

莱州常见海洋贝类中重金属污染情况调查评估

黄强, 赵静, 孙小童 (山东恒诚检测科技有限公司, 山东莱州 261437)

摘要 分析产于莱州附近海域中的6种常见贝类中铜、铅、锌、镉、铬、无机砷、汞等重金属的残留水平, 并利用目标危险系数(THQs)对莱州市成人及儿童两人群食用风险进行了评估。结果显示, 不同贝类产品中重金属含量差异很大, 6种贝类产品中的铅和镉超标率较高, 以海螺和毛蚶最严重。健康风险评估计算结果显示, 成人和青年通过食用毛蚶和海螺会存在较高的镉暴露健康风险, 菲律宾蛤仔中对成人组存在食用无机砷的暴露健康风险。此外, 所有贝类中的无机砷THQ值相对高于其他金属, 对人体通过食用蓄积造成危害的风险值高于其他金属。

关键词 贝类; 重金属; 目标危险系数; 莱州

中图分类号 S944 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)04-300-04

Investigation and Assessment of Heavy Metal Contamination in Marine Shellfishes from Laizhou

HUANG Qiang, ZHAO Jing, SUN Xiao-tong (Shandong Hengcheng Testing Science and Technology Co. Ltd., Laizhou, Shandong 261437)

Abstract The contents of copper, lead, zinc, cadmium, chromium, inorganic arsenic and mercury in six popular species of marine shellfish from Laizhou coastal waters were determined. Health risks of heavy metals for Laizhou consumers included adults and children from the consumption of shellfish were assessed by the Target Hazard Quotients (THQs). Results showed that the heavy metal contents varied in different species of shellfish, The over standard rates of lead and cadmium in all kinds of shellfish were very high, especially *Busycon canaliculatu* and *Scapharca subcrenata*. The calculation results of the target hazard quotient (THQ) indicate that there was high cadmium health risk for both children and adults through the consumption of *Busycon canaliculatu* and *Scapharca subcrenata*, there was high inorganic arsenic health risk for adults from consuming *Ruditapes philippinarum* too. In addition, the THQ results of inorganic arsenic from the consumption of all kinds of shellfish were higher than the other heavy metals, which will lead to a higher health risk for the consumers.

Key words Shellfish; Heavy metal; Target hazard quotients; Laizhou

我国是贝类生产大国, 2012年我国海水贝类养殖面积达到147.5万 hm^2 , 贝类产量1208.44万t, 占海水养殖总量的73.5%^[1]。贝类营养丰富, 扇贝、牡蛎、花蛤等是深受群众喜爱的水产品, 也是沿海的重要养殖品种, 但随着社会和经济发展, 含有镉、铅、汞等重金属的产品被广泛使用, 近海渔业环境中的重金属污染问题引起广泛的重视, 重金属对水产品质量的影响也受到越来越多的关注。

以各种化学状态或化学形态存在的重金属, 在进入水体后就会存留、积累和迁移, 即使浓度小, 也可在藻类和底泥中积累, 被贝类、鱼类等水生生物吸附, 产生食物链浓缩, 从而造成公害。贝类一类非选择滤食性生物, 移动性差, 受海域环境影响较大, 生长过程极易积累和富集环境中的有害物质, 分析产于莱州湾水域中几种常见双壳贝类中重金属含量, 评估特定人群食用贝类的健康风险, 对于了解莱州湾沿海水域污染情况、评估该地区贝类产品食用安全性、指导消费者合理食用贝类产品具有一定的现实意义。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与处理 方形马珂蛤(*Macra veneriformis*, 俗称白蛤)、菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*, 俗称花蛤)、毛蚶(*Scapharca subcrenata*, 俗称毛蚶)、缢蛏(*Sinonovacula constricta*, 俗称蛏子)、紫贻贝(*Mytilus edulis*, 俗称海虹)、海螺(*Busycon canaliculatu*)共6种贝类产品均采购于莱州市南关万通水产品批发市场, 产于莱州本地的水产养殖区, 购买时间为2014年8月, 共计218个样品, 个体存活且大小均匀。

样品采集后登记采样时间、采样地点等信息, 放入备好的装有冰块的冰盒中, 立即送往实验室。委托山东恒诚检测科技有限公司实验室按照5009系列国家标准^[2-8]规定的检测方法检测铜、铅、锌、镉、铬、无机砷、总汞7种重金属元素, 其中, 铜、铅、锌、镉、铬使用无火焰原子吸收光谱法进行测定, 无机砷、总汞按照原子荧光光谱法进行测定, 各元素测定中仪器参数的设定按照标准规定及仪器使用要求进行, 设置最佳使用参数, 用标准样品采用外标法进行定量。

