

以氯化镁为凝固剂的全豆充填豆腐 质构与流变特性研究

吴超义, 夏晓凤, 成玉梁, 霍建冶, 钱 和*

(江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要:以氯化镁为凝固剂、谷氨酰胺转氨酶为助凝剂,采用复合超微粉碎技术,制备全豆盐卤充填豆腐,并探究了该豆腐凝胶形成过程中的质构特性与流变特性。结果表明:在氯化镁浓度为0.4%(w/w)、谷氨酰胺转氨酶浓度为7U/g(蛋白质)时,全豆盐卤充填豆腐成型完好,凝胶强度最大达到221g,是传统内酯充填豆腐的2.2倍;持水率比传统内酯充填豆腐略小,为70%。在低剪切力阶段,全豆豆浆的粘度远大于传统豆浆,在全豆盐卤充填豆腐形成过程中,与传统内酯充填豆腐类似,储藏模量 G' 值迅速上升,但全豆盐卤充填豆腐 G' 值最终达到3020Pa,而传统内酯充填豆腐 G' 值最终仅为1300Pa。与传统内酯充填豆腐类似,全豆盐卤充填豆腐凝胶形成过程中损耗模量 G'' 值随着时间的变化趋势基本与 G' 值类似,但是 G'' 值远远小于 G' 值,表明在全豆盐卤充填豆腐全凝固过程中形成了典型的弹性凝胶。此外,豆腐凝胶微观结构观察表明全豆盐卤充填豆腐凝胶网络结构没有传统内酯充填豆腐紧密,且有纤维嵌套,从微观上解释了全豆盐卤充填豆腐持水率略低的现象。

关键词:全豆豆腐,质构特性,流变特性

Study on textural properties and rheological characteristics of tofu prepared from whole soybeans with magnesium chloride

WU Chao-yi, XIA Xiao-feng, CHENG Yu-liang, HUO Jian-ye, QIAN He*

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Whole soybean curd was manufactured using ultrafine grinding technology and coagulant which called magnesium chloride and microbial transglutaminase, the texture properties and rheological characteristics of whole soybean curd were researched during the gel formation. The results showed that gel strength of the whole soybean curd reached the maximum of 221g at 0.4% (w/w) magnesium chloride with 7U/g (protein), transglutaminase, 2.2 times stronger than the traditional gluconate- α -lactone soybean tofu, with a slightly lower water holding capacity of 70% than the traditional gluconate- α -lactone soybean tofu, and the tofu showed a typical soybean curd texture. In the low shear stage, viscosity of whole soymilk was much larger than viscosity of traditional soymilk. Storage modulus (G') increased rapidly during gel formation of both types of soybean curd. G' value of whole soybean curd eventually reached 3020Pa while traditional gluconate- α -lactone soybean curd was only 1300Pa. Loss modulus (G'') underwent a similar course as a function of time, but its values remained much lower than G' , which clearly indicated an elastic gel formation. The results of scanning electron microscope showed that whole soybean curd nested with fiber and formed a more loose gel network, which corresponded to a lower water holding capacity.

Key words: whole soybean curd; texture properties; rheological characteristics

中图分类号: TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)06-0143-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.06.024

