

谷氨酰胺转氨酶和添加物 对海地瓜凝胶品质的影响

何 衍, 吴光斌, 陈发河*

(集美大学食品与生物工程学院, 福建厦门 361021)

摘要:本文以干海地瓜为原料, 发泡后将其体壁打浆, 在加热条件下与谷氨酰胺转氨酶(TGase)以及其他添加物(大豆分离蛋白(SPI)、酪蛋白酸钠(SC)和食盐)等物质进行复配, 研究了体壁匀浆水分含量以及 TGase、SPI、SC 和食盐的添加量五个因素对海地瓜凝胶的凝胶强度、硬度、弹性和咀嚼度等品质影响。实验结果表明, SC 和 TGase 添加量对凝胶强度影响极显著($p < 0.01$), 其余因素对凝胶强度影响显著($p < 0.05$); 咀嚼度和硬度受水分含量和 TGase 添加量影响显著($p < 0.05$), 硬度受水分含量影响显著($p < 0.05$), 其余因素对二者影响均不显著($p > 0.05$); 所有因素对弹性的影响均不显著($p > 0.05$)。通过对比海地瓜复配凝胶和纯海地瓜凝胶发现, 添加了 TGase、SPI、食盐、SC 等四种外源添加物的复配体系的凝胶强度、咀嚼度和硬度都有显著提升($p < 0.05$), 而弹性的变化不显著($p > 0.05$)。

关键词:海地瓜, 谷氨酰胺转氨酶, 添加物, 凝胶品质

Effects of transglutaminase and additive agents on gel quality of *Acaudina molpadioides*(*Semper*)

HE Kan, WU Guang-bin, CHEN Fa-he*

(College of Food and Bioengineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In this paper, the body wall from dried *Acaudina molpadioides*(*Semper*) after soaked and beating was used as raw material and compounded with transglutaminase(TGase) and other substances such as soy protein isolate(SPI), sodium caseinate(SC) and salt under heating conditions. Then the effects of moisture content of homogenate, addition of TGase, SPI, SC and salt on gel quality (gel strength, chewiness, hardness and springness) of the compounded system were studied. According to the results, the addition of SC and TGase had a very significant influence on gel strength($p < 0.01$), and the other three factors had significant influence on gel strength($p < 0.05$), chewiness was influenced significantly by moisture content and addition of TGase, and hardness was influenced significantly by moisture content($p < 0.05$), while other factors showed no significantly influence on them($p > 0.05$). All the factors did not have significant influence on springness($p > 0.05$). With comparison between the mixed *Acaudina molpadioides* gel and the pure *Acaudina molpadioides* gel. The results indicated that gel strength, chewiness and hardness of the mixed system contained TGase, SPI, salt and SC were significantly increased($p < 0.05$) while there was no significant influence on springiness($p > 0.05$).

Key words: *Acaudina molpadioides*(*Semper*) ; transglutaminase; additives; gel quality

中图分类号: TS254.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2016)11-0067-06
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2016.11.005

海地瓜[*Acaudina molpadioides* (*Semper*)] 属于棘皮动物海参纲, 芋参目, 尻参科, 海地瓜属^[1], 因其体形和颜色都很像番薯, 又被称为海番薯、海茄子。活体呈肉红色、纺锤形, 干制后背部为棕黑色, 腹部为浅棕色。海地瓜盛产于亚热带海域, 日本、菲律宾以及我国的浙江、福建、广东、海南沿海均有, 产量丰富, 估计储量达到 10^6 t^[2], 通常生活于水深 53~122 m 的沙底, 所以其体腔内泥沙含量较高。

海地瓜体壁中营养成分极其丰富, 是一种高蛋白、重铁质、低脂肪、低胆固醇的食品, 其营养价值并不亚于刺参等名贵品种^[3-4], 医学上认为其适宜高血压、高血脂、冠心病、肝炎、贫血等病症患者食用。但是, 其食用口感较差、品质硬, 不宜直接作为食材, 所以食用率较低。由于海地瓜低劣的食用品质导致其并未得到充分的开发利用, 加上其有捕获后自溶的特点, 目前在市场上的流通形式主要以其干制品为

