

- 中国卫生检验杂志,2005,15(12):1475-1476
- [20] 洪祥奇,张杨. 薄层色谱测定食品中苏丹红染料方法的探讨[J]. 中国卫生检验杂志,2006,16(11):1330-1332.
- [21] LONG Chaoyang, MAI Zhibin, YANG Yingfen, et al. Synthesis and characterization of novel molecularly imprinted polymer for simultaneous extraction and determination of water-soluble and fat-soluble synthetic colorants in chili products by solid phase extraction and high performance liquid chromatography [J]. J Chromatogr A, 2009, 1216:8379-8385.
- [22] WANG Shuo, XU Zhixiang, FANG Guozhen, et al. Synthesis and characterization of a molecularly imprinted silica gel sorbent for the on-line determination of trace sudan I in chilli powder through high-performance liquid chromatography [J]. J Agric Food Chem, 2007, 55:3869-3876.
- [23] 罗美中,李碧芳,何小青. 高效液相色谱-二极管阵列法测定豆制品中碱性嫩黄 O 的含量[J]. 分析检测, 2005(8): 166-170.
- [24] HOU Xiaolin, LI Yonggang, WU Guojuan, et al. Determination of para red, sudan dyes, canthaxanthin and astaxanthin in animal feeds using UPLC[J]. J Chromatogr Sci, 2010, 48:22-25.
- [25] 刘志权,李月欢,陈砚滕,等. 食品中苏丹 I、II、III、IV 的 UPLC-ESI-MS/MS 测定研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(1):94-128.
- [26] LEONARDO D D, LOREDANA M, FABIO M, et al. Assay of sudan I contamination of foodstuff by atmospheric pressure chemical ionization tandem mass spectrometry and isotope dilution [J]. Anal Chem, 2004, 76(17): 5104-5108
- [27] CALBIANI F, CARERI M, ELVIRI L, et al. Development and in-house validation of a liquid chromatography electrospray tandem mass spectrometry for the simultaneous determination of Sudan in hot chilli product[J]. J Chromatogr A, 2004, 1042:123-130.
- [28] 喻晓寒,宋之光,苏流坤,等. 高效液相色谱-离子阱质谱联用测定食品中 7 种苏丹红类染料[J]. 质谱学报, 2006, 27(4): 221-225.
- [29] 黄晓兰,吴惠勤,黄芳,等. GC-MS-SIM 法同时测定食品中的苏丹红 I~IV[J]. 分析测试学报, 2005, 24(4):1-5.
- [30] 苏小川,黄梅,甘宾宾,等. 气相色谱-质谱联用法测定调味品中苏丹红 I、II 色素[J]. 理化检验-化学分册, 2006, 42(12): 1003-1006.
- [31] 刘永波,赵海峰,张明霞. 超声波提取-气相色谱质谱联用法测定苏丹红 I 残留量[J]. 分析实验室, 2006, 25(4):86-88.
- [32] 张杨. 薄层层析法测定苏丹红的方法探讨[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(5):559-570.
- [33] 彭科怀,向仕学,汤晓勤,等. 辣椒制品中苏丹红 I 的极谱法快速测定[J]. 预防医学情报杂志, 2005, 21(3):286-288.
- [34] JU Chunmei, TANG Yong, FAN Huiying, et al. Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) using a specific monoclonal antibody as a new tool to detect Sudan dyes and Para red [J]. Anal Chim Acta, 2008, 621:200-206.
- [35] 杜美菊,凌翠霞. 汞膜电极测定辣椒制品中苏丹红 I 号的研究[J]. 应用化工, 2006, 35(8):640-647.
- [36] 庞艳玲,王怀友. 薄层色谱-紫外可见分光光度法测定食品中的苏丹红 III[J]. 化学分析与计量, 2006, 15(6):69-70.

