

花蟹肉酶解物美拉德反应产物的抗氧化性

倪孔巍, 张萌, 徐大伦, 张进杰, 楼乔明, 杨文鸽*

(宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为研究花蟹肉酶解物美拉德反应产物(MRPs)的理化性质和功能属性,用花蟹肉酶解物(P)分别与木糖(X)、葡萄糖(G)、乳糖(L)和果糖(F)进行模式美拉德反应,并测定MRPs的褐变程度和pH值变化,同时通过对MRPs进行DPPH自由基清除能力、还原能力、OH自由基清除能力和Fe²⁺螯合能力的测定,评价其抗氧化能力。结果表明,随着加热时间的延长,各MRPs的褐变程度增加,pH值下降,DPPH自由基清除能力、还原能力和OH自由基清除能力逐渐增加,但各MRPs的Fe²⁺螯合能力下降。还原糖种类不同,MRPs的抗氧化性不同,各MRPs的DPPH自由基清除能力、还原能力和OH自由基清除能力由强到弱依次为:木糖-花蟹肉酶解物(X-P)、果糖-花蟹肉酶解物(F-P)、葡萄糖-花蟹肉酶解物(G-P)、乳糖-花蟹肉酶解物(L-P)。

关键词: 花蟹肉酶解物;美拉德反应产物;理化性质;抗氧化性

中图分类号: TS 254.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2015)03—0239—07

Antioxidant Activity of Maillard Reaction Products Derived from Enzymolysis Product of *Portunus pelagicus* Meat with Reducing Sugars

NI Kongwei, ZHANG Meng, XU Dalun, ZHANG Jinjie, LOU Qiaoming, YANG Wenge*

(School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The objective of this study was to evaluate the physiochemical property and antioxidant activity of the MRPs from the reactions between the enzymolysis product of *Portunus pelagicus* meat and xylose(X), glucose(G), lactose(L) and fructose(F) at different heating time(10, 30, 60, 90 and 120 min). The browning intensity and pH value of the model systems were determined. The DPPH radical scavenging activity, reducing power, hydroxyl radical scavenging activity and iron-chelation activity of the model systems were determined to evaluate the antioxidant activity of the MRPs. With the heating processing, the browning intensity of the model systems increased, as well as the DPPH radical scavenging activity, reducing power and hydroxyl radical scavenging activity, while the pH value and iron-chelation activity were decreased. With the different of reducing sugar, the antioxidant activity of MRPs are different, the intensity of each MRPs in DPPH radical scavenging activity, reducing power and hydroxyl radical scavenging activity in order is xylose-enzymolysis product of *Portunus pelagicus* meat(X-P), fructose-enzymolysis product of *Portunus pelagicus* meat

收稿日期: 2014-04-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201284); 国家海洋公益性行业科研专项(201305013); 浙江省省级公益性技术应用研究计划项目(2013C32109); 宁波市农业创新创业重点项目(2012C92016)。

* 通信作者: 杨文鸽(1966—), 女, 浙江诸暨人, 工学博士, 教授, 主要从事水产品加工的研究。E-mail: yangwenge@nbu.edu.cn

(F-P), glucose-enzymolysis product of *Portunus pelagicus* meat (G-P), lactose-enzymolysis product of *Portunus pelagicus* meat (L-P).

Keywords: enzymolysis product of *Portunus pelagicus* meat, maillard reaction products, physiochemical property, antioxidant activity

远海梭子蟹 (*Portunus pelagicus*), 俗称远洋梭子蟹、花蟹、蓝蟹、外海蟹、梭子蟹、沙蟹, 隶属于节肢动物门 (Arthropoda)、甲壳纲 (Crustacea)、软甲亚纲 (Malacostraca)、十足目 (Decapoda)、爬行亚目 (Reptantia)、短尾派 (Brachyura)、梭子蟹科 (portunidae)、梭子蟹属 (*Portunus*)^[1]。近年来东海海域, 远海梭子蟹产量逐年增大, 2010 年, 舟山梭子蟹的捕捞量约为 7 万 t, 到 2011 年, 捕捞量增加为 8 万 1 千 t 左右, 2013 年已达到 9 万 9 千 t, 增幅超过 20%^[2]。如何充分利用丰富的远海梭子蟹资源, 提高其经济价值, 已成为急需解决的问题, 因此进一步开发利用花蟹资源, 提高综合利用价值, 是一项非常有意义的研究。

