

蚕蛹源 ACE 抑制肽的稳定性和抑制 ACE 动力学

贾俊强^{1,2}, 吴琼英³, 徐金玲³, 杜金娟³, 颜辉³, 桂仲争^{1,2}

(1. 江苏科技大学 蚕业研究所, 江苏 镇江 212018; 2. 中国农业科学院 蚕业研究所, 江苏 镇江 212018; 3. 江苏科技大学 生物与化学工程学院, 江苏 镇江 212018)

摘要: 研究了温度、pH、干燥方式和体外肠道酶消化对蚕蛹源 ACE 抑制肽稳定性的影响, 并通过 Lineweaver-Burk 双倒数曲线作图和紫外光谱初步探讨了蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 的抑制机理。结果表明: 蚕蛹源 ACE 抑制肽在高温、酸性和碱性条件下不稳定, 易失活; 冷冻干燥和喷雾干燥对蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性影响较小; 蚕蛹源 ACE 抑制肽对胃蛋白酶、胰蛋白酶和 α -胰凝乳蛋白酶具有较强的抗消化能力, 经胃蛋白酶、胰蛋白酶和 α -胰凝乳蛋白酶共同消化后, 蚕蛹源 ACE 抑制肽仍能保留初始活性的 94.0%; 蚕蛹源 ACE 抑制肽竞争性抑制 ACE, 其抑制常数 (K_i) 为 0.06 mg/mL; ACE 被蚕蛹源 ACE 抑制肽抑制后, ACE 在 240~280 nm 附近的紫外吸光值明显增加, 初步揭示了蚕蛹源 ACE 抑制肽抑制 ACE 活性时, ACE 的分子结构发生了改变。

关键词: 蚕蛹; ACE 抑制肽; 稳定性; 抑制; ACE 动力学

中图分类号: TS 201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2013)08—0875—07

Stabilities of ACE-inhibitory Peptides from Silkworm Pupae and Their Inhibition Kinetics Against ACE

JIA Jun-qiang^{1,2}, WU Qiong-ying³, XU Jin-ling³, DU Jin-juan³, YAN Hui³, GUI Zhong-zheng^{1,2}

(1. Sericultural Research Institute, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212018, China; 2. Sericultural Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhenjiang 212018, China; 3. School of Biotechnology and Chemical Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212018, China)

Abstract: Effects of temperature, pH, drying methods and in vitro digestion of intestinal enzyme on the stabilities of angiotensin- I converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from silkworm pupae were studied. Furthermore, the inhibitory mechanism of ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae against ACE was preliminarily studied based on the analyses of Lineweaver-Burk plots and ultraviolet spectrum. The results showed that, ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae were instability and easy inactivation under the conditions of high temperature, acidic or alkaline. The effects of freeze-drying and spray-drying on the peptides activity were smaller. The peptides were resistant to digestion by pepsin, trypsin and α -chymotrypsin. After co-digestion by pepsin, trypsin and α -chymotrypsin, the peptides activity could maintain 94.0% of their initial activity. Moreover, the inhibition pattern against ACE revealed that the peptides were competitive inhibitors with

收稿日期: 2012-10-16

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2012693)。

作者简介: 贾俊强(1973—), 男, 陕西兴平人, 工学博士, 助理研究员, 主要从事食品科学方面的研究。E-mail: junqiangjia2008@163.com

inhibition constants(K_i) 0.06 mg/mL. After the inhibition by the peptides, the ultraviolet absorbance values of ACE at 240~280 nm were significant increase, and these changes of ultraviolet absorbance values initially revealed that ACE molecular structure has been changed.

Keywords: silkworm pupae, angiotensin - I converting enzyme (ACE) inhibitory peptides, stabilities, inhibition, ACE kinetics

血管紧张素转换酶 (Angiotensin- I converting enzyme, ACE) 是一种调节人体血压的二肽羧基肽酶, 广泛分布在人体组织和血浆中, 且在肺毛细血管中的含量最为丰富^[1]。ACE 通过控制肾素-血管紧张素系统(Renin-angiotensin system, RAS)和激肽释放酶-激肽系统(Kallikrein-kinin system, KKS)调节人体血压。ACE 抑制肽作为生物活性肽的一种, 具有无毒副作用和对正常血压无影响的优点, 长期服用可以达到预防、控制和辅助治疗高血压之目的^[4]。现已成功从草鱼蛋白^[2]、紫菜蛋白^[3]、蛋清蛋白^[4]、乳清蛋白^[5]和麦胚蛋白^[6]等食源蛋白中分离得到高活性的 ACE 抑制肽。

