

## 酶解中国毛虾

## 制备清除羟自由基活性产物的研究

曹文红, 章超桦\*, 吉宏武, 秦小明

(广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524025)

**摘要:** 研究以高产低值的中国毛虾为原料, 通过测定酶解物对 Fenton 体系产生的羟自由基的清除效果, 从风味酶、复合酶、中性蛋白酶、Alcalase 2.4L 等 10 种常用蛋白酶中筛选出 Alcalase 2.4L 作为酶解中国毛虾制备清除羟自由基活性酶解物的水解酶; 以羟自由基清除率为指标, 利用正交实验对酶解条件进行优化, 将优化酶解条件下的酶解产物进行 Sephadex G-15 凝胶色谱分离 (1.6cm × 68cm), 测定分子量分布并收集各项收峰。结果表明: Alcalase 2.4L 在温度 55℃、pH9.0、酶底物浓度比 [E/S] 为 12.0AU/g、时间 3h 的水解条件下, 酶解物对羟自由基清除率为 84.6%, 水解度为 26.28%, 平均肽链长为 3.81。Alcalase 2.4L 酶解物凝胶色谱分离得到一个较强羟自由基清除活性的组分分子量范围是 2259~869,  $IC_{50}$  为 0.385mg/mL, 肽链长度在 22.4~7.7 之间。

**关键词:** 中国毛虾, 酶解, 羟自由基清除活性, 正交实验, 分子量分布

中图分类号: TS254.1 文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2007)12-0110-04

活性氧自由基可以与生物体内的许多物质如脂、脂肪酸、蛋白质、核酸等作用, 造成相关细胞结构和功能的破坏<sup>[1]</sup>。活性氧自由基在体内主要有三种形式:  $\cdot OH$ 、 $O_2\cdot^-$  和  $H_2O_2$ , 它们是人体新陈代谢的副产物, 在化学致癌过程中起着不可忽视的作用, 其中羟自由基  $\cdot OH$  是体内最活泼的活性氧, 攻击能力最强, 对机体危害最大, 可介导许多病理变化, 如引发不饱和脂肪酸发生脂质过氧化反应, 并损伤膜结构及功能, 因此羟自由基的检测对于自由基的生物作用研究具有重要意义<sup>[2]</sup>。如何清除  $\cdot OH$  等活性氧自由基, 防止氧化对生物体细胞和组织的破坏得到了普遍关注。研究发现一些蛋白质酶解产生的肽具有自由基清除活性, 例如小麦蛋白<sup>[3]</sup>、乳蛋白<sup>[4]</sup>、猪胶原蛋白<sup>[5]</sup>等。中国毛虾 (*Acetes Chinensis*), 又名虾米、

海米, 盛产于我国沿海浅海区。中国毛虾体小, 皮薄, 肉少, 在气温高时, 鲜虾不宜保存, 易腐败, 除少数鲜售外, 大多制成经济价值不高的虾皮、虾酱等, 有相当一部分因未能得到及时有效的利用而腐败变质, 造成很大的资源浪费<sup>[6]</sup>。海洋生物的生存环境与陆地有着极大的不同, 蛋白的结构和氨基酸的序列都有其独特性, 通过控制酶解, 原来在海洋生物蛋白质中呈“惰性”的生物活性肽会释放出来, 表现出抗氧化、促进钙质吸收、增强免疫力等生理功效<sup>[7]</sup>。本研究以中国毛虾为原料, 尝试通过生物酶法降解其蛋白质, 产生具有清除羟自由基活性的肽类, 采用现代生化分离手段将之初步分离纯化并进行自由基清除活性的鉴定, 旨在为中国毛虾抗氧化活性肽的高纯化开发利用奠定一定的理论基础。

## 1 材料与方法

## 1.1 实验材料

中国毛虾 购自广东阳江渔港, 500g 分装, -18℃ 冷冻备用;  $\alpha$ -脱氧核糖 购自美国 Sigma 公司; 分子量标准品牛血清白蛋白 (Mw67000Da)、抑肽酶 (Mw6500Da)、杆菌肽 (Mw1450Da)、L-酪氨酸 (Mw181.19Da) 均购自北京华美生物有限公司; Alcalase 2.4L、风味酶、复合酶、中性蛋白酶 购自诺维信公司; 中性蛋白酶 购自广西南宁庞博生物工程有限公司; 胰蛋白酶、胃蛋白酶、胰酶 购自上海化学试剂公司; 菠萝蛋白酶、动物水解蛋白酶 购自广西大学海发生物酶制剂厂。