研究发现, 食品加工中常用的抗氧化剂, 如 BHA、BHT 等物质可能具有致癌性, 很多国家已经禁止使用^[3]。而且随着社会的发展, 人们生活水平的提高, 对食品的要求也越来越高, 特别是对食品安全的需求日益增加。所以寻求一种天然的、安全的抗氧化剂, 对于食品加工非常重要。

很早以前人们便发现美拉德反应产物中的还原酮、类黑精和一系列含硫、氮的挥发性杂环化合物具有很强的抗氧化性, 有些甚至能和常用的食品抗氧化剂相媲美。Weizheng 等^[4]发现, 利用鸡骨架酶解物与葡萄糖和木糖的混合糖反应产生的美拉德反应产物 (MRPs) 具有一定的抗氧化性, 并且能够有效地提高广式香肠的保质期和感官品质。Na 等^[5]也发现利用大豆蛋白酶解物与木糖反应产生的 MRPs 具有较强的抗氧化性。所以, 能否利用花蟹肉酶解物与一个适合的还原糖进行美拉德反应, 从而得到具有较强抗氧化性的物质, 就成为本课题研究的主要目的。

本试验通过测定花蟹酶解物与 4 种不同还原糖在不同反应时间产生的 MRPs 的理化性质和抗氧化性, 分析了不同的还原糖对 MRPs 理化性质和抗氧化性的影响, 意在为 MRPs 的实际应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

花蟹肉, 舟山市世创水产有限公司提供。

食品级碱性蛋白酶, 南宁庞博有限公司产品; DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl), Sigma 公司产品; 菲洛嗪, 生工生物工程 (上海) 股份有限公司产品; 邻二氮菲, 上海源叶生物科技有限公司产品; 木糖, 上海捷瑞生物工程有限公司产品; 葡萄糖、乳糖、果糖、铁氰化钾、氯化铁、三氯乙酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、氯化亚铁等, 为国产试剂, 均是分析纯。

1.2 设备与仪器

DKU-2508 型电热恒温油槽, 上海森信实验仪器有限公司制造; TE212-2 型电子天平, 德国赛多利斯股份有限公司制造; DK-S22 型电热恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司制造; RE52-2 型旋转蒸发器, 上海沪西分析仪器厂制造; 4802-UV/VIS 型紫外分光光度计, 尤尼柯仪器有限公司制造; Starter 3C pH 计, 上海奥豪斯仪器有限公司制造。

1.3 方法

1.3.1 花蟹肉酶解物的制备 根据温建丰等报道的^[6]花蟹肉酶解工艺对花蟹肉进行酶解。花蟹洗净去壳, 绞碎, 处理后的花蟹肉水分质量分数为 87%~88%, pH 值 6.8~7.0。然后, 将处理好的花蟹肉与水按质量比 1:2 混合, 用 10 mol/L 的 NaOH 或 7 mol/L HCl 调节 pH 至 7.5, 再用碱性蛋白酶, 加酶量 3 000 U/g, 在 51 °C 下酶解 3.2 h, 再经灭酶、过滤、蒸发浓缩和冷冻干燥后, 得到花蟹肉酶解物干品, 在 -40 °C 下储存, 备用。

1.3.2 美拉德反应产物的制备 还原糖 (木糖、葡萄糖、乳糖和果糖) 与花蟹肉酶解物配成反应物混合液 100 mL, 其中还原糖浓度为 0.03 mol/L, 酶解物质量 0.5 g。用 10 mol/L NaOH 或 7 mol/L HCl 调节 pH 至 9.0 (前期预试验表明此碱性环境下美拉德反应效果较优)。将反应混合物移入烧瓶内, 将烧瓶

置于电热恒温油槽内加热,烧瓶的瓶口与冷凝管相连,内通冷凝水。在 120 ℃下分别加热 10、30、60、90、120 min。得到每种反应混合液 5 个时间梯度的样品,放入 4 ℃冰箱内待测。