1.2 质量控制

1.2.1 准确度和精密度控制。使用国家标准物质中心购买的各类重金属的质控盲样确定检测方法精确度, 使用平行样确定检测方法精密度, 计算相对误差和相对偏差, 具体计算方式如下:

$$\delta(\%) = (C_1 - C_0) / C_0 \times 100\%$$

$$RSD(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} / \bar{X} \times 100\%$$

式中, δ 为相对误差, C_1 指质控盲样的测定值, C_0 指质控盲样的标准值, RSD 为相对偏差, X_i 为平行样品测定值, \bar{X} 为平行样品测定平均值, n 为平行样数量。

1.2.2 加标回收率控制。贝类样品从消解直至检测过程采用加标回收的方式进行质控, 具体方式如下: 随机选取一份样品, 按标准称取一定量放入消解罐中, 加入适量标准溶液, 其余完全按照标准规定进行前处理和检测, 加标回收率计算方式如下:

$$R(\%) = (\rho_{\text{加标样}} - \rho_{\text{样品}}) / \rho_{\text{加标}} \times 100\%$$

式中, R 为加标回收率, $\rho_{\text{加标样}}$ 指加标样品中目标元素的测定量(μg), $\rho_{\text{样品}}$ 为样品中目标元素的含量(μg), $\rho_{\text{加标}}$ 指样品中

目标元素的实际加标量(μg)。

1.3 重金属污染程度评价 重金属污染程度的评价采用单因子评价模式,计算公式为:

$$P_i = C_i/S_i$$

式中, P_i 为污染物*i*的污染指数; C_i 为污染物*i*的含量; S_i 为污染物*i*的标准限值。重金属标准限值参照相关标准执行^[9-11]。

1.4 对食用人群健康风险的评价方法 采用目标危险系数法(the target hazard quotient, THQ)评价食用这些常见贝类可能导致的健康风险。具体的计算方式如下^[12]:

$$THQ = \frac{EF \times ED \times FIR \times C}{RFD \times WAB \times TA} \times 10^{-3}$$

式中, EF 为暴露频率(365 d/a); ED 为暴露年限(70 a); FIR 为食物的摄取率,由于该试验所选的几种贝类是居民经常食用且经济便宜的产品,参考张磊等文献中所提及数据^[13],采用 FIR 值青少年为24.1 g/d,成人为50.0 g/d; C 为海产品中

重金属的含量(mg/kg); RFD 为口服参考剂量,铜为 $4 \times 10^{-2} \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,锌为 $0.3 \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,铅为 $4 \times 10^{-3} \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,镉为 $1 \times 10^{-3} \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,铬为 $3 \times 10^{-3} \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,汞为 $5 \times 10^{-4} \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,无机砷为 $3 \times 10^{-4} \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ^[12]; WAB 为人体的平均体重(青少年32.7 kg,成人55.9 kg)^[13]; TA 为非致癌性暴露平均时间(365 d \times 70 a)。

2 结果与分析

2.1 方法检出限及质控结果 各重金属检出限及质控结果见表1,用无水硫酸钠跟踪采样过程所得的过程空白及试剂空白中目标金属元素的含量均远低于方法检出限和仪器检出限。按照标准配制各重金属元素的标准系列,根据各仪器的最佳使用条件进行测定,各元素的标准曲线均具有良好的线性相关性,相关系数 $r \geq 0.9999$,质控盲样检测相对误差低于4.0%,平行样品检测相对偏差低于5.0%,加标回收样品回收率在91%~110%,满足质量控制的要求,表明该研究所得数据真实可靠。

表1 各重金属检出限及质控结果

重金属	检出限	回归方程	相关系数	$\delta//\%$	RSD//%	R//%
铜	0.1 mg/kg	$Y = 0.0828X - 0.00041$	1.0000	2.0	1.9	92
锌	0.4 mg/kg	$Y = 0.3700X + 0.00180$	0.9999	2.2	3.9	106
铅	0.1 mg/kg	$Y = 0.0108X - 0.00069$	0.9999	1.7	1.4	109
镉	5 $\mu\text{g}/\text{kg}$	$Y = 0.1830X + 0.00056$	1.0000	2.1	4.7	96
铬	4 $\mu\text{g}/\text{kg}$	$Y = 0.3700X + 0.00180$	0.9999	4.0	3.2	92
总汞	0.15 $\mu\text{g}/\text{kg}$	$Y = 147.6X + 6.3$	0.9999	3.7	1.7	94
无机砷	0.04 $\mu\text{g}/\text{kg}$	$Y = 60.7X - 2.7$	0.9999	3.2	3.9	110