## 1.2 酶解处理

将中国毛虾解冻后均浆, 100℃ 水浴 10min 使蛋白质变性, 冷却后加蒸馏水调整底物浓度为 20% (W/V), 调节 pH 至所需要的值, 在设定的恒温水浴中预热 20min 后加入蛋白酶启动反应, 酶解结束后 100℃ 水浴 10min 灭酶, 冷却后 4000r/min 离心 10min, 收集上清液备用。

## 1.3 蛋白酶的筛选

选择 10 种常用蛋白酶, 在最适条件下 (见表 1) 对中国毛虾进行水解, 测定不同时间的酶解产物羟自由基清除活性。

1.4 羟自由基清除活性的测定<sup>[8]</sup>

收稿日期: 2007-03-30 \* 通讯联系人

作者简介: 曹文红 (1977-), 男, 博士研究生, 研究方向: 生物活性肽。

基金项目: 广东海洋大学自然科学基金项目 (0512139)。

表1 各酶酶解的作用条件

蛋白酶	pH	温度(℃)	酶底物比(U/g)	底物浓度(%) (W/V)
胃蛋白酶(300U/mg)	2.5	45	2000	20
中性蛋白酶(丹麦)(1.5AU/g)	7.0	50	3.0(AU/100g)	20
胰蛋白酶(250U/mg)	7.0	50	2000	20
中性蛋白酶(广西)(100U/mg)	8.0	50	2000	20
胰酶(120U/mg)	7.0	50	2000	20
风味酶(500LAPU/g)	6.5	50	1000(LAPU/100g)	20
复合酶(1.5AU/g)	6.5	50	3.0(AU/100g)	20
Alcalase 2.4L(2.4AU/g)	8.0	55	4.8(AU/g)	20
菠萝蛋白酶(180U/mg)	8.0	55	2000	20
动物水解蛋白酶(200U/mg)	8.0	55	2000	20

取0.2mL的FeSO<sub>4</sub>-EDTA混合液(10mmol/L)于具塞试管中,加入0.2mL的α-脱氧核糖溶液(20mmol/L),然后再加入0.2mL测试样品,并用磷酸缓冲液(pH7.4)定容至1.8mL,最后加入0.2mL的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(10mmol/L),37℃水浴保温1h,然后加入1mL 2.8%的三氯乙酸终止反应,再加入1mL 1%的硫代巴比妥,混匀后沸水浴中加热10min,冷却后稀释5倍,于532nm处测光吸收值A<sub>50</sub>。不加样品,同上操作处理,测定其对比吸光值A<sub>c</sub>。样品的自由基清除能力(Scavenging Activity, S<sub>A</sub>)可表示为: S<sub>A</sub>(%) = (A<sub>s</sub> - A<sub>c</sub>)/A<sub>s0</sub>。羟自由基清除率为50%样品液的浓度,记为IC<sub>50</sub>。

### 1.5 水解度及平均肽链长(mean length of peptide linkage, MLPL)<sup>[9]</sup>

DH(%) = 已水解的肽键数/原料中总肽键数 × 100% = [(B - C)/(A - D)] × 100%

式中:A为原料中总氮量,B为水解液中的氨基氮量,C为原料游离的氨基氮量,D为原料中的非蛋白氮量。

平均肽链长: MLPL = 1/DH。

### 1.6 分子量标准曲线的绘制及酶解产物分子量分布的测定

将四种分子量标准品分别上样至Sephadex G-15凝胶柱(1.6cm × 68cm),用蒸馏水洗脱,流速为0.8mL/min,用自动部分收集器收集,每管3mL,测定280nm处的吸光值,建立分子量与洗脱液体积之间的回归方程。将酶解液配制成可溶性蛋白含量为10mg/mL的样品上样,在相同的条件下进行凝胶色谱分离,利用分子量回归方程考察酶解产物的分子量分布。