全豆豆腐是以整粒大豆为原料、加工过程中无任何废料产生的新型营养型豆腐^[1]。对比传统豆腐,全豆豆腐的加工工艺通过超微粉碎技术和复合凝固

技术,保留了传统工艺中随豆渣排放而损失的大豆异黄酮、部分水溶性蛋白质、水不溶性蛋白质、钙镁无机盐以及膳食纤维等成分^[1]。这一方面提高了豆腐

收稿日期: 2014-08-18

作者简介: 吴超义(1989-),男,在读硕士研究生,研究方向:食品资源开发与利用。

* 通讯作者: 钱和(1962-),女,博士,教授,研究方向:食品安全与质量控制。

基金项目: 贵阳市科技支撑项目(2010筑科农合同字第3-08号)。

的产率和营养价值,另外一方面促进了豆制品的清洁化生产。因此,全豆豆腐的潜在市场前景是很广阔的。

本课题组已经研制出与传统内酯充填豆腐品质相当的全豆内酯充填豆腐。凝固剂葡萄糖酸- α -内酯水解缓慢,从而凝固慢,制作的充填豆腐得率高、持水率好、质地细腻,但是内酯豆腐风味、凝胶强度不及盐卤豆腐^[2]。传统盐卤豆腐都是通过压制制得,长期的实践表明,对于传统豆浆,由于氯化镁凝固速率快,导致不能制得成型好、得率高且生产清洁、方便的盐卤充填豆腐^[3]。目前,国内外关于全豆盐卤充填豆腐的研究基本还处于空白阶段,也无相关产品问世。本实验在前期全豆充填内酯豆腐的研究基础上,进一步研究了持水性较高、凝胶强度大的全豆盐卤充填豆腐的制备,初步探究了全豆盐卤充填豆腐完好制备的原理,分析了全豆盐卤充填豆腐的质构与流变特性,为此类产品的开发提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆 中黄十三号;TG酶(谷氨酰胺转氨酶,100U/g) 江苏一鸣生物制品有限公司;葡萄糖酸- α -内酯(质量分数99%) 生工生物工程股份有限公司;食品级氯化镁($MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 质量分数99.6%) 连云港迪康食品添加剂厂;NaHCO₃ 为分析纯。

KS996初粉碎机 祈和电器有限公司;JMS50胶体磨 廊坊廊通机械有限公司;APV1000高压均质机 美国APV公司;M150分离式磨浆机 温岭市迈邦机械设备有限公司;恒温磁力搅拌器 河南省巩义市英峪仪器厂;XTPlus物性分析仪 英国TA公司;AR1000旋转流变仪 英国TA公司;S4800场发射扫描电镜 日本日立公司。

1.2 实验方法

1.2.1 全豆豆浆及豆腐凝胶的制备 大豆经过除残、除杂、清洗后,按1:3的豆水质量比,置于4℃条件下,浸泡18h。浸泡后的大豆经过沥干后,使用0.5%(w/v)的NaHCO₃沸腾溶液对大豆进行热烫处理6min。按1:7的总料水比进行粗粉碎制浆,之后使用胶体磨对浆液再一步进行粉碎1min,然后使用均质机在50MPa的压力下进一步细化豆浆,使用沸水浴对豆浆进行热处理,90℃保温10min^[4],迅速冷却至4℃,得全豆豆浆。

将7U/g(蛋白质)的量的TG酶、一定量的氯化镁加入到盛有50g熟浆的50mL烧杯中,迅速均匀搅拌,使用保鲜膜封口,置于55℃的水浴中保温凝固1h,然后置于80℃的水浴中进行二阶段凝固和灭酶20min^[4]。迅速冷却,置于4℃冷藏室使豆腐凝胶熟化,得全豆盐卤充填豆腐。

1.2.2 传统豆浆及豆腐凝胶的制备 大豆按照1.2.1中全豆豆浆制作工艺中的前处理工艺进行处理后,按1:7的总料水比采用一次打浆、两次洗渣的方法制浆,制浆的同时进行浆渣离心分离。之后使用沸水浴对豆浆进行热处理,90℃保温10min,冷却至4℃,得传

统豆浆。

将0.15g葡萄糖酸- α -内酯加入到盛有50g熟浆的50mL烧杯中,迅速均匀搅拌,使用保鲜膜封口,置于80℃的水浴中保温凝固20min。迅速冷却,置于4℃冷藏室使豆腐凝胶熟化,得传统内酯充填豆腐^[4]。

1.2.3 豆腐凝胶质构特性的评价及持水率测定 豆腐凝胶质构特性的评价采用凝胶强度模型。将制备的处于室温下的豆腐凝胶样品置于载物台上,将分析仪探头对准样品中心。测试参数为:压头型号P/0.5,触发力5g,压缩速度100mm/min,最大位移15mm^[5-6]。每个样品测定3个平行样,取平均值。

豆腐凝胶的持水率按恒重法测定^[7],测定3个平行样,取平均值。

1.2.4 豆腐凝胶流变特性的评价 采用流变仪测定全豆豆浆和传统豆浆的粘度,设置剪切力1~100Pa。采用流变仪测定全豆盐卤充填豆腐和传统内酯充填豆腐凝胶形成过程中储能模量(G')和损耗模量(G'')等参数的变化,具体参数设置如下:

全豆盐卤充填豆腐:取50g已热处理的温度为4℃的全豆豆浆于小烧杯中,加入新鲜配制的TG酶溶液以及新鲜配制的氯化镁溶液,搅拌均匀后迅速将浆料加至样品台上,然后将流变仪探头下降至指定位置,并开始测量,测定时条件设置为:20mm平行板探头;探头与样品间隙:1000 μ m;频率:1Hz;形变:1%;温度扫描程序:升温扫描25~55℃,2℃/min;恒温扫描55℃,60min;升温扫描55~80℃,2℃/min;恒温扫描80℃,20min;降温扫描80~25℃,2℃/min。