随着 ACE 抑制肽研究的深入, 研究者发现贮存环境、加工工艺和胃肠道酶消化等因素能够导致 ACE 抑制肽的活性降低, 甚至丧失^[3,7]。因而, 开发 ACE 抑制肽时, 除了具有较高的 ACE 抑制活性外, 还要在生产、贮藏及体内消化吸收过程中具有较强的稳定性。目前, 已有大量食源蛋白 ACE 抑制肽的稳定性被研究, 如: 紫菜源 ACE 抑制肽^[3]和蛋清源 ACE 抑制肽^[7]等。然而, 有关蚕蛹源 ACE 抑制肽稳定性的研究尚未见报道。

本课题组在前期研究工作中利用酶解技术从蚕蛹蛋白中制备出了高活性 ACE 抑制肽^[8]。在此基础上, 作者对蚕蛹源 ACE 抑制肽的热稳定性、耐酸碱性和抗肠道酶消化能力等性能进行研究, 同时, 研究了蚕蛹源 ACE 抑制肽的抑制动力学和抑制后 ACE 的紫外光谱变化, 为蚕蛹源 ACE 抑制肽的工业化生产和应用提供技术和理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 主要试剂和原料 蚕蛹: 由农业部蚕桑产品质量监督检验测试中心(镇江)提供。蚕蛹先用乙醚脱脂, 50 °C 烘干后粉碎, 过 80 目筛备用; 胃蛋白酶、胰蛋白酶和 α -胰凝乳蛋白酶: 均购自生工生物工程

(上海)有限公司; 碱性蛋白酶(alcalase): 购自诺维信(中国)生物技术有限公司; 马尿酸组氨酰亮氨酸(HHL)和血管紧张素转换酶(ACE): 购自 Sigma-Aldrich 公司; 其余试剂均为国产分析纯。

1.1.2 主要仪器 Pellicon 小型超滤系统: 美国 Millipore 公司; UV-2100 型分光光度计: 尤尼柯(上海)仪器有限公司; UV-2450 紫外吸收分光光度计: 日本 Shimadzu 公司; SSY-H 型恒温水浴锅: 上海三申医疗器械有限公司; LR10-24A 型离心机: 北京雷勃尔有限公司; WH-2 微型漩涡混合仪: 上海沪西分析仪器厂; FDU-2100 型冷冻干燥机: 上海爱朗仪器有限公司; DC-1500 喷雾干燥机: 上海达程实验设备有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 蚕蛹源 ACE 抑制肽的制备

1) 蚕蛹蛋白的提取: 取 10 g 蚕蛹粉, 加入 100 mL 蒸馏水, 用 1 mol/L NaOH 调节 pH 至 8.0, 在室温下搅拌 1 h 后, 5 000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 然后用 1 mol/L HCl 将其 pH 调节至 4.0, 静置 30 min 后 5 000 r/min 离心 10 min, 收集沉淀, 将沉淀透析 48 h, 然后冷冻干燥备用。

2) 蚕蛹蛋白的酶解与超滤分离: 将蚕蛹蛋白用蒸馏水配制成质量浓度为 10 g/L 悬浮液, 在酶解温度 50.8 °C、酶解 pH 9.0 和加酶量 3 500 U/g 条件下, 用 Alcalase 酶解 120 min, 酶解结束后在沸水浴中灭酶 5 min, 冷却至室温后, 5 000 r/min 离心 10 min, 收集上清液, 将该上清液用截留相对分子质量为 5 000 的超滤膜进行分离, 透过液即为蚕蛹源 ACE 抑制肽。

1.2.2 体外 ACE 抑制活性的测定 蚕蛹源 ACE 抑制肽的体外活性测定参照文献[9]报道的方法。将 10 μ L 蚕蛹源 ACE 抑制肽与 10 μ L ACE 溶液(酶活力为 0.1 U/mL, 用 pH 8.3 的 100 mmol/L 硼酸钠缓冲溶液(含 300 mmol/L NaCl)配制), 在 37 °C 下预热 5 min, 加入 45 μ L、5 mmol/L HHL 溶液(用 pH 8.3

