

# 美拉德糖基化对玉米蛋白粉双酶水解产物 抗氧化活性的影响

## Effects of Maillard-type glycosylation on antioxidant activity of corn protein hydrolysates

刘祥<sup>1</sup> 郑喜群<sup>1</sup> 刘晓兰<sup>2</sup>

LIU Xiang<sup>1</sup> ZHENG Xi-qun<sup>1</sup> LIU Xiao-lan<sup>2</sup>

(1. 齐齐哈尔大学食品与生物工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔市 161006;

2. 黑龙江省玉米深加工理论与技术重点实验室, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

(1. College of Food and Biological Engineering, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China;

2. Key Laboratory of Corn Deep Processing Theory and Technology, Qiqihar, Heilongjiang 161006, China)

**摘要:**利用复合蛋白酶和碱性蛋白酶协同作用于玉米蛋白粉,将得到的双酶水解产物与壳寡糖进行美拉德糖基化反应,研究不同蛋白浓度下的酶解物和糖基化产物的抗氧化活性。结果表明,酶解物和糖基化产物都具有良好抗氧化活性,美拉德糖基化反应可以提高酶解物的抗氧化活性。当糖基化产物蛋白浓度为 5.00 mg/mL 时,其·OH 清除率和 DPPH·清除率分别达到了 90.91% 和 61.75%,蛋白浓度为 1.00 mg/mL 时,Fe<sup>2+</sup> 螯合能力为 83.42%,比酶解物·OH 清除率和 DPPH·清除率分别提高了 48.78% 和 32.26%,Fe<sup>2+</sup> 螯合能力提高了 22.63%。

**关键词:**玉米蛋白粉;美拉德糖基化;酶解;抗氧化

**Abstract:** Protamex and alcalase were synergistically used for hydrolysis of corn protein and the hydrolysates were glycosylated with oligochitosan by Maillard reaction. The antioxidant activities of corn protein hydrolysates (prepared under different protein/enzyme ratios) and glycosylation products were studied. The results showed that both of the enzymatic hydrolysates and glycosylation products had good antioxidant activity, and the Maillard glycosylation reaction could improve the antioxidant activity of corn hydrolysates. When the protein concentration of glycosylation products was 5 mg/mL, clearance rate of ·OH and DPPH· reached to 90.91% and 61.75%, respectively, compared to non-glycosylated hydrolysates. Similarly, when the protein concentration of glycosylation products was 1 mg/mL, ferrous chelating capacity was 83.42%, compared to hydrolysates, which increased 22.63%.

**基金项目:**国家重点研发计划重点专项项目子课题(编号:2017YFD0400200);黑龙江省自然科学基金重点项目(编号:ZD2016005);黑龙江省教育厅基本项目(编号:LTSW201725,135209104)

**作者简介:**刘祥,男,齐齐哈尔大学在读硕士研究生。

**通信作者:**郑喜群(1963—),男,齐齐哈尔大学教授,博士。

E-mail:zhengxiqun@126.com

**收稿日期:**2018-06-15

respectively, which increased 48.78% and 32.26%, compared to non-glycosylated hydrolysates. Similarly, when the protein concentration of glycosylation products was 1 mg/mL, ferrous chelating capacity was 83.42%, compared to hydrolysates, which increased 22.63%.

**Keywords:** corn protein; Maillard glycosylation; hydrolysis; antioxidant

玉米蛋白粉(corn gluten meal)是玉米湿法生产淀粉过程中的主要副产物,因为疏水性氨基酸含量高,水溶性差,加工性能不好,人体消化吸收利用率低等因素的影响,限制了其在食品加工中的应用。与其他谷物蛋白相比,玉米蛋白粉的多肽链中含有抗氧化、抗高血压和促进酒精代谢等功能序列区<sup>[1]</sup>,使用合适的蛋白酶处理可以很好地将这些功能序列释放出来,使玉米蛋白粉成为优良的功能食品原料。本课题组<sup>[2]</sup>曾利用碱性蛋白酶和复合蛋白酶协同作用玉米蛋白粉,结果发现水解产物的·OH 清除率、DPPH·清除率和 Fe<sup>2+</sup>螯合能力均较高。

