

论著

广东省沿海常见海水鱼中多不饱和脂肪酸及其与甲基汞共摄入对神经发育的风险-获益评估

黄芮¹, 陈少威¹, 陈子慧¹, 彭接文¹, 王萍¹, 霍伟伦¹, 黄伟雄^{2,3}, 杨杏芬^{2,3}

(1.广东省疾病预防控制中心广东省公共卫生研究院, 广东 广州 511430; 2.广东省疾病预防控制中心, 广东 广州 511430; 3.南方医科大学食物安全与健康研究中心广东省热带病研究重点实验室, 广东 广州 510515)

摘要:目的 分析广东省沿海常见海水鱼的脂肪酸含量和甲基汞(MeHg)污染水平, 定量评估摄入海水鱼对神经发育的风险-获益, 为广东省海水鱼的膳食指导提供科学依据。方法 在广东省沿海地区采集20种常见海水鱼样品(共174尾), 检测各种脂肪酸和MeHg的含量, 并采用联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)提出的以智力商数(IQ)值为健康终点的风险-获益定量评估模型, 评估海水鱼对神经发育的净健康效应。结果 20种海水鱼总脂肪酸含量均值为0.73~19.95 g/100 g, 多不饱和脂肪酸(PUFA)为0.18~5.82 g/100 g, 总n-3 PUFA为135.69~2 232.74 mg/100 g, 二十二碳六烯酸(DHA)为73.61~1 334.00 mg/100 g, 二十碳五烯酸(EPA)为43.76~945.67 mg/100 g, 所有海水鱼样品的MeHg含量均未超过GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》。基于广东省居民海水鱼消费量均值(100 g/周)、P97.5消费量(830 g/周)、推荐消费量(280 g/周)三种消费模式食用不同鱼种的IQ值净效应为0.5~5.7、3.8~5.6和1.3~5.7, 仅在830 g/周的极端消费水平下摄入海鳗带来的MeHg暴露量超过了暂定每周耐受摄入量(PTWI, 1.6 μg/kg BW)。结论 按中国居民膳食指南的推荐量消费广东省沿海常见海水鱼, 均能对新生儿和婴幼儿带来一定的IQ值净增长效应, 但对MeHg含量相对较高的鱼种(如海鳗)需注意食用频率不宜过大。

关键词: 广东; 海水鱼; 脂肪酸; 甲基汞; 风险-获益; 评估

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2019)03-0199-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2019.03.002

Risk-benefit assessment of polyunsaturated fatty acid and methyl mercury on neurodevelopmental effect resulting from consumption of marine fish from coastal areas of Guangdong Province

HUANG Rui¹, CHEN Shaowei¹, CHEN Zihui¹, PENG Jiewen¹, WANG Ping¹, HUO Weilun¹, HUANG Weixiong², YANG Xingfen^{2,3}

(1. Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangdong Guangzhou 511430, China; 2. Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangdong Guangzhou 511430, China; 3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Tropical Disease Research, Food Safety and Health Research Center, Southern Medical University, Guangdong Guangzhou 510515, China)

Abstract: Objective To survey the fatty acids and methyl mercury (MeHg) of marine fish from coastal areas of Guangdong Province and conduct risk-benefit assessment of neurodevelopmental effect, providing scientific basis for dietary instruction of marine fish from Guangdong Province. **Methods** The fatty acids and MeHg contents were detected in 20 species of marine fish samples collected from coastal areas of Guangdong Province. A quantitative risk-benefit assessment model with a measured value of intelligence quotient (IQ) points, proposed by Food and Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO), was performed to assess the net neurodevelopmental effect. **Results** The average content of total lipids for 20 species of marine fish ranged from 0.73 to 19.95 g/100 g. The content of polyunsaturated fatty acid (PUFA) ranged from 0.18 to 5.82 g/100 g, the n-3 PUFA ranged from 135.69 to 2 232.74 mg/100 g, the docosahexaenoic acid (DHA) ranged from 73.61 to 1 334.00 mg/100 g, and eicosapentaenoic acid (EPA) varied between 43.76 and 945.67 mg/100 g. The MeHg content in all the fish samples did not exceed the GB 2762-2017 China

收稿日期: 2019-03-14

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1603101); 广东省自然科学基金项目(2018A030313230)

作者简介: 黄芮 女 主管医师 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: huangr@gdiph.org.cn

通信作者: 杨杏芬 女 教授 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: yangxingfen@21cn.com