## 2 实验结果

### 2.1 酶筛选结果

风味酶、复合酶、胃蛋白酶、Alcalase 2.4L等10种蛋白酶在酶解时间2、4、6、8h时的中国毛虾酶解产物对羟自由基的清除活性见表2。从表2中可看出,各酶酶解产物均具有一定的羟自由基清除活性。Alcalase 2.4L的中国毛虾酶解产物对羟自由基的清除活性最高,平均在76.15%以上,当水解时间为2h时,清除能力可达79.4%。复合蛋白酶、胃蛋白酶的酶解产物对羟自由基的清除活性也比较高,平均在60%以上。丹麦诺维信的中性蛋白酶的酶解产物清除活性较低,平均35%左右。各酶酶解产物的羟自

由基清除活性并不随酶解时间而提高,未呈规律性。通过本实验,选择Alcalase 2.4L作为酶法制备中国毛虾清除自由基酶解产物的用酶。Alcalase 2.4L是一种碱性内切蛋白酶,专一性强,酶解蛋白质容易产生短肽,利用Alcalase 2.4L酶解蛋白质制备清除自由基活性肽在很多文献中已有报道<sup>[10-12]</sup>。

表2 蛋白酶酶解产物的羟自由基清除率(%) (5mg/mL)

蛋白酶	2h	4h	6h	8h
风味酶	40.8	42.8	40.8	47.3
复合酶	67.5	62.9	64.4	63.6
木瓜蛋白酶	56.7	60.5	56.9	53.9
胃蛋白酶	60.6	61.3	68.5	59.3
胰酶	40.2	40.3	40.9	41.3
中性蛋白酶(丹麦)	34.7	35.1	38.0	37.5
胰蛋白酶	43.0	40.0	42.5	42.2
Alcalase 2.4L	75.5	79.4	77.6	72.1
中性蛋白酶(广西)	48.9	41.2	43.4	39.7
菠萝蛋白酶	55.3	53.1	53.8	56.7

### 2.2 酶解条件的正交优化结果

为了获得最高羟自由基清除活性的中国毛虾酶解产物,对酶解温度、pH、酶量、酶解时间4个主要因素进行正交优化,根据单因素实验结果(数据未列出)选择因素水平(见表3),以羟自由基的清除率作为衡量指标,利用L<sub>16</sub>(4<sup>3</sup>)正交表进行优化实验。

表3 因素水平编码表

水平	因素			
	A 温度(℃)	B pH	C 酶/底物比(AU/100g)	D 时间(h)
1	45	7.5	4.8	1
2	50	8.0	7.2	2
3	55	8.5	9.6	3
4	60	9.0	12.0	4

极差分析结果表明,影响碱性蛋白酶Alcalase 2.4L酶解产物对羟自由基清除作用的各因素排列顺序是B > D > C > A。由正交实验结果可以得到碱性蛋白酶Alcalase 2.4L酶法制备中国毛虾羟自由基清除活性产物的优化酶解条件是A<sub>4</sub>B<sub>4</sub>C<sub>4</sub>D<sub>3</sub>。考虑到A因素(即温度)是四个因素中的最次要的因素,3水平和4水平对实验指标的影响差异不大,从降低能耗考虑,选择3水平作为该因素的水平,最终确定的最佳优化条件为:55℃,pH9.0,酶底物比[E/S]为12.0AU/g,时间3h。在该条件下,中国毛虾酶解物的

羟自由基清除率为84.6%，水解度为26.28%，平均肽链长为3.81。这表明经过水解之后，中国毛虾蛋白质大部分被降解成了小分子肽和氨基酸。

### 2.3 分子量标准曲线

凝胶层析是利用多孔凝胶固定相为基质，依据分子尺寸大小及形状的差异来进行分离的方法，又称为体积排阻色谱、分子筛色谱，很适合用于蛋白质酶解物的粗分离，能将酶解产物按分子量大小进行分级分离<sup>[13]</sup>。将分子量标准品牛血清白蛋白、抑肽酶、杆菌肽、L-酪氨酸配成溶液，分别上样，经过Sephadex G-15凝胶层析得到洗脱图谱，由图可以看出，牛血清白蛋白、抑肽酶、杆菌肽和L-酪氨酸的洗脱吸收峰分别出现在第18管、第30管、第34管和第43管。