蛋白质翻译后修饰是改变细胞生物活性的关键一步,因为它可以调节分子间的相互作用,如蛋白质和多肽<sup>[3]</sup>。蛋白质翻译后修饰可能以糖基化、磷酸化、甲基化等方式出现,而蛋白质的糖基化被认为是细胞中重要的翻译后修饰<sup>[4]</sup>。因为蛋白质糖基化后会产生许多具有特性功能的糖蛋白,这些糖蛋白在生物体内起到了调控生命体正常活动的作用,例如生物体的免疫调节功能、抗氧化功能和抗疲劳能力都与之有着密切联系<sup>[5]</sup>。

蛋白质美拉德糖基化是蛋白质、短肽和氨基酸与还原糖之间的一种非酶褐变反应<sup>[6]</sup>。食品加工过程中,它的反应产

物可以影响到食品的风味和色泽<sup>[7]</sup>。在一些体外试验研究<sup>[8-9]</sup>中,美拉德反应产物表现出了抗氧化、抗高血压和抑菌的生物活性,Marko等<sup>[10]</sup>研究还发现,美拉德反应产物具有调节肿瘤细胞生长的功能。

壳寡糖是自然界中唯一呈碱性、带正电、相对分子质量在2 000以内、水溶性、动物性纤维寡糖,被誉为是人体的第六生命要素。壳寡糖不仅有提高机体的免疫能力、调节血脂、保护化学性肝损伤等功能,因具有甜味,还可以作为添加剂改善食品风味<sup>[11]</sup>。

本研究拟通过美拉德糖基化改性技术,对双酶水解玉米蛋白粉的水解产物进行蛋白改性,并研究酶解产物和其美拉德糖基化产物的抗氧化活性。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

玉米蛋白粉:黑龙江龙凤玉米开发有限公司;

$\alpha$ -淀粉酶:酶活 $2.0 \times 10^5$  U/g,食品级,北京双旋微生物培养基制品厂;

碱性蛋白酶:(酶活 $2.1 \times 10^5$  U/g)、复合蛋白酶(酶活 $2.3 \times 10^4$  U/g):食品级,丹麦诺维信公司;

壳寡糖:分子量为 $\leq 1$  kDa,脱乙酰度为95%,浙江金壳生物化学有限公司;

DPPH:纯度 $\geq 95\%$ ,美国Sigma公司;

其他化学试剂均为实验室常规分析纯试剂。

### 1.2 主要仪器和设备

紫外分光光度计:TU-1810型,北京普析通用仪器有限责任公司;

pH计:PB-10型,赛多利斯科学仪器有限公司;

冷冻干燥机:PC/PLC-LD-53型,美国MILLROCK公司;

蛋白质色谱仪:Purifier 100型,美国GE公司;

集热式磁力加热搅拌器:DF-1型,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;

台式离心机:TCL-16G型,上海安亭科学仪器厂。

### 1.3 玉米蛋白水解产物(CGH)的制备

精确称取一定量的玉米蛋白粉,用50 mmol/L pH 7.0的Tirs-HCl缓冲液配成浓度为10%的蛋白悬液,先后用复合蛋白酶和碱性蛋白酶进行水解。复合蛋白酶加酶量为2.5 g/100 g·底物,水解(温度50℃,pH 7.0)3 h后立即用2 mol/L NaOH调节反应体系pH至8.5,加入碱性蛋白酶,碱性蛋白酶加酶量为2.5 g/100 g·底物,水解(温度65℃,pH 8.5)2.5 h。水解过程中使用1 mol/L NaOH调节反应体系pH(复合蛋白酶为7.0,碱性蛋白酶为8.5)恒定,水解5.5 h后于沸水中灭酶15 min,于3 000 r/min离心20 min,将上清液冷冻干燥后备用。

