

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897-20150422001

原盛广, 崔艳芳, 张文婧. 北京农贸市场常见淡水鱼体内抗生素残留调查研究[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(3): 311-317

Yuan S G, Cui Y F, Zhang W J. Residual levels of antibiotics in aquatic products in Beijing market [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2015, 10(3): 311-317

北京农贸市场常见淡水鱼体内抗生素残留调查研究

原盛广^{1,*}, 崔艳芳², 张文婧¹

1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

2. 中环联(北京)环境保护有限公司, 北京 100013

收稿日期: 2015-04-22 录用日期: 2015-06-29

摘要: 基于改进的超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)的分析方法, 通过对不同重量鲤鱼、鲫鱼、草鱼和鲢鱼中四环素类、磺胺类以及喹诺酮类等十种抗生素的残留测定, 调查了北京市场水产品中抗生素的污染水平。结果表明, 在所有样品中, 只有磺胺二甲基嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星和恩诺沙星四种抗生素检出, 检出率分别为 2.1%, 4.2%, 16.7%, 46.9%, 其他抗生素未检出。检出的四种抗生素中, 磺胺二甲基嘧啶和麻保沙星只在草鱼中有检出, 诺氟沙星和恩诺沙星在四种鱼中均有检出。恩诺沙星的浓度在鲤鱼、鲫鱼、草鱼和鲢鱼中依次降低。只有部分检出恩诺沙星超出 50 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的最大允许残留量。磺胺二甲基嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星随着鱼重量的增大而变高, 最高浓度为 34.8、179.6、39.4 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 而在个头小的鱼中未检出, 这可能与生物累积造成。总之, 北京市场的水产品存在抗生素的污染, 但是大多数的抗生素的浓度都低于最大允许残留量。仍需加强水产品养殖环节中抗生素使用的管理。

关键词: 抗生素; 鱼; 水产品; 北京市场

文章编号: 1673-5897(2015)3-311-07 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Residual Levels of Antibiotics in Aquatic Products in Beijing Market

Yuan Shengguang^{1,*}, Cui Yanfang², Zhang Wenjing¹

1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

2. Zhonghuanlian (Beijing) Environmental Protection Co. Ltd, Beijing 100013

Received 22 April 2015 accepted 29 June 2015

Abstract: To survey the contamination level of antibiotics in aquatic products in Beijing market, crucian carp, carp, grass carp and chub of different weights were sampled from several major farmer markets in Beijing and ten antibiotics including tetracycline, sulfa antibiotics and quinolones were analyzed by based on ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry(UPLC-MS/MS). The result showed that only four antibiotics, i.e. sulfamethazine, marbofloxacin, norfloxacin and enrofloxacin, could be detected in some fish samples (2.1%, 4.2%, 16.7%, 46.9% detection rate), while others were below detection limits. Among the detected norfloxacin and enrofloxacin in crucian carp, carp, grass carp and chub, with the concentration of antibiotics, sulfamethazine and marbofloxacin were only detected in grass carp, while enrofloxacin in carp significantly higher than crucian carp, followed by grass carp and chub, respectively. Only enrofloxacin in fish samples exceeded the maximum residue level (MRL in NY5070-2002, 50 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). The concentrations of sulfamethazine, marbofloxacin and norfloxacin were

基金项目: 北京市财政专项引进中央在京科技资源平台建设项目; 首都科技条件平台中国科学院研发石油服务基地测试基金项目

作者简介: 原盛广(1982-), 男, 研究方向: 环境水体污染研究, E-mail: sgyuan@rcees.ac.cn

higher in larger fish (with the highest concentration of $34.8, 179.6, 39.4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) and not detected in small fish, indicating the accumulation processes. In general, aquatic fish products in Beijing market showed contaminated by antibiotics, while their residuals were mostly below MRL values. Best management practice is needed in cultivating fishery and in antibiotics usage.