以洗脱液体积 $V_e$ 和分子量对数 $LgM$ 在平面坐标系中描点，得到分子量标准曲线，如图1所示。分子量回归方程为 $y = -28.654x + 194.42$ ，其中 $y$ 为洗脱液体， $x$ 为分子量的对数，决定系数为0.9888，表明回归方程较好的反映了分子量与洗脱液体积之间的关系。

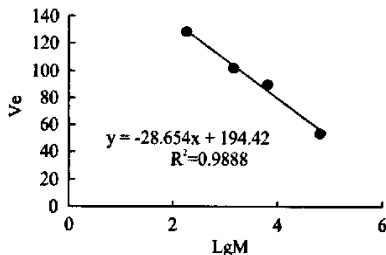


图2 分子量标准曲线

### 2.4 酶解产物的分子量分布

中国毛虾在优化条件下的Alcalase 2.4L酶解产物经Sephadex G-15凝胶色谱分离，得到如下图谱(图2)。经过色谱分离，在紫外波长280nm条件下得到4个主要的吸收峰。峰1出现在24~27管，分子量在19401~9084之间；峰2出现在27~33管，分子量在9084~2259之间；峰3出现在33~37管，分子量在2259~869之间；峰4出现在37~49管，分子量在869~46之间。

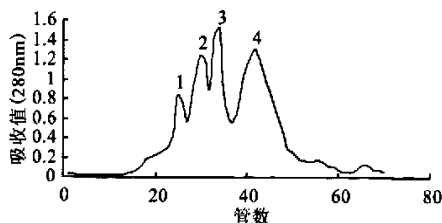


图2 中国毛虾Alcalase 2.4L酶解产物Sephadex G-15凝胶色谱图

将各吸收峰收集后合并，测定其羟自由基清除活性，结果见表4。由表4可以看出，原酶解液的 $IC_{50}$ 为1.327mg/mL，表明经过凝胶色谱分离后，得到了较高羟自由基清除活性的组分，分子量分布在2259~869之间的峰3具有较强的羟自由基清除活性，其

$IC_{50}$ 为0.385mg/mL，其它组分活性相对较低。根据分子量分布，峰4组分主要是小肽和氨基酸，对羟自由基的清除率也达到了0.910mg/mL。由于蛋白质20种氨基酸的平均分子量为128，除去氨基酸与氨基酸缩合成肽键时生成的水分子，峰3组分的肽链长度在20.4~7.7之间。这表明中国毛虾Alcalase 2.4L酶解产物中具有较强羟自由基清除活性的主要是肽产物，这与有关文献报道是一致的<sup>[14]</sup>。从表中的数据可以看出，酶解产物中清除羟自由基活性较强的组分( $IC_{50} < 1mg/mL$ )为分子量在2259以下、肽链长度为20以下的肽和氨基酸，这部分组分占酶解产物的46.8%。

表4 酶解产物的分子量分布、比率及羟自由基清除活性 $IC_{50}$

吸收峰	分子量分布 (Dalton)	所占比率 (%)	羟自由基清除活性 $IC_{50}$ (mg/mL)
1	19401~9084	10.6	2.709
2	9084~2259	23.7	1.673
3	2259~869	21.4	0.385
4	869~46	35.4	0.910
酶解液	—	—	1.327

### 3 讨论

研究表明，某些氨基酸如Glu、Met、Tyr、His、Lys、Pro等具有清除羟自由基的作用<sup>[15-18]</sup>。那些表现出较强清除自由基活性的蛋白质水解肽，往往分子组成中含有这些氨基酸，肽的清除自由基活性要强于相应的氨基酸。中国毛虾原料蛋白质的氨基酸组成中，Glu、Met、Tyr、His、Lys、Pro分别占总氨基酸数的15.49%、3.14%、3.30%、2.12%、7.72%和4.17%，这些氨基酸占氨基酸总量的35.94%<sup>[6]</sup>。因此，通过适当控制酶解条件，在中国毛虾蛋白的酶解物中可得到清除自由基活性肽。