的 100 mmol/L 硼酸钠缓冲溶液 (含 300 mmol/L NaCl) 配制), 在 37 ℃ 反应 30 min, 反应结束后立即加入 85 μ L、1 mol/L HCl 溶液终止反应; 在反应液中加入 1 mL 乙酸乙酯, 振荡 2 min 后, 4 000 r/min 离心 10 min, 取出 800 μ L 有机相溶液转入玻璃管中, 在 100 ℃ 下蒸发 30 min, 蒸发后的残渣中加入 800 μ L 双蒸水, 混匀后在 228 nm 下测定吸光度 (D_{228}), 每个样品重复 3 次。另以双蒸水代替酶解产物作为空白样品。按下式计算蚕蛹源 ACE 抑制肽的体外活性:

$$I = (A - C) / (A - B) \times 100\%$$

式中, I 为 ACE 抑制率; A 为空白组的吸光度; B 为反应体系中没有加入 ACE 时的吸光度; C 为反应体系中有 ACE 和蚕蛹源 ACE 抑制肽时的吸光度。

1.2.3 蚕蛹源 ACE 抑制肽的稳定性试验

1) 热稳定试验: 将蚕蛹源 ACE 抑制肽溶液 (质量浓度 0.72 mg/mL) 的 pH 调节至 7.0, 分别在 4、37、50、80 ℃ 处理不同时间, 测定其 ACE 抑制活性。

2) 酸、碱稳定性试验: 将蚕蛹源 ACE 抑制肽溶液 (质量浓度 0.72 mg/mL) 的 pH 值分别调节至 2.0、5.0、7.0 和 10.0, 在 20 ℃ 放置不同时间, 测定其 ACE 抑制活性。

3) 干燥方式试验: 将干燥的蚕蛹源 ACE 抑制肽在室温放置不同时间, 然后将其配置成 0.5 mg/mL 溶液, 测定 ACE 抑制活性。冷冻干燥: 温度 -85 ℃, 真空度 <10 Pa; 喷雾干燥: 出风口温度 100 ℃, 进风口温度 190 ℃, 进料速度 10 mL/min; 热风干燥: 温度 55 ℃; 真空干燥: 温度 45 ℃, 真空度 <0.01 MPa。

4) 体外消化试验: 根据 Wu 等^[10]报道的方法 (略有修改) 进行体外消化试验。取 100 mL 蚕蛹源 ACE 抑制肽溶液 (质量浓度 0.5 mg/mL), 将其 pH 值调节至 2.0 后, 加入胃蛋白酶 (1 750 U/g), 在 37 ℃ 下保温 2 h, 然后将酶解溶液的 pH 调节至 7.0, 加入胰蛋白酶 (2 500 U/g) 和 α -胰凝乳蛋白酶 (1 000 U/g), 在 37 ℃ 下保温 4 h 后, 沸水灭酶 10 min, 取样测定 ACE 抑制率。

1.2.4 葡聚糖凝胶 G-50 色谱分析 用蒸馏水作为洗脱液, 流速为 1 mL/min, 上样量为 200 μ L, 凝胶柱规格为 1.0 cm $\times$ 30 cm, 检测波长为 220 nm。

1.2.5 蚕蛹源 ACE 抑制肽的抑制动力学试验 根据 Barbana 等^[11]报道的方法研究蚕蛹源 ACE 抑制

肽的抑制动力学。在不同马尿酸组氨酰亮氨酸 (HHL) 底物浓度下, 测量 ACE 的活性, ACE 的活性用 228 nm 的吸光度 ($A_{228\text{ nm}}$) 表示, 用 $1/A_{228\text{ nm}}$ 和 $1/\text{HHL}$ 作图评价蚕蛹源 ACE 抑制肽的抑制模式, 并通过曲线的回归方程得到蚕蛹源 ACE 抑制肽的抑制常数 K_i 。

1.2.6 蚕蛹源 ACE 抑制肽与 ACE 作用的紫外光谱分析 在 400 μ L ACE 溶液中迅速加入 50 μ L 蚕蛹源 ACE 抑制肽, 在 37 ℃ 下分别测定 0、10 min 时的紫外光谱。扫描条件: 样品池的光径为 1 cm, 在 200~500 nm 下用紫外分光光度计扫描。