National Food Safety Standard in this study. Three types of marine fish consumption were used in modeling. It was calculated by the mean intake (100 g/week), P97.5 intake (830 g/week) among Guangdong residents and recommended intake of aquatic products (280 g/week) for the consumption level of marine fish, respectively, and the corresponding net IQ point improvements were 0.5-5.7, 3.8-5.6 and 1.3-5.7. Among these fish species, only human exposure to MeHg via consumption of *Muraenesoxcinereus* at the extreme consumption level of 830 g/week exceeded the provisional weekly intake tolerance (PTWI, 1.6 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$). **Conclusion** According to the recommended intake of Chinese dietary guidelines, intake of marine fish widespread consumed in coastal areas of Guangdong Province could bring positive neurodevelopmental effects to newborns or infants, while the consumption rate should be lower for fishes with high content of MeHg (such as *Muraenesoxcinereus*).

Key words: Guangdong; marine fish; fatty acid; MeHg; risk-benefit; assessment

海水鱼作为蛋白质和 n-3 多不饱和脂肪酸(n-3 PUFA)的良好来源备受重视。n-3 PUFA,如二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA),对于促进胎儿及婴幼儿神经系统正常发育以及降低成人冠心病死亡率非常重要,但人体自身无法合成 n-3 PUFA,鱼类是其最为丰富的来源之一^[1]。

随着工业和经济的快速发展,越来越多的污染物被释放到环境中,通过食物链累积和生物放大作用,最终可能在食物链上端的鱼类体内富集达到较高的浓度。海水鱼是甲基汞(MeHg)污染程度最严重的一类动物源性食品^[2],MeHg可穿透血脑屏障和胎盘屏障,神经系统是其最敏感的靶器官,可对胎儿和新生儿神经系统发育产生持续和不可逆的危害^[3],因此,在确定海水鱼的适宜摄入量时需要开展风险-获益评估。

2010年,联合国粮食与农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)综合评估了国际上临床医学和流行病学关于经鱼摄入DHA和MeHg对新生儿和婴幼儿神经发育影响的研究结果,提出了以智力商数(IQ)值为健康终点的风险-获益定量评估模型^[1]。虽然 n-3 PUFA和污染物的共摄入对人体健康获益和 risk的研究日渐受到国外学者的重视,但我国目前尚缺乏这方面的研究^[4]。而广东省尤其是珠三角地区水资源丰富且毗邻海洋,各种海水鱼类水产品丰富,居民喜好食鱼,有研究^[5-6]报道,广东省主要养殖或市售的海水鱼类主要包括美国红鱼、金线鱼、带鱼、白鲳、黄姑鱼等。同时,广东省工农业发达,环境中可能负载Hg等污染物^[5],因此,本研究选取广东省沿海常见的20种海水鱼类,测定脂肪酸的含量和组成以及MeHg的污染水平,定量评估摄入海水鱼对神经发育的净健康效应,为海水鱼的风险-获益研究积累基础数据并初步提出广东省海水鱼的膳食指导意见。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集

根据2010—2012年广东省居民营养与健康状

况调查^[7]数据分析,按消费量高低对各种海水鱼进行排序,确定了20种重点海水鱼品种。于2016年11月在广东省沿海的海水鱼高消费地区(汕尾市城区、湛江市遂溪县)的农贸市场、水产品批发市场、渔港市场等流通环节,采集大黄花鱼、马鲛鱼、黑鲷等20种海水鱼,共174尾。所有海水鱼样品处死去除鳞片和内脏后,取鱼肉进行匀浆,样品放入低温冰箱中保存。

1.1.2 主要仪器与试剂

6890N气相色谱仪(具有氢火焰离子检测器)、CP-Sil88毛细管色谱柱(100 m \times 0.25 mm,0.2 μm)均购自美国Agilent,高效液相色谱仪-AF6100原子荧光光谱联用仪(HPLC-AFS,北京普析通用仪器有限责任公司),分析天平,氮吹仪,冷冻干燥机。

十一碳酸甘油酯(CAS:6674-22-2)、混合脂肪酸甲酯(CAS:1634-04-4)标准品均购自美国Sigma,L-半胱氨酸(纯度 \geq 99.0%,美国Amresco),甲基汞标准溶液(GBW08675)、氯化汞标准溶液[GBW(E)080124]、鱼肉中总汞与甲基汞成分分析标准物质(GBW10029)均购自国家标准物质研究中心。甲醇为色谱纯,氯化钠、氢氧化钠均为分析纯,乙醚、石油醚、乙醇、盐酸均为优级纯,试验用水均为高纯水。

