

超高压微射流 对铁棍山药汁物理稳定性的影响

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

摘要:为探究超高压微射流对山药汁物理稳定性的影响,研究不同压力(40~200 MPa)和不同次数(1、2、3、4次)对山药汁可溶性固形物含量、粒径、Zeta 电位、色泽、浊度和非酶褐变度的影响。结果表明,山药汁经超高压微射流处理后,可溶性固形物含量无显著变化;山药汁亮度 L^* 值显著增大,40、80、120、160、200 MPa 压力下处理 1 次后,亮度值较未处理样品分别增加了 0.2%、21.4%、30.5%、52.4%、53.9%,而 a^* 值、 b^* 值呈减小趋势;Zeta 电位随着压力的增加,电位绝对值有所下降,在-32.2 至-23.7 mV 之间变化;山药汁中颗粒平均粒径显著减小($p < 0.05$);浊度和非酶褐变度逐渐降低。表明超高压微射流处理可以改善山药汁的物理稳定性,为消费者提供高质量的蔬菜汁。

关键词:超高压微射流,铁棍山药,物理稳定性

Effect of high pressure microfluidization(HPM) on the physical stability of yam juice

GUO Xiao-jun, ZONG Wei*, ZHAO Guang-yuan, ZHANG Li-hua, WANG Xiao-yuan, WU Shun-hong
(School of Food and Engineering, Zhengzhou university of light industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The fresh yam was processed in different condition by the high pressure microfluidization, the effect of different pressure(40~200 MPa) and passes(1、2、3 and 4 passes) on the soluble solids content, average particle size, Z-potential, color, turbidity and non-enzymatic browning degree was evaluated, and the effect of high pressure microfluidization on the physical stability of yam juice was also analyzed. The result showed that yam juice exhibited no effect on the soluble solids content after high pressure microfluidization treatment. The L^* value was increased, brightness was increased by 0.2%, 21.4%, 30.5%, 52.4%, 53.9% after first processed. a^* value and b^* value of the juice was decreased with the increasing of pressure used. The values of the Z-potential was decreased with the increasing of pressure used, and the values were from -32.2 to -23.7 mV. The average particle size was significantly reduced ($p < 0.05$). Turbidity and non-enzymatic browning degree was decreased with the increasing of pressure. The results indicated that HPM could be used to improve the physical stability in the yam juice, such as increasing color, and affecting average particle size positively resulting in a desirable high quality juice for the consumer.

Key words: high-pressure microfluidization; yam juice; physical stability

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2016)17-0125-05
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2016.17.015

山药 (*Rhizoma Dioscoreae*, yam) 又名山薯, 为薯蓣科植物薯蓣的块茎。铁棍山药为山药中的一种, 主要分布于河南焦作、温县、博爱等地。铁棍山药富含蛋白质、淀粉、多糖、脂肪酸及其他营养物质, 具有调节肠胃、抗氧化、降血糖、降血脂和抗肿瘤等作用^[1]。目前, 对铁棍山药有效成分及药理作用的研究较多^[2-5], 但对其加工利用方面的研究较少, 将铁棍山药加工成山药汁, 不仅可以使铁棍山药类产品多样化, 而且可提高经济效益。

果蔬汁加工过程中, 物理稳定性是影响产品质量的主要问题之一。如何在加工过程中提高物理稳定性是研究者关注的问题。超高压微射流 (High-Pressure Microfluidization, HPM) 是一种新兴的高压均质技术。HPM 技术主要运用于生物大分子的改性、乳化均质以及辅助杀菌方面^[6-9]; 其作用机理主要是分子的高速撞击作用、强剪切粉碎、空穴作用等^[10]。与传统高压均质不同, HPM 处理过程中, 物料受压时间短, 压力变化率大, 能在相对较低的压力下达到高

收稿日期: 2016-03-16
作者简介: 郭晓君 (1990-), 女, 在读研究生, 从事果蔬加工研究, E-mail: Guo xiao jun 1990@126.com。
* 通讯作者: 纵伟 (1965-), 男, 博士, 教授, 从事果蔬加工研究, E-mail: zongwei1965@126.com。
基金项目: 河南省创新型科技团队 (C20150024); 河南省高校科技创新团队 (16IRTSTHN010)。