传统内酯充填豆腐:取50g已热处理的温度为4℃的传统豆浆于小烧杯中,加入新鲜配制的葡萄糖酸- α -内酯溶液,搅拌均匀后迅速将浆料加至样品台上,然后将流变仪探头下降至指定位置,并开始测量,测定时条件设置为:20mm平行板探头;探头与样品间隙:1000 μ m;频率:1Hz;形变:1%;温度扫描程序:升温扫描25~80℃,2℃/min;恒温扫描80℃,20min;降温扫描80~25℃,2℃/min。测定时使用硅油油封和配套的溶剂盖,使得水分无蒸发,测定的参数确保在线性粘弹性的范围内。

1.2.5 豆腐凝胶微观结构的观察 采用S-4800场发射扫描电镜对样品进行超微结构的分析,方法参考文献[8-9]。

1.2.6 数据处理 实验数据采用统计软件SPSS Statistics 21.0分析,数值以平均值 \pm 标准差表示,均值的显著性水平为0.05。

2 结果与分析

2.1 豆腐凝胶强度特性与持水特性

图1中的传统充填豆腐是以氯化镁为凝固剂的全豆充填豆腐的对照,以葡萄糖酸- α -内酯为凝固剂,采用传统工艺制得。氯化镁-0.2%、氯化镁-0.3%、氯化镁-0.4%、氯化镁-0.5%、氯化镁-0.6%是指添加于全豆熟豆浆中的氯化镁的质量分数分别为0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%,TG酶的添加量均为7U/g(蛋白质)。

传统内酯充填豆腐以作用缓慢的葡萄糖酸- α -

内酯为凝固剂,形成的凝胶网络持水性好、强度不高。全豆盐卤充填豆腐以氯化镁为凝固剂,镁离子与大豆蛋白作用迅速,很快形成“盐桥”,“盐桥”周围的大豆蛋白迅速形成强度较大、密度较低的凝胶网络^[10],但是凝固速率过快又不利于完好凝胶网络的形成。另外,全豆盐卤充填豆腐中添加了TG酶,由于TG酶可以催化大豆蛋白残基形成 ϵ -赖氨酸共价键,TG酶的添加起到了包埋豆渣纤维的作用,同时又在一定程度上提高了全豆盐卤充填豆腐凝胶网络的强度和密度,起到了增强凝胶强度和保水性作用。

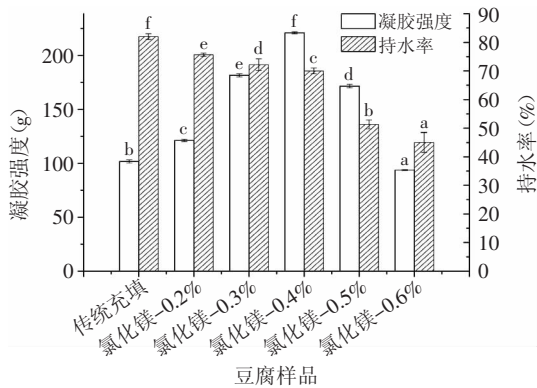


图1 不同充填豆腐凝胶样品的凝胶强度和持水率
Fig.1 Gel strength and water holding capacity of different soybean curd samples

如图1所示,相对于传统内酯充填豆腐,全豆盐卤充填豆腐的持水性较低,且随着氯化镁浓度的递增持水性持续下降,这是由于随着氯化镁浓度的递增,凝固速率增加导致形成的凝胶网络不致密,全豆盐卤充填豆腐的持水率逐渐减小,在氯化镁浓度小于0.4%时,可能由于TG酶作用以及全豆豆浆本身的粘度特性,全豆盐卤充填豆腐的持水率虽然较传统内酯充填豆腐小,但是仍处于一个较高的水平;随着氯化镁浓度的递增全豆盐卤充填豆腐凝胶强度先增加后减小,在氯化镁浓度为0.4%时凝胶强度达到最大值221g,是由于在TG酶的作用前提下,氯化镁浓度小于0.4%时,随着氯化镁浓度的递增,凝固速率增加导致形成的凝胶网络强度越来越大。当氯化镁浓度大于0.4%时,全豆盐卤充填豆腐的凝胶强度和持水率都急剧下降($p < 0.05$),这是由于氯化镁浓度过大,凝胶网络形成速度过快而使得凝胶网络不致密、强度弱化甚至坍塌。

