

# 体外仿生消化在华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*) 体内镉的生物可给性中的应用

杨妙峰<sup>1,2</sup>①

(1. 福建省水产研究所 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室 厦门 361013;  
2. 福建省海洋生物资源开发利用协同创新中心 厦门 361013)

**摘要** 体外仿生消化是目前研究食品中污染物生物可利用性的有效手段之一。将体外仿生消化法应用于华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*, 以下简称扇贝)中镉(Cd)生物可给性分析的前处理工序(Cd 暴露水平较高), 即模拟人体消化环境, 加入消化液所含有机物和无机物(含消化酶), 探讨扇贝体内 Cd 在胃肠中的释放机制。结果显示, 各体外仿生消化液单独作用于扇贝时, Cd 溶出平衡时间顺序依次为: 仿生唾液>胃液>胆汁>十二指肠液, 而溶出量大小顺序为: 胃液>胆汁≈十二指肠液>唾液, 仅十二指肠液和胆汁中 Cd 溶出时的  $\ln C-t$  呈线性相关( $R^2=0.9530$  和  $R^2=0.8891$ )。因此, Cd 在唾液或胃液中溶出时的关键因子是 pH, 但在十二指肠液、胆汁和全过程仿生消化液中, 消化酶起决定作用。样-液比在 1:10-1:120 (g/ml)之间时, 扇贝体内 Cd 溶出率没有显著差异, 即样-液比对 Cd 的生物可给率影响不大。体外全仿生消化结果显示, 扇贝内约有 70% 的 Cd 释放溶出, 即扇贝消化糜中 Cd 的最大生物可给率为 70%。

**关键词** 镉; 体外仿生消化; 生物可给性

**中图分类号** X820.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)06-0094-06

镉(Cd)作为当今世界三大重点研究的毒素之一, 位列联合国环境规划署(UNEP)提出的 12 种具有全球性意义的化学有害物质之首以及美国毒物管理委员会(ATSDR)提出的危害人体健康的有毒物质第 6 位(王丽娟等, 2014)。营滤食性底栖双壳类的华贵栉孔扇贝(*Chlamys nobilis*, 以下简称扇贝), 对 Cd 累积富集能力较强, 超标现象严重, 正常膳食暴露水平下, 产生的健康风险虽然尚在可接受范围内, 但基于日容许摄入量的靶标危害系数(THQs)相对较高, 即外暴露水平较高, 其食用安全应引起一定的重视(姜元欣等, 2013; 陈红英等, 2015)。

另一方面, 李凤琴等(2011)指出, 食品中的污染物被机体摄入后只有从基质中释放出来的部分可对

机体产生毒性作用, 动物模型或体外方法模型都是探究污染物生物可给性的有效方法, 而后者以其程序简单、稳定、可重复等特性, 已成为评估食品安全风险的重要技术手段之一。本研究采用“全仿生消化法”模拟人体胃肠道的消化环境, 对扇贝体内 Cd 的生物可给性进行探讨, 并分析了消化液组成(酸度、无机物和有机物、消化酶)、样-液比等对 Cd 溶出的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器设备与试剂

仪器设备: 原子吸收光谱仪(iCE 3500, ThermoFisher), 水浴恒温振荡器(THZ-82, 常州国华电器有限公司),

\* 福建省省属公益类科研院所基本科研专项(闽海渔科 2013R001-4; 闽海渔科 2013R001-5)、福建省海洋高新技术产业发展专项项目(闽海洋高新[2014] 18 号)、闽台重要海洋生物资源高值化开发技术公共服务平台(2014FJPT01)和福建重要海洋经济生物种质库与资源高效开发技术公共服务平台(14PZY017NF17)共同资助。

① 通讯作者: 杨妙峰, 助理研究员, E-mail: miaofenf@sina.com

收稿日期: 2015-11-02, 收修改稿日期: 2015-11-27

高速离心机(5810R, Eppendorf), 微波消解仪(Mars 5, CEM), pH/ISE 测试仪(828 型, Orion), 超纯水系统(Milli-Q element A10, Millipore)。