压均质的效果。目前,HPM 对果蔬汁稳定性的研究已有报道,研究表明,HPM 能提高果蔬汁的物理稳定性及品质。Calligaris^[11]等研究了 HPM 对香蕉汁的影响,经过 HPM 处理,香蕉汁色泽变亮,粘度降低;Kubo 等^[12]研究了 HPM 对番茄汁影响,通过 HPM 处理,粒径减小,浊度降低,提高了番茄汁物理稳定性;Betoret E^[13]等研究 HPM 对橘子汁的影响,通过 HPM 处理,粒径减小,亮度增加,浊度减小,提高了橘子汁的品质。但 HPM 对铁棍山药汁稳定性的研究,目前还少见报道。因此,本文以铁棍山药汁为对象,应用 HPM 对山药汁进行处理,研究不同压力和次数处理对铁棍山药汁物理稳定性的影响,为 HPM 技术在山药汁中的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

铁棍山药 河南省焦作市;柠檬酸、抗坏血酸 均为分析纯。

KYH-777 乐创多功能食品料理机 佛山市顺德区乐创科技有限公司;JMS-300 胶体磨 廊坊市廊通机械有限公司;HC-3618R 高速冷冻离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;SFP“Bench-top”高压纳米均质机 英国 SFP 公司;Malvern Zetasizer Nano-ZS90 激光粒度仪 英国 Malvern 公司;752 紫外分光光度计 上海菁华科技仪器有限公司;PAL-1 手持糖度计 北京阳光亿事达贸易有限公司;SC-80C 全自动色差计 北京康光光学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 铁棍山药汁的制备 选择无病虫、无机械损伤的铁棍山药,清洗、削皮,切成厚度 2~3 cm 的片段,放入 0.5% 柠檬酸和 0.5% 抗坏血酸的护色溶液里浸泡,1 h 后用蒸馏水将山药表面冲洗干净,100 ℃ 加热 1 min,然后按山药:水=1:9 的比例放入打浆机中打浆,打浆后,过 3 次胶体磨,磨隙 20 μm,得山药浑浊汁。

1.2.2 超高压微射流处理 山药汁在高压纳米均质机中以不同的压力(40、80、120、160、200 MPa)和不同次数(1、2、3、4 次)处理,同时以未经处理的山药汁做对照。

1.3 指标及测定方法

1.3.1 可溶性固形物含量测定 采用手持糖度计测定。

1.3.2 粒径与 Zeta 电位的测定 采用激光粒度仪分别测定。

1.3.3 色泽测定 样品在经过处理后,立即采用色差仪测定色泽参数 L^* 、 a^* 、 b^* ,其中 L^* 代表亮度,值越大表明样品亮度越大, a^* 值代表红绿值,正值高,倾向于红色,负值绝对值越大,倾向于绿色; b^* 代表黄蓝色,正值越高,倾向于黄色,负值绝对值越大,倾向于蓝色。

1.3.4 浊度 取适量样品,3000 r/min 离心 8 min,取上清液并充分混匀后,放入 2 cm 比色皿中在 660 nm 下测其 OD 值,以蒸馏水对照。OD 值越高,浊度越大。

1.3.5 非酶褐变度 样品在经过处理后,立即将样

品在转速 4000 r/min 离心 30 min,取其上清液,在 420 nm 测定吸光值大小。以吸光度作为非酶褐变指数,吸光度越高,非酶褐变度越大。

1.4 数据处理

每组数据重复测 3 次,采用 Origin7.0 软件作图,DPS7.0.5.8 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 HPM 处理对山药汁可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物是评价果蔬汁品质的重要参数。如图 1 所示,40、80、120、160、200 MPa 分别进行 1、2、3、4 次处理后,可溶性固形物含量变化不显著($p > 0.05$),经 HPM 处理的山药汁,可溶性固形物含量有减小现象,可能因为可溶性固形物中少量的可溶性蛋白经 HPM 处理后,蛋白的疏水性结构暴露,产生更多疏水性区域,影响蛋白的溶解性^[14],从而使可溶性固形物含量减少。