2.2 豆腐凝胶流变特性

2.2.1 豆浆粘度特性 如图2所示,在低剪切力阶段,全豆豆浆的粘度远大于传统豆浆,但随着剪切力的增加,两种豆浆的粘度都迅速下降。传统豆浆在剪切力为25Pa时保持相对稳定,而全豆豆浆在剪切力达到47Pa时才趋于相对稳定。

全豆豆浆是整粒大豆被机械力超微粉碎后得到的,在粉碎过程中形成的半纤维素、纤维素碎片具有较强的吸水溶胀作用^[11],对比于传统豆浆,全豆

浆具有更高的粘度和固形物含量,这也从一方面解释了全豆豆浆可以以氯化镁为凝固剂制作成型良好、盐卤风味突出的充填豆腐,而传统盐卤豆腐需要压制才能较好成型的特点。

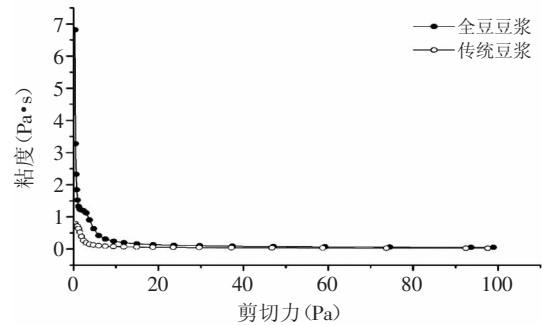


图2 全豆豆浆与传统豆浆的粘度对比
Fig.2 Viscosity of whole soybean curd and traditional soybean curd

2.2.2 豆腐凝胶全凝胶过程 图3(a)和(b)展示的分别是全豆盐卤充填豆腐与传统内酯充填豆腐的全凝固过程中储藏模量 G' 、损耗模量 G'' 、凝固体体系温度随时间的变化情况。 G' 反映的是剪切形变循环中可恢复的能量,即反映固体部分的性质; G'' 反映的是剪切形变循环中消耗的能量,即反映液体方面的性质^[12]。

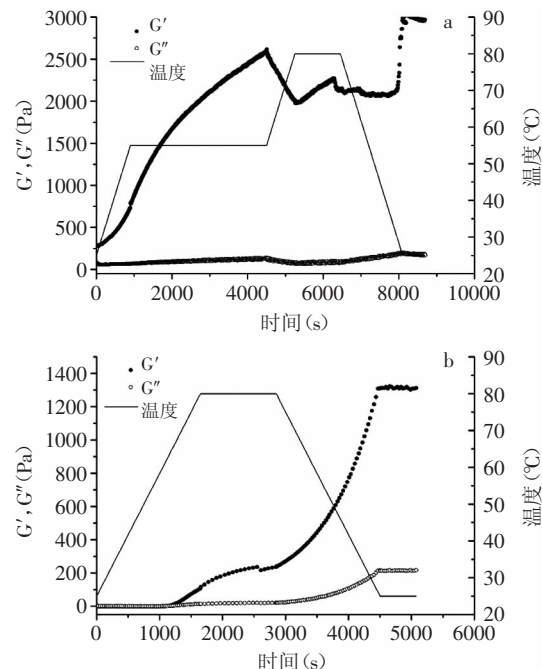


图3 全豆盐卤充填豆腐与传统内酯充填豆腐的动态粘弹特性曲线

Fig.3 Dynamic viscoelastic properties of whole soybean curd and traditional soybean curd

注:a:全豆盐卤充填豆腐(氯化镁,0.4%)的动态粘弹特性曲线;b:传统内酯充填豆腐(葡萄糖酸- α -内酯,0.3%)的动态粘弹特性曲线。

在整个凝固过程中,图3(a)中, G' 值处于25~55℃升温阶段、55℃恒温阶段以及80~25℃降温阶段,

G' 值最终达到3020Pa。这可能主要是由于在25~55℃阶段、55℃恒温阶段,越来越多的蛋白分子、多糖-TG酶-蛋白络合分子聚向于凝胶网络,使得凝胶网络强度越来越大, G' 值迅速升高,而在降温阶段, G' 值迅速升高,这主要是非共价键作用的结果^[13],因为随着温度的降低,分子间吸引力可以通过氢键这类非共价键得到极大的加强,凝胶网络强度迅速变大。图3(b)中, G' 值主要处于80℃恒温阶段以及80~25℃升温阶段, G' 值最终只达到1300Pa。恒温阶段 G' 值迅速的升高也可能是蛋白分子聚向凝胶网络的结果,而降温阶段 G' 值的迅速升高也主要是非共价键作用的结果^[14]。