1.3.3 样品 pH 值随加热时间变化的测定 用 pH 计分别测定每种反应液 5 个时间梯度样品的 pH 值,待所有样品的 pH 值测完后,用 10 mol/L NaOH 或 7 mol/L HCl 调节 pH 至 7.0,放入 4 ℃冰箱待测。

1.3.4 褐变程度的测定 在美拉德反应的第一阶段,羰基和氨基反应得到的产物在可见吸收光谱处没有吸光度,但是随着反应的进行,美拉德反应会产生一类被称为类黑精的大分子物质,这类大分子物质在 420 nm 处有特征性的吸收峰^[7]。MRPs 在波长 420 nm 处的吸光度可以作 MR 反应阶段的指标,以及褐变程度,而且与 MRPs 抗氧化性有一定的联系。将 4 种反应混合液的 5 个时间梯度的样品用紫外-可见分光光度计在 420 nm 处测得的吸光度,作为美拉德反应最终阶段的产物含量的标志^[8]。样品质量浓度为 10 mg/mL,在 420 nm 处的吸光度作为 MRPs 的褐变程度。

1.3.5 DPPH·清除能力 DPPH·清除试验是基于氢原子转移的一种试验,现在已经广泛地作为决定样品(纯抗氧化剂、食品的抗氧化性,以及植物和水果提取物)主要抗氧化性的一个指标^[9]。根据这一点,就可以利用稳定的 DPPH·溶液来估算 MRPs 的自由基清除能力,用 DPPH·溶液的脱色程度来表达 MRPs 的自由基清除能力。

按文献[10]的方法略加修改进行 DPPH·清除率的测定。取样品 2 mL,与 0.12 mmol/L DPPH·乙醇溶液 2 mL 混合均匀,暗处放置 30 min,用无水乙醇作参比,在 517 nm 处测吸光度 A_i 。取 2 mL DPPH·乙醇溶液与 2 mL 无水乙醇混匀,在 517 nm 处测吸光度 A_c 。取水解液 2 mL,与无水乙醇溶液 2 mL 加和混匀,室温下放置 30 min,用无水乙醇作参比,在 517 nm 处测吸光度 A_j 。记录 A_i 、 A_j 和 A_c ,按照下式(1)计算酶解液的清除率。清除率

$$I=[1-(A_i-A_j)/A_c]\times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, A_i 为加入抗氧化剂的吸光度值, A_j 为抗氧化剂乙醇溶液的吸光度值, A_c 为阴性对照。

1.3.6 还原能力测定 将 4 种反应混合液的 5 个时间梯度的样品稀释 10 倍,取 1 mL 样品,加入 pH 为 6.6 浓度 0.2 mol/L 的 PBS 缓冲液和质量分数 1%

铁氰化钾各 2.5 mL,在 50 ℃水浴中加热 20 min 后再加质量分数 10% TCA 溶液 2.5 mL,充分混合后在 5 000 r/min 离心 10 min,取上清液 2.5 mL,加蒸馏水 2.5 mL 和质量分数 0.1% FeCl₃ 溶液 0.5 mL,静置 10 min 后,用紫外-可见分光光度计在 700 nm 处测其吸光度,将吸光度的大小作为还原能力强弱的标志^[11]。

1.3.7 ·OH 清除能力 ·OH 自由基通常是产生在生物媒介中或者食品中,它对一些可氧化的底物和具有抗氧化性的底物都有非常高的反应速度^[12],所以测定添加到食品中的抗氧化剂的·OH 自由基清除能力是很有必要的。实验室中可以利用过氧化氢方法人为制造·OH 自由基,从而可以在实验室中测得抗氧化剂的·OH 自由基清除能力。

取 1 mL 2.5 mmol/L 邻二氮菲溶液置于试管中,依次加入 2 mL pH 7.4 PBS 和 1 mL 蒸馏水,充分混匀后,加入 1 mL 2.5 mmol/L FeSO₄ 水溶液,混匀后,加入 20 mmol/L H₂O₂ 水溶液,于 37 ℃恒温水浴中准确反应 60 min 后,在 536 nm 处快速测其吸光度,所得的数据为损伤管的吸光度 A_s 。未损伤管以 1 mL 蒸馏水代替损伤管中 1 mL 20 mmol/L 的双氧水,操作方法同损伤管,可测得 536 nm 未损伤管的吸光度 A_w 。样品管以 1 mL 样品代替损伤管中的 1 mL 蒸馏水,操作方法同损伤管,可测得 536 nm 样品管的吸光度 A_y ^[13]。样品对·OH 的清除率