综述

微囊藻毒素在水产品中的积累规律研究

刘萍,李雪,周伟杰

(无锡市疾病预防控制中心,江苏无锡 214023)

摘要: 微囊藻毒素是淡水湖泊蓝藻产生的一种肽类毒素,在水体污染日益严重的今天,微囊藻毒素对动物和人类健康的潜在危害引起了人们的极大关注。本文综述了微囊藻毒素在水产品中的积累和分布规律,以探讨微囊藻毒素对水产品的污染规律,为水产品的食用安全性评价以及水产品中微囊藻毒素的污染防治研究提供资料。

关键词: 微囊藻毒素;水产品;积累;分布规律

中图分类号: F762.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8456(2012)02-0189-04

Study on the regularity of microcystin accumulati in aquatic products

Liu Ping, Li Xue, Zhou Weijie

(Wuxi Center for Disease Prevention and Control, Jiangsu Wuxi 214023, China)

Abstract: Microcystin (MC) is a group of cyclic heptapeptide hepatotoxins produced by cyanobacteria in freshwater. With the increasing of water pollution, more attention have been paid to the potential health risks of MC on animals and human. The distribution and accumulation of MC in different aquatic products were described in this review, in order to investigate the regular pattern of MC contamination and to provide reference for evaluating the safety of aquatic products and

收稿日期:2011-03-18

作者简介:刘萍 女 助理研究员 研究方向为食品安全 E-mail:liuping2008@gmail.com

preventing MC pollution.

Key words: Microcystin; aquatic products; accumulation; distribution

藻类植物在自然界中分布广泛,但是有毒的藻类主要是淡水湖泊中的蓝藻,它能产生一系列毒性很强的天然毒素,严重危害人类的健康。微囊藻毒素(microcystin, MC)就是蓝藻门中的铜绿微囊藻、鱼腥藻、颤藻、念珠藻等产生的一类肝毒素,具有强烈的致癌作用,是目前所知的毒性最大、分布最广、危害最严重的一种毒素,也是研究的最多的一种毒素^[1]。微囊藻毒素不仅污染了水体,也污染了水生生物。长期生活于微囊藻毒素污染的水体中的水生生物可在体内积累MC,继而出现生物富集,并通过食物链进行传递,危害人类健康。水产品是重要的食物资源,我国淡水水产品在水产品中的比例高达40%至50%,目前已有资料显示,MC可在水生植物、螺类、贝类、鱼、虾等多种水产品中积累^[2]。本文选取了几种典型的水产品进行综述,探讨不同水产品对微囊藻毒素的积累和降解规律,为水产品微囊藻毒素的污染防治和食用安全性评价提供资料。

1 微囊藻毒素在不同水产品中的积累规律

1.1 螺类

螺类是淡水生态系统中重要的底栖动物,既是肉食和杂食性水生动物及鸟类的重要饵料,也是人类重要的食物资源,在构建水生群落结构和食物链的传递中发挥着重要作用。目前,国内外关于螺类对微囊藻毒素积累与转化规律的研究资料还比较少,国外学者Ozawa等^[3]、Emilie等^[4]和Zurawell等^[5]分别对淡水田螺、膀胱螺、肺螺亚科种类静水椎实螺等进行过MC的摄取、积累和清除试验,研究发现,螺体内MC含量与浮游植物细胞内毒素呈显著的正相关,而与溶解于水中的MC浓度无显著相关。这说明螺类对MC的积累主要通过摄食有毒藻类,而极少通过直接对溶解毒素的吸收。

潘洁慧和陆开宏^[6]、李效宇等^[7]分别对铜锈环棱螺和澳洲水泡螺进行了毒性暴露实验。研究发现,低浓度的MC暴露比高浓度的MC暴露在肝脏中的积累量更高。这可能是高浓度的MC暴露,会促使螺出现一种抵御机制,减少对蓝藻的摄食与消化,从而减少了螺对MC的积累。而低浓度的MC暴露对螺的生物毒性较小,从而较少影响其正常的生活、生理和摄食活动,反而有更高的MC积累。

在螺类对微囊藻毒素的清除实验中发现,在较低温度(15℃)条件下,螺体内MC残留量要显著高于25℃时的含量。可见,低温不利于MC的清除。

陆开宏等^[8]用 K_d 来表示MC在水生生物中的清除速率,计算出铜锈环棱螺在15和25℃时的清除速率分别为0.0936和0.1545 d^{-1} ,可见清除速率随实验温度的上升而增加。在自然环境中由于冬天的 K_d 值较低,组织中的MC不易被清除而常残留至春天,所以在早春藻类尚未大量繁殖前仍然能在水生动物体内检测到较高浓度的微囊藻毒素。