在整个凝固过程中,图3(a)和(b)中 G'' 值随着时间的变化趋势都基本与 G' 值类似,但是 G'' 值远远小于 G' 值,这表明两种全凝固过程中都形成了弹性凝胶^[14]。

然而,图3(a)中,在凝固初始阶段, G' 值就大于 G'' 值,随着时间的变化未观察到 G' 曲线和 G'' 曲线的相交;而图3(b)中,在1068s时, G' 开始超过 G'' ,表明传统内酯充填豆腐浆液开始由“溶胶”转变为“凝胶”^[15],开始形成凝胶网络。全豆豆浆中添加氯化镁和TG酶后、在样品开始测定前,由于氯化镁作用的迅速性,全豆盐卤充填豆腐浆液就已经经过了由“溶胶”转变为“凝胶”的过程。

2.3 豆腐凝胶微观结构

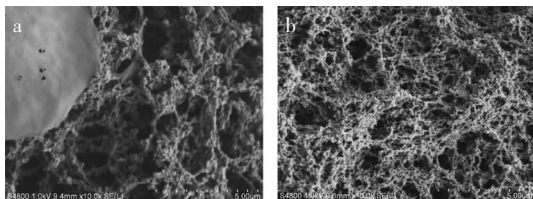


图4 全豆盐卤充填豆腐和传统内酯充填豆腐的超微结构(10000×)

Fig.4 Micrograph of SEM of whole soybean curd and traditional soybean curd (10000×)

注:a:是全豆盐卤充填豆腐(氯化镁,0.4%)的超微结构;b:是传统内酯充填豆腐(葡萄糖酸- α -内酯,0.3%)的超微结构。

从图4可以看出,全豆盐卤充填豆腐与传统内酯充填豆腐凝胶结构存在差异,传统内酯充填豆腐凝胶呈现较致密的、有序的网络结构,而全豆盐卤充填豆腐凝胶网络结构相对而言致密性较低,且存在片状纤维嵌套于蛋白-多糖凝胶网络结构中。

传统内酯充填豆腐的凝胶网络结构形成,是豆浆在葡萄糖酸- α -内酯的缓慢水解作用下,体系pH下降,豆浆pH处于体系等电点左右而发生缓慢凝固的过程^[16]。与传统内酯充填豆腐相比,全豆盐卤充填豆腐凝胶结构的形成比较复杂,如图4(a)所示,由于纤维素的存在,一定程度上干扰了蛋白凝胶网络结构形成。通过图4中(a)和(b)的对比,发现虽然有TG酶的作用,但全豆盐卤充填豆腐凝胶结构中块状凝胶结构还是没有内酯充填豆腐紧密,这也从微观结构上解释了全豆盐卤充填豆腐持水性低于传统内酯充填豆腐的现象。

3 结论

以氯化镁为凝固剂、TG酶为助凝剂,在氯化镁浓度为0.4% (w/w)时,全豆豆浆能形成强度大、持水性较好的全豆盐卤充填豆腐。虽然有TG酶的作用,全豆盐卤充填豆腐凝胶网络结构依然没有传统内酯充填豆腐紧密,且有纤维嵌套在凝胶网络中间,其持水率比传统充填内酯豆腐小。在低剪切力阶段,全豆豆浆的粘度远大于传统豆浆,在全豆盐卤充填豆腐形成过程中,与传统内酯充填豆腐类似,储藏模量 G' 迅速上升,全豆盐卤充填豆腐 G' 值最终为3020Pa,比传统内酯充填豆腐 G' 值大1720Pa,这是全豆盐卤充填豆腐凝胶强度比传统内酯充填豆腐大的微观表现;损耗模量 G'' 值随着时间的变化趋势基本与 G' 值类似,但是 G'' 值远远小于 G' 值,这表明与内酯充填豆腐一样,在全豆盐卤充填豆腐全凝固过程中也形成了典型的弹性凝胶。