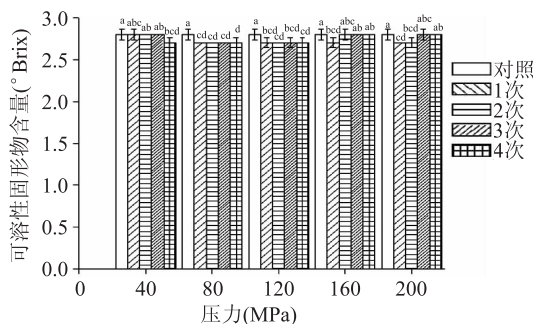


图1 HPM 处理对山药汁可溶性固形物含量的影响

Fig.1 Effect of HPM treatment

on the soluble solids content of yam juice

注:标注不同字母表示差异显著($p < 0.05$),图 3~图 9 同。

2.2 HPM 处理对山药汁粒径大小的影响

粒径的大小可以表征果蔬汁的稳定性。从图 2 中可以看出,未处理样品中粒径大小的分布范围在 190~2700 nm 之间,随着压力的增加,粒径呈减小趋势,200 MPa 下处理的粒径分布范围在 58~1500 nm 之间。粒径减小,可能是山药汁进入反应器时,在很小的空间内被强烈撞击,撞击过程中瞬间产生巨大能量,产生了压力降,大颗粒物质高度破碎^[15]。这与 Sentandreu^[16]等对橙汁处理以及 Silva^[17]等对菠萝汁处理的结论类似。

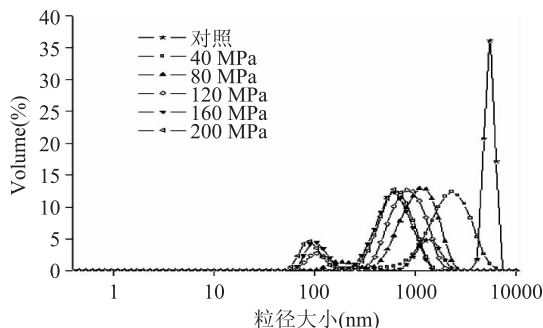


图2 山药汁经 HPM 不同压力处理后粒径大小的分布

Fig.2 Effect of HPM treatment on the particle size distribution of yam juice after different pressure

图3为在40、80、120、160、200 MPa分别进行1、2、3、4次处理后样品的平均粒径。由图3中可得,不同压力下,处理的山药汁粒径大小与对照组相比显著下降;40~160 MPa之间,随着压力的增加,平均粒径呈减小趋势,200 MPa下平均粒径又有增大趋势,160 MPa和200 MPa处理的山药汁粒径大小之间没有显著差异($p > 0.05$),可能因为处理后得到的粒子更小,体系的表面能增大,稳定性降低,颗粒为了降低体系的自由能而自动聚集,形成较大颗粒,因此,平均粒径增大。在同一压力下,不同处理次数的样品与对照组相比,粒径大小也显著降低。这与KaracamH^[18]等研究的奥斯曼草莓结果一致。根据Stokes定律,颗粒的沉降的速率和颗粒的大小成正比,超高压微射流处理可以降低山药汁悬浮颗粒粒径的大小,从而提高了山药汁的稳定性。

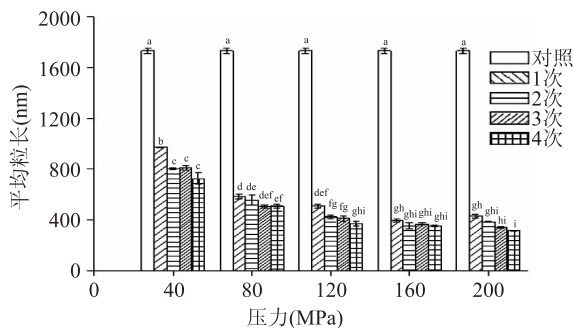


图3 HPM对山药汁不同次数处理下平均粒径的影响
Fig.3 Effect of HPM treatment on the average particle size of yam juice after different times processing