### 1.4 玉米蛋白水解物美拉德糖基化产物(CGG)的制备

精确称取一定量的玉米蛋白水解物,用去离子水配成质

量浓度为40 g/L的玉米蛋白溶液,用1 mol/L NaOH调节反应溶液的pH为10,加入壳寡糖的质量与玉米蛋白溶液中水解物的质量比为1:1,将玉米蛋白水解物溶液与壳寡糖混合,用1 mol/L NaOH和0.5 mol/L HCl调节混合后溶液的pH为10,置于70℃恒温水浴锅中反应10 h。反应结束后,迅速冷却样品,冷冻干燥后备用。

### 1.5 蛋白含量测定

采用微量凯式定氮法,按GB 5009.5—2010执行。

### 1.6 水解度测定

采用pH-stat法<sup>[12]</sup>。

### 1.7 抗氧化活性测定

将冻干后的玉米蛋白水解物和其糖基化产物配成蛋白浓度为0.05,0.10,0.50,1.00,3.00,5.00,7.00 mg/mL的溶液。本试验设置2组对照,第1组是壳寡糖(浓度设定参考玉米蛋白水解物糖基化产物,梯度浓度为0.025,0.050,0.250,0.500,1.500,2.500,3.500 mg/mL)对照组,第2组是壳寡糖加玉米蛋白水解物(浓度设定参考玉米蛋白水解物糖基化产物,壳寡糖和玉米蛋白水解物混合后溶液的梯度浓度为0.05,0.10,0.50,1.00,3.00,5.00,7.00 mg/mL)对照组。

1.7.1  $Fe^{2+}$ 螯合能力测定 参考文献[12]。

1.7.2  $\cdot OH$ 清除率测定 参考文献[12]。

1.7.3 DPPH·清除率测定 参考文献[12]。

### 1.8 分子量分布的测定

用体积排阻色谱法。使用凝胶色谱柱Superdex Peptide 10/300 GL测定样品中可溶性蛋白的分子量分布。准确称取2 mg冻干后玉米蛋白粉水解液和其糖基化样品,溶解于1 mL pH为7.0的20 mmol/L的PBS缓冲溶液(含0.15 mol/L NaCl)中,样品溶液在10 000 r/min离心10 min,将上清液过0.22  $\mu m$ 微孔滤膜后上样,上样量为100  $\mu L$ ,用pH为7.0的20 mmol/L的PBS缓冲溶液(含0.15 mol/L NaCl)洗脱,流速为0.25 mL/min,检测波长为214 nm。

用来标定分子量的标准物质有蓝色葡聚糖2 000(2 000 kDa,浓度2 mg/mL)、aprotinine(6 511.51 Da,浓度1 mg/mL)、杆菌肽(1 422.69 Da,浓度2 mg/mL)、氧化性谷胱甘肽(612.63 Da,浓度3 mg/mL)和还原性谷胱甘肽(307.32 Da,浓度3 mg/mL),使用pH 7.0、20 mmol/L的PBS缓冲溶液配置标准蛋白溶液,将标准蛋白溶液在10 000 r/min离心10 min,再将上清液过0.22  $\mu m$ 微孔滤膜后上样,上样量为100  $\mu L$ ,洗脱液用pH为7.0、20 mmol/L的PBS缓冲溶液(含0.15 mol/L NaCl),流速为0.25 mL/min,检测波长为214 nm。