从目前报道的各种自由基清除活性(抗氧化)肽来看，其分子量较小，氨基酸残基的数目一般在20个以内<sup>[14]</sup>。本研究利用Alcalase 2.4L酶解中国毛虾制备具有较高活性的清除羟自由基活性酶解产物，经Sephadex G-15凝胶色谱分离，得到4个吸收峰，清除羟自由基活性最高的组分的 $IC_{50}$ 为0.385mg/mL，分子量分布范围是2259~869，肽链长在20.4~7.7之间。中国毛虾清除自由基活性肽组分的抗自由基能力可能与其氨基酸组成和顺序有关。中国毛虾清除自由基活性肽富含供氢体，具有提供氢质子的能力，可使具有高度氧化性的自由基还原，从而终止自由基链式反应，起到清除或抑制自由基的目的。中国毛虾酶解物中清除自由基活性肽的分离鉴定以及清除羟自由基的确切机制，是我们下一步准备研究的内容。

#### 参考文献:

- [1] 孙存善, 张建中, 段绍瑾, 等. 自由基生物学导论[M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 1999.2~4.
- [2] 祁克宗, 王林安. 自由基和生物抗氧化系统理论与外科学的关系[J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23(2): 171~174.
- [3] Wang J S, Zhao M M, Zhao Q Z. Antioxidant properties of papain hydrolysates of wheat gluten in different oxidation systems [J]. Food Chemistry, 2007, 101(4): 1658~1663.

- [4] Pihlanto A. Antioxidative peptides derived from milk proteins [J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(11):1306~1314.
- [5] Li B, Chen F, Wang X, Ji B P. Isolation and identification of antioxidative peptides from porcine collagen hydrolysate by consecutive chromatography and electrospray ionization - mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(4):1135~1143.
- [6] 曹文红, 章超桦, 湛素华, 等. 中国毛虾营养成分分析与评价 [J]. *福建水产*, 2001 (1):8~15.
- [7] Ravallec Ple R, Charlot C, Pires C, et al. The presence of bioactive peptides in hydrolysates prepared from processing waste of sardine (*Sardina pilchardus*) [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2001(81):1120~1125.
- [8] Mendis E, Rajapakse N, Byun H G. Investigation of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) skin gelatin peptides for their in vitro antioxidant effects [J]. *Life Sciences*, 2005, 17(9):2166~2178.
- [9] Adler-Nissen J. *Enzymic hydrolysis of food proteins* [M]. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. 13~14.
- [10] Klompong V, Benjakul S, Kantachote D. Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type [J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(4):1317~1327.
- [11] Kong B, Xiong Y L. Antioxidant activity of zein hydrolysates in a liposome system and the possible mode of action

- [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(16):6059~6068.
- [12] Kim S K, Kim Y T, Byun H G. Isolation and characterization of antioxidative peptides from gelatin hydrolysate of Alaska pollack skin [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(4):1984~1989.
- [13] 赵永芳. *生物化学技术原理及其应用* [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000. 122~155.
- [14] 丁晓雯, 李洪军, 章道明. 抗氧化肽研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2003, 24(3):36~38.
- [15] Chen H M, Muramoto K, Yamauchi F. Antioxidant activity of designed peptides based on the antioxidative peptide isolated from digests of a soybean peptide [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996, 44:2619~2623.
- [16] Chen H M, Muramoto K, Yamauchi F. Antioxidative properties of histidine-containing peptides designed from peptide fragments found in the digests of a soybean protein [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46:49~53.
- [17] Jung M Y, Kim S K, Kim S Y. Piboflavin - sensitized photooxidation of ascorbic and amino acid: Kinetics and amino acid effects [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1995, 53:397~403.
- [18] 张英, 董绍华. 氨基酸清除活性氧自由基作用的研究 [J]. *科技通报*, 1997(5):312~315.