Keywords: antibiotics; fish; aquaculture products; Beijing market

我国水产品总产量已居世界首位,与此同时,各种水产动物和鱼类细菌性疾病也经常发生。而当前对鱼类疾病的防治主要是向养殖水体中投加化学药品、抗生素或者致弱疫苗^[1]。水产养殖过程中因抗菌药物长期使用或滥用所引起的致病菌耐药性问题已多有报道^[2-3],这也是导致鱼类等水产品体内病原菌产生耐药性的主要原因。抗生素在进入鱼类等水生生物体内后,仅有极小一部分可以经生物体内代谢或降解,其余大部分依然保持原来形态直接保留在生物体内或排出体外并进入环境。由于抗生素具有较高的亲水性和较低的挥发性,可能会在水相与生物相间相互交换,产生潜在的风险^[4]。因此,应该重视抗生素类药物在水产品中的检出和风险评估。

目前,居民生活消费水产品主要以淡水活鱼和冷冻海鱼为主。北京的海鲜批发市场水产品主要来源于沿海省份或城市,而农贸市场出售的淡水鱼类产地来源不清,其污染状况鲜见报道。在北京市居民人均年消费水产品消费量呈逐年上升趋势的背景下^[5],关注淡水鱼体内抗生素的残留及了解其对居民的潜在健康风险尤为重要。本研究以四环素类、磺胺类以及喹诺酮类药物等常见抗生素为对象,采用超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)分析方法对北京4个水产品批发市场出售的鲢鱼、鲤鱼、鲫鱼和草鱼4种主要淡水鱼体内的抗生素残留状况进行了调查,以期了解市民可购买到的鱼体内的抗生素污染水平。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 样品采集

北京市区内批发的淡水鱼类主要为鲤鱼、鲫鱼、草鱼、花鲢、白鲢和鳊鱼等种类。基于北京市农产品批发市场的区域覆盖特点,分别选取北京大洋路农副产品批发市场、北京新发地农产品批发市场、北京岳各庄批发市场和北京昌平水屯农副产品批发市场作为市区东、南、西、北4个区域的采样点。2009年12月分别前往四个农贸市场进行样品采集,包括鲤鱼、鲢鱼、草鱼、鲫鱼,并依据体重分大、中、小3个级别,每个重量级别采集2个样品,共计采集样品96个。其中鲫鱼、鲤鱼、草鱼和鲢鱼的体重范围分别为

78~363 g、385~1 571 g、467~1 939 g、730~4 200 g。样品采集后,用医用纱布吸干鱼体表层水并称量体重,然后去鳞、取背部和尾部肌肉各50 g,用组织破碎机匀浆后,-20℃保存,待分析用。

1.2 仪器和试剂

超高效液相色谱-串联质谱仪(Waters公司, Quattro/Premier);离心机(Beckman公司);氮吹仪;甲酸、甲醇、乙腈和正己烷均为色谱纯(J.Tbaker公司);实验用水均为超纯水(电阻率为 $18.2 \text{ M}\Omega\text{cm}$);Mc Ilvaine缓冲液(11.8 g 柠檬酸、27.6 g 磷酸氢二钠、33.6 g 乙二胺四乙酸二钠溶解于水中,定容至1 L, pH 4.2); $0.05 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 磷酸三乙胺缓冲液(pH 3.0)-乙腈(体积比 85:15)。

标准品:麻保沙星(marbofloxacin, MBF)、氧氟沙星(ofloxacin, OFL)、诺氟沙星(norfloxacin, NOR)、恩诺沙星(enrofloxacin, ENR)、磺胺嘧啶(sulfadiazine, SD)、磺胺甲基嘧啶(sulfamerazine, SM1)、磺胺二甲基嘧啶(sulfamethazine, SM2)、磺胺甲恶唑(Sulfamethoxazole, SMZ)、盐酸四环素(Tetracycline Hydrochloride)、盐酸强力霉素(Doxycycline hyclate)。标准储备液和工作液的配制:分别称取标准品各20 mg于20 mL样品瓶中,用20 mL乙腈定容,振荡摇匀后,于-20℃条件下保存。使用时将上述标准储备溶液混合,用乙腈稀释成不同浓度的标准工作液。