1.2 贝类

贝类是重要的淡水底栖动物,常见的有牡蛎、贻贝、蛤、蛏、蚌等,以水体中悬浮或基质表层附着的藻类为其主要食物,摄食方式以滤食性为主,以口腔的唇瓣和腮上的纤毛摆动借助水管摄取水中悬浮食物藻类、浮游动物、有机碎屑等。因此,当水体中发生有毒蓝藻水华时,贝类由于其滤食特性,更易暴露于MC的风险之中。研究资料显示,贝类能积累高浓度的MC,有人在产毒铜绿微囊藻水华中放养贻贝,16d后发现,该贝类能富集MC浓度达10.5 $\mu g/g$ 干重,最高富集浓度可达到16 $\mu g/g$ ^[9]。

Chen等^[10]采集生活在巢湖和太湖的4种蚌类(背角无齿蚌、三角帆蚌、褶纹冠蚌和背瘤丽蚌),对其中的MC的组织分布和动态变化进行监测,发现在蚌的各器官中均检出MC,其中肝胰腺是MC积累的主要器官,其次是性腺。将各器官的毒素加和,则这4种蚌体的总毒素含量的均值分别达到0.064、0.188、0.096和0.131 $\mu g/g$ 。假设成人体重为60kg,每天食用300g蚌肉,则这4种蚌的MC平均每日摄入量分别达到0.32、0.94、0.48和0.66 $\mu g/kg$ BW,分别是WHO制定的微囊藻毒素的每日耐受摄食量(tolerable daily intake, TDI)0.04 $\mu g/kg$ BW的8.0、23.5、12.0和16.5倍,即在食用一餐含有MC的蚌类后可轻易达到甚至超过TDI。

MC在贝类体内的降解速度很快,Vasconcelos^[11]将用铜绿微囊藻喂养的紫贻贝切换到海洋藻类(菱形藻、卡德藻)喂养后,紫贻贝体内的毒素含量在3d内就降低了50%,到第13天就已经降低到无法检测的水平。学者们认为,蚌体内可能存在某种特殊的代谢机制,使蚌能够耐受高浓度的微囊藻毒素并能有效地降解毒素^[12]。

1.3 鱼类

鱼类处在水生态系统食物链的顶端,又是人类重要的食物,并且被大量养殖,因此鱼类微囊藻毒素污染状况受到重点关注。有关MC在鱼类体内的积累已有许多报道,研究涉及杂食性鱼类鲤鱼、鲫

鱼、罗非鱼;浮游生物食性鱼类鲢、鳙等,本文重点选择了罗非鱼和鲤鱼进行综述。

1.3.1 罗非鱼

罗非鱼属杂食性鱼类,主要摄食浮游植物、底栖藻类和有机碎屑等,罗非鱼的胃腺细胞是典型的泌酸细胞,能分泌高浓度的胃酸,可使胃液的 pH 值小于 1.5 甚至 1.0,因此它能很好地消化其他鱼类难以消化的微囊藻。Deblois 等^[13]报道了罗非鱼较其他鱼类能够耐受更高浓度的微囊藻毒素。王扬才等^[14]在罗非鱼对微囊藻消化率的研究中发现,罗非鱼的消化率与体重关系不大,但是会随温度的升高而升高。大多数罗非鱼对微囊藻的消化率集中在 60%~70%,比鲢鱼^[15]高 1 倍。

基于罗非鱼的食用安全性考虑,巴西和埃及学者^[16-18]曾先后进行过 MC 在罗非鱼体内积累效应的研究。证实了罗非鱼能够积累 MC,且不同组织对 MC 的积累效率不同。实验表明,鱼体肝脏组织中 MC 含量始终高于肌肉组织。同样,不同组织对 MC 的清除速度也不一样,肠道 MC 的清除速度最快,肝脏其次,肌肉最慢。