胰液素(效价 1 : 4000)、胆汁、牛血清白蛋白、 $\alpha$ -淀粉酶(活力 4000 U/g)、脂肪酶(活力 30000 U/g)、黏液素、尿酸、胃蛋白酶(效价 1 : 30000)等生化试剂均购于上海一基实业有限公司; 氢氧化钠、浓盐酸、浓硝酸为优级纯; 其余试剂均为分析纯。

实验用华贵栉孔扇贝购于厦门市第八市场, 用超纯水冲洗 3 遍后去壳匀浆。

GBW10024(GSB-15)扇贝成分分析标准物质购于北京标新方圆技术咨询有限公司。

## 1.2 仿生消化液制备

参照 Oomen 等(2003)和林路秀等(2014)体外全仿生消化液的配制方案, 分别加入胃和肠中所含的有机物和无机物, 调节 pH 至各消化液相应的 pH 值, 制备半仿生消化液; 在半仿生消化液基础上, 分别加入对应的消化酶, 制备全仿生消化液, 全仿生消化液在 4℃ 下保存备用。具体配制方法见表 1。

## 1.3 实验设计

**1.3.1 溶出平衡时间** 设置 4 个实验组, 称取扇贝样品约 2 g (精确至 0.001 g, 平行 2 份), 分别加入全仿生唾液、胃液、十二指肠液和胆汁各 40 ml, 在 37℃ 恒温振荡(设置不同浸提时间)后, 8000 r/min 离

心 10 min (4℃), 取上清液用 0.45  $\mu$ m 滤膜过滤, 滤液(仿生消化食糜)在 4℃ 下保存待用。

**1.3.2 影响因素** (1)消化液组成: 设置仿生唾液、胃液、十二指肠液、胆汁和全过程仿生消化液 5 个实验组, 分别测试 pH、无机/有机物以及消化酶对仿消化的影响。浸提液分别为纯水(调至相应 pH)、半仿生消化液(无消化酶)和仿生消化液, 样-液比约为 1 : 20 (g/ml)。所有实验平行 2 份, 取平均值。

(2)样-液比 按样-液比 1 : 10、1 : 20、1 : 30、1 : 60 和 1 : 120 (g/ml)分别称取一定量的扇贝样品进行全过程仿生消化: 先加入全仿生唾液 2.5 ml, 37℃ 恒温振荡 5 min; 加全仿生胃液 15 ml, 37℃ 恒温振荡 2 h; 再加入 30 ml 十二指肠液和 10 ml 胆汁, 37℃ 恒温振荡 7 h 后, 8000 r/min 离心 10 min (4℃), 取上清液, 用 0.45  $\mu$ m 滤膜过滤, 滤液(仿生消化食糜)在 4℃ 下保存待用。所有实验平行 2 份, 取平均值。

**1.3.3 微波消解及 Cd 含量测定** 称取 0.5 g 扇贝成分分析标准物质或 2 g 扇贝样品(精确至 0.001 g), 加入 10 ml 浓 HNO<sub>3</sub>, 微波消解测定扇贝样品总 Cd 量; 移取 5.00 ml 仿生消化滤液(消化食糜), 加入 5 ml 浓 HNO<sub>3</sub>, 微波消解后测定扇贝 Cd 溶出量; 将仿生消化残渣全量转移至消解罐, 加入 10 ml 浓 HNO<sub>3</sub> 消解测定残渣态 Cd 含量; 同时进行试剂空白对照。采用石墨炉原子吸收光谱仪(iCE 3500)测定扇贝样品、仿生消化食糜和残渣中 Cd 的含量。

表 1 各体外仿生消化液的组成成分

Tab.1 Concentrations of the synthetic juices composing the *in vitro* bionic digestion