收稿日期: 2015-11-19
作者简介: 何衍 (1990-), 男, 硕士, 研究方向: 水产品加工, E-mail: 342512587@qq.com。
* 通讯作者: 陈发河 (1960-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: fhchen@jmu.edu.cn。
基金项目: 福建省科技计划重点项目 (2013N0023); 厦门南方海洋研究中心科技项目 (14GZP007NF07)。

主。现阶段国内外对海地瓜的研究主要集中在对其多糖和多肽等低含量成分的分析^[5-8],导致原料的大量浪费,因此为提高海地瓜资源的利用率,开发新型、高值海地瓜产品成为当务之急。

海地瓜体壁匀浆可以形成不稳定的弱凝胶,为提高其凝胶品质和稳定性,可借鉴鱼糜等质构重组制品的生产经验,向匀浆中添加其他物质,如谷氨酰胺转氨酶、大豆分离蛋白、淀粉、卡拉胶等^[9-11]。本实验以海地瓜干品为原料,泡发后将体壁洗净打浆,通过分析体壁匀浆水分含量、谷氨酰胺转氨酶以及大豆分离蛋白、酪蛋白酸钠、食盐等因素对海地瓜凝胶的凝胶强度、咀嚼度、硬度和弹性四个指标的影响规律,以期为开发食用品质良好的海地瓜新产品及海地瓜的高值化利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

干白肛海地瓜(*Acaudina leucoprocta*) 连云港绿洋食品有限公司;谷氨酰胺转氨酶(transglutaminase, TGase, TG-B型, 119.2 U/g) 江苏欣瑞食品科技发展有限公司;大豆分离蛋白(soy protein isolate, SPI) 谷神生物科技集团有限公司;酪蛋白酸钠(sodium caseinate, SC) 甘南州科瑞乳品开发有限公司;食盐 市售。

DJM-5 胶体磨 上海顺仪实验设备有限公司;AL104 分析天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;MA35 快速水分测定仪 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;JJ-1B 电动数显搅拌机 金坛市科析仪器有限公司;KDC-1044 低速离心机 科大创新股份有限公司中佳分公司;DHG-9146A 鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;HH-4 恒温水浴锅 金坛市鸿科仪器厂;XB130 雪花制冰机 美国 Grant 公司;TMS-Pro 质构仪 美国 FTC 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 纯海地瓜凝胶的制备 随机选择 30 个干海地瓜用自来水泡发 12~24 h 后,去除泥沙和内脏,洗净体壁剪碎后装入锥形瓶中 100 ℃ 水浴 6 h。趁热用胶体磨将体壁打浆,得到均匀无明显颗粒的海地瓜体壁匀浆,测定并调节其水分含量,搅拌均匀后装入 50 mL 离心管中 2000 r/min 离心 10 min 除去气泡。采用二段加热法(50 ℃ 水浴 30 min, 90 ℃ 水浴 30 min)促进凝胶的形成,4 ℃ 贮藏 24 h 后,待测。

1.2.2 海地瓜复配凝胶的制备 称取 30 g 海地瓜体壁匀浆于烧杯中,依次添加一定量的食盐、SPI、SC、TGase,搅拌均匀后装入 50 mL 离心管中 2000 r/min 离心 10 min 除去气泡。采用二段加热法(50 ℃ 水浴 30 min, 90 ℃ 水浴 30 min)促进复配凝胶的形成,4 ℃ 贮藏 24 h 后,待测。

1.2.3 不同因素对海地瓜复配凝胶品质的影响 分别以海地瓜体壁匀浆水分含量、SPI 添加量、食盐添加量、SC 添加量以及 TGase 添加量为因素,选择凝胶强度、咀嚼度、硬度和弹性作为评价凝胶品质的依据,研究和分析不同因素对各个指标的影响。

1.2.3.1 海地瓜体壁水分含量对凝胶品质的影响

在食盐添加量 1%、SPI 添加量 5%、SC 添加量 1%、TGase 添加量 238.4 U/100 g 匀浆的条件下,通过调节海地瓜体壁匀浆的水分含量,观察海地瓜体壁匀浆水分含量的变化对凝胶品质的影响。