(上接第 109 页)

## 2.4 Asn/Glc 模拟体系的褐变度及与丙烯酰胺形成的相关性

美拉德反应过程中伴随着褐色物质的形成, 通常采用 420nm 下的吸光度反映反应进程。Asn/Glc 模拟体系的 420nm 下的吸光度变化规律如图 4 所示。可以看出, 随着反应温度的升高和反应时间的延长, 吸光度逐渐增加, 说明 Asn/Glc 模拟体系的美拉德反应程度越来越大, 并且与丙烯酰胺的生成量呈线性相关(表 3)。

表 3 褐变度与丙烯酰胺含量之间的相关性

反应温度(°C)	相关方程	相关系数
90	$y = 2228.988x - 14.564$	0.970
100	$y = 104.074 + 2404.580x$	0.945
110	$y = 1890.193x + 218.578$	0.989
120	$y = 1332.057x - 215.161$	0.957

## 3 结论

通过对 Asn/Glc 模拟体系的研究发现, 反应温度和时间对丙烯酰胺的生成量具有很大的影响, 即随着温度 and 时间的增加, 模拟体系中的天冬酰胺与葡萄糖的含量逐渐减少, 果糖的含量逐渐增多, 整个反应体系的颜色加深, 丙烯酰胺的生成量也相应增加; 达到一定程度后, 温度的升高和时间的延长反而使丙烯酰胺生成量下降, 这与反应体系中的反应物相对减少、反应体系的物理性质的改变等有关。并且研究还发现, 丙烯酰胺与天冬酰胺、吸光度之间呈线性关系, 与葡萄糖也呈一定的相关性。

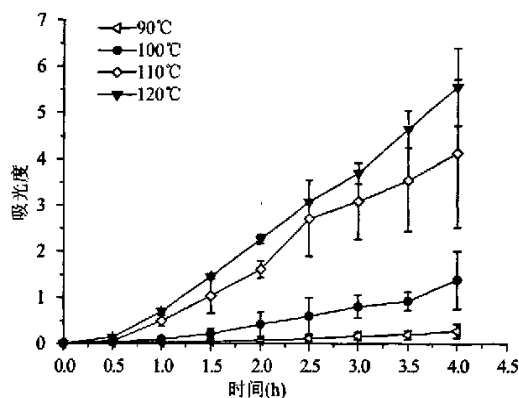


图 4 Glc/Asn 模拟体系 420nm 的吸光度变化

## 参考文献:

- [1] Swedish NFA. Information about Acrylamide in Food. Swedish National Food Administration, April 24, 2002. <http://www.slv.se/engdefault.asp>
- [2] IARC. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Industrial Chemicals. Acrylamide. Lyon, France: IARC; 1994, 60:389~433.
- [3] Mottram D S, Wedzicha B L, Dodson A T. Acrylamide is formed in the maillard reaction [J]. *Nature*, 2002, 419:448~449.
- [4] Stadler R H, Blank I, Varga N, et al. Acrylamide from maillard reaction products [J]. *Nature*, 2002, 419:449.

# 酶解中国毛虾制备清除羟自由基活性产物的研究

作者: [曹文红](#), [章超桦](#), [吉宏武](#), [秦小明](#)  
作者单位: [广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江, 524025](#)  
刊名: [食品工业科技](#) **ISTIC** **PKU**  
英文刊名: [SCIENCE AND TECHNOLOGY OF FOOD INDUSTRY](#)  
年, 卷(期): 2007(12)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(18条)