项目 Items	唾液 Saliva	胃液 Gastric juice	十二指肠液 Duodenal juice	胆汁 Bile
无机物 Inorganic solution	10 ml 89.6 g/L KCl 10 ml 20 g/L KSCN 10 ml 88.8 g/L NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 10 ml 57 g/L Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1.7 ml 175.3 g/L NaCl 1.8 ml 40 g/L NaOH	15.7 ml 175.3 g/L NaCl 3.0 ml 88.8 g/L NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 9.2 ml 89.6 g/L KCl 18 ml 22.2 g/L CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O 10 ml 30.6 g/L NH <sub>4</sub> Cl 8.3 ml 37% g/g HCl	40 ml 175.3 g/L NaCl 40 ml 84.7 g/L NaHCO <sub>3</sub> 10 ml 8 g/L KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 6.3 ml 89.6 g/L KCl 10 ml 5 g/L MgCl <sub>2</sub> 0.18 ml 37% g/g HCl 9 ml 22.2 g/L CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	30 ml 175.3 g/L NaCl 68.3 ml 84.7 g/L NaHCO <sub>3</sub> 4.2 ml 89.6 g/L KCl 0.20 ml 37% g/L HCl 10 ml 22.2 g/L CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O
有机物 Organic solution	8 ml 25 g/L 尿素 Urea	10 ml 65 g/L 葡萄糖 Glucose 10 ml 2 g/L 葡萄糖醛酸 Glucuronic acid 3.4 ml 25 g/L 尿素 Urea 10 ml 33 g/L 氨基葡萄糖盐酸盐 Glucoseamine hydrochloride	4 ml 25 g/L 尿素 Urea	
消化酶 Digestive enzyme	145 mg $\alpha$ -淀粉酶 $\alpha$ -amylase 15 mg 尿酸 Uric acid 50 mg 黏液素 Mucin	1 g 牛血清蛋白 BSA 1 g 胃蛋白酶 Pepsin 3 g 黏液素 Mucin	1 g 牛血清蛋白 BSA 3 g 胰液素 Pancreatin 0.5 g 脂肪酶 Lipase	1.8 g 牛血清蛋白 BSA 6 g 胆汁 Bile
pH	6.5±0.2	1.07±0.07	7.8±0.2	8.0±0.2

注: HCl 或 NaHCO<sub>3</sub> 溶液调节 pH 后, 用超纯水定容至 500 ml, 4℃ 保存

Note: If necessary, the pH of each juice is adjusted to the appropriate interval by HCl or NaHCO<sub>3</sub> solution and diluted to 500 ml with ultrapure water before storage at 4℃

### 1.4 数据处理与分析

Cd 的溶出率为消化食糜中 Cd 含量与扇贝样品中 Cd 总量的比值, 即:

$$\text{溶出率} = (C \times V) / (\omega \times m) \times 100\%$$

式中,  $C$  为消化食糜中溶解态 Cd 含量( $\mu\text{g/L}$ );  $V$  为消化液体积( $\text{ml}$ );  $\omega$  为扇贝样品 Cd 含量( $\mu\text{g/g}$ );  $m$  为称样量( $\text{g}$ )。

扇贝体内 Cd 的生物可给率是指扇贝样品经胃肠道消化后 Cd 的最大释放量, 以全过程仿生消化后 Cd 的溶出率进行表征。

使用 Excel 2007 进行数据处理和图形制作。设定差异显著性水平  $P$  为 0.05, 当  $P < 0.05$  时为差异显著, 反之差异不显著。

## 2 结果与讨论

### 2.1 扇贝样品中总镉含量

扇贝标准物质 Cd 含量测定结果为  $(1.12 \pm 0.03) \mu\text{g/g}$ , 与参考值  $(1.06 \pm 0.10) \mu\text{g/g}$  相吻合, 表明微波消解-原子吸收光谱法测定试样中 Cd 含量准确可靠。