1.2.3.2 SPI 添加量对凝胶品质的影响 在海地瓜体壁匀浆水分含量 80%、食盐添加量 1%、SC 添加量 1%、TGase 添加量 238.4 U/100 g 匀浆的条件下,分别添加不同比例的 SPI 进行实验,观察 SPI 添加量对复配凝胶品质的影响。

1.2.3.3 食盐添加量对凝胶品质的影响 在海地瓜体壁匀浆水分含量 80%、SPI 添加量 2%、SC 添加量 1%、TGase 添加量 238.4 U/100 g 匀浆的条件下,分别添加不同比例的食盐进行实验,观察食盐添加量对复配凝胶品质的影响。

1.2.3.4 SC 添加量对凝胶品质的影响 在海地瓜体壁匀浆水分含量 80%、SPI 添加量 2%、食盐添加量 1%、TGase 添加量 238.4 U/100 g 匀浆的条件下,分别添加不同比例的 SC 进行实验,观察 SC 添加量对复配凝胶品质的影响。

1.2.3.5 TGase 添加量对凝胶品质的影响 在海地瓜体壁匀浆水分含量 80%、SPI 添加量 2%、食盐添加量 1%、SC 添加量 0.5% 的条件下,分别添加不同比例的 TGase 进行实验,观察 TGase 添加量对复配凝胶品质的影响。

1.2.4 凝胶强度测定 凝胶强度(Gel Strength, GS)是评判凝胶品质的一个重要指标,其值用 TMS-Pro 质构仪测定。将 4 ℃ 贮藏后的海地瓜复配凝胶切成高 30 mm、直径 20 mm 的圆柱,置于 TMS-Pro 质构仪的样品台上,选取直径 5 mm 的球状探头,测前速度 30 mm/min,测中速度 30 mm/min,回程速度 100 mm/min,触发力 0.05 N。凝胶强度数值上等于凹陷深度与破断强度的乘积,单位为 g·mm^[12]。每个样品做三组平行,取平均值。

1.2.5 质构测定(TPA 测定) 咀嚼度(Chewiness)表示将固体样品咀嚼成吞咽时的稳定状态所需的能量^[13],单位为 mJ。硬度(Hardness)反映的是凝胶中蛋白质分子之间相互作用力的强弱以及分子间成键数目的多少,单位为 N。弹性(Springness)反映了凝胶结构在被下压后所受的破坏程度的大小,弹性越大表明其破坏程度越小,单位为 mm。三个指标使用 TMS-Pro 质构仪进行测定。质构仪测定时,模仿的是口腔的咀嚼运动。将 4 ℃ 贮藏后的海地瓜复配凝胶切成高 30 mm、直径 20 mm 的圆柱,置于 TMS-Pro 质构仪的样品台上,探头型号为 TA25(圆柱型探头、直径 50 mm、长度 20 mm),测前速度 60 mm/min,测试速度 60 mm/min,测后速度 60 mm/min,压缩比 30%,触发类型自动,触发力 0.05 N。做两次往复运动,间隔时间 5 s,测定完毕可以得到咀嚼度、硬度和弹性的数值。每个样品做三组平行,取平均值。

1.2.6 数据处理 实验数据处理时使用的软件包括 Microsoft Office 2013, SPSS 17.0, Design Expert 8.0。

2 结果与讨论

2.1 纯海地瓜凝胶品质

按 1.2.1 中的方法制备水分含量为 80% 的纯海地瓜凝胶,并测定其凝胶强度、咀嚼度、硬度和弹性,不同指标的值如表 1 所示。

表 1 纯海地瓜凝胶不同指标值
Table 1 The value of different index of the pure *Acaudina molpadioides* gel

指标	凝胶强度 (g·mm)	咀嚼度 (mJ)	硬度 (N)	弹性 (mm)
数值	1368.21 ± 117.25	43.59 ± 4.54	5.83 ± 0.44	8.26 ± 0.18