1.3 仪器分析条件

超高效液相色谱条件:色谱柱为Waters ACQUITY UPLC C18柱;柱温30℃;样品室温度10℃;进样体积:10 μL ;流动相A为0.1%甲酸水溶液,B为甲醇;梯度洗脱程序:0~4 min, 7% B→13.4% B;4~6 min, 13.4% B→21.4% B;6~9 min, 21.4% B→70% B。然后由70% B降到7% B并保持3min;流速为 $0.2 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

质谱条件:离子源为电喷雾电离,正离子模式;毛细管电压:3.5 kV;源温度120℃;溶剂脱气温度350℃,脱溶剂气流量 $650 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$;氩气流量 $0.25 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。溶剂延迟:使流动相在3.5 min时切入质谱仪,在11.5 min时切出质谱仪。采用多反应监测(MRM)模式,采集参数见表1。

表 1 质谱主要采集参数

Table 1 Acquisition parameters in mass spectrometry

名称 Compounds	母离子 Precursor ion	锥孔电压/v Cone voltage/v	子离子 1 Product ion1	碰撞能量/ev Collision energies/ev	子离子 2 Product ion2	碰撞能量/ev Collision energies/ev
磺胺嘧啶 Sulfadiazine	250.8	30	155.5	16	107.5	25
磺胺甲基嘧啶 Sulfamerazine	265	28	155.4	17	109.5	25
磺胺二甲基嘧啶 Sulfamethazine	278.9	33	185.7	16	107.5	30
麻保沙星 Marbofloxacin	362.9	30	319.7	15	275.6	18
氧氟沙星 Ofloxacin	361.9	32	317.8	18	260.7	27
诺氟沙星 Norfloxacin	319.9	38	275.7	18	232.7	20
盐酸四环素 Tetracycline hydrochloride	444.8	30	410.1	20	153.9	30
恩诺沙星 Enrofloxacin	359.9	38	315.7	19	244.6	30
磺胺甲恶唑 Sulfamethoxazole	253.9	30	155.5	15	107.5	25
盐酸强力霉素 Doxycycline hyclate	444.9	32	427.5	20	409.7	25

1.4 样品预处理

称取 2 g 匀浆好的鱼肉样品,置于 15 mL 离心管中,加入 Mc Ilvaine 缓冲液 1 mL 和乙腈 4 mL,超声萃取 5 min,以 4 000 r·min⁻¹ 条件下离心 5 min。取上清液置于另一个离心管中,残余物再用 5 mL 乙腈提取一次。合并 2 次提取上清液,用氮气吹干。上述残余物加入 4 mL 0.05 mol·L⁻¹ 磷酸三乙胺缓冲液-乙腈、4 mL 正己烷,超声 2 min,以 4 000 r·min⁻¹ 条件下离心 5 min。取上一步骤下层液体过 0.22 μm 滤膜,滤液以备分析用。

1.5 分析方法与质量控制

取空白样品,加入适当体积的混合标准溶液,使其质量浓度分别为 2.5、5.0、10.0、25.0 和 50.0 μg·L⁻¹。以基质添加标准溶液的质量浓度(X, μg·L⁻¹)为横坐标,各物质定量离子峰的峰面积(Y)为纵坐标,绘制基质标准曲线。测定得到线性回归方程,呈现良好的线性关系,相关系数均大于 0.99。

以目标化合物峰的信噪比大于 3 定为检出限,以信噪比大于 10 定为定量限。在样品中添加 50 ng·g⁻¹ 水平的标准混合溶液,充分混匀,按照本试验方法进行测定,测定的回收率在 77%~116% 之间。