2 结果与讨论

2.1 蚕蛹源 ACE 抑制肽的稳定性分析

2.1.1 温度对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响 不同温度对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响见图 1。从图 1 可以看出, 在 4 ℃ 和 37 ℃ 保存时, 随着保存时间的延长, 蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性基本不变, 在 3 h 时活性仍然保留初始时的 92.2% 以上; 当保存温度为 50 ℃ 时, 随着保存时间的延长, 蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性缓慢降低, 在 3 h 时活性为初始时的 75.9%; 当保存温度为 80 ℃ 时, 随着保存时间的延长, 蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性迅速降低, 在 3 h 时活性为初始时的 41.4%, 这主要是因为高温加速了 ACE 抑制肽的裂解^[12]。由此可以看出, 蚕蛹源 ACE 抑制肽在低温下活性较稳定, 而在高温下则活性丧失严重, 这与已报道的紫菜源 ACE 抑制肽的热稳定性^[3]基本一致。

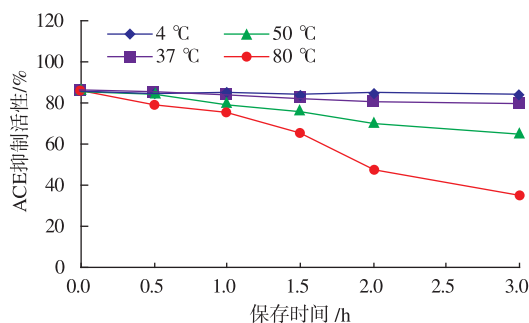


图 1 温度对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响

Fig. 1 Effects of temperature on activities of ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae

2.1.2 pH 对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响 不同 pH 对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响见图 2。从图 2

可以看出,在 pH 7 条件下保存时,蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性较稳定,保存 3 h 的活性为初始时的 89.5%;当保存 pH 值为 2、5、10 时,蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性丧失较大,保存 3 h 后活性分别丧失了 56.0%、46.4% 和 27.5%。试验结果表明,蚕蛹源 ACE 抑制肽在中性条件下稳定性较好,而在强酸和强碱条件下稳定性较差。这可能是因为强酸碱条件造成 ACE 抑制肽的肽链断裂,结构破坏,最终导致 ACE 抑制肽的活性降低^[3]。

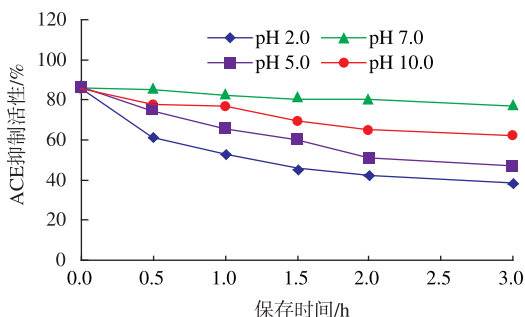


图 2 pH 对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响

Fig. 2 Effects of pH on activities of ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae

2.1.3 干燥方式对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响
干燥方式对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响见图 3。

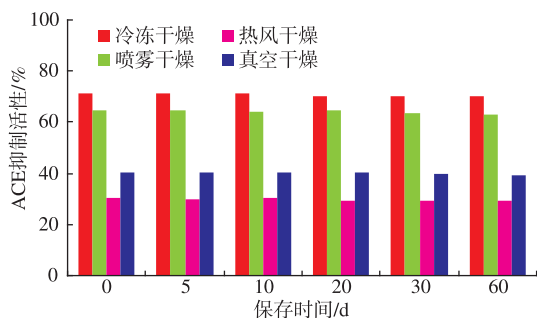


图 3 干燥方式对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响

Fig. 3 Effects of drying methods on activities of ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae

从图 3 可以看出,在 4 种干燥方式中,冷冻干燥对蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性影响最小,干燥后蚕蛹源 ACE 抑制肽 (0.5 mg/mL) 的活性为 71.3%;其次为喷雾干燥,干燥后蚕蛹源 ACE 抑制肽 (0.5 mg/mL) 的活性为 64.6%,为冷冻干燥活性的 90.5%;而热风干燥和真空干燥对蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性影响较大,干燥后蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性迅速下降,仅为冷冻干燥活性的 42.3% 和 56.4%。此外,室温保存试验表明,冷冻干燥、喷雾干燥、真空干燥和