2.3 HPM处理对山药汁 Zeta 电位的影响

Zeta 电位是表征胶体分散系稳定性的重要指标。从图4中可以看出,电位在-32.2至-23.7 mV之内变化。经 HPM 处理的山药汁电位绝对值有减小趋势,对照组与处理样品之间,电位值之间有显著性差异($p < 0.05$),在160 MPa下,不同处理次数对电位影响较大,并且1、2、3、4次处理电位绝对值与对照组相比,分别减少了22.9%、23.3%、27.3%、10.6%。除160 MPa处理1、2、3次的Zeta电位绝对值小于25 mV以外,其余均大于25 mV。电位绝对值减小,可能是由于在此压力处理下小颗粒数目增多,比表面积增大,形成凝结,导致电位变化。一般Zeta电位绝对值大于50 mV的体系非常稳定,Zeta电位绝对值在25~50 mV之间的体系比较稳定,而Zeta电位绝对值小于25 mV的体系不太稳定^[19]。超高压微射流处理对山药汁Zeta电位有一定影响,但山药汁仍处于较稳定状态。

2.4 HPM处理对山药汁色泽的影响

色泽是果蔬汁感官品质的重要指标。从图5中可以看出随着压力的增加,亮度值呈增大趋势。与对照组相比,压力对亮度值大小的影响具有显著性差异($p < 0.05$),在相同次数处理下,经不同压力处理的部分样品间差异性显著($p < 0.05$),在1次处理下,40、80、120、160、200 MPa的亮度值分别增加了0.2%、21.4%、30.5%、52.4%、53.9%。图6表示 HPM

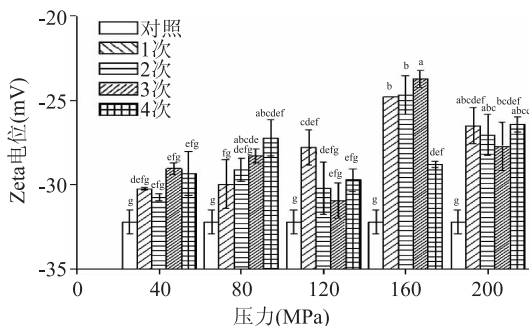


图4 HPM流处理对山药汁 Zeta 电位的影响

Fig.4 Effect of HPM treatment on the Z-potential of yam juice

处理后 a^* 值的变化,随压力增大, a^* 呈减小趋势,但40 MPa时 a^* 值比对照组高,说明40 MPa处理使山药汁红色有增加趋势。图7表示超高压微射流处理后 b^* 值的变化, b^* 值的变化趋势逐渐降低,与对照组相比,160 MPa下出现减小现象,并且处理1、2、3、4次之间差异显著($p < 0.05$)。亮度值是小颗粒吸收散射光得到的数值,亮度值增大,是由于小颗粒数量增多,这与前文粒径得到的数据一致。Calligaris^[11]等对香蕉汁的研究也得到相同结果。从以上可以看出超高压微射流对山药汁的亮度有影响。