2.2 不同贝类产品中重金属含量的差异及分析 莱州湾海域常见6种贝类中重金属含量列于表2。7种重金属在6种贝类产品中均有检出,对于不同贝类产品中的同一种金属进行比较,铜在不同贝类中含量大小次序为方形马珂蛤<紫贻贝<毛蚶<菲律宾蛤仔、缢蛭<海螺;铅含量大小次序为菲律宾蛤仔<缢蛭<方形马珂蛤<紫贻贝<毛蚶<海螺;锌含量大小次序为菲律宾蛤仔<紫贻贝<缢蛭<方形马珂蛤<海螺<毛蚶;镉含量大小次序为缢蛭<方形马珂蛤<菲律宾

蛤仔<紫贻贝<毛蚶<海螺;铬含量大小次序为缢蛭<菲律宾蛤仔<毛蚶<海螺<紫贻贝<方形马珂蛤;总汞含量大小次序为方形马珂蛤<菲律宾蛤仔<缢蛭<紫贻贝<毛蚶<海螺;无机砷含量大小次序为毛蚶<紫贻贝<方形马珂蛤<海螺<缢蛭<菲律宾蛤仔。由此可以看出,海螺中的铜、铅、镉、总汞的含量是6种贝类中最高的。不同贝类中同一种金属含量差异最大的是海螺和缢蛭中的镉,相差188倍左右,其次为海螺和方形马珂蛤中的总汞,相差14倍左右。

表2 不同贝类样品中重金属含量

贝类产品	重金属含量(平均值 \pm 标准差,以湿重计)						
	铜//mg/kg	铅//mg/kg	锌//mg/kg	镉//mg/kg	铬//mg/kg	总汞// $\mu\text{g}/\text{kg}$	无机砷//mg/kg
方形马珂蛤	0.7 \pm 0.02	0.7 \pm 0.01	17.2 \pm 0.54	0.115 \pm 0.0034	1.330 \pm 0.034	2.91 \pm 0.083	0.264 \pm 0.0057
菲律宾蛤仔	1.1 \pm 0.03	0.3 \pm 0.01	10.4 \pm 0.63	0.253 \pm 0.0096	0.406 \pm 0.0103	4.97 \pm 0.122	0.347 \pm 0.0078
缢蛭	1.1 \pm 0.04	0.4 \pm 0.01	16.9 \pm 0.79	0.053 \pm 0.0012	0.173 \pm 0.0154	8.15 \pm 0.231	0.328 \pm 0.0064
海螺	8.6 \pm 0.23	1.5 \pm 0.04	21.8 \pm 0.94	9.960 \pm 0.312	0.684 \pm 0.0045	41.60 \pm 1.23	0.286 \pm 0.0043
毛蚶	0.9 \pm 0.02	1.4 \pm 0.03	26.9 \pm 1.12	2.020 \pm 0.089	0.565 \pm 0.0123	12.60 \pm 0.257	0.114 \pm 0.0025
紫贻贝	0.8 \pm 0.03	0.8 \pm 0.02	16.0 \pm 0.38	0.711 \pm 0.0271	0.966 \pm 0.0234	8.23 \pm 0.149	0.210 \pm 0.0076

对同一贝类产品中不同重金属含量进行比较,方形马珂蛤中重金属含量的大小次序为锌>铬>铜、铅>镉>汞,菲律宾蛤仔中重金属含量的大小次序为锌>铜>铬>铅>镉>汞,缢蛭中重金属含量的大小次序为锌>铜>铅>镉>汞,海螺中重金属含量的大小次序为锌>镉>铜>铅>铬>汞,毛蚶中重金属含量的大小次序为锌

>镉>铅>铜>铬>砷>汞,紫贻贝中重金属含量的大小次序为锌>铬>铜、铅>镉>砷>汞。从重金属含量次序中可以看出,所有贝类产品中锌的含量是最高的,总汞的含量是最低的;方形马珂蛤、菲律宾蛤仔、缢蛭中镉含量相对较低,海螺、毛蚶、紫贻贝中无机砷的含量相对较低,两者都仅高于总汞的含量。