实验用扇贝 Cd 含量较高, 测定值为  $2.98 \mu\text{g/g}$ , 这可能是因为扇贝本身对 Cd 的同化率较高, 且 Cd

在扇贝体内的生物半衰期较长, 在正常海区也能在体内快速累积 Cd 至较高浓度(赵艳芳等, 2014), 因此, 其食用安全风险需要引起一定的重视。

### 2.2 溶出平衡时间

不同振荡时间下, 仿生唾液、胃液、十二指肠液和胆汁中实验用扇贝 Cd 的溶出平衡见图 1, 仿生唾液中 Cd 的溶出, 在 20 min 时达到最大值, 然后趋于稳定, 平衡时间最短。仿生胃液中 Cd 的溶出, 则在 2 h 达到最大值, 然后趋于稳定, 平衡时间次之; 仿生十二指肠液中 Cd 的溶出在 7 h 内逐步增长, 7 h 后出现明显下降现象。仿生胆汁中 Cd 的溶出在 3 h 达到最高值, 然后趋于稳定。总体而言, 各仿生消化液中 Cd 的溶出平衡时间顺序依次为: 仿生唾液 > 胃液 > 胆汁 > 十二指肠液。

王秀丽等(2013)指出, 酶解时间影响酶的催化反应, 随着反应时间的延长, 酶解程度逐渐增大, 当胃蛋白酶酶解时间大于 2 h, 酶解反应已充分, 与本实验的结果相吻合。仅仿生十二指肠液出现酶解完全后 Cd 溶出率明显下降的现象, 这可能是由于扇贝体内最主要的营养成分是蛋白质, 占干品总重 60% 以上(李薇薇, 2011), 而蛋白质主要的消化酶在肠液中(胃蛋白酶仅针对水溶性蛋白质), 当蛋白质酶解程度过

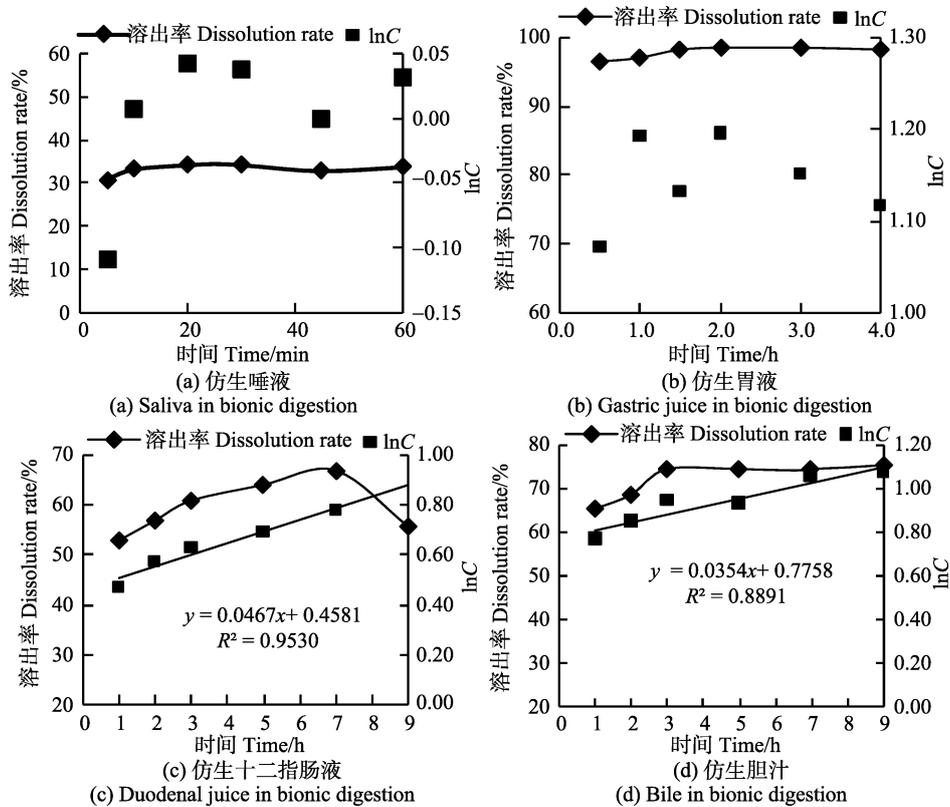


图 1 体外全仿生消化液中 Cd 的溶出率和时间关系

Fig.1 The relationship between Cd dissolution rate and time during *in vitro* whole-bionic digestion