$$I=[(A_y-A_s)/(A_w-A_s)]\times 100\% \quad (2)$$

式(2)中, A_y 为加了样品与双氧水的吸光度, A_s 为只加双氧水的吸光度, A_w 为不加样品和双氧水的吸光度。

1.3.8 Fe²⁺螯合能力 根据 Shiyuan 等的方法^[14],略加修改,将 4 种反应混合液的 5 个时间梯度的样品稀释 10 倍,取稀释后的样品 5 mL,加入 0.1 mL 2 mmol/L FeCl₂ 和 0.2 mL 5 mmol/L 的非洛嗪溶液,混合均匀。混合液室温静置 10 min,并于 562 nm 处测定其吸光度。样品 Fe²⁺螯合能力

$$C=[1-(A_i-A_j)/A_0]\times 100\% \quad (3)$$

式(3)中, A_0 为用水代替样品所测得的吸光度, A_i 为样品所测得的吸光度, A_j 为 MRPs 本身的吸光度。

1.3.9 统计分析 本试验设置 3 个平行,采用 Excel 2003 和 SAS 8.1 软件进行方差分析、均值比较和邓肯多重比较。

2 结果与分析

2.1 pH 值的变化

4 组反应物的 pH 值随着时间的增加而降低, 见图 1。反应初始时, 溶液 pH 值用 10 mol/L 的 NaOH 溶液统一调整到 9.0。由图 1 可知, 随着反应的进行, 4 个反应体系的 pH 值均下降, 这是由于美拉德反应中形成了一些有机酸, 如甲酸和乙酸^[15-16]。单因素方差分析以及邓肯多重比较显示, X-P 的 pH 值随着加热时间的增加有显著的下降 ($P < 0.05$), 而且 X-P 和其他组也有显著的差异 ($P < 0.05$); 但是, G-P、L-P 和 F-P 这 3 个美拉德反应体系之间没有显著性差异 ($P > 0.05$), 这 3 个反应体系的 pH 值随着加热时间的增加, pH 值没有显著下降 ($P > 0.05$)。美拉德反应体系的 pH 值随着加热时间的增加而降低, 这个结论也与 Wittayachai^[17]和 Lusani 得到的结论相同。在 4 个反应体系中, X-P 体系的 pH 降低最大也最快, 从而间接地说明了, 木糖与花蟹肉酶解物的反应速度最快。

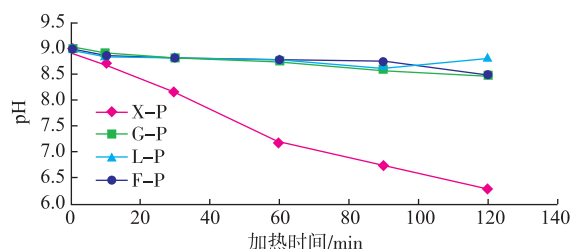


图 1 美拉德反应体系 pH 随加热时间增加的变化

Fig. 1 Effect of heating time on the pH change of Maillard reaction

2.2 褐变程度的变化

4 个反应体系的褐变程度 (420 nm 处的吸光度) 随着加热时间的增加而增加, 见图 2。单因素方差分析及邓肯多重比较显示, 随着加热时间的增加, X-P、G-P 和 F-P 3 个反应体系的褐变程度有显著增加 ($P < 0.05$), L-P 体系的褐变程度在 10 min 和 30 min 没有显著的增加 ($P > 0.05$)。G-P、L-P 和 F-P 3 个反应体系之间的褐变程度在相同的加热时间下也没有显著差异 ($P > 0.05$)。然而随着反应时间的增加, X-P 反应体系的褐变程度最高 (相同加热时间), 褐变程度加深最快, 且与其他 3 个反应体系的褐变程度之间存在显著差异 ($P < 0.05$)。这进一步说明还原糖的种类是影响美拉德反应的一个重要的因素。