## 2 结果与讨论

### 2.1 样品中粗蛋白含量

玉米蛋白粉经去淀粉、酶解、糖基化反应后分别获得去淀粉玉米蛋白粉、玉米蛋白水解物、玉米蛋白水解物糖基化产物,各个样品的粗蛋白含量见表1。

表 1 样品粗蛋白含量

样品	粗蛋白含量
玉米蛋白粉	57.56±3.69
去淀粉玉米蛋白粉	80.32±5.26
玉米蛋白水解物	67.49±2.25
玉米蛋白水解物糖基化产物	48.13±1.39

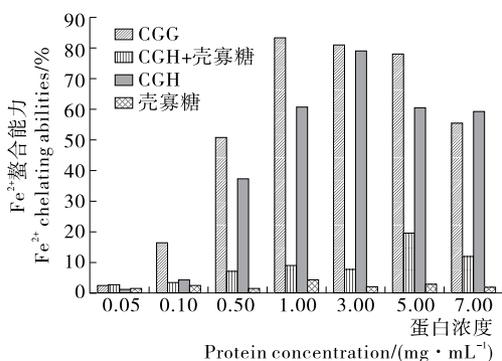
试验中使用的玉米蛋白粉是玉米湿法生产淀粉的副产物,里面还含有不少的淀粉,经过去淀粉预处理后,玉米蛋白粉的蛋白含量提高了 23% 左右。玉米蛋白水解物的蛋白含量相较于去淀粉玉米蛋白粉的降低了 13% 左右,因为玉米蛋白中主要是醇溶蛋白和谷蛋白,在水溶液中的溶解性差,酶解后离心,发现还有少量的玉米蛋白沉淀残留,此时的水解度为(33.18±1.54)%。玉米蛋白水解物糖基化产物的粗蛋白含量较玉米蛋白水解物的降低了 19.36%。

## 2.2 抗氧化活性

抗氧化能力主要是用于评价样品对自由基的清除能力,其中·OH 可以引起脂质的过氧化反应,Fe<sup>2+</sup> 螯合能力可以有效地减少·OH 的产生,DPPH· 是人工合成的,它既是抗氧化剂又是自由基指示剂,所以·OH 清除率、Fe<sup>2+</sup> 螯合能力和 DPPH· 清除率是评价样品对自由基清除率的重要指标。研究<sup>[13]</sup>表明玉米蛋白水解物具有一定的抗氧化活性,且玉米蛋白水解物糖基化产物在一定程度上可以提高玉米蛋白水解物的抗氧化活性。

2.2.1 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力 蛋白质与 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力可以反映出生命体对矿物元素的吸收利用情况,Fe<sup>2+</sup> 可以催化活性氧形成自由基,氧化不饱和脂类,所以蛋白质对 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力越强,越可以减缓蛋白质被氧化,说明蛋白具有较强的抗氧化活性。玉米蛋白水解物(CGH)、玉米蛋白水解物美拉德糖基化产物(CG)及对照样品在不同浓度下与 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力见图 1。

由图 1 可知,壳寡糖对 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力较弱,CG 和

图 1 蛋白浓度对 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力的影响Figure 1 Effect of protein concentration on Fe<sup>2+</sup>-chelating abilities

CGH 在低蛋白浓度时 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力也较弱,随着蛋白浓度的提高螯合能力不断加强,具有明显的量效关系。在蛋白浓度为 0.10~0.50 mg/mL 时螯合能力有显著的提高,此时 CGG 和 CGH 的 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力分别提高了 3.1 倍和 8.9 倍。CGH+壳寡糖组的 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力比 CGG 组和 CGH 组的都要小,说明 CGH 和壳寡糖之间有糖基化反应的发生。从图 1 的整体趋势可以看出,玉米蛋白水解物经过美拉德糖基化改性后,Fe<sup>2+</sup> 螯合能力均有不同程度的提高,说明美拉德糖基化修饰玉米蛋白水解物可以通过与 Fe<sup>2+</sup> 螯合来阻止自由基链式反应,消除自由基的氧化对机体造成伤害。汪姣玲<sup>[14]</sup>研究乳清蛋白美拉德糖基化改性时,发现改性后的蛋白质 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力是原蛋白的 1.64 倍,·OH 清除率增长了 20.82 倍,DPPH· 清除率增长了 2.35 倍,与本研究结果基本一致,美拉德改性技术可以增强蛋白的抗氧化活性。