大时,降低了产物中小肽的含量,若进一步延长酶解时间,反而会降低酶解产物得率(王秀丽等, 2013)。

此外,将仿生消化液 Cd 溶出量的对数值( $\ln C$ )与溶出时间( $t$ )作图,仅仿生十二指肠液和仿生胆汁  $\ln C-t$  呈明显线性关系,具有一级反应的特点,线性方程分别为  $\ln C=0.0467t+0.4581$  ( $R^2=0.9530$ )和  $\ln C=0.0354t+0.7758$  ( $R^2=0.8891$ )。

### 2.3 溶出量

用仿生唾液、胃液、十二指肠液和胆汁分别提取扇贝样品 20 min、2 h、7 h 和 3 h,胃液中 Cd 溶出量最高(2.93  $\mu\text{g/g}$ ),溶出率高达 98%;唾液中最低(1.03  $\mu\text{g/g}$ ),溶出率约 34%;肠液和胆汁中 Cd 溶出量相差不大(分别为 1.99  $\mu\text{g/g}$  和 2.22  $\mu\text{g/g}$ ),溶出率约 70%。

Cd 溶出量高低与消化液组成和扇贝营养成分有很大关系,唾液中仅含微量淀粉酶,只能对糖类进行初步消化,而扇贝干品中糖类仅占 15%左右(李薇薇, 2011),唾液对其消化能力有限。胃液能对蛋白质进行初步消化,但 Cd 高溶出量可能与其极低的 pH 值(1.07 $\pm$ 0.07)有关。十二指肠液所含的胰液素和脂肪酶能对糖类、蛋白质和脂肪进行消化;胆汁不含消化酶,但能乳化脂肪,属于物理性的消化,对 Cd 溶出有促进作用;另一方面,肠液和胆汁的 pH 偏弱碱性,Cd 溶出受到一定的制约。

### 2.4 影响因素

**2.4.1 消化液组成** 在人体消化系统中,酸度、无机/有机物、消化酶和肠道微生物均对膳食摄入 Cd 的形态和生物可给性方面起重要作用(Oomen *et al.*, 2003; 陈丽惠等, 2013),本研究以扇贝体内 Cd 在纯水(调至相应 pH)、半仿生消化液(无消化酶)和仿生消

化液中的溶出率变化对前三者在消化体系中所起的作用进行初步探讨。

如图 2 所示,pH 对唾液中扇贝样品 Cd 溶出的贡献率高达 63%,这与唾液仅含微量内容物以及唾液本身对富含蛋白的扇贝样品消化能力有限有关。胃液中 Cd 极高的溶出率(>95%)与胃液中的盐酸介质对无机镉和有机镉的浸提作用有关,如 Cd 金属硫蛋白在 pH 为 2.5–3.5 时,有 50%的金属离子发生解离(李敏, 2008)<sup>1)</sup>。当 pH 由 6.5 降至 1.07 时,Cd 溶出率提高了 3.5 倍,同时,极低的 pH 掩盖了胃液中无机/有机物和消化酶对 Cd 溶出率的影响。

无机/有机物的引入使十二指肠液、胆汁和全过程仿生消化液中 Cd 溶出量较单纯酸度影响增长了 76%、111%和 54%,这可能是因为无机盐阳离子(如  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 等)的竞争吸附效应以及  $\text{Cl}^{-}$ 等无机阴离子与  $\text{Cd}^{2+}$ 形成可溶性配合物均可促进消化食糜中 Cd 的溶解平衡(王祖伟等, 2012、2008)。