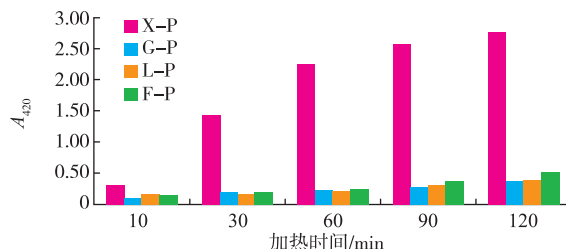


图 2 MRPs 的褐变程度与加热时间的关系

Fig. 2 Effect of heating time on the browning intensity of MRPs

2.3 DPPH·清除率的变化

图 3 描述的是 4 种 MR 在 5 个加热时间段内所展现出来的 DPPH·清除能力的百分率。从图 3 可知, 随着加热时间的增加, 除了 L-P 在加热时间 30 min 和 60 min 时的 DPPH·清除率没有显著性差异 ($P > 0.05$) 外, 其余各组随着加热时间的增加, 其 DPPH·清除率均显著增加 ($P < 0.05$)。在加热时间 10 min 时, DPPH·清除率的大小关系是 X-P > F-P > L-P > G-P, 但 X-P 和 F-P 的 DPPH·清除率之间不存在显著性差异, L-P 和 G-P 的 DPPH·清除率之间也不存在显著性差异, 而 X-P、F-P 与 G-P、L-P 之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。在加热时间 30 min 时, DPPH·清除率的大小关系是 X-P > F-P > L-P > G-P ($P < 0.05$)。而在加热时间 60、90 min 和 120 min 时, DPPH·清除率的大小关系是 X-P > F-P > G-P > L-P ($P < 0.05$)。

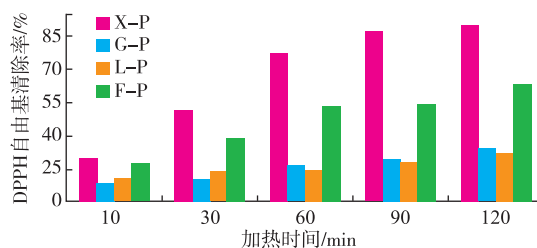


图 3 MRPs 的 DPPH·自由基清除能力与加热时间的关系

Fig. 3 Effect of heating time on DPPH radical scavenging activity of MRPs

从以上分析可以看出, MRPs 的 DPPH·清除能力随着加热时间的增加而增强, 这与 Shiyuan 和 Ji^[18]得到的结果相同, 而且 X-P 反应体系与其他组相比, 展现出了更高的 DPPH·清除能力, 这一结论与 Wenqiong^[19]得到的结果相同, 但是不同的是 Wenqiong 发现葡萄糖-乳清蛋白质反应模型的

DPPH·清除率略大于果糖和乳糖组,这里果糖组的DPPH·清除率大于葡萄糖组的,这可能是由于花蟹肉酶解物复杂的空间结构更容易与果糖发生反应所致。

2.4 还原能力的变化

图4描述的是4种MRPs在不同加热时间下表现的还原能力,总体的趋势是MRPs的还原能力随着加热时间的增加而增强。X-P的还原能力在5个加热时间的还原能力有显著差异($P<0.05$);G-P和L-P的还原能力总体还是存在显著性差异($P<0.05$),只有个别的如G-P的90 min与120 min, L-P的10 min与30 min,以及L-P的60 min与90 min没有显著性差异($P>0.05$);F-P的还原能力也随着加热时间的增加而增强,但在加热10、30、60 min和90 min时没有显著性差异($P>0.05$),90 min与120 min则有显著性差异($P<0.05$)。

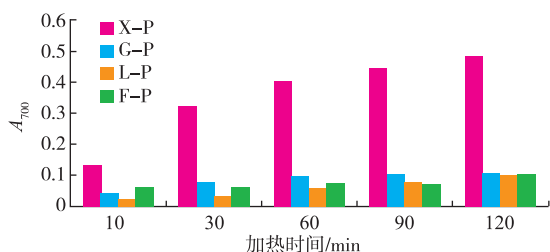


图4 MRPs的还原能力与加热时间的关系

Fig. 4 Effect of heating time on reducing power of MRPs

在5个加热时间点,X-P的还原能力都显著地高于G-P、L-P和F-P($P<0.05$),这与4种MRPs在DPPH·清除率中的表现相吻合,Wenqiong也得出了类似的结论。