1.2 方法

1.2.1 检测方法

根据GB 5009.168—2016《食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定》^[8],提取海水鱼样品中的脂肪后,采用内标法检测样品中的脂肪酸含量和组成。根据GB 5009.17—2014《食品安全国家标准食品中总汞及有机汞测定》^[9],水解消化后,样品中MeHg经过硫酸钾转变为无机汞,用HPLC-AFS仪器检测MeHg含量。

1.2.2 风险-获益评估方法

采用FAO/WHO提出的以IQ值为健康终点的风险-获益定量评估模型。将孕妇或乳母通过海水鱼消费而摄入的EPA+DHA和MeHg对新生儿和婴幼儿神经发育的影响分别进行量化^[1]。该模型假设EPA+DHA和MeHg的暴露量全部来源于某一鱼种

的摄入,按每个鱼种的 EPA+DHA 含量和 MeHg 含量得出摄入该鱼种的 IQ 净效应。同时,还需计算摄入不同海水鱼所导致的 MeHg 暴露量,并比较该值是否超过 MeHg 的健康指导值。具体计算公式为:

$$\text{IQ 增长} = C_{\text{EPA+DHA}} \times 100 \times (x/7) \times 0.67 \times 0.04 \quad (1)$$

$$\text{IQ 损失} = C_{\text{MeHg}} \times 100 \times (x/7) \div BW \times 9.3 \times (-0.7) \quad (2)$$

$$\text{IQ 净效应} = \text{IQ 增长} + \text{IQ 损失} \quad (3)$$

$$\text{MeHg 暴露} = (C_{\text{MeHg}} \times 100 \times x) \div BW \quad (4)$$

其中, $C_{\text{EPA+DHA}}$ 为海水鱼样品中 DHA+EPA 的浓度, mg/g; x 为每周(7 d)食用海水鱼的份数(每份质量为 100 g); C_{MeHg} 为海水鱼样品中 MeHg 的浓度, $\mu\text{g/g}$; BW 为个体体重, kg; 0.67 为估算 EPA+DHA 中 DHA 含量的系数, 0.04 为估算每日摄入 DHA (mg) 与 IQ 值增长的相关系数; 9.3 为母体摄入 MeHg 与其头发中汞浓度的相关系数; -0.7 为每 1 $\mu\text{g/g}$ 发汞导致 IQ 值降低的最大估算值, 为保守估计海水鱼的风险-获益效应, 本研究采用“-0.7”计算

母体摄入 MeHg 对新生儿/婴幼儿 IQ 值的损失。

WHO/FAO 综合评估相关研究结果^[1]发现,可观察到的母体通过鱼类消费摄入 EPA+DHA 促进新生儿/婴幼儿 IQ 值增长最高为 5.8, 达到最高值后, 新生儿/婴幼儿 IQ 值可能不再随着母体摄入 EPA+DHA (mg) 的增加而增长, 因此, 当计算得到的 IQ 增长点大于 5.8 时均取 5.8。

2 结果

2.1 脂肪酸含量分析

广东省沿海 20 种常见海水鱼总脂肪酸含量(可食部)均值为 0.73~19.95 g/100 g, 含量最高的 4 种海水鱼(卵形鲳鲹、大黄花鱼、黑鲷和银鲳)的脂肪含量均超过可食部重量的 5%。饱和脂肪酸(SFA)含量均值为 0.31~7.68 g/100 g, 其中棕榈酸为 20 种海水鱼含量最多的 SFA。单不饱和脂肪酸(MUFA)含量均值为 0.13~6.73 g/100 g, 其中油酸为 20 种海水鱼含量最多的 MUFA。多不饱和脂肪酸(PUFA)含量均值为 0.18~5.82 g/100 g, 见表 1。

表 1 广东省沿海常见海水鱼总脂肪酸、SFA、MUFA 及 PUFA 含量($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Concentrations of total fatty acids, SFA, MUFA and PUFA in common marine fish from coastal regions in Guangdong