在加热作用下,海地瓜体壁匀浆中蛋白质肽链充分伸展,暴露出蛋白质内部的疏水基团,蛋白质通过疏水作用发生聚集。此外蛋白质分子之间还有氢键、二硫键、静电作用等其他作用力的存在,所以海地瓜体壁匀浆自身能形成较弱的不稳定凝胶。而且,在实验过程中发现,纯海地瓜凝胶在室温状态下会逐渐软化。原因是由于蛋白分子在凝胶形成过程中相互之间的作用力弱,易受温度影响而被破坏。所以本研究通过向海地瓜体壁匀浆中添加其他物质,旨在获得稳定性更好、凝胶品质更佳的海地瓜凝胶。

2.2 海地瓜体壁匀浆水分含量对凝胶品质的影响

在 1.2.3.1 的条件下,研究海地瓜体壁水分含量对凝胶品质的影响,实验结果见图 1、图 2。

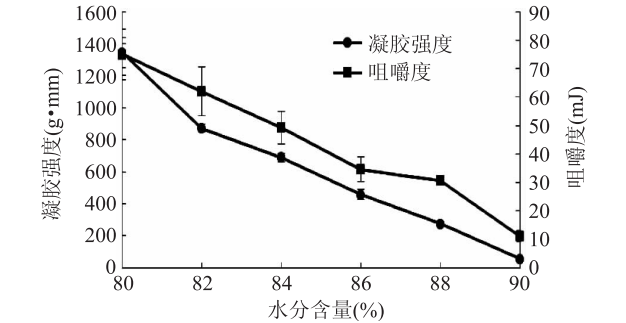


图 1 水分含量对凝胶强度和咀嚼度的影响
Fig.1 Effects of moisture content on gel strength and chewiness

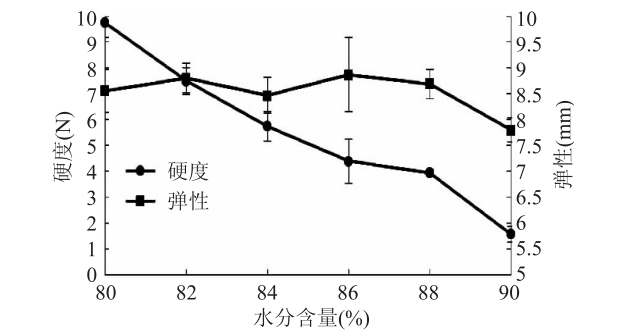


图 2 水分含量对硬度和弹性的影响

Fig.2 Effects of moisture content on hardness and springness

干海地瓜吸水泡发后,体壁中的水分含量接近 80%。匀浆后调节其水分含量,由图 1 和图 2 可知,随着匀浆水分含量的升高,重组制品的凝胶强度、咀嚼度和硬度都显著 ($p < 0.05$) 降低,而弹性变化不显著 ($p > 0.05$)。水分对于热诱导蛋白凝胶的形成是至

关重要的,只有当水分含量达到某一程度时,蛋白质才能充分溶胀,在加热条件下肽链充分伸展,内部基团进一步暴露出来,使蛋白质互相聚集包裹住水分形成凝胶。随着匀浆中水分含量增加,体系中的自由水含量越来越多,蛋白质浓度降低,部分蛋白质和水分子发生结合,从而导致蛋白质之间的结合减少,蛋白质分子间的相互作用减弱,而蛋白质-水分子的结合力要小于蛋白质-蛋白质的结合力,导致形成的凝胶网络不够致密,所以在水分含量 80%~90% 的范围内凝胶强度、咀嚼度和硬度持续降低。水分含量在 80%~88% 之间时弹性变化不大,说明在此变化范围内形成的凝胶抵抗外界压力的能力差异不大,而当水分含量 $> 88\%$ 时,弹性有所降低,可能是由于形成的凝胶结构弱,抵抗外界压力的能力降低,受破坏程度增大,不足以包裹住过多的水分。王卫芳^[14]在对鱼肉猪肉复合凝胶的研究中也发现水分含量增高会导致产品凝胶特性的降低。因此为了减少海地瓜体壁匀浆水分含量的不同带来的实验误差,后续实验中水分含量均调节至 80%。