导致这些结果的一种解释是不同贝类品种对于重金属的蓄积能力不同。有些文献中对贝类不同重金属的富集规律进行了研究,张林宝等研究了菲律宾蛤仔对镉和铜的蓄积作用^[14],结果表明菲律宾蛤仔对镉的蓄积能力高于铜,而笔者进行的该研究中菲律宾蛤仔体内铜的含量远高于镉;徐韧等的研究显示,重金属在贝类体内富集程度由高到低依次为镉>汞>铅^[15],而笔者进行的该研究中,6种贝类体内镉、铅的含量均高于汞,除毛蚶和海螺外,4种贝类体内3种重金属含量顺序为铅>镉>汞,汞的富集程度相对是最低的;郭远明等研究了菲律宾蛤仔、缢蛭等对铜、铅、镉的富集能力^[16],结果表明铜>铅>镉,这与笔者进行的该研究中菲律宾蛤仔、缢蛭的重金属含量结果相一致。

2.3 重金属污染程度评价 采用单因子污染指数法评价6种贝类体内7种重金属元素的污染情况,结果见表3。污染等级分类采用贾晓平等^[17]提出的等级标准,即 $P_i < 1.0$ 时生物质量符合标准,可以食用,其中 $P_i < 0.2$ 为正常背景值水平,0.2~0.6为微污染-轻度污染水平,0.6~1.0为污染水平; $P_i > 1.0$ 生物质量超标,为重污染水平,食用不安全。

6种食用贝类中铜参照 NY 5073-2006 和 GB 18406.4-2001 限值要求(50 mg/kg)均不超标, P_i 值均低于0.2,属于正常背景值水平。铅在 NY 5073-2006、GB 18406.4-2001、GB 2762-2012 中限值分别为 1.0、0.5、1.5 mg/kg(海螺 1.0 mg/kg),参照 NY 5073-2006 中的限值要求,海螺与毛蚶处于重度污染水平,方形马珂蛤和紫贻贝处于污染水平,菲律宾蛤仔和缢蛭为轻污染水平;参照 GB 18406.4-2001 中的限值要求,除菲律宾蛤仔和缢蛭为污染水平外,其余4种贝类均为重度污染水平;参照 GB 2762-2012 中的限值要求,只有海螺为重度污染水平,毛蚶为污染水平,其余贝类处于微污染至轻污染水平。镉在上述3个标准中限值分别为 1.0、0.1、2.0 mg/kg,海螺与毛蚶参照3个标准均严重超标,处于重度污染水平,以海螺中的镉 P_i 值最高,达到 99.6;当参照 GB 18406.4-2001 中的限值要求时,除缢蛭为轻污染水平外,其余5种贝类的镉均处于重度污染水平。铅、总汞、无机砷3种重金属的 P_i 值均低于0.7,处于微污染至轻污染状态。

表4 来源于贝类的重金属 THQ 值分析

重金属元素	方形马珂蛤		菲律宾蛤仔		缢蛭		毛蚶		海螺		紫贻贝	
	青年	成人	青年	成人	青年	成人	青年	成人	青年	成人	青年	成人
铜	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.16	0.19	0.02	0.02
铅	0.12	0.15	0.06	0.07	0.08	0.09	0.26	0.31	0.28	0.34	0.14	0.17
锌	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.05	0.07	0.04	0.05
总汞	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.06	0.07	0.01	0.01
镉	0.08	0.10	0.19	0.23	0.04	0.05	1.49	1.80	7.34	8.91	0.52	0.64
铬	0.33	0.40	0.10	0.12	0.04	0.05	0.14	0.17	0.17	0.20	0.24	0.29
无机砷	0.65	0.79	0.85	1.03	0.81	0.98	0.28	0.34	0.70	0.85	0.51	0.62

3 结论与讨论

该研究选择的6种贝类中7种重金属全部检出,其中重金属中的铅和镉存在一定的超标现象,以海螺和毛蚶最严重,方形马珂蛤和紫贻贝中的铅和镉参照标准 GB 18406.4-2001 也处于超标状态,其余贝类中这2种重金属不超标。

综上所述可以看出,此批调查的贝类产品中海螺和毛蚶中的铅、镉超标率最高,大都处于严重污染水平,对人体危害较大,食用不安全;缢蛭中重金属没有超标现象,食用相对比较安全;除铅、镉外,其余铜、铬、总汞、无机砷4种重金属均不存在超标现象,但也存在不同程度的轻污染或者污染水平。