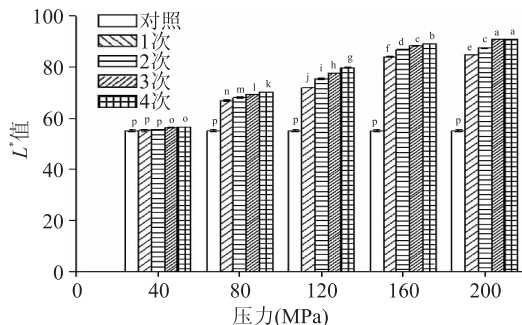


图5 HPM处理对山药汁 L^* 值的影响

Fig.5 Effect of HPM treatment on L^* value of yam juice

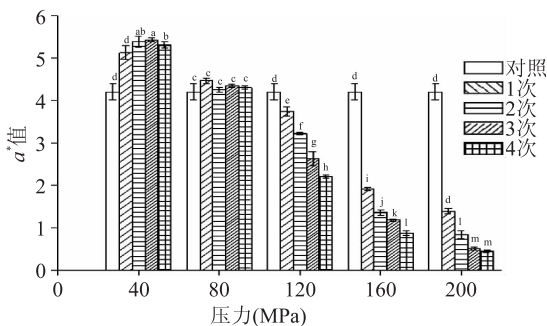
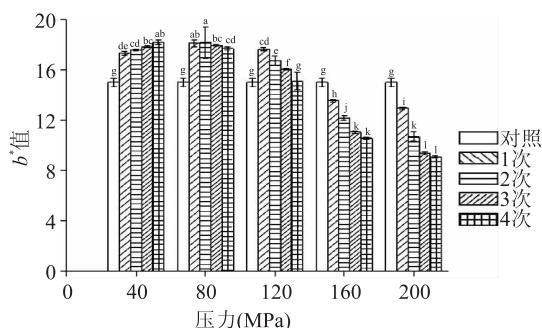


图6 HPM处理对山药汁 a^* 值的影响

Fig.6 Effect of HPM treatment on a^* value of yam juice

2.5 HPM处理对山药汁浊度的影响

浊度可以反映果蔬汁稳定性。从图8中可以看出随着压力的增加,吸光度呈减小趋势,对照组的浊度为0.613,HPM处理对山药汁的浊度有显著性影响($p < 0.05$),160 MPa与200 MPa下的第2、3、4次处理之间差异性不显著($p > 0.05$)。吸光度是悬浮粒子吸收辐射平行光而得到的数值^[12],从粒径分布图上

图7 HPM处理对山药汁 b^* 值的影响Fig.7 Effect of HPM treatment on b^* value of yam juice

可以看出粒径减小,悬浮粒子吸收的光减少,所以浊度值也减小。这与 Kubo 等^[12]研究的番茄汁以及 Betoret^[13]等研究的橘子汁结果相似。

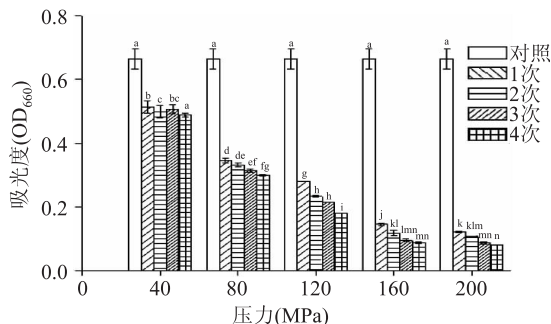


图8 HPM处理对山药汁浊度的影响

Fig.8 Effect of HPM treatment on the turbidity of yam juice

2.6 HPM处理对山药汁非酶褐变度的影响

果蔬汁加工过程中,容易产生褐变现象,褐变又分为酶促褐变和非酶促褐变,由于山药汁加工过程中有加热处理,所以褐变主要以非酶褐变为主。图9是超高压处理后山药汁褐变度的变化情况,从图中可以看出随着压力和次数的增加,褐变度呈现降低趋势,相同次数处理下,40、80、120、160、200 MPa 非酶褐变度显著性减小,非酶褐变度降低,可能是因为压力升高,抑制类黑素的游离自由基生成,从而抑制非酶褐变反应。这与 Tamaoka^[20]等研究压力对美拉德反应过程的结果相似,压力增大,非酶褐变度减小。因此处理压力越高,山药汁褐变程度越低,稳定性越好。

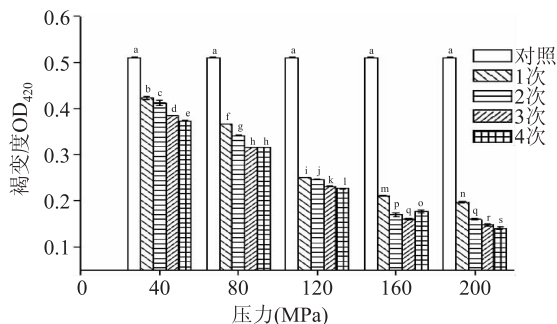


图9 HPM处理对山药汁非酶褐变度的影响

Fig.9 Effect of HPM treatment

on the non-enzymatic browning degree of yam juice

3 结论

山药汁经超高压微射流处理以后,可溶性固形

物含量无显著变化;色泽中 L^* 值的变化非常明显,呈现增大趋势,但是 a^* 值、 b^* 值有减小的趋势;山药汁中粒径大小显著减小,粒径的减小可以提高山药汁的稳定性;经 HPM 处理后,山药汁 Zeta 电位绝对值减小,但在山药汁的稳定范围之内;随着压力的增加,浊度与非酶褐变度有下降趋势。超高压微射流应用于山药汁中,可以改善山药汁的稳定性,可为 HPM 技术在果蔬汁应用中提供基础。