中文名称	拉丁学名	样品份数	含量/(g/100 g)			
			总脂肪酸	SFA	MUFA	PUFA
卵形鲳鲹	<i>Trachinotus ovatus</i>	11	19.95±1.27	6.48±0.37	6.73±0.46	5.82±0.50
大黄花鱼	<i>Larimichthys crocea</i>	6	15.78±2.24	7.68±1.15	5.66±1.05	1.79±0.36
黑鲷	<i>Sparus macrocephalus</i>	6	14.74±0.87	4.80±0.26	5.61±0.36	3.68±0.26
银鲳	<i>Pampus argenteus</i>	6	6.06±0.95	3.03±0.50	1.74±0.28	1.02±0.15
褐篮子鱼	<i>Siganus fuscescens</i>	5	4.82±1.54	2.57±0.94	1.22±0.43	0.82±0.11
带鱼	<i>Trichiurus lepturus</i>	12	3.41±1.19	1.72±0.53	0.94±0.44	0.62±0.22
蓝圆鲹	<i>Decapterus maruadsi</i>	12	4.06±2.45	2.04±1.24	1.08±0.73	0.76±0.38
二长棘鲷	<i>Paerargyropsedita</i>	12	4.01±2.35	2.01±1.18	1.14±0.80	0.69±0.30
石斑鱼	<i>Epinephelus</i>	12	3.91±1.57	1.84±0.73	1.02±0.50	0.88±0.30
眼斑拟石首鱼	<i>Sciaenops ocellatus</i>	6	3.89±0.12	1.61±0.06	1.17±0.04	0.92±0.09
黄鳍鲷	<i>Sparus latus</i>	13	3.64±1.57	1.60±0.69	1.26±0.56	0.64±0.29
鳗鲡	<i>Plotosus lineatus</i>	6	2.93±0.60	1.41±0.30	0.77±0.15	0.61±0.13
海鳗	<i>Muraenesox cinereus</i>	5	2.84±0.13	1.35±0.08	0.81±0.05	0.56±0.09
马鲛鱼	<i>Scomberomorus niphonius</i>	12	1.99±1.94	0.82±0.79	0.64±0.66	0.46±0.41
多齿蛇鲭	<i>Sauridatumbil</i>	5	1.53±0.88	0.67±0.39	0.32±0.19	0.48±0.26
金线鱼	<i>Nemipterus virgatus</i>	11	1.42±0.85	0.66±0.38	0.31±0.20	0.40±0.24
多鳞鱈	<i>Sillagosihama</i>	12	1.37±0.86	0.65±0.40	0.35±0.28	0.33±0.17
龙头鱼	<i>Harpadon nehereus</i>	5	1.27±0.24	0.66±0.13	0.35±0.07	0.20±0.03
短尾大眼鲷	<i>Priacanthus macracanthus</i>	5	0.74±0.22	0.31±0.09	0.16±0.05	0.24±0.07
舌鲷	<i>Soleidae</i>	12	0.73±0.47	0.39±0.25	0.13±0.09	0.18±0.12

主要 n-3 PUFA 及 n-6 PUFA 含量结果见表 2, 所有海水鱼总 n-6 PUFA 含量(可食部)均值范围为 31.31~4 283.05 mg/100 g, 其中花生四烯酸(AA)和亚油酸(LA)的含量均较高; 总 n-3 PUFA 含量(可食部)均值范围为 135.69~2 232.74 mg/100 g, 主要包括 DHA、EPA 和 α -亚麻酸(ALA), 含量均值

分别为 73.61~1 334.00、43.76~945.67 和 2.66~374.42 mg/100 g。本研究中, EPA+DHA 含量最高的三种海水鱼为黑鲷、大黄花鱼和卵形鲳鲹(见表 3)。20 种常见海水鱼的 n-6 PUFA、n-3 PUFA、DHA 和 EPA 含量分别与总脂肪酸含量呈正相关, 相关系数分别为 0.817、0.880、0.764 和 0.573, P 值均 <0.001 。

表2 广东省沿海常见海水鱼主要 n-3 PUFA 及 n-6 PUFA 含量($\bar{x}\pm s$, mg/100 g)

Table 2 Concentrations of main n-3 PUFA and n-6 PUFA in common marine fish from coastal regions in Guangdong