2.5 ·OH清除率的变化

图5描述的是MRPs在不同加热时间下的·OH自由基清除率。从图5可知,G-P体系的·OH自由基清除率随着加热时间的增加而显著地增加($P<0.05$);X-P体系和F-P体系的·OH自由基清除率虽然也随着加热时间的增加而增加,但是X-P体系在30 min和60 min加热时间下没有显著差异($P>0.05$),在90 min和120 min也没有显著差异($P>0.05$),F-P在90 min和120 min加热时间下·OH自由基清除率没有显著差异($P>0.05$),60 min与90 min存在差异,但是差异不显著($P>0.05$);L-P体系在加热时间90 min处出现最大·OH自由基清除率,

但是该反应体系在5个加热时间下的清除率差异都不显著($P>0.05$)。

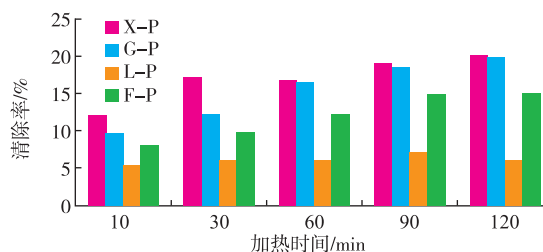


图5 MRPs的羟基自由基清除能力与加热时间的关系

Fig. 5 Effect of heating time on the hydroxyl radical scavenging activity of MRPs

总体来说,X-P反应体系的·OH自由基清除能力高于其他3个反应体系的,但60 min后X-P体系的·OH自由基清除率与G-P体系的没有显著的差异($P>0.05$),在X-P体系的·OH自由基清除能力没有像它在DPPH·自由基清除能力表现得那么突出,这可能是跟MRPs的金属离子螯合能力有关。在·OH自由基清除试验中,由于添加了试剂 FeSO_4 的原因,MRPs的·OH自由基清除就与他的铁离子螯合能力有关,这可能是由于MRPs螯合了金属离子后改变了它的空间构象,从而干扰了它的·OH自由基清除能力,甚至在高的金属离子浓度下,MRPs的螯合部位都达到饱和后,还会影响它预期的抗氧化能力^[20-21]。孙丽萍^[22]也研究发现,在不同的铜离子浓度下,虽然MRPs的还原能力和DPPH·自由基清除能力下降趋势不同,但是都有明显的降低,所以对MRPs的·OH自由基清除能力的分析,要考虑到它的金属离子螯合情况。

2.6 Fe^{2+} 螯合能力的变化

从图6中可以看出,各个体系的铁离子螯合能力随着加热时间的增加而下降。在加热时间10 min和30 min时,也就是反应开始阶段,4个反应体系的铁离子螯合能力并没有太大差异,而且各个体系 Fe^{2+} 螯合能力也没有显著下降($P>0.05$);4个体系中,X-P体系的铁离子螯合能力下降得最快,在60 min已经显著下降($P<0.05$),其次是F-P体系和L-P体系,G-P体系的铁离子螯合能力下降最慢。

花蟹肉酶解物主要的成分是一些多肽类物质,而多肽本身就有一定的金属离子螯合能力^[23],MRPs的金属离子螯合能力是在反应的过程中逐渐形成的,这个过程中多肽参与了反应,所以在研究花蟹