陆开宏^[19]对罗非鱼体内的 MC 进行了清除实验的研究,用简单的一级一室模型估算 MC 在罗非鱼不同组织的消除速率常数和消除半衰期。按照清除试验前鱼肌肉中 MC 的平均含量为 0.148 $\mu\text{g/g DW}$,假设成人体重为 60 kg,每天食用 50 g DW(约 250 g)的鱼肉,研究发现罗非鱼肌肉中的 MC 需经两周的清除后,才不至于使人体摄入的 MC 高于 WHO 制定的 MC 的 TDI(0.04 $\mu\text{g/kg BW}$)。为此,在食用那些发生蓝藻水华池塘的养殖水产品之前,应检测其体内的 MC 含量,评估其可能的危害,必要时在不含 MC 的水体中进行适当时间的清除处理后再食用。

1.3.2 鲤鱼

鲤鱼属于底栖杂食性鱼类,蓝藻是鲤鱼的饵料之一,鲤鱼不仅可以直接吞食有毒蓝藻细胞,还可能从底泥中吸收微囊藻毒素。

有学者对淡水湖泊中的鲤鱼体内的微囊藻毒素进行检测,发现在鱼的肝脏和肌肉中都可以检测到微囊藻毒素,且污染较重的采样点的检测值明显高于污染较轻的采样点。徐海滨等^[20]研究了鲤鱼体内的微囊藻毒素生物富集规律,发现在饲养用水中加入微囊藻毒素后,微囊藻毒素迅速在鲤鱼组织中富集,微囊藻毒素在肌肉和肝脏中达到最高峰的时间是试验第 7 天,此后组织内的微囊藻毒素含量开始下降,逐步接近同一时间的饲养用水。试验期间肝脏中微囊藻毒素含量始终高于肌肉中的含量。微囊藻毒素在鲤鱼体内的含量是一个动态变化的

过程,鲤鱼通过吸收、吸附、吞食等过程,从水中富集微囊藻毒素,在这种生物积累过程中,微囊藻毒素不断进入鲤鱼体内又不断从体内排出,这种物质交换过程要经历一定时间才能达到动态平衡。

2 微囊藻毒素在水产品中的动态积累规律

2.1 时间规律

水生生物对微囊藻毒素积累水平是长期富集的结果,放养时间越长,MC 含量有可能越高。同时生物蓄积过程也与环境条件变化有关,到底主要受哪种环境因素影响目前还不清楚。天然蓝藻水华及其毒性因季节不同而表现出较大的变异性,研究认为温度对其毒性表现有重要作用,一般春秋水温在 20 $^{\circ}\text{C}$ 以下时,毒性较高;而夏季水温在 25 $^{\circ}\text{C}$ 以上,光照强烈,水华大量发生时,毒性较低。

徐海滨等^[21]对不同时间鄱阳湖鱼样微囊藻毒素含量变化的研究发现,10 月份鱼肌肉中微囊藻毒素含量约是 7 月份的 1.2~2 倍,10 月份鱼肝中微囊藻毒素含量约是 7 月份的 2~20 倍。隋海霞和陈艳^[22]对武汉东湖、上海淀山湖鱼体内微囊藻毒素检测发现,10 月份鱼体内微囊藻毒素含量远高于 7 月份。与之对应的是 10 月份水样中蓝藻比例和 MC 含量也均高于 7 月份。说明鱼体内 MC 含量的变化与水体中蓝藻比例和 MC 含量是相关的。水体中 MC 含量越高,即有毒蓝藻浓度越大,鱼类摄入蓝藻的量相应增多,鱼体内 MC 的浓度也越高。

2.2 组织分布积累

吴幸强等^[23]研究了滇池内不同鱼类对微囊藻毒素的积累规律和分布特征,发现微囊藻毒素在鲢鱼和鳙鱼不同组织中的积累和分布方面具有明显的规律性,MC 主要分布在鱼体的肝肾脏和消化道等器官,而肌肉和非消化道器官中的毒素含量相对较低。杨静东等^[24]研究了微囊藻毒素在鲇鱼体内的富集规律,发现肝脏中 MC 的积累远大于肌肉组织中,大约为肌肉组织中的 18 倍。李旭光等^[25]对微囊藻毒素在罗非鱼体内的分布研究发现,鱼体肝脏组织内的 MC 最大值为 21.478 ng/g ,是同期鱼体肌肉组织的近 6 倍。这与文献报道是一致的^[26-28]。