中文名称	总 n-3 PUFA	DHA	EPA	ALA	总 n-6 PUFA	AA	LA	C20:2
卵形鲳鲹	412.27±166.35	214.10±73.22	153.48±78.44	39.15±20.87	223.13±134.79	83.75±23.93	109.26±103.38	18.64±8.21
大黄花鱼	908.23±130.20	681.29±99.22	188.29±26.49	31.09±7.01	109.09±16.53	66.29±9.15	29.89±5.68	10.62±1.85
黑鲷	512.49±187.13	391.08±144.00	100.96±36.10	16.07±5.73	111.04±35.31	61.10±19.63	35.47±11.84	9.43±3.86
银鲳	451.87±85.16	332.20±66.50	100.24±18.09	15.42±1.23	108.84±11.22	60.04±8.20	31.52±2.01	11.84±0.75
褐篮子鱼	404.83±214.81	294.08±143.19	103.44±68.64	6.45±3.31	74.38±41.02	43.40±22.64	16.97±9.86	4.68±3.01
带鱼	2 232.74±171.52	1 334.00±115.02	720.20±51.24	162.60±11.24	1 448.96±92.77	136.40±10.69	1 160.00±73.82	41.34±2.37
蓝圆鲹	512.95±217.16	300.42±125.74	198.52±128.67	10.53±6.34	181.06±89.58	98.49±46.45	31.12±20.63	17.98±9.24
二长棘鲷	197.81±53.08	150.20±33.71	43.76±17.54	3.85±2.23	41.7±13.21	26.48±8.11	10.16±3.57	3.40±1.65
石斑鱼	1 375.28±301.45	348.50±75.34	945.67±168.96	31.90±4.20	418.73±57.35	202.83±37.79	107.67±12.06	20.05±3.25
眼斑拟石首鱼	1 541.87±206.91	902.27±133.18	191.55±21.92	374.42±114.70	4 283.05±339.14	71.98±9.64	3 850.00±295.09	272.09±37.09
黄鳍鲷	342.72±206.96	242.12±128.87	89.34±69.78	8.51±6.78	56.94±27.80	33.24±15.84	13.91±8.68	7.15±4.25
鳗鲡	522.40±221.50	333.13±122.82	159.94±108.88	25.56±18.90	239.56±203.75	79.47±42.51	147.97±154.17	21.42±15.28
海鳗	135.69±93.04	73.61±41.10	59.30±56.69	2.78±2.23	47.00±28.14	30.19±17.75	7.06±5.38	6.39±4.81
马鲛鱼	174.28±26.72	119.64±18.97	51.98±7.73	2.66±1.36	31.31±3.74	21.34±2.57	6.64±1.20	ND
多齿蛇鲻	403.09±353.27	303.68±263.69	85.42±78.44	10.68±9.38	62.38±56.23	30.83±24.79	15.67±13.55	4.48±3.19
金钱鱼	490.68±108.67	227.83±47.39	239.17±62.76	16.65±8.17	123.80±37.80	74.43±24.16	24.67±6.86	18.17±6.33
多鳞鳢	689.97±80.66	356.67±41.86	307.67±36.86	25.63±2.54	234.94±14.84	58.17±5.79	144.00±7.13	7.02±0.37
龙头鱼	592.91±34.48	446.40±35.40	117.26±50.56	23.84±3.15	228.98±83.03	176.60±79.64	31.22±3.56	14.58±1.86
短尾大眼鲷	242.75±104.03	128.56±37.93	109.16±77.53	5.04±2.81	94.34±85.33	50.01±28.58	10.06±6.29	8.59±5.83
舌鲷	729.04±256.26	451.08±129.04	253.28±127.37	22.69±7.89	150.48±46.28	59.36±11.85	64.98±21.29	9.00±1.61

注:ND表示未检出;C20:2为十二碳二烯酸

2.2 EPA+DHA 与 MeHg 共摄入对神经发育的风险-获益评估

采用 FAO/WHO 提出的以 IQ 值为健康终点的风险-获益定量评估模型,根据不同的消费模式评估摄入 20 种常见海水鱼所带来的 IQ 净效应。海水鱼的消费量基于 2010—2012 年广东省居民营养与健康状况调查结果^[7],海水鱼消费量均值为 13.8 g/d (100 g/周),P97.5 值为 117.9 g/d (830 g/周),另外,采用《中国居民膳食指南(2016)》^[10]中水产品推荐量(280~525 g/周)的最小值(280 g/周)作为参考对照,人群体重按 60 kg 计算^[1]。