2.3 SPI 添加量对凝胶品质的影响

在 1.2.3.2 的条件下,研究 SPI 添加量对凝胶品质的影响,实验结果见图 3、图 4。

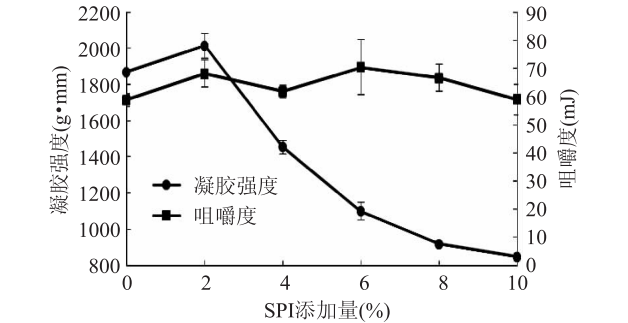


图 3 SPI 添加量对凝胶强度和咀嚼度的影响

Fig.3 Effects of the addition of soy protein isolate on gel strength and chewiness

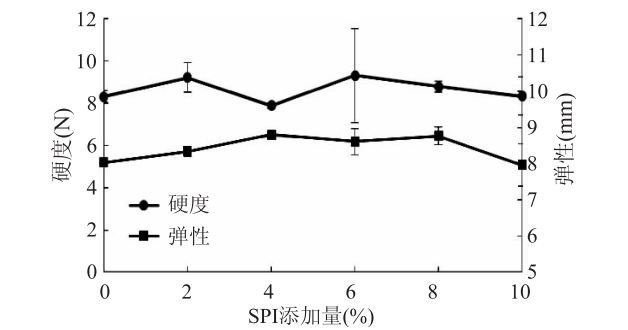


图 4 SPI 添加量对硬度和弹性的影响

Fig.4 Effects of the addition of soy protein isolate on hardness and springiness

SPI 是质构重组制品中常用的功能性填充剂和营养强化物,可以填充在凝胶网络中,通过其自身的凝胶作用或者与原料的交联作用来改善重组制品的凝胶特性。经数据分析发现,SPI 添加量对凝胶强度的影响显著 ($p < 0.05$),对咀嚼度、硬度和弹性的影响不显著 ($p > 0.05$)。由图 3 和图 4 可知,在低 SPI 添

加量时,制品可以获得较大的凝胶强度。当 SPI 添加量大于 2% 时,凝胶强度随着 SPI 添加量的增加逐渐降低。原因可能是因为低 SPI 添加量可以填充至匀浆蛋白凝胶的孔隙,使凝胶结构更加紧致,而高 SPI 添加量反而会稀释原有蛋白的浓度,阻滞本身凝胶的形成,Luo YongKang 等^[15]通过研究不同条件下 SPI 对阿拉斯加鳕鱼鱼糜以及鲤鱼鱼糜的影响也得出了类似的结论。此外,SPI 添加量对于其余三个指标的影响较小,可能是由于整个体系中 SPI 所占比例小,对凝胶感官品质的影响也小。所以,本实验中当 SPI 添加量为 2% 的较适宜,四个指标均可获得较理想的值。