肉酶解物铁离子螯合能力的时候,得到的铁离子螯合能力并不完全是 MRPs 的铁离子螯合能力,而是剩余的多肽与形成的 MRPs 共同的螯合能力。

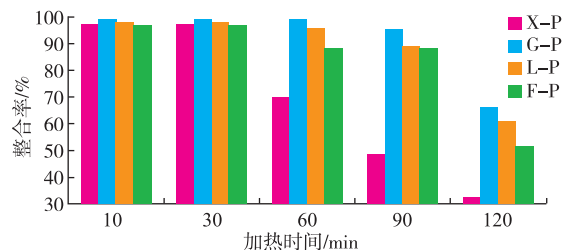


图 6 MRPs 的铁离子螯合能力与加热时间的关系

Fig. 6 Effect of heating time on MRPs on iron-chelation activity

花蟹肉酶解物在美拉德反应过程中的铁离子螯合能力下降,可能是因为在还原糖与花蟹肉酶解物中的多肽进行美拉德反应后改变了它的空间结构,使得原本用于螯合铁离子的化学键无法暴露出来用于结合铁离子。虽然 MRPs 本身也具有铁离子螯合能力,但是增加的铁离子螯合能力无法弥补损失的铁离子螯合能力,而最终形成了整个反应体系铁离子螯合能力下降的趋势。而 4 个体系中 X-P 体系的铁离子螯合能力下降得比较快,可能是由于木糖与花蟹肉酶解物进行美拉德反应的速度较快,更快地结合了酶解物中的多肽,从而导致多肽螯合铁离子的能力下降较快。

3 结 语

通过花蟹肉酶解物分别与木糖、葡萄糖、乳糖

和果糖发生美拉德反应,制备了 4 种 MRPs,并测定了其 pH 值、褐变程度、还原能力、DPPH·清除率、·OH 清除率,以及铁离子螯合能力。结果发现,随着美拉德反应的进行,反应体系的 pH 值下降,褐变程度增加,还原能力、DPPH·清除能力和·OH 清除能力增强。并且还发现花蟹肉酶解物本身就具有铁离子螯合能力,MRPs 虽然也有铁离子螯合能力,可是因为花蟹肉酶解物中的多肽本身参与了美拉德反应,从而使得体系的铁离子螯合能力下降,而且体系所表现出来的铁离子螯合能力又进一步说明了反应体系·OH 清除能力增强的原因。

木糖-花蟹肉酶解物和果糖-花蟹肉酶解物在前 60 min 的反应速率最大,60 min 之后反应速率趋于平缓,而葡萄糖和乳糖与花蟹肉酶解物反应速率没有太大的波动。

通过对 4 种 MRPs 6 个指标进行的对比,发现 4 种还原糖与花蟹肉酶解物进行美拉德反应的速率大小关系是:木糖>果糖>葡萄糖>乳糖。在利用花蟹肉酶解物制作蟹味香精的过程中,不仅要考虑反应产物的理化属性和抗氧化性,还要深入研究其呈味机理,在选择还原糖及美拉德反应条件的优化过程中,还要结合感官品质进行探究,有关蟹肉酶解物美拉德反应产物的呈味机理和感官品质将是后续研究的重点。对蟹味香精抗氧化性的研究,不仅可以加深对该香精呈味机理、毒理,以及适用范围的了解,而且对增加蟹味香精的附加值,也具有一定的意义。

参考文献:

- [1] 沈嘉瑞,戴爱云. 中国动物图谱第 2 册:甲壳动物[M]. 北京:科学出版社,1964:45-64.
- [2] 王珏,王锡昌,刘源. 蟹类综合利用研究进展[J]. 食品工业,2013,34(10):207-210.
WANG Jue, WANG Xichang, LIU Yuan. Research progress in comprehensive utilization of crab [J]. **Food Industry**, 2013, 34(10):207-210. (in Chinese)
- [3] 陈黎洪,唐宏刚,肖朝耿. 金华火腿副产物酶解物的 MRPs 抗氧化活性[J]. 中国农业科学,2011,44(6):1218-1233.
CHEN Lihong, TANG Honggang, XIAO Chaogen. Study on antioxidative activity of Maillard reaction products derived from Jinhua ham By-Products hydrolysates[J]. **Scientia Agricultura Sinica**, 2011, 44(6):1218-1233. (in Chinese)
- [4] SUN Weizheng, ZHAO Mouming, CUI Chun, et al. Effect of Maillard reaction products derived from the hydrolysate of mechanically deboned chicken residue on the antioxidant, textural and sensory properties of Cantonese sausages [J]. **Meat Science**, 2010, 86(2):276-282.
- [5] SONG Na, TAN Chen, HUANG Meigui, et al. Transglutaminase cross-linking effect on sensory characteristics and antioxidant activities of Maillard reaction products from soybean protein hydrolysates[J]. **Food Chemistry**, 2013, 136(1):144-151.
- [6] 温建丰,杨文鸽,徐大伦. 响应面法优化花蟹肉制备抗氧化肽的酶解工艺[J]. 核农学报,2013,27(12):1881-1886.