MC 在鱼体内的分布和积累与不同组织的生理功能密切相关,肝脏是主要的致毒靶器官,微囊藻毒素在胃中溶解后,释放到肠腔中,经肠上皮细胞吸收后,由胆汁酸转运系统积聚在肝中^[29-30],所以微囊藻毒素在肝脏中的积累量大于在肌肉中。

3 结语

Xie 等^[31]对安徽巢湖处于食物链不同营养水平

的鱼体肌肉组织微囊藻毒素含量进行检测发现,位于食物链上游的肉食性和杂食性鱼体内微囊藻毒素显著高于位于食物链下游的以浮游植物为食的草食性鱼体内藻毒素含量。人类作为生物链的最高级别,食物中微量的有害物质都可以通过食物链浓缩,从而进入人体对人类健康造成危害,因此微囊藻毒素对人类健康的影响不容忽视。

长期以来,关于微囊藻毒素对人类健康危害的研究往往从饮用水的角度出发,而很少从受微囊藻毒素污染的水产品角度出发,目前还没有直接的资料证实食用被微囊藻毒素污染的水产品引起的健康危害,但正逐渐成为研究热点。应用流行病学调查确定食用鱼肉的安全阈值对于水产品的食用安全性评估及制定水产品中微囊藻毒素的限量标准具有重要意义。