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 4 种鱼类中抗生素总体污染状况

从表 2 中可以看出,4 种鱼类中 10 种抗生素只有磺胺二甲基嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星、恩诺沙星四种物质有检出,检出率分别为 2.1% , 4.2% , 16.7% , 46.9% , 其它物质未有检出。磺胺二甲基嘧啶和麻保沙星只在草鱼中有检出。而诺氟沙星和恩诺沙星在鲤鱼、草鱼、鲫鱼和鲢鱼中均有检出。磺胺二甲基嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星、恩诺沙星检出的最高浓度为 34.8、179.6、39.4、67 μg·kg⁻¹。诺氟沙星和恩诺沙星的检出含量与任珂君等^[6]报道的广东一饮用水源保护区的鱼体中的浓度相近。

表 2 鱼类抗生素范围和检出率
Table 2 Concentration range, mean and detectable rate of the antibiotics

名称 Compounds	最小值 Minimum/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	最大值 Maximum/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	检出率 Detection rate	检出限 LOQ/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
磺胺嘧啶 Sulfadiazine	< 0.3	< 0.3	0.0%	0.3
磺胺甲基嘧啶 Sulfamerazine	< 0.7	< 0.7	0.0%	0.7
磺胺二甲嘧啶 Sulfamethazine	< 0.6	34.8	2.1%	0.6
麻保沙星 Marbofloxacin	< 0.5	179.6	4.2%	0.5
氧氟沙星 Ofloxacin	< 0.4	< 0.4	0.0%	0.4
诺氟沙星 Norfloxacin	< 1.2	39.4	16.7%	1.2
盐酸四环素 Tetracycline hydrochloride	< 0.6	< 0.6	0.0%	0.6
恩诺沙星 Enrofloxacin	< 1	67	46.9%	1
磺胺甲恶唑 Sulfamethoxazole	< 0.8	< 0.8	0.0%	0.8
盐酸强力霉素 Doxycycline hyclate	< 0.6	< 0.6	0.0%	0.6

2.2 不同种类、不同体重鱼类体中抗生素污染差异

按照获取鱼类样品的实际情况,将采集的样品依据体重分成大、中和小 3 个类别。因为 4 种鱼类种类存在一定差异,所以大、中、小 3 个类别鱼的体重范围有所交叉。鲫鱼的大、中、小 3 个类别的体重范围分别为 272~363 g、93~320 g 和 78~250 g;鲤鱼的大、中、小的体重范围分别为 1 005~2 652 g、617~739 g 和 385~690 g;草鱼的大、中、小的体重范围分别为 795~1 992 g、715~1 375 g 和 467~727 g;鲢鱼的大、中、小的体重范围分别为 890~4 200 g、860~1 251g 和 730~1 140 g。

草鱼的磺胺二甲嘧啶、麻保沙星、和诺氟沙星均有不同浓度的检出且相对较高;被恩诺沙星污染最严重的是鲤鱼,其次是鲫鱼、草鱼和鲢鱼;诺氟沙星在四种鱼类均有检出,且以草鱼体内含量最高。大草鱼的磺胺二甲嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星的平均含量最高;此外,小鲤鱼和中鲤鱼体内恩诺沙星含量要高于大鲤鱼,而鲤鱼体内的恩诺沙星含量要高于其它 3 个鱼种。这可能与不同种类鱼类与生活习性、生长阶段进食量及食物链等级有关^[7]。鲫鱼是

杂食性鱼种,且主要生活在底层,以植物性食料为主;草鱼属于中下层鱼,主要以草食性为主;鲢鱼以浮游生物为主要食料,生活在中上层;鲤鱼属底层鱼,栖息于水域的松软底层或水草丛生处,食性杂,荤素皆吃,以荤为主。有调查研究发现不同鱼类总污染水平由高到低的顺序依次为肉食性鱼类>杂食性鱼类>植物食性鱼类,底层鱼类>中、上层鱼类,这可能与食物链等及和食物来源有关^[8]。