按三种消费模式,孕妇或乳母食用本次评估的每个鱼种的 EPA+DHA 带来 IQ 增长的获益都超过了 MeHg 造成 IQ 损失的风险,见表 3。在 100 g/周的平均消费水平下,黑鲷带来的 IQ 净效应(5.7)大于 5。在 280 g/周的推荐水平下,黑鲷、大黄花鱼、卵形鲳鲹、银鲳、石斑鱼、眼斑拟石首鱼、褐篮子鱼、二长棘鲷、蓝圆鲹这 9 种海水鱼带来的 IQ 净效应(5.1~5.7)均大于 5。在 830 g/周的 P97.5 消费水平下,共有 16 种海水鱼带来的 IQ 净效应(5.1~5.6)大于 5,海鳗、黄鳍鲷、带鱼和舌鲷带来的 IQ 净效应为 3.8~5.0。

根据海水鱼类汞摄入与患者血汞、发汞水平的剂量-反应关系,并基于保护最敏感人群(孕妇、胎儿及儿童),2003 年 FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会(JECFA)将 MeHg 的暂定每周耐受摄入量(PTWI)定为 1.6 $\mu\text{g}/\text{kg BW}$ ^[11]。由表 3 可见,仅在 830 g/周的极端消费水平下摄入海鳗带来的 MeHg

暴露量超过了 PTWI,摄入黄鳍鲷和带鱼带来的 MeHg 暴露量超过了 PTWI 的 50%,而其余 17 种海水鱼在三种消费量模式下摄入带来的 MeHg 暴露量均远低于 PTWI。

3 讨论

本研究中不同海水鱼的各种脂肪酸含量范围跨度较大,这与已有的鱼类脂肪酸研究结果^[12-13]一致。张红霞^[14]于 2011—2013 年间采集我国黄海、渤海和南海三个海域的常见海水鱼品种进行脂肪酸含量分析,结果三个海域海水鱼总脂肪酸含量范围为 0.5~17.1 g/100 g,n-3 PUFA、DHA 和 EPA 含量范围分别为 43.1~1 452.2、43.1~1 223.4 和 4.2~725.1 mg/100 g,与本研究获得的广东省沿海常见海水鱼的脂肪酸含量分布范围基本一致。广东省湛江市海水鱼脂肪酸研究^[15]中龙头鱼(2 mg/g)和马鲛鱼(3.5 mg/g)的 EPA+DHA 含量与本研究中同种海水鱼的含量水平相当,而大黄花鱼(5.4 mg/g)和卵形鲳鲹(2.6 mg/g)明显低于本研究中同种海水鱼的含量水平,可能与采样季节、地域差异等因素有关。

EPA 和 DHA 已被证实是胎儿脑部发育和视网膜发育必需的营养物质,对心血管疾病治疗有促进作用^[1],FAO/WHO 推荐成年男性和非孕期或哺乳期女性每天补充 250 mg EPA+DHA,而对于孕期和哺乳期女性,每天补充 300 mg EPA+DHA,其中至少有 200 mg 为 DHA^[16]。本研究中 DHA 和 EPA 的含量与总脂肪酸含量呈正相关,提示消费者摄入脂肪含量较高的鱼可以增加 DHA 和 EPA 的摄入。

表3 广东省沿海常见海水鱼在不同消费量下的神经发育净效应和 MeHg 暴露量

Table 3 Net neurodevelopmental effect and human exposure to MeHg of the common marine fish from coastal regions in Guangdong with different consumption levels.