参考文献

- [1] 刘显彤,钱和. 不同加工条件对全豆腐凝胶强度的影响[J]. 食品工业科技,2013(5):126-129.
- [2] 田其英,华欲飞. 豆腐生产研究进展[J]. 粮食与油脂,2007(9):7-10.
- [3] 王荣荣,王家东,周丽萍,等. 豆腐凝固剂的研究进展[J]. 畜牧兽医科技信息,2006(1):78-79.
- [4] 迟玉森. 新编大豆食品加工原理与技术[M]. 北京:北京科学出版社,2014:81-85.
- [5] Song H N, Jung K S. Quality characteristics and physiological activities of fermented soybean by lactic acid bacteria[J]. Korean J Food Sci Technol, 2006, 38(4):475-482.
- [6] Saowapark S, Apichartsrangkoon A, Bell A E. Viscoelastic properties of high pressure and heat induced tofu gels[J]. Food Chemistry, 2007, 107(3):984-989.
- [7] Onodera Y, Ono T, Nakasato K, et al. Homogeneity and microstructure of tofu depends on 11S/7S globulin ratio in soymilk and coagulant concentration[J]. Food Science and Technology Research, 2009, 15(3):265-274.
- [8] Noh E J, Park S Y, Pak J I, et al. Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatment of soybeans[J]. Food Chemistry, 2005, 91(4):715-721.
- [9] Shih C T, Chang Y J, Hsieh B T, et al. Microscopic SEM Texture Analysis of NIPAM Gel Dosimeters[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2013, 60(3):2155-2160.
- [10] 陈莉,钟芳,王璋. 凝固剂及凝固条件对大豆蛋白凝胶性质的影响[J]. 中国乳品工业, 2004, 32(9):23-27.
- [11] Ramamoorthy S K, Di Q, Adekunle K, et al. Effect of water absorption on mechanical properties of soybean oil thermosets reinforced with natural fibers[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2010, 31(18):1191-1200.
- [12] Joo S I, Kim J E, Lee S P. Physicochemical Properties of Whole Soybean Curd Prepared by Microbial Transglutaminase[J]. Food Sci Biotechnol, 2011, 20(2):437-444.
- [13] Martinez M J, Farias M E, Pilosof A M R. The dynamics of

(下转第152页)

表5 纯化前后样品的GC-MS分析结果
Table 5 The results of capsaicinoids samples before and after purification

名称	保留时间 (min)	分子式	峰面积		相对含量(%)	
			纯化前	纯化后	纯化前	纯化后
2,2'-亚甲基双(6-叔丁基-4-甲基)苯酚 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)- 4-methyl]Phenol-	27.114	C ₂₃ H ₃₂ O ₂	186597.30±71005.98	136424.00±24067.18	2.51±0.40	0.35±0.01
壬酰香荚兰胺Nonyl Vanillylamide	28.015	C ₁₇ H ₂₇ NO ₃	76879.33±24495.47	185432.70±39071.45	0.83±0.05	0.47±0.03
降二氢辣椒碱Nordihydrocapsaicin	28.581	C ₁₇ H ₂₇ NO ₃	21331.33±4980.04	90174.67±27257.98	0.33±0.09	0.23±0.04
辣椒碱Capsaicin	29.137	C ₁₈ H ₂₇ NO ₃	5811686.00±2084179.00	19663117.00±2968932.00	61.86±0.80	62.00±0.31
二氢辣椒碱Dihydrocapsaicin	29.439	C ₁₈ H ₂₉ NO ₃	3209799.00±1062322.00	18383437.00±2432391.00	34.39±0.62	34.84±0.54
高辣椒碱Homocapsaicin	30.476	C ₁₉ H ₂₉ NO ₃	44236.33±19521.15	594082.00±145017.10	0.46±0.07	1.50±0.13
高二氢辣椒碱Homodihydrocapsaicin	30.8	C ₁₉ H ₃₁ NO ₃	9516.667.00±6106.80	246249.30±64197.85	0.10±0.03	0.62±0.06

pH4, 解吸速度3BV/h; 以水为结晶溶剂结晶两次得白色、针状辣椒碱类化合物晶体, 最佳工艺为: 结晶溶剂pH11.32, 结晶温度20℃。

GC-MS的分析结果表明纯化后辣椒碱类化合物的含量明显提高, 约为原料中含量的2.11倍; 纯化前后辣椒碱类化合物各单体的种类没有变化, 其中辣椒碱的相对含量为62.00%、二氢辣椒碱的相对含量为34.84%。