2.3 水产品中残留抗生素的健康风险

依照我国国家标准规定动物性食品中喹诺酮类抗生素 ENR 的最高残留限量 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$,结合我国居民日常膳食习惯,对北京水产品中的抗生素的健康风险进行初步评价。许多国家都对水产品中抗生素的最大残留限量(MRL)进行了规定,对于实验中的各种抗生素,我们可以根据这些规定对结果进行评估。各类抗生素的最大残留限量(MRL)评估标准可依据 NY5070 — 2002《无公害水产品中渔药残留限量》中的规定,本标准是依据目前有关药物的最新研究成果,参考了 FAO/WHO 的食品法典《食品中兽药残留》(Residue of Veterinary Drugs in Foods)第二版

Table 3 Mean concentration of the antibiotics in different fishes with different body weight

[illegible]

表 4 水产品中抗生素污染残留限量
Table 4 The residue limits of antibiotic
pollution in aquatic products

化合物名称 Compounds	MRL/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
磺胺嘧啶 Sulfadiazine	100
磺胺甲基嘧啶 Sulfamerazine	100
磺胺二甲基嘧啶 Sulfamethazine	100
麻保沙星 Marbofloxacin	未给出
氧氟沙星 Ofloxacin	未给出
诺氟沙星 Norfloxacin	50
盐酸四环素 Tetracycline hydrochloride	100
恩诺沙星 Enrofloxacin	50
磺胺甲恶唑 Sulfamethoxazole	100
盐酸强力霉素 Doxycycline hyclate	未给出

第三卷(1995 年修订)和《食品中兽药最大残留限量标准》(Codex Maximum Residue Limits for Veterinary Drugs in Foods, July 1997),同时根据我国水产品贸易情况参考了欧盟、美国、加拿大、日本、韩国和我国台湾省的动物性食品中兽药最大残留限量标准(MRL),结合我国水产品养殖生产过程中渔药的使用情况编制的。该规定对于实验中的各物质的最大残留限量规定如表 4。

可以看出,北京农贸市场的鱼类体内的抗生素污染水平不高,如磺胺二甲基嘧啶和诺氟沙星的检出值均低于最大残留限量(MRL);麻保沙星的最大残留限量未给出。恩诺沙星检出的最大值为 $67\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (在鲤鱼中检出),略超过了其对应的 MRL 值($50\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),在其它三种鱼类中检出最大值为 $41.6\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,均低于最大残留限量。

由于样品量相对较少以及采样时间较集中,所得结果还不能完全反映上述抗生素残留的基本情况,下一步需加大调查范围,延长调查时间,进行连续性动态监测。通过此次调查,我们发现该市水产

品中磺胺二甲基嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星、恩诺沙星有检出,只有恩诺沙星部分超标。虽然此次调查的抗生素检出浓度不高,不会导致急性中毒;但是一些鱼类体内可能还有其它如重金属、农药等污染物的检出^[5,9],可能会发生协同作用,从而对人体构成潜在的健康威胁。为了控制药物残留,建议相关部门应采取以下措施:一是加强水产品质量安全的法律建设,建立渔业环境和药物严格控制和管理机制。二是统一规划,建立我国水产品质量安全监测和预警体系。三是促进产业结构调整,采取必要措施,进行广泛的宣传教育,减少抗生素的使用量,延长停药到销售期,以降低残留量。四是加强监督和执法力度,限制药残超标水产品进入市场销售^[10-11]。

综上所述,北京农贸市场常见 4 种淡水鱼体内 10 种抗生素只有磺胺二甲基嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星、恩诺沙星 4 种物质检出。被恩诺沙星污染最严重的是鲤鱼,其次是鲫鱼、草鱼和鲢鱼;诺氟沙星在四种鱼类均有检出,且以草鱼体内含量最高。就鱼的体型来看,大草鱼的磺胺二甲基嘧啶、麻保沙星、诺氟沙星的检出浓度最高;小鲤鱼和中鲤鱼体内恩诺沙星含量要高于大鲤鱼,而鲤鱼体内的恩诺沙星含量要高于其它 3 个鱼种。北京农贸市场的鱼类体内的抗生素总体上没有超出标准限值,仅有恩诺沙星部分超标。