参考文献

- [1] 吕丽莎.山药功能性食品工艺与储藏稳定性研究[D].郑州:河南工业大学,2012.
- [2] 周晓薇,王静,段浩,等.铁棍山药蛋白质的分离纯化及体外抗氧化活性[J].食品科学,2011,32(9):31-35.
- [3] 周庆峰,姜书纳,马亢,等.铁棍山药多糖抗疲劳及耐缺氧作用研究[J].时珍国医国药,2014,25(2):284-285.
- [4] 刘帅,杨小兰,张晓云.长山药粗多糖对果蝇抗衰老作用的研究[J].食品工业科技,2013,34(14):339-341.
- [5] 吴祥庭,董新姣,杨海龙,等.山药皂甙均匀设计法优化提取及其体外抗氧化活性研究[J].中国食品学报,2013,13(2):91-96.
- [6] Sato S, Inahara H, Kurihara J, et al. High - Pressure Homogenization as a Process for Emulsion Formation [J]. Chemical Engineering & Technology, 2004, 27(4):361-368.
- [7] Bríñez W J, Roigsagués A X, Hernández Herrero M M, et al. Inactivation by ultrahigh-pressure homogenization of Escherichia coli strains inoculated into orange juice. [J]. Journal of Food Protection, 2006, 69(5):984-989.
- [8] Espejo G G A, Hernández - Herrero M M, Juan B, et al. Inactivation of Bacillus, spores inoculated in milk by Ultra High Pressure Homogenization [J]. Food Microbiology, 2014, 44(6):204-210.
- [9] 涂宗财,姜颖,陈钢,等.动态超高压微射流对花生球蛋白结构和功能性质的影响[J].食品工业科技,2009(12):73-75.
- [10] 杨诗斌,徐凯,张志森.高剪切及高压均质机理研究及其在食品工业中的应用[J].粮油加工与食品机械,2002(4):33-35.
- [11] Calligaris S, Foschia M, Bartolomeoli I, et al. Study on the applicability of high-pressure homogenization for the production of banana juices [J]. Lebensmittel - Wissenschaft und - Technologie, 2012, 45(1):117-121.
- [12] Kubo M T K, Augusto P E D, Cristianini M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice [J]. Food Research International, 2013, 51(1):170-179.
- [13] 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.
- [14] 涂宗财,张雪春,刘成梅,等.超高压微射流对花生蛋白结构的影响[J].农业工程学报,2008,24(9):306-308.
- [15] Torres J A, Velazquez G. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 67(1):95-112.

(下转第133页)

- [4] Yeung ATY, Gellatly SL, Hancock REW. Multifunctional cationic host defence peptides and their clinical applications[J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2011, 68(13): 2161–2176.
- [5] Hancock REW, Scott MG. The role of antimicrobial peptides in animal defenses[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2000, 97(16): 8856–8861.
- [6] Hultmark D, Steiner H, Rasmuson T, et al. Insect immunity. Purification and properties of three inducible bactericidal proteins from hemolymph of immunized pupae of *Hyalophora cecropia*[J]. European Journal of Biochemistry, 1980, 106(1): 7–16.
- [7] Steiner H, Hultmark D, Engström A, et al. Sequence and specificity of two antibacterial proteins involved in insect immunity[J]. Nature, 1981, 292(5820): 246–248.
- [8] Wang Z, Wang G. APD: the antimicrobial peptide database[J]. Nucleic Acids Research, 2004, 32(suppl 1): D590–D592.
- [9] Wang G, Li X, Wang Z. APD2: the updated antimicrobial peptide database and its application in peptide design[J]. Nucleic Acids Research, 2009, 37(suppl 1): D933–D937.
- [10] Xia LJ, Zhang FC, Liu ZY, et al. Expression and characterization of cecropinXJ, a bioactive antimicrobial peptide from *Bombyx mori* (Bombycidae, Lepidoptera) in *Escherichia coli* [J]. Experimental and Therapeutic Medicine, 2013, 5(6): 1745–1751.
- [11] 李金耀, 张富春, 马正海. 家蚕天蚕素 cDNA 原核表达及抗菌活性检测[J]. 昆虫学报, 2004, 47(3): 407–411.
- [12] 刘忠渊, 张富春, 蔡伦, 等. 酵母菌中表达的新疆家蚕抗菌肽(Cecropin-XJ)的特性研究[J]. 微生物学报, 2003, 43(5): 635–641.
- [13] 刘忠渊, 张富春, 赵干, 等. 新疆家蚕抗菌肽(Cecropin-XJ)在 *Pichia pastoris* 中的表达[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2003, 20(4): 418–421.
- [14] Xia LJ, Liu ZY, Ma J, et al. Expression, purification and