十二指肠液和胆汁中消化酶对 Cd 溶出的贡献显著,约占总溶出量的 40%,远大于 pH 和无机/有机物的影响,因此,肠液和胆汁中 Cd 溶出时  $\ln C-t$  呈线性关系的主因可能是受酶反应所控制,消化酶能促进食物中糖、脂肪、蛋白质水解生成小分子物质,从而通过影响 Cd 配合物的配体组成提高 Cd 的溶出率(林路秀等, 2010)。酶效应对于全过程仿生消化液中 Cd 溶出效果的影响更明显,约占总溶出量的 51%,胆汁的乳化作用可能会促进十二指肠液中酶反应的进行。

**2.4.2 样-液比** 在消化液配比为 0.25 : 1.5 : 3 : 1 的体系中,扇贝样品与消化液比例在 1 : 10–1 : 120 时,Cd 溶出率在 62%–69%之间,没有显著差异,但 1 : 20 和 1 : 30 处理时溶出量略高于其他比例。体外

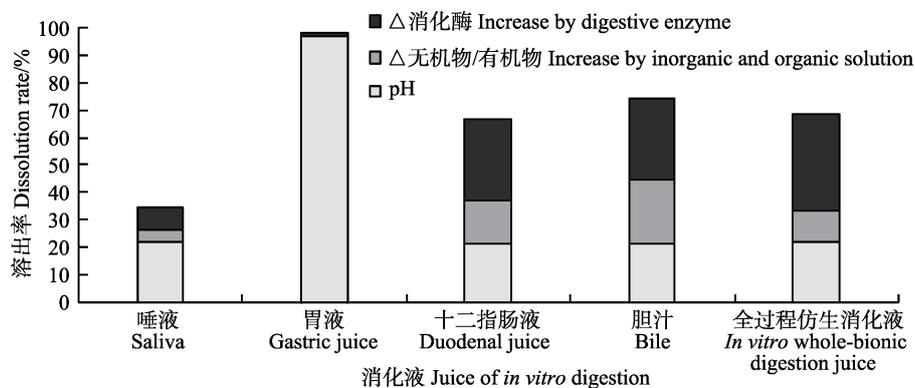


图 2 不同消化液组成对扇贝样品 Cd 溶出率的影响

Fig.2 The effects of different digestion juice on Cd dissolution rate in *C. nobilis*

1) 李敏. 水产品中镉污染的安全评价及其不同形态的影响研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2008, 48–66

仿生消化在土壤中污染物的研究中应用更为广泛, Oomen 等(2003)总结了仿生消化在土壤中污染物生物可利用率中的应用发展过程时指出, 土-液比变化对土壤中污染物生物可利用率的影响可能主要来自扩散限制溶解动力学, 土-液比变化对生物可利用率的影响不大, 称样过多可能会降低其生物可利用率, 但扩散本身不是其限制因素。虽然扇贝与土壤的基质不同, 但仿生消化的作用机理相似, 样-液比同样对扇贝体内 Cd 溶出率影响不大。

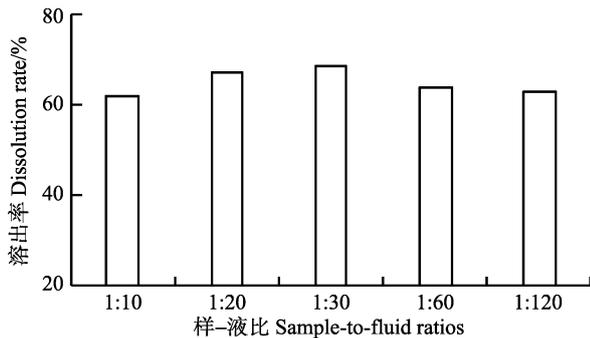


图 3 不同消化液中扇贝样品 Cd 的溶出率  
Fig.3 The dissolution rate of Cd in *C. nobilis* with different digestion