中文名称	EPA+DHA 含量 /(mg/g)	MeHg 含量 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均消费量(100 g/周)		P97.5 消费量(830 g/周)		推荐量(280 g/周)	
			IQ 净 效应	MeHg 每周暴露量 /($\mu\text{g}/\text{kg}$ BW)	IQ 净 效应	MeHg 每周暴露量 /($\mu\text{g}/\text{kg}$ BW)	IQ 净 效应	MeHg 每周暴露量 /($\mu\text{g}/\text{kg}$ BW)
黑鲷	20.5 \pm 1.6	57.2 \pm 6.9	5.7	0.10	5.1	0.79	5.6	0.27
大黄花鱼	12.9 \pm 2.4	27.8 \pm 5.6	4.9	0.05	5.4	0.38	5.7	0.13
卵形鲳鲹	10.9 \pm 1.2	22.0 \pm 11.4	4.2	0.04	5.5	0.30	5.7	0.10
银鲳	8.7 \pm 1.3	18.8 \pm 2.9	3.3	0.03	5.6	0.26	5.7	0.09
石斑鱼	7.0 \pm 2.5	45.5 \pm 7.2	2.6	0.08	5.2	0.63	5.6	0.21
眼斑拟石首鱼	6.6 \pm 0.8	37.1 \pm 6.8	2.5	0.06	5.3	0.51	5.6	0.17
褐篮子鱼	5.6 \pm 0.3	15.2 \pm 3.7	2.1	0.03	5.6	0.21	5.7	0.07
二长棘鲷	5.0 \pm 2.1	52.5 \pm 9.0	1.8	0.09	5.1	0.73	5.1	0.25
蓝圆鲹	4.9 \pm 2.1	46.5 \pm 27.6	1.8	0.08	5.2	0.64	5.1	0.22
带鱼	5.4 \pm 2.3	61.2 \pm 25.8	1.8	0.10	5.0	0.85	5.0	0.29
鳗鲡	4.7 \pm 1.0	42.4 \pm 6.3	1.7	0.07	5.3	0.59	4.8	0.20
马鲛鱼	3.9 \pm 3.4	20.3 \pm 6.8	1.5	0.03	5.5	0.28	4.1	0.09
多齿蛇鲭	4.0 \pm 2.1	46.8 \pm 5.8	1.5	0.08	5.2	0.65	4.1	0.22
海鳗	4.3 \pm 0.8	139.4 \pm 11.8	1.4	0.23	4.0	1.93	4.0	0.65
黄鳍鲷	3.7 \pm 1.5	96.6 \pm 34.1	1.3	0.16	4.6	1.34	3.5	0.45
金线鱼	3.3 \pm 2.0	47.8 \pm 22.0	1.2	0.08	5.2	0.66	3.3	0.22
多鳞鱈	2.4 \pm 1.0	53.6 \pm 33.5	0.8	0.09	5.1	0.74	2.3	0.25
短尾大眼鲷	1.9 \pm 0.5	49.3 \pm 25.6	0.7	0.08	5.2	0.68	1.9	0.23
龙头鱼	1.7 \pm 0.3	17.0 \pm 3.5	0.6	0.03	5.2	0.24	1.8	0.08
舌鲷	1.3 \pm 0.9	29.2 \pm 7.7	0.5	0.05	3.8	0.40	1.3	0.14

然而,鱼类中 MeHg 的污染问题越来越引人关注,长期慢性 MeHg 暴露可导致多个器官和系统的损伤,且育龄期妇女、孕妇、哺乳期妇女和幼儿被认为是鱼类 MeHg 暴露致神经发育毒性的敏感人群(高危人群)^[11];因此本研究针对海水鱼摄入对神经发育的风险-获益,基于三种海水鱼消费模式(平均消费量、P97.5 消费量和推荐量),采用 FAO/WHO 提出的风险-获益定量评估模型,评估食用广东省沿海地区各种常见海水鱼对新生儿和婴幼儿的 IQ 净效应。本研究中的 20 种海水鱼的 MeHg 含量均未超过 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[17]中的限量值(0.5 mg/kg),结果表明,孕妇及哺乳期妇女在三种消费模式下摄入这 20 种海水鱼均可为胎儿/新生儿带来 IQ 增长的获益,且获益都超过了 MeHg 造成 IQ 损失的风险。虽然国内相关研究尚少,但也有类似的观察结果^[13-14]。

当海水鱼的摄入量达到 280 g/周的推荐消费水平时,共有 9 种海水鱼可带来的 IQ 净效应大于 5。而广东省居民海水鱼摄入量平均为 100 g/周,仅有黑鲷可带来大于 5 的 IQ 净效应,提示居民海水鱼类的摄入量仍需要进一步提高。按 830 g/周的极端消费水平摄入海鳗所致 MeHg 暴露量(1.93 $\mu\text{g}/\text{kg}$ BW)占 PTWI 值的 120.6%, 17 种海水鱼在三种消费量模式下摄入带来的 MeHg 暴露量均远低于 PTWI。有研究^[15,18]采用同样的方法对我国其他地区的鱼种进