2.4 食盐添加量对凝胶品质的影响

在 1.2.3.3 的条件下,研究食盐添加量对凝胶品质的影响,实验结果见图 5、图 6。

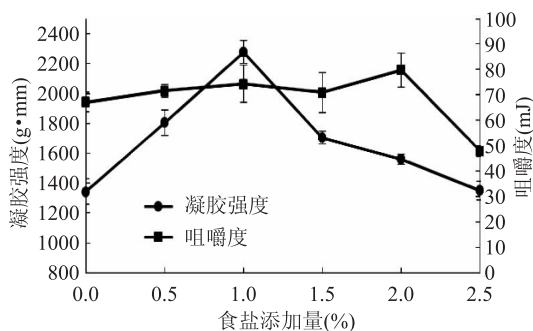


图 5 食盐添加量对凝胶强度和咀嚼度的影响

Fig.5 Effects of the addition of salt on gel strength and chewiness

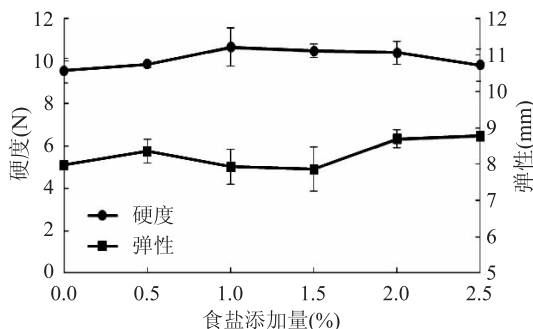


图 6 食盐添加量对硬度和弹性的影响

Fig.6 Effects of the addition of salt on hardness and springness

食盐是质构重组制品中常用的食品添加剂,除了其调味作用外,它还可以影响重组制品的微观结构,Satoshi Kubota 等人^[16]在研究食盐浓度对明太鱼鱼糜时发现,添加一定量的食盐可以改善鱼糜的微观结构。经数据分析发现,食盐添加量对凝胶强度的影响显著($p < 0.05$),对咀嚼度、硬度和弹性的影响不显著($p > 0.05$)。由图 5 和图 6 可知,当食盐添加量在 0~1% 范围内时,凝胶强度随食盐添加量的增加而增大,并于 1% 时达到最大。当食盐添加量大于 1% 时,凝胶强度逐渐降低。而食盐添加量在 0~1.5% 范围内时,咀嚼度变化较为平缓,随着食盐添加量的增加,咀嚼度在 2% 处达到最大值,添加量为 2.5% 时明显降低。此结果与张怡洁等人^[17]对带鱼纯鱼肉重

组制品的结果相似。分析原因可能是添加食盐可以促进海地瓜体壁中胶原蛋白的溶出^[18],有利于体系中凝胶的形成,而过高的食盐添加量不仅不能提高凝胶强度和咀嚼度,反而会影响凝胶制品的口感。因此,综合考虑到硬度和弹性变化不明显,食盐添加量选择 1% 最为适宜。