## 2.5 扇贝样品 Cd 生物可给性分析

饮食摄入是人体污染物暴露的主要途径之一, 体外仿生消化研究污染物经口生物利用率也成为评估食品安全风险评估的重要手段。污染物经口生物利用率(Bioavailability)是描述污染物在胃肠道释放(生物可给性, Bioaccessibility)、吸收(穿过小肠上皮细胞的部分)、在肠道或肝脏中代谢(首过效应), 最终到达机体循环系统的过程(李凤琴等, 2011; Oomen *et al.*, 2003), 而全过程仿生消化食糜中 Cd 含量即代表 Cd 在胃肠道的最大释放量, 即扇贝体内 Cd 的最大生物可给率约为 70%。

由图 2 可知, 在胃液强酸条件下, 扇贝体内 Cd 溶出率一度高达 95%以上, 但胃却不是 Cd 的主要吸收器官, 人体吸收膳食中 Cd 的主要部位在十二指肠, 十二指肠对 Cd 的吸收率是空肠和回肠的 2 倍(徐敏, 2009)<sup>1)</sup>, 胃粘膜的阻隔作用和上皮细胞的不断代谢更新可能是 Cd 在胃中不易被吸收的原因, 而肠道内 Cd 溶出率低于胃则应归因于 pH 骤升后 Cd 的沉淀和再吸附(付瑾等, 2012)。

人体对膳食中 Cd 的吸收率一般在 10%以下(吴大伟等, 2010), 基于消化管和血管间的生物膜是

类脂质膜(林路秀等, 2010), 后续可进一步通过脂质体模拟生物膜确认 Cd 的生物可利用性并进行食品安全评价。

## 3 结论

(1) 不同仿生消化液对扇贝体内 Cd 溶出平衡时间不同, 依次为: 仿生唾液>胃液>胆汁>十二指肠液, 仅后 2 种仿生消化液中 Cd 溶出量  $\ln C$  与时间  $t$  呈线性关系, 具有一级反应的特点。

(2) 扇贝体内 Cd 在不同仿生消化液的溶出量顺序为: 胃液>胆汁 $\approx$ 十二指肠液>唾液。消化液 pH 是影响 Cd 溶出量的重要因素, 而在近中性条件下(pH 6-8), 酶解反应对 Cd 溶出量影响显著。

(3) 样-液比在 1:10-1:120 之间, 扇贝体内 Cd 溶出率没有显著差异, 表明样-液比对 Cd 的生物可给率影响不大。

(4) 全过程仿生消化液作用下, 扇贝体内约有 70% Cd 释放溶出, 即最大生物可给率为 70%。

致谢: 福建省水产研究所郑盛华、席英玉和罗冬莲等参与本研究的分析和讨论, 谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 王丽娟, 吴成业. 水产品中镉的形态分析及其危害. 福建水产, 2014, 36(1): 78-84
- 王秀丽, 王玉蓉, 赵韶华, 等. 仿生酶解法在通心络虫类药物提取中的应用. 中华中医药学刊, 2013, 31(7): 1508-1511
- 王祖伟, 吉卫星, 张辉. 土壤盐化过程中阳离子对镉的形态分布影响. 生态环境学报, 2012, 21(6): 1121-1124
- 王祖伟, 刘欣, 么相姝, 等. 可溶性无机盐对土壤中镉形态分布及生物可利用性的影响. 农业环境科学学报, 2008, 27(3): 884-888
- 付瑾, 崔岩山. *In vitro* 系统评价胃液 pH 及土液比对铅、镉、砷生物可给性的影响. 农业环境科学学报, 2012, 31(2): 245-251
- 李凤琴, 徐娇, 刘飒娜. 生物利用率在食品污染物风险评估中的应用. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(1): 17-22
- 李薇薇. 扇贝的综合利用. 农产品加工, 2011(6): 20-21
- 吴大伟, 王龙昌, 周岩民. 铅和镉对动物消化功能的影响及其作用机理. 粮食与饲料工业, 2010(12): 59-61
- 陈红英, 陈旭凌, 陈笑霞, 等. 华贵栉孔扇贝体内重金属含量及评价. 微量元素与健康研究, 2015, 32(1): 33-34, 36
- 陈丽惠, 李顺兴, 牟洋, 等. 仿生技术在转基因大豆中镍形态分析和生物可给性评价中的应用. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(11): 3075-3078