表3 各种金属污染因子的污染指数 P_i

类别	方形	菲律宾	缢蛭	海螺	毛蚶	紫贻贝
	马珂蛤	蛤仔				
铜 ^{a,b}	0.01	0.02	0.02	0.17	0.02	0.02
铅 ^a	0.68	0.30	0.41	1.51	1.40	0.77
铅 ^b	1.35	0.60	0.82	3.02	2.79	1.54
铅 ^c	0.45	0.20	0.27	1.51	0.93	0.51
镉 ^a	0.12	0.25	0.05	9.96	2.02	0.71
镉 ^b	1.15	2.53	0.53	99.6	20.2	7.11
镉 ^c	0.06	0.13	0.03	4.98	1.01	0.36
铬 ^{b,c}	0.66	0.20	0.09	0.34	0.28	0.48
总汞 ^b	0.01	0.02	0.03	0.14	0.04	0.03
无机砷 ^{a,b,c}	0.53	0.69	0.66	0.57	0.23	0.42

注:a 参考限值标准为 NY 5073-2006,b 参考限值标准为 GB 18406.4-2001,c 参考限值标准 GB 2762-2012。

2.4 对食用人群健康风险的评价 表4中给出了青少年和成人食用6种贝类的THQ值,THQ法是假定吸收剂量等于摄入量,以测定的人体摄入量与参考剂量的比值为评价标准,如果该值小于1,则说明暴露人群没有明显的健康风险,反之,则存在健康风险。从表4中可以看出,成人组和青年组食用毛蚶和海螺均存在镉的暴露风险,THQ值高于1,其中海螺的镉THQ值高于7,表明对居民造成的暴露健康风险非常高;成人食用菲律宾蛤仔存在一定的无机砷暴露风险,THQ值为1.03,除此以及毛蚶之外,成人组和青年组食用6种贝类的无机砷的THQ值相比其他金属较高,THQ值为0.51~0.98,需要引起注意。居民食用这6种贝类的铜、锌、铅、铬、总汞的风险较低,同时青年组的食用风险低于成人组,这是由于成人组每日摄入量与平均体重的比值高于青年组造成的。

铜、锌、铬、总汞和无机砷5种重金属均在限值水平以下,不存在超标现象。通过THQ值法进行风险评价发现,毛蚶和海螺中存在镉的食用暴露健康风险,菲律宾蛤仔中对成人组存在食用无机砷的暴露健康风险;此外,所有贝类中的无机砷THQ值相比于其他金属,对人体通过食用蓄积从而造成的危

害的风险值高于其他金属。由于重金属如镉等在人体中蓄积时间较长,不易排出,容易对人体健康造成严重威胁,因此建议莱州居民在购买贝类产品时选择多个产地,避免单一产地造成重金属的暴露风险。

张磊研究了青岛几种食用贝类中的总汞的含量分布^[13],结果表明,青岛市售菲律宾蛤仔和缢蛭中的总汞含量高于莱州市售的同类产品,但该研究中的海螺体内总汞含量要略高于青岛市售的同类产品;王增焕等对华南沿海贝类产品重金属含量及其膳食暴露进行了研究^[18],其所检测的菲律宾蛤仔中铜、铅、锌、镉、铬含量与笔者进行的该研究相比,相对偏差在6%以下,含量非常接近,总汞含量低于笔者进行的该研究,而无机砷的含量高于笔者进行的该研究;根据徐韧等的研究^[15],影响贝类体内重金属含量的主要因素是水体中的重金属,因而造成华南地区沿海、青岛地区以及莱州沿海同种贝类产品中不同浓度的汞含量的原因可能是海域中汞含量的差异。鉴于笔者进行的该研究中总汞的含量高于其他两个研究,可以推测,莱州沿海水域中总汞的含量高于其余两个地区,可通过进一步的水域重金属含量调查进行验证。

参考文献

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴(2013)[M]. 北京:中国农业出版社,2013.
- [2] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.11-2003 食品中总砷及无机砷的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [3] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.12-2010 食品安全国家标准 食品中

铅的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2010.