2.5 SC 添加量对凝胶品质的影响

在 1.2.3.4 的条件下,研究 SC 添加量对凝胶品质的影响,实验结果见图 7、图 8。

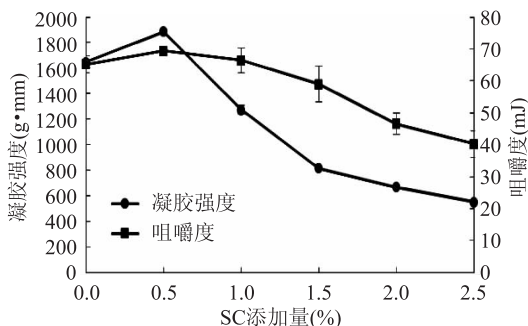


图 7 SC 添加量对凝胶强度和咀嚼度的影响

Fig.7 Effects of the addition of sodium caseinate on gel strength and chewiness

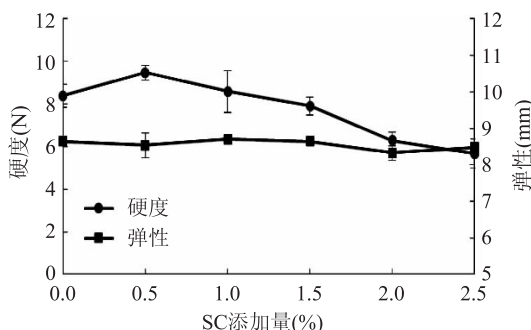


图 8 SC 添加量对硬度和弹性的影响

Fig.8 Effects of the addition of sodium caseinate on hardness and springness

酪蛋白酸钠是一种常用的乳化剂和增稠剂,也是一种优质廉价的蛋白源,被广泛地应用于质构重组制品加工中,可以提升制品的持水性和持油性,使制品均匀稳定,富于弹性^[19]。经数据分析发现,SC 添加量对凝胶强度的影响极显著($p < 0.01$),对咀嚼度、硬度和弹性的影响不显著($p > 0.05$)。由图 7 和图 8 可知,当 SC 添加量在 0.5% 时,凝胶强度、咀嚼度和硬度均达到最大值,而添加量大于 0.5% 时,随着添加量的增加,这三个指标逐渐降低,而且凝胶强度受影响程度更大。这与苏伟^[20]、张云飞^[21]的研究结果一致。过量的酪蛋白酸钠凝胶会在体系中形成小的凝胶囊泡,影响致密程度,从而降低凝胶强度、咀嚼度和硬度。弹性的变化范围在 8~9 mm 之间,无明显变化,可能是由于 SC 增强了凝胶的持水性,使凝胶保持了良好的弹性。故 SC 的适宜添加量为 0.5%。

2.6 TGase 添加量对凝胶品质的影响

在 1.2.3.5 的条件下,研究 TGase 添加量对凝胶品质的影响,实验结果见图 9、图 10。

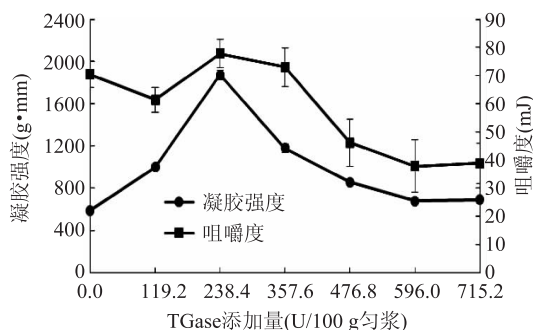


图9 TGase添加量对凝胶强度和咀嚼度的影响

Fig.9 Effects of the addition of TGase on gel strength and chewiness

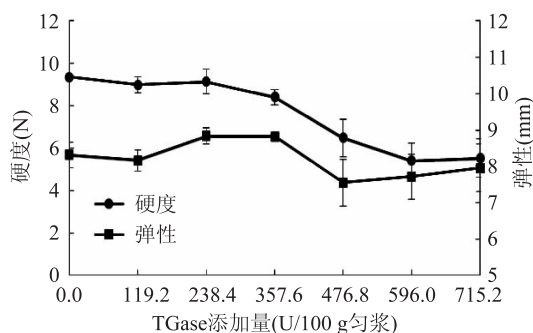


图10 TGase添加量对硬度和弹性的影响

Fig.10 Effects of the addition of TGase on hardness and springiness

TGase 由于能催化蛋白质分子间或分子内形成 $\epsilon-(\gamma\text{-谷氨酰基})$ 赖氨酸共价键,使不同来源的蛋白质聚合或交叉链接,提高营养价值,增加凝胶强度^[22,23],因而作为一种优良的食品粘合剂被广泛使用。经数据分析发现,TGase 添加量对凝胶强度影响极显著($p < 0.01$),对咀嚼度的影响显著($p < 0.05$),对硬度和弹性的影响不显著($p > 0.05$)。由图9和图10可知,当TGase添加量在238.4 U/100 g匀浆时,凝胶强度、咀嚼度和弹性均达到最大值。当添加量大于238.4 U/100 g匀浆时,随着添加量的增加这三个指标都逐渐减小。过量添加TGase会使体系产生过度交联导致凝胶强度和咀嚼度降低,分析其原因,可能是由于酶量过大的情况下会导致位于蛋白质分子表面的作用位点会迅速交联,以至蛋白质分子间进行交联的机率降低,因而形成的分子间交联要比加酶量小的情况下要少。而分子间的交联对凝胶性起主要作用,分子内交联起的作用不大^[24]。而弹性在TGase添加量在238.4 U/100 g匀浆左右获得最大值,随着TGase添加量的增加略微减小。因此,TGase添加量以238.4 U/100 g匀浆为佳。

3 结论

本实验通过向海地瓜体壁匀浆中添加谷氨酰胺转氨酶(TGase)、大豆分离蛋白(SPI)、食盐、酪蛋白酸钠(SC)等添加物获得海地瓜复配凝胶,并研究了水分含量以及不同添加物对海地瓜凝胶品质的影响。结果表明,SC和TGase添加量对凝胶强度影响极显著($p < 0.01$),其他三个因素对凝胶强度影响显著($p < 0.05$);咀嚼度受水分含量和TGase添加量影