参考文献

- [1] 闫海,潘纲,张明明.微囊藻毒素研究进展[J].生态学报,2002,22(11):1968-1975.
- [2] 胡智泉,李敦海,刘永定,等.微囊藻毒素对水生生物的生态毒理学研究进展[J].自然科学进展,2006,16(1):14-19.
- [3] OZAWA K, YOKOYAMA A, ISHIKAWA K, et al. Accumulation and depuration of microcystins produced by the cyanobacterium *Microcystis* in a freshwater snail[J]. *Limnol*, 2003(4):131-138.
- [4] EMILIE L, LUC B, MYRIAM B. Interactions between cyanobacteria and Gastropods 1. Ingestion of toxic *Planktothrix agardhii* by *Lymnaea stagnalis* and the kinetics of microcystin bioaccumulation and detoxification[J]. *Aquat Toxicol*, 2006, 79:140-148.
- [5] ZURAWELL R W, HOLMES C F B, PREPAS E E. Elimination of the cyanobacterial hepatotoxin microcystin from the freshwater pulmonate snail *Lymnaea stagnalis juguralis* (Say) [J]. *J Toxicol Environ Health*, 2006, 69:303-318.
- [6] 潘洁慧,陆开宏.铜锈环棱螺对微囊藻的摄食及其毒素积累研究[J].宁波大学学报:理工版,2008,21(4):479-484.
- [7] 李效宇,刘永定,张榜军.微囊藻毒素对澳洲水泡螺的毒性效应[J].河南师范大学学报:自然科学版,2005,33(4):106-108.
- [8] 陆开宏,金春华,王扬才.罗非鱼对蓝藻的摄食消化及对富营养化水体水华的控制[J].水产学报,2005,29(6):811-818.
- [9] WILLIAMS D E, DAWE S C, KENT M L, et al. Bioaccumulation and clearance of microcystins from salt water mussels, *Mytilus edulis*, and in vivo evidence for covalently bound microcystins in mussel tissues [J]. *Toxicol*, 1997, 35:1617-1625.
- [10] CHEN Jun, XIE Ping, GUO Longgen, et al. Tissue distributions and seasonal dynamics of the hepatotoxic microcystins-LR and-RR in a freshwater snail (*Bellamya aeruginosa*) from a large shallow, eutrophic lake of the subtropical China [J]. *Environ Pollut*, 2005, 134:423-430.
- [11] VASCONCELOS V M. Uptake and depuration of the heptapeptide toxin Microcystin-LR in *Mytilus galloprovincialis* [J]. *Aquat Toxicol*, 1995, 32:227-237.
- [12] 陈隽.肝毒性微囊藻毒素在巢湖和太湖水生动物体内的生物富集及对水产品安全性的潜在威胁[D].武汉:中国科学院水生生物研究所,2006:95-96.
- [13] DEBLOIS C P, ROCIO A R, GIANI A, et al. Microcystin accumulation in liver and muscle of tilapia in two large Brazilian hydroelectric reservoirs [J]. *Toxicol*, 2008(51):435-448.
- [14] 王扬才,陆开宏,周杰.罗非鱼对微囊藻毒素消化率的初步研究[J].水利渔业,2003,23(4):15-16.
- [15] 陈少莲,刘肖芳,胡传林,等.论鲢、鳙对微囊藻的消化利用[J].水生生物学报,1990,14(1):49-59.
- [16] MAGALHASE V F, SOARES P M, AZEVEDO S M F O. Microcystin contamination in fish from the Jacarepagua Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): ecological implication and human health fish [J]. *Toxicol*, 2001, 39:1077-1108.
- [17] MOHAMED Z A, CARMICHAEL W W, HUSSEIN A A. Estimation of microcystins in the freshwater fish *Oreochromis niloticus* in an Egyptian fish farm containing a *Microcystis* bloom [J]. *Environ Toxicol*, 2003, 18:137-141.
- [18] SOARES R M, MAGALHAES V F, AZEVEDO S M F O. Accumulation and depuration of microcystins (cyanobacteria hepatotoxins) in *Tilapia rendalli* (Cichlidae) under laboratory conditions [J]. *Aquat Toxicol*, 2004, 70:1-10.
- [19] 陆开宏.蓝藻水华与2种藻食性水生动物的相互作用[D].青岛:中国海洋大学,2009:90-91.
- [20] 徐海滨,隋海霞,高士荣,等.微囊藻毒素污染在鲤鱼体内生物富集作用的初步研究[J].中国食品卫生杂志,2003,15(3):202-204.
- [21] 徐海滨,孙明,隋海霞,等.江西鄱阳湖微囊藻毒素污染及其在鱼体内的动态研究[J].卫生研究,2003,32(3):192-194.
- [22] 隋海霞,陈艳.淡水湖泊中微囊藻毒素的污染[J].中国食品卫生杂志,2004,16(2):112-114.
- [23] 吴幸强,龚艳,王智,等.微囊藻毒素在滇池鱼体内的积累水平及分布特征[J].水生生物学报,2010,34(2):388-392.
- [24] 杨静东,胡梁斌,周威,等.微囊藻毒素在鲢鱼体内生物富集及其体内的抗氧化反应[J].生态环境学报,2009,18(6):204-205.
- [25] 李旭光,周刚,周军,等.太湖微囊藻毒素在罗非鱼体内累积及生物降解的初步研究[J].水生生态学杂志,2010,3(1):67-71.
- [26] SUI Haixia, YAN Weixing, XU Haibin. Toxicity of microcystin and its bioaccumulation effect [J]. *Hygiene Research*, 2002, 31(3):214-216.
- [27] Ding W X. Cyanobacteria cause mitochondria membrane potential alterations and reactive oxygen species formation in primary cultured rat hepatocytes [J]. *Environ Health Perspect*, 1998, 106:409.
- [28] BROOKS W P, CODD G A. Distribution of *Microcystis aeruginosa* peptide toxin and interactions with hepatic microsomes in mice [J]. *Pharmac Toxicol*, 1998, 607(3):187-191.
- [29] RABERGH C M I, BYLUND G, ERICKSSON J E. Histopathological effects of microcystin-LR, a cyclic peptide toxin from the cyanobacterium (blue-green) *Microcystis aeruginosa*, on common carp (*Cyprinus carpio* L.) [J]. *Aquat Toxicol*, 1991, 20:131-146.
- [30] CARBIS C R, RAWLIN G T, MITCHELL G, et al. The histopathology of carp, *Cyprinus carpio* L., exposed to microcystins by gavage, immersion and intraperitoneal administration [J]. *Fish Disease*, 1996, 19:199-207.
- [31] XIE Liqiang, XIE Ping, GUO Longgen, et al. Organ distribution and bioaccumulation of microcystins in freshwater fish at different trophic levels from the eutrophic Lake Chaohu, China [J]. *Environ Toxicol*, 2005, 20:293-300.