行风险-获益评估,经比较,同一鱼种的风险-获益不尽相同,这是因为不同采样季节和地域差异来源的鱼种脂肪酸和 MeHg 含量水平存在差异。

当海水鱼消费量增加到 830 g/周时,因 MeHg 摄入量相应增加,导致各种鱼类的 IQ 净效应反而下降。在本研究所采用的三种情形下,孕妇及哺乳期妇女按《中国居民膳食指南(2016)》的推荐摄入量消费广东省沿海地区的多种海水鱼(如黑鲷、大黄花鱼、卵形鲳鲹、银鲳、石斑鱼、眼斑拟石首鱼、褐篮子鱼、二长棘鲷、蓝圆鲹)可以获得较大的新生儿和婴幼儿神经发育益处,但对于 MeHg 含量较高的海水鱼种(如海鳗、黄鳍鲷和带鱼)需注意食用频率不宜过大。

然而,需要指出的是食用海水鱼的健康益处不仅来自 EPA 和 DHA,还包括丰富的优质蛋白和微量元素等;另一方面,海水鱼带来的健康风险也不仅限于 MeHg,还可能来自二噁英及其类似物等多种污染物。本研究仅针对海水鱼摄入对神经发育的风险-获益,初步提出广东省沿海海水鱼的膳食指导意见,后续还需要开展更深入的研究,建立更广泛的海水鱼营养成分和污染物数据库,为科学食用海水鱼提供更全面的建议和参考。

参考文献

- [1] FAO/WHO. Report of the joint FAO/WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption [M]. Rome /Geneva:

- Food and Agriculture Organization of the United Nations /World Health Organization, 2011; 8-28.
- [2] SANDRA C, BRUCE C, MICHAEL D, et al. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food [J]. European Food Safety Authority Journal, 2012, 10(12): 1-241.
- [3] KERN J K, GEIER D A, SYKES L K, et al. The relationship between mercury and autism: a comprehensive review and discussion [J]. J Trace Elem Med Biol, 2016, 37(6): 8-24.
- [4] 高颐雄.水产品摄入获益与风险及其评估研究进展 [J].中国食品卫生杂志, 2013, 25(3): 288-291.
- [5] 高志强, 张毅强, 李杰, 等. 珠江入海口海产品中总汞与甲基汞含量特征及食用风险 [J]. 生态环境学报, 2015, 24(9): 1499-1504.
- [6] 陈霄, 张文凤, 黄伟雄, 等. 广东沿海两地海水鱼总汞与甲基汞的相关性分析 [J]. 现代食品科技, 2018, 34(7): 273-279.
- [7] 戴光伟, 梁辉, 周少君, 等. 广东省食用水产品中镉膳食暴露风险评估 [J]. 华南预防医学, 2016, 42(3): 223-226.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009. 168—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞测定: GB 5009. 17—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [10] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2016) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 343.
- [11] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants; technical report of the seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. Geneva: WHO, 2011.
- [12] 张志超, 余新威, 方力, 等. 浙东渔场海产品中 EPA 和 DHA 含量分析 [J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(7): 1046-1048.
- [13] GAO Y X, ZHANG H X, YU X W, et al. Risk and benefit assessment of potential neurodevelopmental effect resulting from consumption of marine fish from a coastal archipelago in China [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2014, 62(22): 5207-5213.
- [14] 张红霞. 我国三个海域常见海鱼消费对健康影响的风险-获益平衡研究 [D]. 太原: 山西医科大学, 2014.
- [15] DU Z Y, ZHANG J, WANG C, et al. Risk-benefit evaluation of fish from Chinese markets: nutrients and contaminants in 24 fish species from five big cities and related assessment for human health [J]. Sci Total Environ, 2012, 416(12): 187-199.
- [16] FAO/WHO. Fats and fatty acids in human nutrition [Z]. Geneva, 2008.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] CHEN M Y Y, WONG W W K, CHUNG S W C, et al. Quantitative risk-benefit analysis of fish consumption for women of child-bearing age in Hong Kong [J]. Food Additives & Contaminants Part A Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment, 2014, 31(1): 48-53.

· 公告 ·

市场监管总局关于发布《水产品及水中丁香酚类化合物的测定》等2项食品补充检验方法的公告

(2019年第15号)

按照《食品补充检验方法工作规定》有关要求,《水产品及水中丁香酚类化合物的测定》《豆制品、火锅、麻辣烫等食品中喹诺酮类化合物的测定》2项食品补充检验方法已经市场监管总局批准,现予发布。

特此公告。

附件:1. 水产品及水中丁香酚类化合物的测定

2. 豆制品、火锅、麻辣烫等食品中喹诺酮类化合物的测定

市场监督管理总局

二〇一九年四月一日

(相关链接: http://gkml.samr.gov.cn/nsjg/spcjs/201904/t20190408_292637.html)