1. 孙存普;张建中;段绍瑾 [自由基生物学导论](#) 1999
2. 祁克宗;王林安 [自由基和生物抗氧化系统理论与外科学的关系](#)[期刊论文]-[安徽农业大学学报](#) 1996(02)
3. Wang J S;Zhao M M;Zhao Q Z [Antioxidant properties of papain hydrolysates of wheat gluten in different oxidation systems](#)[外文期刊] 2007(04)
4. Pihlanto A [Antioxidative peptides derived from milk proteins](#)[外文期刊] 2006(11)
5. Li B;Chen F;Wang X;Ji B P [Isolation and identification of antioxidative peptides from porcine collagen hydrolysate by consecutive chromatography and electrospray ionization-mass spectrometry](#)[外文期刊] 2007(04)
6. 曹文红;章超桦;谌素华 [中国毛虾营养成分分析与评价](#) 2001(01)
7. Ravallec Ple R;Charlot C;Pires C [The presence of bioactive peptides in hydrolysates prepared from processing waste of sardine \(Sardina pilchardus\)](#)[外文期刊] 2001(81)
8. Mendis E;Rajapakse N;Byun H G [Investigation of jumbo squid \(Dosidicus gigas\) skin gelatin peptides for their in vitro antioxidant effects](#) 2005(09)
9. Adler-Nissen J [Enzymic hydrolysis of food proteins](#) 1986
10. Klompong V;Benjakul S;Kantachote D [Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally \(Selaroides leptolepis\) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type](#)[外文期刊] 2007(04)
11. Kong B;Xiong Y L [Antioxidant activity of zein hydrolysates in a liposome system and the possible mode of action](#)[外文期刊] 2006(16)
12. Kim S K;Kim Y T;Byun H G [Isolation and characterization of antioxidative peptides from gelatin hydrolysate of Alaska pollack skin](#)[外文期刊] 2001(04)
13. 赵永芳 [生物化学技术原理及其应用](#) 2000
14. 丁晓雯;李洪军;章道明 [抗氧化肽研究进展](#)[期刊论文]-[食品研究与开发](#) 2003(03)
15. Chen H M;Muramoto K;Yamauchi F [Antioxidant activity of designed peptides based on the antioxidative peptide isolated from digests of a soybean peptide](#)[外文期刊] 1996
16. Chen H M;Muramoto K;Yamauchi F [Antioxidative properties of histidine-containing peptides designed from peptide fragments found in the digests of a soybean protein](#)[外文期刊] 1998(1)
17. Jung M Y;Kim S K;Kim S Y [Piboflavin-sensitized photooxidation of ascorbic and amino acid:Kinetics and amino acid effects](#) 1995
18. 张英;董绍华 [氨基酸清除活性氧自由基作用的研究](#)[期刊论文]-[科技通报](#) 1997(05)

## 本文读者也读过(10条)

1. 许萍, 薛长湖, 张香治, 赵雪, 李兆杰. XU Ping, XUE Chang-hu, ZHANG Xiang-zhi, ZHAO Xue, LI Zhao-jie 3942中性蛋白酶酶解中国毛虾蛋白制备血管紧张素转移酶抑制肽[期刊论文]-中国水产科学2005, 12(4)
2. 王延群 补钙佳品——虾皮[期刊论文]-食品与健康2010(5)
3. 潘超然. Pan Chaoran 中国毛虾皮低盐度半脱水工艺的研究[期刊论文]-农业工程学报2006, 22(2)
4. 黄儒强, 马红新, 郑宏明, 艾杨. HUANG Ru-qiang, MA Hong-xin, ZHENG Hong-ming, Ai Yang 钦州牡蛎酶解条件的优化研究[期刊论文]-现代食品科技2010, 26(12)
5. 顾林, 汪君, 姜军. GU Lin, WANG Zhi-jun, JIANG Jun 废水鱼汁蛋白质酶解条件的研究[期刊论文]-扬州大学学报(农业与生命科学版) 2006, 27(4)
6. 毋瑾超, 汪依凡, 方长富, WU Jin-chao, WANG Yi-fan, FANG Chang-fu 鲢鱼降血压肽的酶解条件[期刊论文]-湛江海洋大学学报(自然科学)2006, 26(1)
7. 薛勇, 薛长湖, 许萍, 张香治, 赵雪, 李兆杰, Xue Yong, Xue Changhu, Xu Ping, Zhang Xiangzhi, Zhao Xue, Li Zhaojie 中国毛虾蛋白水解物中血管紧张素转移酶抑制肽的研究[期刊论文]-中国食品学报2006, 6(5)
8. 孙占田, 马秋刚, 刘志敏, 钟翠红 大豆虾粉肽适宜酶解好条件的研究[期刊论文]-中国饲料2008(12)
9. 朱迎春, 郭丽, 王琪钰, ZHU Ying-chun, GUO Li, WANG Qi-yu 鲤鱼骨酶解工艺的优化[期刊论文]-山西农业大学学报(自然科学版) 2011, 31(2)
10. 刘国信 虾皮蟹壳综合利用前景好[期刊论文]-北京水产2003(1)

## 引证文献(1条)

1. 柯虹乔, 杨萍, 洪鹏志 酶解金枪鱼头蛋白制备羟基自由基清除物的研究[期刊论文]-农产品加工·学刊 2011(5)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_spgykj200712030.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_spgykj200712030.aspx)