- WEN Jianfeng, YANG Wenge, XU Dalun. Optimization of enzymatic condition of portunus pelagicus meat for preparing antioxidant peptids by response surface methodology[J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**, 2013, 27(12): 1881–1886. (in Chinese)
- [7] Cristina Delgado-Andrade, Isabel Seiquer, Ana Haro, et al. Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds[J]. **Food Chemistry**, 2010, 122(1): 145–153.
- [8] Delphine Laroque, Claude Inisan, Céline Berger, et al. Kinetic study on the Maillard reaction; Considering of sugar reactivity[J]. **Food Chemistry**, 2008, 111(4): 1032–1042.
- [9] Tuba Ak, İlhami Gülecin. Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin [J]. **Chemico-Biological Interactions**, 2008, 174(1): 27–37.
- [10] Hwang In Guk, Kim Hyun Young, Woo Koan Sik, et al. Biological activities of Maillard reaction products (MRPs) in a sugar-amino acid model system[J]. **Food Chemistry**, 2011, 126(1): 221–227.
- [11] Dragana Stanic-Vucinic, Ivana Prodic, Danijela Apostolovic, et al. Structure and antioxidant activity of β -lactoglobulin-glycoconjugates obtained by high-intensity-ultrasound-induced Maillard reaction in aqueous model systems under neutral conditions[J]. **Food Chemistry**, 2013, 138(1): 590–599.
- [12] Lusani Norah Vhangani, Jessy Van Wyk. Antioxidant activity of Maillard reaction products (MRPs) derived from fructose-lysine and ribose-lysine model systems[J]. **Food Chemistry**, 2013, 137(1–4): 92–98.
- [13] Laguerre M, Lecomte J, Villeneuve P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges[J]. **Progress in Lipid Research**, 2007, 46(5): 244–282.
- [14] Dong Shiyuan, Atikorn Panya, Zeng Mingyong, et al. Characteristics and antioxidant activity of hydrolyzed β -lactoglobulin-glucose Maillard reaction products[J]. **Food Research International**, 2012, 46(1): 55–61.
- [15] Jennifer M Ames. Applications of the Maillard reaction in food industry[J]. **Food Chemistry**, 1998, 62(4): 431–439.
- [16] Carline M J Brands, Martinus A J S, van Boekel. Kinetics modeling of reactions in heated monosaccharide-casein system[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002, 50(1): 6725–6739.
- [17] Wittayachai Lertittikul, Soottawat Benjakul, Munehiko Tanaka. Characteristics and antioxidative activity of Maillard reaction products from a porcine plasma protein-glucose model system as influenced by pH[J]. **Food Chemistry**, 2007, 100(2): 669–677.
- [18] Kim Ji-Sang, Lee Young-Soon. Study of Maillard reaction products derived from aqueous model systems with different peptide chain lengths[J]. **Food Chemistry**, 2009, 116(4): 846–853.
- [19] WANG Wenqiong, BAO Yihong, CHEN Ying. Characteristics and antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products from interactions in a whey protein isolate and sugars system[J]. **Food Chemistry**, 2013, 139(1–4): 355–361.
- [20] Gonzalez-Mateo S, Gonzalez-SanJose M L, Muniz P. Presence of Maillard reaction products in Spanish muffins and evaluation of colour and antioxidant potential[J]. **Food and Chemical Toxicology**, 2009, 4(7): 2798–2805.
- [21] Maillard M N, Billaud C, Chow Y N, et al. Free radical scavenging of polyphenoloxidase activity and copper chelating properties of model Maillard systems[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2007, 40(8): 1434–1444.
- [22] 孙丽萍, 庄永亮, 汪东风. 赖氨酸-葡萄糖美拉德反应产物对铜离子的螯合作用[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 169–171.
SUN Liping, ZHUANG Yongliang, WANG Dongfeng. Study on Cu^{2+} -chelating function of Maillard reaction products from lysine-glucose model system[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2011, 32(3): 169–171. (in Chinese)
- [23] 郑炯, 汪学荣, 阚建全. 血红蛋白多肽螯合铁的抗贫血功能研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(10): 312–314.
ZHENG Jiong, WANG Xuerong, KAN Jianquan. Study on antianemia function of haemoglobin in polypeptide chelated iron[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2009, 30(10): 312–314. (in Chinese)