参考文献 (References):

- [1] 苏振霞, 肖辉, 陈列欢. 3 种抗生素对 3 种常见鱼类病原菌的抑菌活性研究[J]. 预防兽医学报, 2011, 33(6): 483—486
Su Z X, Xiao H, Chen L H. Antibacterial activity of three antibiotics on three common fish pathogenic bacteria in vitro [J]. Chinese Journal of Preventive Veterinary Medicine, 2011, 33(6): 483—486 (in Chinese)
- [2] Spanggaard B, Jørgensen F, Gram L, et al. Antibiotic resistance in bacteria isolated from three freshwater fish farms and an unpolluted stream in Denmark [J]. Aquaculture, 2013, 315(3): 195—207
- [3] 袁思平, 王国良, 金珊. 养殖鱼类致病诺卡氏菌研究进展[J]. 微生物学通报, 2006, 33(2): 137—141
Yuan S P, Wang G L, Jin S. Review of *Pathogenic Nocardias* in cultured Fish [J]. Microbiology China, 2006, 33(2): 137—141(in Chinese)
- [4] 牛卫杰, 罗雅, 贾俊娜, 等. 典型城镇化地区河流抗生素抗性基因分布特征与风险评价[J]. 水利水电技术, 2012, 43(8): 53—56

- Niu W J, Luo Y, Jia J N, et al. Distributuion characteristics and risk assessment of antibiotic-resistance genes in river within a typical urbanized region [J]. *Water Resources And Hydropower Engineering*, 2012, 43(8): 53—56 (in Chinese)
- [5] 刘平, 周益奇, 臧利杰. 北京农贸市场 4 种鱼类体内重金属污染调查[J]. *环境科学*, 2011, 32(7): 2062—2068
- Liu P, Zhou Y Q, Zang L J. Investigation of havy mtal cntamination in four kinds of fishes from the different farmer markets in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2011, 32(7): 2062—2068 (in Chinese)
- [6] 任珂君, 刘玉, 徐健荣, 等. 广东一饮用水源地河流沉积物及鱼体中氟喹诺酮类(FQs)抗生素残留特征研究[J]. *环境科学学报*, DOI:10.13671/j.hjkxxb.2015.0437
- Ren K J, Liu Y, Xu J R, et al. Residues characteristics of fluoroquinolones (FQs) in the river sediments and fish tissues in a drinking water protection area of Guangdong Province [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, DOI:10.13671/j.hjkxxb.2015.0437 (in Chinese)
- [7] 毕士川, 于慧娟, 蔡友琼, 等. 重金属 Pb 在不同水产品中的含量及污染状况评价[J]. *环境科学与技术*, 2007, 30(1): 73—75
- Bi S C, Yu H J, Cai Y Q, et al. Contents and pllution of Pb in vrious fsheries [J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, 30(1): 73—75 (in Chinese)
- [8] 闫海鱼, 冯新斌, 刘霆, 等. 贵州百花湖鱼体汞污染现状[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(8): 1357—1361
- Yan H Y, Feng X B, Liu T, et al. Present stuation of fish mercury pollution in heavily mercury-contaminated Baihua reservoir in GuiZhou [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(8): 1357—1361 (in Chinese)
- [9] 于志勇, 金芬, 孙景芳, 等. 北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评价[J]. *环境科学*, 2013, 34(1): 251—256
- Yu Z Y, Jin F, Sun J F, et al. Residual levels of preticides in freshwater fish from Beijing aquatic produce markets and health risk assessment [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(1): 251—256 (in Chinese)
- [10] 陈俊玉, 何建顺. 加强水产品药残控制提高质量安全管理水平[J]. *中国水产*, 2005, (2): 66—68
- [11] 房元喧, 王松刚. 规范用药健康养殖 保障水产品质量安全[J]. *科学养鱼*, 2013, (2): 89—89 ◆