处理2次样品组外,其他处理组与对照组比较,红枣汁透光率大幅增加,120、160、200 MPa条件下透光率整体的变化趋势为先升高后降低。未经处理的红枣汁透光率为59.5%,经40、80、120、160、200 MPa循环处理1次的样品,透光率为60.4%、60.8%、72.9%、76.9%、75.8%。160 MPa条件下,红枣汁透光率达到最

大。表明处理压力对红枣汁透光率的影响差异性显著($P<0.05$)。因红枣汁粒径减小,尤其是引起浑浊的蛋白质等大分子物质,结构发生破坏和改变,保证红枣汁有较好透光率。

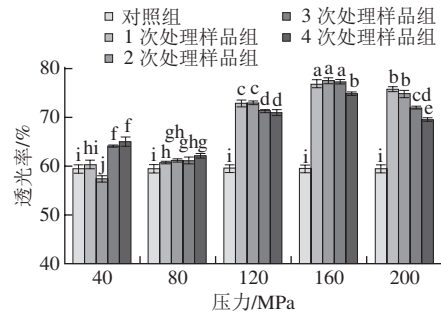


图6 HPM对红枣汁透光率的影响

Fig. 6 Effect of HPM on transmittance of red jujube juice

2.6 HPM不同处理压力和循环次数对红枣汁色泽的影响

表1 红枣汁色差 L^* 、 a^* 、 b^* 值

Table 1 L^* , a^* and b^* values of red jujube juice

压力/MPa	处理次数	L^*	a^*	b^*
对照组	0	79.48 ± 0.39^p	1.08 ± 0.09^f	36.08 ± 0.96^{bcd}
	1	84.63 ± 0.09^m	1.43 ± 0.02^e	36.45 ± 0.71^{abc}
	2	83.04 ± 0.09^o	1.79 ± 0.13^d	37.04 ± 0.12^a
	3	84.38 ± 0.27^n	1.80 ± 0.03^d	36.71 ± 0.15^{ab}
	4	83.09 ± 0.36^o	2.15 ± 0.14^{bc}	36.71 ± 0.49^{ab}
40	1	85.72 ± 0.12^k	2.25 ± 0.09^b	34.43 ± 0.13^f
	2	85.34 ± 0.09^l	2.08 ± 0.03^c	35.28 ± 0.28^e
	3	85.32 ± 0.06^l	2.23 ± 0.04^b	35.89 ± 0.55^{cde}
	4	85.20 ± 0.02^l	2.60 ± 0.02^a	35.41 ± 0.08^{de}
80	1	86.22 ± 0.02^j	-0.14 ± 0.03^l	24.65 ± 0.02^{bcd}
	2	89.05 ± 0.08^e	-0.26 ± 0.06^m	25.52 ± 0.03^b
	3	89.17 ± 0.06^e	-0.27 ± 0.01^m	25.90 ± 0.03^b
	4	88.32 ± 0.04^g	-0.19 ± 0.04^{lm}	26.07 ± 0.04^b
120	1	90.87 ± 0.17^a	-0.27 ± 0.04^m	23.45 ± 0.12^{jk}
	2	90.65 ± 0.08^b	0.22 ± 0.03^k	23.25 ± 0.07^k
	3	90.31 ± 0.04^c	0.32 ± 0.02^k	23.36 ± 0.06^{jk}
	4	89.56 ± 0.10^d	0.35 ± 0.05^{ij}	23.72 ± 0.23^{ijk}
160	1	88.04 ± 0.12^h	0.47 ± 0.04^h	23.98 ± 0.04^{hijk}
	2	88.76 ± 0.03^f	0.45 ± 0.04^{hi}	24.06 ± 0.03^{hi}
	3	87.58 ± 0.14^i	0.68 ± 0.03^g	24.45 ± 0.03^{hi}
	4	87.38 ± 0.12^i	0.79 ± 0.03^g	24.59 ± 0.07^h
200	1			
	2			
	3			
	4			

注:同列肩标小写字母不同代表差异显著($P<0.05$)。

色泽变化是衡量果蔬汁感官品质变化的重要指标。由表1可知,与对照组比较,除40 MPa 1次处理组的 a^* 值外,其他样品组的 a^* 值和 b^* 值呈现下降趋势,说明红枣汁所呈现出的红色和黄色在减弱,因处理次数的增加引起非酶促褐变,糖转化成醛类,而醛类就是引起美拉德反应的物质,美拉德反应产生深色混合物^[24]。所有处理过的红枣汁的 L^* 值都比对照组有所增大,呈先增大后减小趋势,这种变化说明了处理过的样品的亮度与对照组

相比,都有所变亮,且是先变亮后变暗,在160 MPa条件下,样品亮度增加的最明显。结果表明,未处理与处理的样品之间色差值差异显著($P<0.05$)。因 L^* 是小颗粒对散射光吸收后得到的数值,而HPM处理对粒径的影响远大于对果汁非酶褐变的影响,因此HPM处理对提高红枣汁亮度具有一定的作用,这与Calligaris等^[25]对香蕉汁的研究结果相似,所以HPM处理能较好地保持果蔬汁色泽。

3 结 论

经过HPM不同压力和循环处理次数处理后的样品与原果汁粒径相比大幅度下降,经160 MPa条件下处理4次的样品,平均粒径相对最小,且 ζ 电位在 $-4\sim-8$ 范围内,维持了果汁溶液体系的稳定;160 MPa条件下处理1次的样品, L^* 上升的最明显,此时透光率为76.9%(红枣汁对照组透光率为59.5%),此处理条件还降低了红枣汁的非酶褐变程度。因此HPM技术应用于红枣汁的处理过程中,对其理化性质有一定的影响,从而为红枣汁加工生产的发展提供新技术。