从图 1 中还可以看出,随着蛋白浓度的不断升高,CGH 和 CGG 的 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力均出现不同程度的降低,可能是玉米蛋白粉没有经过去色素预处理,随着蛋白浓度的不断增高,蛋白溶液的颜色不断加深,会影响测定时的吸光值,使后期 Fe<sup>2+</sup> 螯合能力下降。由图 2、3 可知,后期随着蛋白浓度的升高,·OH 清除率和 DPPH· 清除率也出现下降的现象。

2.2.2 ·OH 清除率 不同蛋白浓度的玉米蛋白水解物(CG)、玉米蛋白水解物美拉德糖基化产物(CG)及对照样品的·OH 清除率测定结果见图 2。

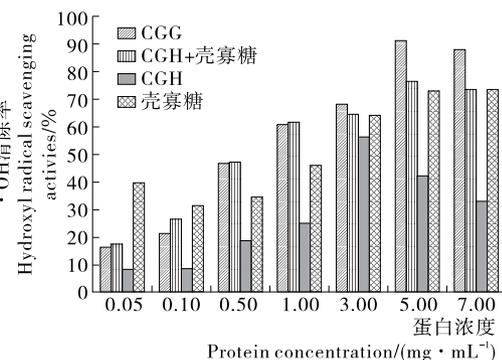


图 2 蛋白浓度对·OH 清除率的影响

Figure 2 Effect of protein concentration on hydroxyl radical scavenging activities

由图 2 的整体趋势可以看出,壳寡糖自身具有显著的·OH 清除能力,且随着壳寡糖浓度的增加,·OH 清除率不断的增加,达到一定浓度后,增加趋势趋于平稳。CGG 的·OH 清除能力比 CGH 强,且两者的·OH 清除能力在一定浓度范围内具有量效关系。CGG 清除·OH 能力增强,可能是因为它作为金属螯合剂,能够与 Fe<sup>2+</sup> 螯合并抑制·OH 的产生,这与 2.2.1 中的试验结果一致。CGH 在蛋白浓度为 3.00 mg/mL 时·OH 清除率达到最高值为 55.98%,而 CGG 在蛋白浓度为 5.00 mg/mL 时·OH 清除率达到了最高值为 90.91%。在蛋白浓度为 5.00 mg/mL 时对应的 CGH、CGH+壳寡糖组和壳寡糖的·OH 清除率分别为

42.12%, 76.38%, 73.00%, 发现此时 CGG 的 ·OH 清除率为 90.91%, 比 CGH、CGH + 壳寡糖组和壳寡糖的高, 说明 CGH 和壳寡糖之间发生了交联反应。美拉德糖基化反应对玉米蛋白水解物的 ·OH 清除率有较为明显的加强, 与尹晨玲等<sup>[15]</sup>研究的美拉德反应可以提高酶解后蛋白的 ·OH 清除率结果相一致。