1) 徐敏. 小鼠镉的蓄积性毒性试验及残留分析研究. 四川农业大学硕士研究生学位论文, 2009, 1-3

林路秀, 李顺兴, 郑凤英. 体外仿生消化-单层脂质体萃取分析连花清瘟胶囊中微量金属形态、生物可给性和毒性. 中国中药杂志, 2014, 39(12): 2330-2335

林路秀, 李顺兴, 郑凤英. 应用体外仿生模型分析海藻水煎液中微量金属的形态和生物可给性. 分析化学, 2010, 38(6): 823-827

姜元欣, 王伟涛, 陈德慰, 等. 广西北部湾水域贝类重金属污染分析与南宁市民贝类食用风险分析. 食品工业科技,

2013, 34(8): 52-55

赵艳芳, 吴继法, 翟毓秀, 等. 镉胁迫对不同镉富集能力海水养殖贝类抗氧化能力的影响——以扇贝和菲律宾蛤仔为例. 生态毒理学报, 2014, 9(2): 224-232

Oomen AG, Rompelberg CJM, Bruil MA, *et al.* Development of an *in vitro* digestion model for estimating the bioaccessibility of soil contaminants. Arch Environ Contam Toxicol, 2003, 44(3): 281-287

(编辑 冯小花)

## Preliminary Application of *in vitro* Bionics Digestion Model for Bioaccessibility of Cd in *Chlamys nobilis*

YANG Miaofeng<sup>1,2</sup>①

(1. Key Laboratory of Cultivation and High-Value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013; 2. Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources, Xiamen 361013)

**Abstract** *In vitro* whole-bionic digestion model has been an effective approach to study the bioaccessibility of contaminants in food. Due to the high exposure of cadmium (Cd), samples of *Chlamys nobilis* were pretreated with *in vitro* bionic digestion for the bioaccessibility of Cd. The releasing mechanism of Cd in *C. nobilis* was investigated in a simulated gastrointestinal tract environment where the chyme was obtained at 37°C through digestion with enzymes and inorganic substances in saliva, stomach, and intestine. The samples of *C. nobilis* were treated with four digestion juices separately, including saliva, gastric juice, duodenal juice, and bile. It was found that the dissolution equilibrium time of Cd in the digestion juices followed the order: saliva < gastric juice < bile < duodenal juice. In the bionic experiments, Cd dissolution quantity showed the pattern: gastric juice > bile ≈ duodenal juice > saliva. There was a linear correlation between the logarithm of concentration (lnC) and its corresponding dissolved time (*t*) in duodenal juice ( $R^2=0.9530$ ) and in bile ( $R^2=0.8891$ ), however, no correlation was found in saliva or gastric juice. pH may be the key factor of Cd dissolution in the bionic digestion with saliva and gastric juice, and digestive enzymes played the essential role in the digestion with duodenal juice, bile, and *in vitro* whole-bionic digestion. There was no significant difference when the sample-to-fluid ratio changed from 1:10 to 1:120 (g/ml), implying that this ratio might only slightly affect the bioaccessibility. The releasing ratio of Cd in *C. nobilis* was 70% and the maximum bioaccessibility in *C. nobilis* chyme was also 70%.

**Key words** Cadmium; *in vitro* bionics digestion model; Bioaccessibility

① Corresponding author: YANG Miaofeng, E-mail: miaofenf@sina.com