参考文献:

- [1] 周禹含,毕金峰,陈芹芹,等.中国红枣加工及产业发展现状[J].食品与机械,2013,29(4): 214-217. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.
- [2] 东莎莎,杨晓,王春燕.红枣营养成分及综合利用[J].中国果菜,2015,35(12): 17-19. DOI:10.3969/j.issn.1008-1038.2015.12.005.
- [3] 林丽飞,刘春国,李智敏,等.枣树根际土壤滑刃线虫种类的鉴定[J].西南农业学报,2016,29(1): 99-102. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2016.01.
- [4] JELEN P, LORDACHE M. High pressure microfluidization treatment of heat denatured whey proteins improved functionality[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2004, 4(4): 367-376. DOI:10.1016/s1466-8564(03)00061-4.
- [5] LIU C M, ZHONG J Z, LIU W, et al. Relationship between functional properties and aggregation changes of whey protein induced by high pressure microfluidization[J]. Journal of Food Science, 2012, 76(4): 341-347. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02134.x.
- [6] 川杜军,张绍英,戴元忠,等.动力作用作为冷杀菌方法的可行性初探[J].中国乳品工业,2002,30(6): 25-27.
- [7] 张雪春,涂宗财,郑为完,等.超高压微射流均质对花生球蛋白性质的影响[J].食品工业科技,2009,30(11): 99-101. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2009.11.076.
- [8] TU Z, CHEN L, WANG H. Effect of fermentation and dynamic high pressure microfluidization on dietary fibre of soybean residue[J]. Journal of Food Science and Technology Mysore, 2012, 51(11): 1-8. DOI:10.1007/s13197-012-0838-1.
- [9] 康波,齐军茹,杨晓泉.微射流均质制备乳铁蛋白纳米乳液的研究[J].食品工业科技,2009,30(8): 182-184. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2009.08.052.
- [10] 涂宗财,张博,任维,等.超高压微射流对玉米淀粉机械力化学效应研究[J].食品工业科技,2008,29(2): 172-174. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2008.02.043.
- [11] SHEN L, TANG C H. Microfluidization as a potential technique to modify surface properties of soy protein isolate[J]. Food Research International, 2012, 48(1): 108-118. DOI:10.1016/j.foodres.2012.03.006.
- [12] KARACAM C H, SAHIN S, OZTOP M H. Effect of high pressure homogenization (microfluidization) on the quality of Ottoman strawberry juice[J]. Food Science and Technology, 2015, 64(2): 932-937. DOI:10.1016/j.lwt.2015.06.064.
- [13] ÁNGELA S J, RÜFER R G, RAMÓN G, et al. Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice[J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 447-454. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.12.152.
- [14] VELÁZQUEZ R M, HERNÁNDEZ M M, RÜFER C E, et al. Influence of ultra high pressure homogenization processing on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 18(2): 89-94. DOI:10.1016/j.ifest.2013.02.005.
- [15] 冀晓龙,土猛,李环宇,等.不同杀菌方式对梨枣汁杀菌效果及理化性质的影响[J].食品与发酵工业,2013,39(4): 58-62. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2013.04.033.
- [16] HONG Q, JIN G Q, JIN R F. Analysis of variance of repeated data measured by water maze with SPSS[J]. Journal of Chinese Integrative Medicine, 1977, 5(1): 101-105.
- [17] 黄科礼,尹寿伟,杨晓泉.微射流处理对红豆分离蛋白结构及功能特性的影响[J].现代食品科技,2011,27(9): 1062-1065. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.2.025.
- [18] TORRES J, VELAZQUEZ G. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(Suppl 1/2): 95-112. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.066.
- [19] AUGUSTO P E D, IBARZ A, CRISTIANINI M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: time-dependent and steady-state shear[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 111(4): 570-579. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.015.
- [20] OKOTH M W, KAHWA A R, IMUNGI J K. The effect of homogenisation, stabiliser and amylase on cloudiness of passion fruit juice[J]. Food Control, 2000, 11(4): 305-311. DOI:10.1016/S0956-7135(99)00107-3.
- [21] BETORET E, BETORET N, CARBONELL J V, et al. Effects of pressure homogenization on particle size and the functional properties of citrus juices[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 92(1): 18-23. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2008.10.028.
- [22] YAMASALD M, YASUI T, ARIMA K. Pectic enzymes in the clarification of apple juice: part 1. study on the clarification reaction in a simplified model[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 1964, 28(11): 779-787.
- [23] TAMAOKA T, ITOH N, HAYASHI R. High pressure effect on Maillard reaction(food & nutrition)[J]. Agricultural & Biological Chemistry, 1991, 55(8): 2071-2074. DOI:10.1080/00021369.1991.10870919.
- [24] TONON R V, BRABET C, HUBINGER M D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents[J]. Food Research International, 2010, 43(3): 907-914. DOI:10.1016/j.foodres.2009.12.013.
- [25] CALLIGARIS S, FOSCHIA M. Study on the applicability of high-pressure homogenization for the production of banana juices[J]. Food Science and Technology, 2012, 45(1): 117-121. DOI:10.1016/j.lwt.2011.07.026.