2.2.3 DPPH·清除率 不同蛋白浓度的玉米蛋白水解物 (CGH)、玉米蛋白水解物美拉德糖基化产物 (CGG) 及对照样品的 DPPH·清除率测定结果见图 3。

DPPH 是一种含发色团的化合物, 溶解在乙醇中后呈深紫色, 可直接与抗氧化物质反应。由图 3 可知, CGH、CGG 和壳寡糖对 DPPH·都有一定清除能力, 在蛋白浓度为 0.50~7.00 mg/mL 时 CGH+壳寡糖组的 DPPH·清除率约为 CGH 和壳寡糖的简单相加, 而 CGH 的 DPPH·清除率比 CGH+壳寡糖组的低, 可以推断 CGH 与壳寡糖发生了交联反应。不同浓度下 CGG 的 DPPH·清除率都要比 CGH 的高, 说明美拉德糖基化改性改善了 CGH 对 DPPH·的清除能力, 可能是与 CGH 共价结合的壳寡糖能够向 DPPH·提供氢原子, 使 DPPH·形成稳定的 DPPH-H 物质。Gottardi 等<sup>[16]</sup>在研究小麦蛋白水解物时, 发现美拉德糖基化反应会产生一种具有增强抗氧化能力的产物, 与本研究结果一致。CGG 和 CGH 在蛋白浓度均为 5.00 mg/mL 时 DPPH·清除率达到了最大值, 分别为 61.75% 和 29.49%, 此时壳寡糖和 CGH+壳寡糖组的值为 69.88% 和 86.49%, 比 CGG 和 CGH 的高。说明美拉德糖基化反应可以有效地提高蛋白水解物的 DPPH·清除率, 且影响自由基清除率的不是简单依靠壳寡糖和蛋白水解物对自由清除率的简单叠加。另外, 从图 3 的整体变化趋势可以得到, 蛋白水解物的抗氧化活性与蛋白浓度之间存在剂量依赖关系。这与 Oh 等<sup>[17]</sup>研究山药蛋白及其糖基化产物的抗氧化活性时, 提出的蛋白浓度与抗氧化物活性之间有剂量依赖关系相符。

总的来说, 玉米蛋白水解物经美拉德糖基化修饰后, 抗氧化活性显著增强, 且抗氧化活性与蛋白浓度之间具有量效关系。

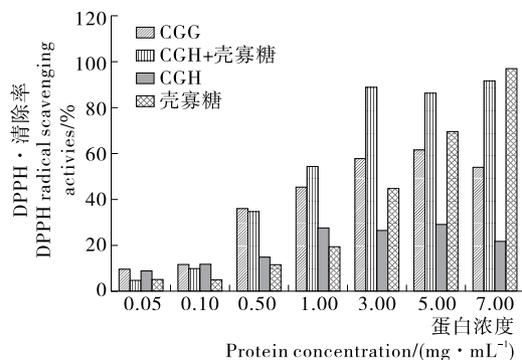


图 3 样品的蛋白浓度对 DPPH·清除率的影响  
Figure 3 Effect of protein concentration on DPPH radical scavenging activities

2.3 CGH、CGG 的分子量分布

采用凝胶过滤色谱分析玉米蛋白酶解产物和糖基化产物的分子量分布情况。玉米蛋白酶解产物和其糖基化产物的分子量分布见图 4。

如图 4 所示, 经计算可知, 在复合蛋白酶和碱性蛋白酶协同作用下, CGH 的分子量在 6 500 Da 以下的约占总数的 98%, 其中分子量在 1 000 Da 以下的小分子多肽约占总数的 75%, 可以看出复合蛋白酶和碱性蛋白酶协同水解能很好地将玉米蛋白粉中大蛋白分子切割成小分子玉米多肽。CGG 的分子量在 6 500 Da 以下的约占总数的 96%, 其中分子量在 1 000 Da 以下的小分子多肽约占总数的 71%。分子量在 200 Da 以下的 CGH 约占总数的 18%, 而 CGG 约占总数的 5%, 可以看出玉米蛋白经美拉德糖基化后, 美拉德糖基化产物的分子量略有升高。据报道<sup>[18]</sup>小分子多肽与大分子蛋白