热风干燥的 ACE 抑制肽均具有良好的稳定性,保存 60 d 后活性基本不变。由此可以看出,冷冻干燥和喷雾干燥是干燥 ACE 抑制肽的理想方法。然而,由于冷冻干燥存在干燥时间长、设备昂贵、能耗高等缺点,不宜用于工业化生产。因此,喷雾干燥是工业化干燥蚕蛹源 ACE 抑制肽的最佳选择。

2.1.4 肠道酶消化对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响
蚕蛹源 ACE 抑制肽经肠道消化后,其 ACE 抑制活性变化见表 1。从表 1 可以看出,蚕蛹源 ACE 抑制肽经胃蛋白酶消化后,其活性显著降低 ($P < 0.05$),比消化前降低了 13.1%,相似的现象也被发现在蛋清源 ACE 抑制肽的消化研究中。Miguel 研究发现:胃蛋白酶能够引起蛋清源 ACE 抑制肽活性降低,使其 IC_{50} 值比消化前提高了 54.5%^[13]。这可能是由于胃蛋白酶水解了部分 ACE 抑制肽,使其成为了失活片段,因而活性降低。然而,经胃蛋白酶消化的蚕蛹源 ACE 抑制肽进一步被胰蛋白酶和 α -胰凝乳蛋白酶共同消化后,其活性反而显著提高 ($P < 0.05$),比胃蛋白酶消化后的活性提高了 8.2%。这可能是因为胰蛋白酶和 α -胰凝乳蛋白酶水解后又产生了新的 ACE 抑制肽,该现象在麦胚源 ACE 抑制肽的体外消化试验中也被发现^[14]。

表 1 肠道酶消化对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响

Table 1 Effects of intestinal enzyme degradation on activities of ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae

消化酶处理方式	ACE 抑制活性/%
未处理(对照)	73.19 ± 1.18 ^a
胃蛋白酶	63.58 ± 0.72 ^c
胃蛋白酶 + 胰蛋白酶 + α -胰凝乳蛋白酶	68.79 ± 0.66 ^b

注:上标不同的字母表示各水平间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

为了进一步研究肠道酶消化对蚕蛹源 ACE 抑制肽活性的影响,分别对消化前、胃蛋白酶消化和胃蛋白酶+胰蛋白酶+ α -胰凝乳蛋白酶消化的蚕蛹源 ACE 抑制肽进行葡聚糖凝胶层析分离,层析分离效果见图 4。从图 4 可以看出,消化前和消化后均存在两个主要峰 a 和 b。胃蛋白酶消化后,峰 a 的面积比消化前降低,而峰 b 的面积比消化前增加,这说明胃蛋白酶消化后,蚕蛹源 ACE 抑制肽向小相对分子质量转变;当进一步用胰蛋白酶+ α -胰凝乳蛋白

酶消化后,其峰 a 和 b 分别向右轻微移动,这说明胰蛋白酶+ α -胰凝乳蛋白酶的消化使蚕蛹源 ACE 抑制肽的相对分子质量进一步变小。此结果说明,肠道酶消化降解了部分蚕蛹源 ACE 抑制肽,使其变成失活片段或新的 ACE 抑制肽,最终导致蚕蛹源 ACE 抑制肽在消化前后的活性发生了变化。

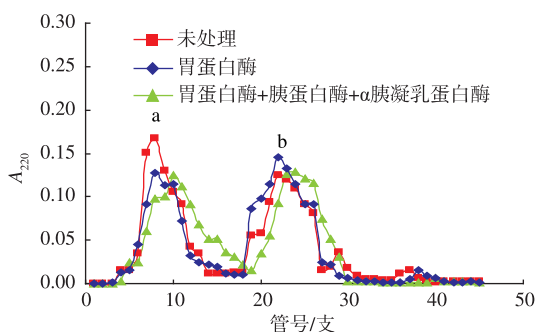


图 4 蚕蛹源 ACE 抑制肽的葡聚糖凝胶 G-50 色谱图

Fig. 4 Sephadex G-50 chromatogram of ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae

2.2 蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 抑制动力学分析

利用 Lineweaver-Burk 双倒数作图法对蚕蛹源 ACE 抑制肽的抑制模式进行研究。蚕蛹源 ACE 抑制肽的 ACE 抑制曲线见图 5。

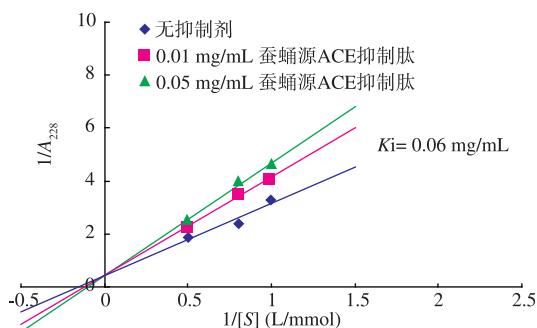


图 5 蚕蛹源 ACE 抑制肽的 ACE 抑制曲线

Fig. 5 ACE inhibition curves of the ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae

从图 5 可以看出,当蚕蛹源 ACE 抑制肽的质量浓度分别为 0、0.01、0.05 mg/mL 时,它们的 Lineweaver-Burk 双倒数曲线相交于 y 轴,这说明蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 的抑制模式是竞争性抑制^[15]。这与已报道的草鱼源 ACE 抑制肽^[2]、大豆源 ACE 抑制肽^[10]和灰树花源 ACE 抑制肽^[16]等的抑制模式相同。根据 Lineweaver-Burk 双倒数曲线的回归方程,得到蚕蛹源 ACE 抑制肽的抑制常数 (K_i) 为 0.06

mg/mL, 远远高于降血压药物 Captopril 的 K_i 值 ($0.0067 \mu\text{g/mL}$)^[17], 这表明蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 的抑制活性远低于 Captopril。尽管蛹源 ACE 抑制肽的活性没有 Captopril 的高,但却远远高于绿豆源 ACE 抑制肽 ($K_i=0.31 \text{ mg/mL}$)^[11]、红扁豆源 ACE 抑制肽 ($K_i=0.46 \text{ mg/mL}$)^[11]和油菜籽源 ACE 抑制肽 ($K_i=0.2 \text{ mg/mL}$)^[18]。

2.3 蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 的紫外光谱影响

在蛋白质的紫外吸收光谱中,色氨酸和酪氨酸在 280 nm 波长附近有一个吸收峰;苯丙氨酸在 257 nm 波长附近有一个吸收峰^[19]。蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 的紫外光谱影响见图 6。从图 6 可以看出,ACE 与蚕蛹源 ACE 抑制肽相互作用 30 min 后,在 240~280 nm 附近的紫外吸光值发生明显的变化。与对照组(0 min)相比,相互作用 30 min 后,ACE 的紫外吸光值在 240~280 nm 附近均明显升高。紫外光谱变化反映了蛋白质在溶液中的构象变化,紫外吸光度的增加说明蛋白质分子发生了伸展^[19-20]。此结果初步说明,蚕蛹源 ACE 抑制肽能够改变 ACE 的分子结构,而这种结构变化是导致 ACE 的酶活降低甚至完全丧失的直接原因。

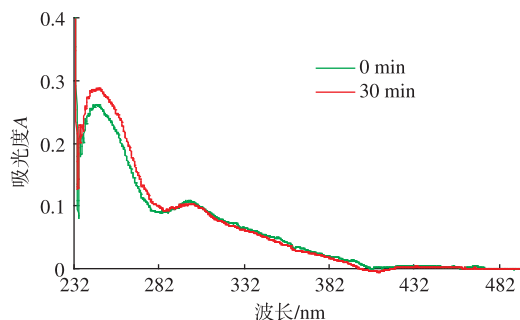


图 6 蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 的紫外光谱影响

Fig. 6 Effects of ACE-inhibitory peptides from silkworm pupae on ultraviolet spectrum of ACE

3 结 语

蚕蛹源 ACE 抑制肽耐高温性能较差,在酸和碱环境中不稳定。冷冻干燥和喷雾干燥对蚕蛹源 ACE 抑制肽的活性影响较小;与其它干燥方式相比,喷雾干燥的效率最高,适宜工业化生产。此外,蚕蛹源 ACE 抑制肽具有较强的耐受胃蛋白酶、胰蛋白酶和 α -胰凝乳蛋白酶消化的能力,经该 3 种消化酶处理后,蚕蛹源 ACE 抑制肽仍能保留初始活性的

94.0%; 蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE 的抑制模式为竞争性抑制, 其抑制常数(K_i)为 0.06 mg/mL, 是一种活性较强的 ACE 抑制剂。蚕蛹源 ACE 抑制肽对 ACE

