除草剂扑草净在海参中的生物富集与消除效应研究

田秀慧[1]，宫向红[1]，徐英江[1]，任传博[2]，刘慧慧[1]，刘义豪[1]，王玮云[1]，王茂剑[1]
（1.山东省海洋水产研究所，山东省海洋生态修复重点实验室，山东烟台 264006）
（2.烟台山水海产有限公司，山东烟台 264006）

摘要：本文采用超高效液相色谱-串联质谱法对进行了扑草净在海参中的生物富集规律的进行了研究。采用半静态水质接触曝污法，在15.0±1.0 ℃水温条件下，将海参分别浸浴于扑草净浓度1.00 μg/L、10.00 μg/L和200.00 μg/L水中进行富集试验。结果表明，在所研究的三个浓度中，扑草净在海参中的富集速度较快，随曝污质量浓度的增加，富集量逐渐增加，呈正相关关系；分别在第1 d、3 d和4 d达到富集最大值，富集最大值分别为4.70 μg/kg、43.80 μg/kg和674.00 μg/kg；最大富集系数分别为4.70、4.38和3.37。富集系数随曝污质量浓度的增加而减小，呈负相关关系。将达到稳定状态的海参转移至洁净水中进行消除试验，低质量浓度下，均在第2 d降至未检出，在高曝污质量浓度下，从第7 h至46 d共取样14次，测定海参中扑草净含量，其浓度范围为23.70±3.07 μg/kg。本研究所得的药时曲线可为海参扑草净污染的净化提供数据支持。

关键词：扑草净；海参；富集；消除；超高效液相色谱-串联质谱法
文章篇号：1673-9078(2013)7-1580-1585

Accumulation and Elimination of Prometryn in *Apostichopus japonicus*

TIAN Xiu-hui[1], GONG Xiang-hong[1], XU Ying-jiang[1], REN Chuan-bo[2], LIU Hui-hui[1],LIU Yi-hao[1], WANG Wei-yun[1], WANG Mao-jian[1]
(1.Marine Fisheries Research Institute of Shandong Province, Shandong Province Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China) (2.Yantai Shanshui Seafood Co. Ltd, Yantai 264006, China)

Abstract: Accumulation of Prometryn in Apostichopus japonicus under laboratory conditions was studied using ultra performance liquid chromatogram tandem mass spectrometry. Apostichopus japonicus was divided randomly, and then exposed to water containing 1.00 μg/L, 10.00 μg/L and 200.00 μg/L Prometryn at 15.0±1.0 ℃. After exposure, Apostichopus japonicus was placed into clean water for the subsequent elimination experiment. The accumulation amount increased with the increase of Prometryn concentration, presenting significantly positive correlation. The highest concentrations (Cmax) of enriched Prometryn for the three concentrations were 4.70 μg/kg, 43.80 μg/kg and 674.00 μg/kg when placed for 1 d, 3 d and 4 d, and the biggest bioconcentration factors (BCF) were 4.70, 4.38 and 3.37. BCF decreased with the increase of the Prometryn concentration, presenting significantly inverse correlation. When *Apostichopus japonicus* was bred in clean water, Prometryn accumulated was eliminated rapidly. Prometryn was no detected at 2 d. Dtermination performed for 14 times from 7 h to 46 d, showed 23.70±3.07 μg/kg of Prometryn in *Apostichopus japonicus*. The accumulation and elimination curves of Prometryn in *Apostichopus japonicus* provided useful information for decontamination of aquatic organisms that have Prometryn contamination.

Key words: prometryn; *apostichopus japonicas*; accumulation; elimination; ultra performance liquid chromatogram tandem mass spectrometry

扑草净，又称扑草净胺，别名捕草净、割草佳、扑蔓尽，为均三氮苯类选择性除草剂，化学名称为4, 6-双异丙胺基-2-甲硫基-1,3,5-三嗪，分子式为$C_{10}H_{19}N_5S$[1]。在农业生产中是使用较为广泛的除草剂，在农业生产中主要用于1年生禾本科及阔叶草；而在水产养殖业中主要用于清除鱼、虾、蟹、贝、海参等养殖水体中的丝状藻类（青苔）、大型草类及有害藻类[2~3]。但除草剂的过度使用导致其在农作物、土壤以及水体中的广泛分布，造成了严重污染问题，危害水环境和水生生物，破坏生态平衡[4~5]。

海参，属海参纲（*Holothurioidea*），是生活在海

收稿日期：2013-04-01
基金项目：山东省现代农业产业技术体系刺参产业创新团队资助项目(2012-)；烟台市科技发展计划资助项目(2012134)；山东省科学技术发展计划资助项目(2012GHY11517)；水生动物营养与饲料泰山学者岗位资助项目(2007-2012)。
作者简介：田秀慧(1982-)，女，硕士，助理研究员，研究方向为食品质量与安全
通讯作者：王茂剑(1964-)，男，学士，研究员，研究方向为食品科学与工程

边至8000米的海洋软体动物，据今已有六亿多年的历史，海参以海底藻类和浮游生物为食。海参是水生态系统中的重要食物链环节，又是人类重要的蛋白食物源之一。在海参中海参多糖等活性物质约占15%左右，富含海参皂甙、维生素和微量元素等营养成分；并且体内脂肪含量低，仅有 1%左右；不含胆固醇，是保健营养极品，近年来越来越受到消费者推崇。