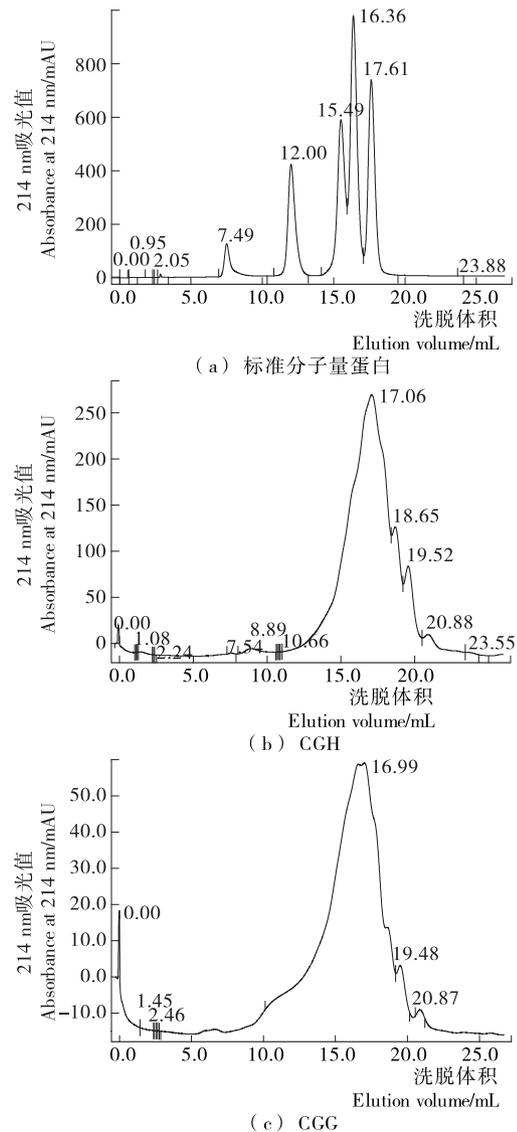


图 4 CGH 和 CGG 的分子量分布洗脱图谱  
Figure 4 Molecular weight distribution elution curve of CGH and CGG

质相比,具有可以迅速提供能量、消化吸收利用率高和生物活性强等优点。再由图 1~3 可以看出,玉米蛋白水解产物具有较强的抗氧化能力,所以玉米蛋白粉经过双酶协同作用后可以提高玉米蛋白粉在食品行业的利用价值。

### 3 结论

美拉德糖基化可以增强玉米蛋白水解物的抗氧化活性,CGH 和 CGG 随着蛋白浓度的增加,抗氧化活性上升趋势明显,在一定的蛋白浓度范围内剂量依赖关系明显。后续将利用细胞试验继续研究 CGH 和 CGG 的抗氧化活性,并对比两者之间的区别。美拉德糖基化改性蛋白质在食品中的应用潜力巨大,并且正在逐步扩大到功能食品行业中,本研究在功能食品生产中具有广阔的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 李鸿梅. 玉米功能肽的制备及其生理活性的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008: 159-161.
- [2] 彭楠, 刘晓兰, 郑喜群. 酶底比对玉米蛋白水解物抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(7): 226-232.
- [3] 陈霞, 罗良煌. 蛋白质翻译后修饰简介[J]. 生物学教学, 2017, 42(2): 70-72.
- [4] OHTSUBO K, MARTH J D. Glycosylation in cellular mechanisms of health and disease[J]. Cell, 2006, 126(5): 855-867.
- [5] 赵文竹, 张瑞雪. 食源性植物糖蛋白研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 389-395.
- [6] 胡燕, 陈忠杰, 李斌. 美拉德反应产物的功能特性和安全性研究进展[J]. 食品工业, 2016(10): 258-262.
- [7] VHANGANI L, VAN Wyk J. Antioxidant activity of Maillard reaction products (MRPs) derived from fructose-lysine and ribose-lysine model systems[J]. Food Chemistry, 2013, 137(1/2/3/4): 92-98.
- [8] ZHANG Ru, ZHANG Bian-ling, HE Ting, et al. Increase of rutin antioxidant activity by generating Maillard reaction products with lysine[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2016, 26(11): 2 680-2 684.
- [9] 陈金斌, 奚秀秀. 花蟹肉酶解多肽美拉德反应产物的抑菌性研究[J]. 食品工业科技, 2017(5): 88-92.
- [10] MARKO D, HABERMEYER M, KEMENY M, et al. Maillard reaction products modulating the growth of human tumor cells in vitro[J]. Chem Res Toxicol, 2003, 16: 48-55.
- [11] 袁建平, 李国辉, 王淑敏, 等. 聚合度 4~6 壳寡糖的制备及其活性研究[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 248-251.
- [12] 杨双, 郑喜群, 刘晓兰, 等. 水解时间对玉米蛋白粉酶解物抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 154-158.
- [13] 刘玥, 刘晓兰, 郑喜群, 等. 复合蛋白酶水解玉米谷蛋白产物的抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 141-145.
- [14] 汪姣玲. 乳清蛋白美拉德改性及其产物功能特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 33-36.
- [15] 尹晨玲, 谢一丹, 吴高琪, 等. 美拉德反应对泥鳅蛋白酶解产物抗氧化性能的强化研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 77-81, 105.
- [16] GOTTARDI D, HONG P K, NDAGIJIMANA M, et al. Conjugation of gluten hydrolysates with glucosamine at mild temperatures enhances antioxidant and antimicrobial properties[J]. Food Science and Technology, 2014, 57: 181-187.
- [17] OH P S, LIM K T. Antioxidant activity of Dioscorea batatas Decne glycoprotein [J]. European Food Research & Technology, 2008, 226(3): 507-515.
- [18] 姚金凤, 白露, 宋亚芳, 等. 多肽类药物代谢研究进展[J]. 中国药理学通报, 2013, 29(7): 895-899.