的紫外光谱有明显影响, 使 ACE 在 240~280 nm 附近的紫外吸光值明显增加, 初步揭示了蚕蛹源 ACE 抑制肽能够改变 ACE 的分子结构。

参考文献:

- [1] Cushman D W, Cheung H S, Sabo E F, et al. Development and design of specific inhibitors of angiotensin-converting enzyme[J]. **The American Journal of Cardiology**, 1982, 49(6): 1390-1394.
- [2] Chen J, Wang Y, Zhong Q, et al. Purification and characterization of a novel angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory peptide derived from enzymatic hydrolysate of grass carp protein[J]. **Peptides**, 2012, 33(1): 52-58.
- [3] 何荣海, 马海乐. 条斑紫菜 ACEI 肽结构鉴定与性能试验[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2012, 33(4): 430-434.
HE Rong-hai, MA Hai-le. Structure characterization and performance determination of *Porphyra yezoensis* ACEI peptides[J]. **Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition**, 2012, 33(4): 430-434. (in Chinese)
- [4] Yu Z, Liu B, Zhao W, et al. Primary and secondary structure of novel ACE-inhibitory peptides from egg white protein [J]. **Food Chemistry**, 2012, 133(2): 315-322.
- [5] Pan D, Cao J, Guo H, et al. Studies on purification and the molecular mechanism of a novel ACE inhibitory peptide from whey protein hydrolysate[J]. **Food Chemistry**, 2012, 130(1): 121-126.
- [6] 赵伟睿, 马海乐, 贾俊强, 等. 超声波对麦胚蛋白性质及其酶解物 ACE 抑制活性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(2): 177-182.
ZHAO Wei-rui, MA Hai-le, JIA Jun-qiang, et al. Effect of ultrasound treatment on the defatted wheat germ protein properties and its ACE inhibition activity[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2010, 29(2): 177-182. (in Chinese)
- [7] 于志鹏, 赵文竹, 于一丁, 等. 蛋清蛋白质降压肽的化学及酶稳定性研究[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 23-26.
YU Zhi-peng, ZHAO Wen-zhu, YU Yi-ding, et al. Stability of antihypertensive peptides from egg white protein to chemicals and enzymes[J]. **Food Science**, 2010, 31(9): 23-26. (in Chinese)
- [8] 贾俊强, 徐金玲, 吴琼英, 等. 酶解蚕蛹蛋白制备血管紧张素转换酶抑制肽的工艺优化[J]. 蚕业科学, 2011, 37(5): 872-877.
JIA Jun-qiang, XU Jin-ling, WU Qiong-ying, et al. Optimization of technology for preparation of angiotensin-converting enzyme inhibitory peptides from silkworm pupal protein by enzymatic hydrolysis[J]. **Science of Sericulture**, 2011, 37(5): 872-877. (in Chinese)
- [9] Muguerza B, Ramos M, Sánchez E, et al. Antihypertensive activity of milk fermented by *Enterococcus faecalis* strains isolated from raw milk[J]. **International Dairy Journal**, 2006, 16(1): 61-69.
- [10] Wu J, Ding X. Characterization of inhibition and stability of soy-protein-derived angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides[J]. **Food Research International**, 2002, 35(4): 367-375.
- [11] Barbana C, Boye J I. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory properties of lentil protein hydrolysates; determination of the kinetics of inhibition[J]. **Food Chemistry**, 2011, 127(1): 94-101.
- [12] 刘静波, 于志鹏, 赵文竹, 等. 蛋清源 ACE 抑制肽结构鉴定及其稳定性[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, 41(2): 579-584.
LIU Jing-bo, YU Zhi-peng, ZHAO Wen-zhu, et al. Characterization and stability of ACE inhibitory peptides derived from egg white protein[J]. **Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition**, 2011, 41(2): 579-584. (in Chinese)
- [13] Miguel M, Alonso M J, Salas M, et al. Antihypertensive, ACE-inhibitory and vasodilator properties of an egg white hydrolysate: effect of a simulated intestinal digestion[J]. **Food Chemistry**, 2007, 104(1): 163-168.
- [14] Matsui T, Li C H, Tanaka T, et al. Depressor effect of wheat germ hydrolysate and its novel angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide, Ile-Val-Tyr, and the metabolism in rat and human plasma [J]. **Biological & Pharmaceutical Bulletin**, 2000, 23(4): 427-431.
- [15] Quirós A, Contreras M M, Ramos M, et al. Stability to gastrointestinal enzymes and structure-activity relationship of β -casein-peptides with antihypertensive properties[J]. **Peptides**, 2009, 30(10): 1848-1853.
- [16] Choi H S, Cho H Y, Yang H C, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitor from *Grifola frondosa* [J]. **Food Research International**, 2001, 34(2-3): 177-182.