响显著($p < 0.05$),硬度受水分含量影响显著($p < 0.05$),其余因素对二者影响均不显著($p > 0.05$);不同因素对弹性的影响均不显著($p > 0.05$)。

通过对比海地瓜复配凝胶和纯海地瓜凝胶发现,添加了TGase、SPI、食盐、SC等四种外源添加物的复配体系对凝胶强度、咀嚼度和硬度都有显著提升($p < 0.05$),而对弹性的影响不显著($p > 0.05$)。说明这些添加物的复配可以很好的改善海地瓜凝胶的凝胶特性和质构特性,提升其品质,通过进一步研究可以推广到实际应用当中。目前国内外尚无海地瓜凝胶相关的研究,通过研究改善其凝胶特性和质构特性,对提高资源利用率、新产品的研发和低值水产品的高值化利用具有重要的意义。

参考文献

- [1] 廖玉麟.中国动物志,棘皮动物门,海参纲[M].北京:科学出版社,1997.
- [2] Yu P, Chen H. Optimization of Conditions for Enzymatic Production of Collagen Hydrolysates from a Low-Value Acaudina molpadioides and Their Activities [J]. Journal of Food Biochemistry, 2014, 38(2): 227-235.
- [3] 伏纬华,吴凤梧,戚宝凤,等.海地瓜与海参营养成分的比较[J].中国现代应用药学,1991,8(3):46-47.
- [4] 侯付景,李妍妍,金春华,等.白肛海地瓜和刺参体壁的比较分析[J].食品科学,2010,31(11):38-41.
- [5] 蔡彬新.海地瓜多糖提取纯化及其降血脂活性研究[D].福州:福建农林大学,2009.
- [6] Yu L, Ge L, Xue C, et al. Structural Study of Fucoidan from Sea cucumber Acaudina molpadioides: A Fucoidan Containing Novel Tetrafucose Repeating Unit [J]. Food Chemistry, 2014, 142: 197-200.
- [7] 王天明,苏意钢,马永钧,等.海地瓜多肽分离及抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2014,30(5):75-81,166.
- [8] 赵元晖.海地瓜蛋白水解物中ACE抑制肽的分离纯化及合成[D].青岛:中国海洋大学,2009.
- [9] Duangmal K, Taluengphol A. Effect of Protein Additives, Sodium Ascorbate, and Microbial Transglutaminase on the Texture and Colour of Red Tilapia Surimi Gel [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(1): 48-55.
- [10] Zhang F, Fang L, Wang C. Effects of Starches on the Textural, Rheological, and Color Properties of Surimi-beef Gels with Microbial Transglutaminase [J]. Meat Science, 2013, 93(3): 533-537.
- [11] Cofrades S, Hughes E, Troy D J. Effects of Oat Fibre and Carrageenan on the Texture of Frankfurters Formulated with Low and High Fat [J]. European Food Research and Technology, 2000, 211(1): 19-26.
- [12] 赵利,温慧芳,袁美兰,等.基于不同提取方式的鱼皮胶原蛋白对重组鱼肉品质的影响[J].现代食品科技,2015,31(3):220-227.
- [13] 杨涛.北太鱿鱼碎肉蛋白质挤压组织化关键技术研究[D].舟山:浙江海洋学院,2010.
- [14] 王卫芳.鱼肉猪肉复合凝胶制品的开发及其影响因素的

(下转第75页)

[22] 郎玉苗, 谢鹏, 李敬, 等. 熟制温度及切割方式对牛排食用品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 317-325.

[18] Ramirez J, Uresti R, Tellez S, et al. Using Salt and Microbial Transglutaminase as Binding Agents in Restructured Fish Products Resembling Hams [J]. Food Science, 2002, 67(5): 1778-1784.

[24] 安静,于国萍,初云斌,等.转谷氨酰胺酶催化对不同大豆蛋白凝胶性的影响[J].食品科学,2011,32(6):32-37.