- [4] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.13-2003 食品中铜的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.14-2003 食品中锌的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.15-2003 食品中镉的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [7] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.17-2003 食品中总汞及有机汞的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [8] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.123-2003 食品中铬的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [9] 中华人民共和国农业部. NY 5073-2006 无公害食品 水产品中有毒有害物质限量[S]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 18406.4-2001 农产品质量安全 无公害水产品安全要求[S]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京:中国标准出版社,2013.
- [12] USEPA. Risk-based concentration table[S]. Philadelphia PA, United States Environmental Protection Agency, Washington DC, 2000.
- [13] 张磊. 青岛市售贝类中总汞含量分布及人群健康风险[J]. 环境化学, 2014, 33(8):1327-1333.
- [14] 张林宝, 吴惠丰, 孙伟, 等. 菲律宾蛤仔对镉铜暴露的蓄积作用及其抗氧化酶系统的响应研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5):64-70.
- [15] 徐韧, 杨颖, 李智恩. 海洋环境中重金属在贝类体内的蓄积分析[J]. 海洋通报, 2007, 26(5):117-120.
- [16] 郭远明. 海洋贝类对水体中重金属的富集能力研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2008.
- [17] 贾晓平, 林钦, 李纯厚, 等. 广东沿海牡蛎体铅含量水平及时空变化趋势[J]. 水产学报, 2000, 24(6):527-532.
- [18] 王增焕, 王许诺. 华南沿海贝类产品重金属含量及其膳食暴露评估[J]. 中国渔业质量与标准, 2014, 4(1):14-20.

(上接第 299 页)

3 结论与讨论

蛋白干燥的主要方法有真空冷冻干燥、喷雾干燥等方法,微波干燥法。真空冷冻干燥具有低消耗、操作简单,适用于实验室应用,缺点是干燥周期长,易受盐、有机溶剂等成分的影响,且运行成本高。而喷雾干燥具有生产能力大、工艺简单、易于工业化放大、干燥时间短等优点,但是由于温度过高容易造成蛋白活性降低甚至失活,所以对喷雾干燥工艺的研究很重要。在该试验中,优化的喷雾干燥工艺为温度 145℃,干燥时间 65 min 时,进样速度为 3 ml/min 时,产量可以达到 14.55 g/L。所得干燥肽粉具有一定的抗氧化能力,DP-PH 自由基的半数清除率为 25.48 mg/ml,羟自由基的半数清除率 28.81 mg/ml,还原力随肽粉溶液浓度增加而增加。

参考文献

- [1] 黄立新,周瑞君, MUJUMDAR A S. 喷雾干燥的研究进展[J]. 干燥技术与设备, 2009, 7(5):195-198.
- [2] 贺娜,于晓晨,于才渊. 喷雾干燥技术的应用[J]. 干燥技术与设备, 2009, 7(3):116-119
- [3] 陈均焯. 喷雾干燥法制备可再分散苯丙乳胶漆粉的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2010.
- [4] 鞠璐宁. 蜂蜜茶粉喷雾干燥加工工艺的研究[D]. 福州:福建农林大学, 2010.
- [5] 夏圣安,李新有,李新宏,等. 喷雾干燥法制备 LiFePO₄/C 正极材料[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2011, 39(3):1-5.

- [6] 包汝波,赵浩如,路春. 复方强身颗粒的喷雾干燥工艺研究[J]. 海峡药学, 2006, 18(4):22-24.
- [7] 王鹏. 金枪鱼营养活性肽风味改善技术及活性的研究[D]. 舟山:浙江海洋学院, 2012.
- [8] 辛建美. 酶解金枪鱼碎肉制备活性肽及其分离的研究[D]. 舟山:浙江海洋学院, 2011.
- [9] OYAIZU M. Studies on products of browning reaction: Anti-oxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine[J]. Japanese Journal of Nutrition, 1986, 44:307-315.
- [10] 陈黎洪,唐宏刚,肖朝耿,等. 金华火腿副产品蛋白酶解物的功能特性与抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(3):43-49.
- [11] BENVENUTI S, PELLATI F, MELEGARI M, et al. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of Rubus, Ribes, and Aronia[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(3):164-169.
- [12] SANCHEZ-MORENO C. Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems[J]. Food Science and Technology International, 2002, 8(3):121-137.
- [13] FERREIRA I C F R, BAPTISTA P, VILAS-BOAS M, et al. Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: Individual cap and stipe activity [J]. Food Chemistry, 2007, 100(4):1511-1516.
- [14] 孙骞,胡鑫,罗永康,等. 猪血红蛋白抗氧化肽的酶法制备及其体外抗氧化活力观察[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(4):77-81.
- [15] 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[J]. 农产品加工·学刊, 2011(5):10-18.
- [16] 管荷兰,王永顺,林国华. 水杨酸在羟基自由基检测中的应用[J]. 理化检验-化学分册, 2010, 46(3):333-335.
- [17] 郑志雄. 大豆分离蛋白喷雾干燥过程的热变性及抑制机理研究[D]. 广州:华南理工大学, 2011.