- [17] Tsai J, Chen T, Sun Pan B, et al. Antihypertensive effect of bioactive peptides produced by protease-facilitated lactic acid fermentation of milk[J]. **Food Chemistry**, 2008, 106(2): 552-558.
- [18] Makinen S, Johansson T, Gerd E V, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory and antioxidant properties of rapeseed hydrolysates[J]. **Journal of Functional Foods**, 2012, 4(3): 575-583.
- [19] 吴丹, 徐桂英. 光谱法研究蛋白质与表面活性剂的相互作用[J]. 物理化学学报, 2006, 22(2): 254-260.
WU Dan, XU Gui-ying. Study on protein-surfactant interaction by spectroscopic methods [J]. **Acta Physico-Chimica Sinica**, 2006, 22(2): 254-260. (in Chinese)
- [20] Tang C, Yang X, Chen Z, et al. Physicochemical and structural characteristics of sodium caseinate biopolymers induced by microbial transglutaminase[J]. **Journal of Food Biochemistry**, 2005, 29(4): 402-421.

科技信息

泰国食药委公布大米药残标准

据泰国《世界日报》7月18日消息,对于民间组织抽样化验发现曼谷市面上的大米样本有化学药品残留超标问题,卫生部食品与药品委员会17日首次响应公布大米化学残留含量标准,规定大米中残留的3种化学物质包括甲基溴、磷化氢和氟化硫的含量不可超过百万分之50。

食药委员会副秘书长实暖表示,该委员会在17日的会议中提议,卫生部在本周内批准第2分含毒素食物部级法规草案,以完善和提高使用化学药物熏蒸大米的规定和标准。

在卫生部长签署批准出台该部级法规后,大米中3种化学物质残留包括甲基溴、磷化氢和氟化硫的含量不可超过百万分之50的规定将立即生效,而这也将与国际食品标准相关规定相符合,只是一直以来泰国没有按照该国际规定执行。

实暖还强调,残留在大米中的甲基溴并不危险,消费者在食用大米后也不会造成癌症,该物质只被利用在熏米驱除害虫而已,不会给大米造成污染,也不会给消费者带来影响,实际上该物质给熏米工人的影响更大。目前国际上包括泰国正准备取消使用甲基溴熏米,因为发现甲基溴会破坏大气臭氧层。

实暖指出,大米中残留的甲基溴在淘米和煮饭过程中会减少高达86%,因此,食药委员会再次向广大消费者重申,国内市场上销售的大米完全可以放心食用。

[信息来源]新农村商网. 泰国食药委公布大米药残标准 [EB/OL]. (2013-7-19). http://nc.mofcom.gov.cn/article/xw/gjdt/201307/18544402_1.html.

壳聚糖、有机酸及其纳米级胶体应用于食品抗菌包装材料

2013年6月,《Food Control》刊登一项壳聚糖、有机酸及其纳米级胶体在食品抗菌包装材料中潜在应用的研究。

研究人员将低分子量及中分子量的壳聚糖及有机酸(苯甲酸、山梨酸和商业纳米级苯甲酸-山梨酸胶体)抗菌活性进行对比。研究表明,壳聚糖抗菌活性受其分子量的影响,低分子量及中分子量壳聚糖最低抑菌浓度(w/v)分别为0.010%、0.015%,纳米级苯甲酸-山梨酸胶体抗菌活性显著高于其非纳米级胶体。纳米级胶体抗菌剂可以使用更少的抗菌物质达到相同的抗菌效果,在智能抗菌包装材料中具有广阔的应用前景。

[信息来源] M.C. Cruz-Romeroa, T. Murphya, M. Morrisb, E. Cumminsc, J.P. Kerry. Antimicrobial activity of chitosan, organic acids and nano-sized solubilises for potential use in smart antimicrobially-active packaging for potential food applications[J]. **Food Control**. 2013, 34(2): 393-397.