- characterization of cecropin antibacterial peptide from *Bombyx mori* in *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Protein Expression and Purification, 2013, 90(1): 47–54.
- [15] Callaway JE, Lai J, Haselbeck B, et al. Modification of the C terminus of cecropin is essential for broad-spectrum antimicrobial activity[J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 1993, 37(8): 1614–1619.
- [16] Invitrogen. pYES2/CT, pYES3/CT, and pYC2/CT. Yeast expression vectors with C-terminal tags and auxotrophic selection markers. 2003, Invitrogen. http://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/pyes2ctpyes3ctpyc2ct_man.pdf.
- [17] 马勇, 季祥, 蔡禄. 2 种测定产油酵母菌生长曲线方法的比较[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8202–8203.
- [18] 李坡, 谷守芹, 杨阳, 等. 拟南芥 MPK3、MPK4、MPK6 在酵母 *hog1Δ* 中的渗透调节作用[J]. 中国农业学报, 2012, 45(7): 1418–1424.
- [19] 冯金荣. 白念珠菌 CaPTC2, CaPPH3 和 CaPTC5 基因的鉴定和功能研究[D]. 天津: 天津大学, 2010: 23.
- [20] 彭智, 安云庆. pPICZα-LL37-Fcy1 重组质粒的构建及其在毕赤酵母 GS115 中的表达[J]. 细胞与分子免疫学杂志, 2007, 23(10): 969–972.
- [21] Vesterdal J. Studies on the inhibition zones observed in the agar cup method for penicillin assay [J]. Acta Pathologica et Microbiologica Scandinavica, 1946, 24(3–4): 272–282.
- [22] 沈娟, 陆兆新, 别小妹, 等. *Bacillus* sp. fmbJ224 发酵产新型抗菌肽发酵条件的优化研究[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(2): 123–127.
- [23] 杨丽华. 改善酵母的生存环境, 减少酵母死亡及自溶[J]. 酿酒, 2008, 35(3): 58–59.
- [24] 徐进署, 张双全, 闫晓梅, 等. 抗菌肽 CM4 对酿酒酵母原生质体再生抑制作用的研究[J]. 微生物学通报, 2001, 28(3): 56–59.

(上接第 128 页)

- [16] Sentandreu E, M a del Carmen Gurrea, Betoret N, et al. Changes in orange juice characteristics due to homogenization and centrifugation[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(2): 241–245.
- [17] Silva V M, Sato A C K, Barbosa G, et al. The effect of homogenisation on the stability of pineapple pulp[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(10): 2127–2133.
- [18] Karacam C H, Sahin S, Oztot M H. Effect of high pressure

- homogenization (microfluidization) on the quality of Ottoman Strawberry (*F. Ananassa*) juice[J]. Food Science and Technology, 2015, 64(2): 932–937.
- [19] Genovese D B, Lozano J E. The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices [J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15(1): 1–7.
- [20] Tamaoka T, Itoh N, Hayashi R. High Pressure Effect on Maillard Reaction (Food & Nutrition) [J]. Agricultural & Biological Chemistry, 1991, 55(8): 2071–2074.

全国中文核心期刊
轻工行业优秀期刊