参考文献

- [1] 魏西玉, 帅莉, 郭道森, 等. 辣椒碱的抑菌活性研究[J]. 食品科学, 2006, 27(8): 76-78.
- [2] 郭丽, 王巧珍, 朱林, 等. 辣椒碱抗病原菌活性及其在番茄酱防腐中的应用[J]. 合肥工业大学学报, 2006, 29(1): 117-121.
- [3] 安中立. 辣椒制品辣度分级及辣椒碱的抑菌研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [4] 刘可春, 韩利文, 党立, 等. 辣椒碱的抑菌效果研究[J]. 山东科学, 2007, 20(2): 38-40.
- [5] Jones N L, Shabib S, Sherman P M. Capsaicin as an inhibitor of the growth of the gastric pathogen *Helicobacter pylori* [J]. FEMS Microbiology Letters, 1997, 146(2): 223-227.
- [6] 胡震, 张利, 于海莲. 辣椒碱的提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 87-90.
- [7] 张郁松. 碱性乙醇法提取辣椒碱的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 70-73.
- [8] 张郁松. 大孔树脂法纯化辣椒碱的工艺[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2): 31-34.
- [9] 张世文, 汪万法. 离子交换法制备高纯辣椒碱类化合物[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2002, 7(3): 208-211.
- [10] 张阳, 王立升, 周永红, 等. 离子交换纤维柱分离纯化辣椒碱类化合物[J]. 精细化工, 2011, 28(2): 130-134.
- [11] 张世文, 姚祖凤. 萃取-结晶法制备高纯辣椒碱类化合物[J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2002, 23(2): 90-92.
- [12] 邓传波. 辣椒碱绿色萃取技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [13] 陶红, 蒋林, 郑锡康, 等. 响应曲面法优化辣椒油树脂分离条件及分离产物的抗氧化活性测定[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 87-93.
- [14] 朱妞, 訾荣禄. 高速逆流色谱法分离纯化辣椒碱研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(1): 77-79.
- [15] 罗春丽, 张鹏. 酸碱-萃取法制备辣椒碱类化合物工艺探讨[J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 156-158.
- [16] 赵爱云, 滕大为. 辣椒精中辣椒碱的提取工艺[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(7): 82-83.
- [17] 艾秀珍. 辣椒碱类化合物及辣椒碱单体的提取与纯化[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [18] 任召言, 张慧. 辣椒精的精制及辣椒素的HPLC测定[J]. 中国食品添加剂, 2002(1): 75-76.
- [19] 张晓旭, 崔波, 孙菲菲. 从辣椒精中超声提取辣椒碱[J]. 食品工业, 2011(1): 91-94.
- [20] Bajaj K L, Kaur G. Colorimetric determination of capsaicin in Capsicum fruits with the Folin - Ciocalteu reagent[J]. Microchimica Acta, 1979, 71(1-2): 81-86.
- [21] 董新荣, 刘仲华, 庄杨, 等. 辣椒中辣椒素与色素提取的优化研究[J]. 化学与生物工程, 2006, 23(2): 28-30.
- [22] 纪良霞, 王立升, 乔红运, 等. 广西指天椒辣椒油树脂成分的GC-MS分析[J]. 云南化工, 2005, 32(3): 24-26.
- [23] 张立华, 张元湖, 安春艳, 等. 石榴皮提取物的大孔树脂纯化及其抗氧化性能[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 142-147.
- [24] Xiong C, Zhu S, Yao C, et al. Adsorption behavior of Pd(II) from aqueous solutions by D201 resin[J]. Rare Metals, 2011, 30(5): 470-476.
- [25] 董新荣, 刘仲华, 郭德音, 等. 大孔吸附树脂对辣椒素类物质的富集[J]. 应用化学, 2007, 11(24): 1245-1249.

(上接第146页)

heat gelation of casein glycomacropptide - β - lactoglobulin mixtures as affected by interactions in the aqueous phase[J]. International Dairy Journal, 2010, 20(9): 580-588.

[14] Spotti M J, Martinez M J, Pilosof A M R, et al. Rheological properties of whey protein and dextran conjugates at different

reaction times[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 38: 76-84.

[15] 钟芳. 方便(即冲即凝)豆腐花的制备及大豆蛋白速凝机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2001.

[16] 韩丽英. 大豆蛋白凝胶特性对豆腐品质影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.