(上接第 114 页)

#### 参考文献

- [1] 《ZB45 包装机组》编写组. ZB45 包装机组[M]. 北京: 北京出版社, 2013: 48-75.
- [2] 意大利 G. D 公司. YB45 型硬盒包装机说明书[Z]. 博洛尼亚: 意大利 G. D 公司, 2010: 25-29.
- [3] 上海烟草机械有限责任公司. YB45 型硬盒包装机说明书[Z]. 上海: 上海烟草机械有限责任公司, 2014: 65-68.
- [4] 上海烟草机械有限责任公司. GDX2 机械立体图册[Z]. 上海: 上海烟草机械有限责任公司, 2013: 18-27.
- [5] 邓永祥, 李高军. CH 透明纸包装机烟包压紧装置的改进[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 110-113, 213.
- [6] 罗彩丽. GDX2 包装机组 CH 小包透明纸检测系统的设计应用[J]. 烟草科技, 2013(3): 25-26, 30.
- [7] 邓海东. GDX1 包装机商标纸上胶机构的改进[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 78-81.
- [8] 阮忠唐. 联轴器、离合器设计与选用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 136-139.
- [9] 晋萍, 聂宏. 运用 CATIA 和 ADAMS 的十字轴万向联轴器的运动学和动力学仿真[J]. 现代制造工程, 2011(2): 124-129.
- [10] 刘盛娟. 十字轴式万向联轴器的动力学特性仿真分析[D]. 太原: 太原理工大学, 2016: 27-30.
- [11] 高治华, 秦爱中, 熊珍凯. 十字轴式万向联轴器的运动仿真分析[J]. 矿山机械, 2017, 45(11): 43-46.
- [12] 谢明金, 韩红彬, 李义端. 双通道滤棒切割装置设计及仿真分析[J]. 烟草科技, 2015, 48(10): 84-88.
- [13] 邱海飞. 旋转机械基础部件动态分析与仿真研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 101-104.
- [14] 徐华俊, 汤萍. 基于 Solidworks 的包馅机械成型刀盘的仿真分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 104-106.
- [15] 袁昌富, 张宏文, 马万里, 等. 基于 Solidworks Motion 的番茄收获机测产装置的运动学仿真分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 96-99, 180.