海参相比较其他水生生物，如贝类、鱼类等[6]，较少用于生态毒理学方面的研究；有关扑草净在海参体内富集效应的研究国内外均未见报道。因此本试验采用超高效液相色谱-串联质谱法首次建立了海参中扑草净测定方法，并以山东省海洋水产研究所基地海参为试验生物，采用半静态水质接触染毒法研究了扑草净在海参体内的富集残留动态，并初步探讨了海参对扑草净的消除情况，以期为深入研究扑草净对水生生物的危害程度和作用机理提供基础性资料，同时也为分析评价扑草净的生态安全性提供相应的毒理学数据。

1 材料与方法

1.1 试验生物

选择海参（*Apostichopus japonicus*）作为本试验的供试生物，取自山东省海洋水产研究所基地，体长4.18±0.37 cm，体质量5.62±0.86 g（n=15）。试验前将海参在实验室条件下驯养两周，每天定时投饵一次，驯养期间没有出现自然死亡现象。选择活动性强的健康海参进行试验。

1.2 试验用水

试验用水为洁净海水，水温15.0±1.0 ℃，溶解氧6.5~7.0 mg/L，pH 7.0~7.5，试验用水符合渔业水质标准（GB11607-89）。

1.3 仪器和试剂

超高效液相色谱-串联质谱仪，Quattro Premier XE, Waters, USA，超纯水仪，Milli-Q Gradient，Millipore，France；高速离心机，TGL-10C，上海安亭科学仪器厂；超声波清洗器，KQ-600E，昆山市超声仪器有限公司；氮吹仪(N-EVAP™112，Organomation Associates，USA；全自动固相萃取仪(ASPEC XL4+，GILSON，France；乙酸乙酯、正己烷、甲醇、乙腈和丙酮（色谱纯），甲酸（优级纯），固相萃取小柱（Carbon NH_2，6cc 1 g, Waters，USA）。扑草净标准品纯度不小于98%。标准溶液：称取适量扑草净标准品，用甲醇溶解，配成100 mg/L标准储备溶液，使用前用流动相稀释至所需质量浓度。

1.4 富集试验

海参染毒采用半静态水质接触染毒法。为保证试验期间药物对海参的安全性，参考相关文献[7]，扑草净的具体试验质量浓度为：0 μg/L、1.00 μg/L、10.00 μg/L和200.00 μg/L。每个浓度组设两个平行。在体积为140 L的水族箱中分别配制上述各浓度的试验液150 L，每个水族箱中放入海参50尾。试验期间每天换水50%，并补足受试物至原有浓度，每两天定时投饵一次。其他条件与驯养期间相同。

1.5 海参样品选取

富集试验共持续21 d，分别在曝污后对所有浓度组海参进行取样，观察不同作用时间和不同质量浓度下海参对扑草净的富集情况。取样时从每组两个平行样中各随机抽取试验海参3头，将6次测定的平均值作为最终结果。将所取试验海参用清水多次冲洗并用滤纸擦干其表面后，匀浆后供试验用。若不能立即分析处理，放入小的聚乙烯塑料袋中于-20 ℃下冰冻保存备用。

1.6 海参样品预处理

称取海参样品2.00±0.02 g，加乙酸乙酯20.00 mL，超声提取15 min，4 000 r/min离心10 min，上清液转移至100 mL梨形瓶中，残渣用20.00 mL乙酸乙酯重复提取一次，合并上清液，40 ℃旋转蒸发至近干，用2.00 mL正己烷溶解残留物。

1.7 过柱

固相萃取柱分别用10.00 mL丙酮、10.00 mL正己烷活化，样品溶液过柱，3.00 mL正己烷淋洗梨形瓶后转移到柱上，用10.00 mL正己烷+丙酮(6+4)洗脱。氮气吹干，备用。

1.8 扑草净含量的测定

经预处理的样品用乙腈+水(1+1)定容至2.00 mL，过0.20 μm膜，用液相色谱-串联质谱仪进行测定。通过标准曲线得出扑草净的质量浓度，并最终算出海参试样中扑草净的质量浓度。

液相色谱条件：色谱柱：ACQUITY™ UPLC HSS C_{18}(1.8 μm，2.1 mm i.d.×100 mm)；色谱柱温度：40 ℃；流动相：甲醇（A）和含有0.1%甲酸水溶液(B)；流速：0.25 mL/min；进样量：10 μL。

质谱条件：电离方式：正离子(ESI+)；电离电压：2.50 kV；锥孔电压：30 V；离子源温度：110 ℃；锥孔反吹气流速：50 L/h；脱溶剂气温度：350 ℃；脱溶剂气流速：700 L/h；氩气流速：0.12 mL/min；扑草净监测离子对：242>158，242>200.1(定量离子对)。

1.9 数据处理方法

每个时间点的测定值取重复组的平均值，采用DAS 2.0药物代谢动力学参数计算程序，在计算机上处

理曝污后海参体内的扑草净含量-时间数据，计算出有关药物动力学参数。

2 数据与分析

2.1 检测方法评价

2.1.1 标准曲线与色谱图

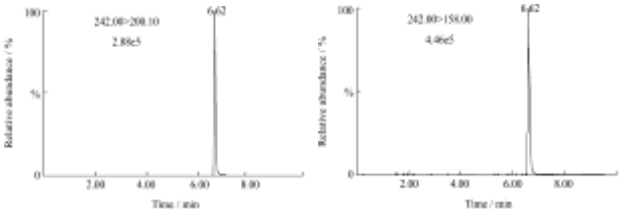


图 1 扑草净标准溶液（10.00 μg/L）选择离子流图

Fig.1 Selected ion chromatograms of 10.00 μg/L Prometryn standard solution

按照1.8测定扑草净标准溶液，以色谱峰面积按照外标法定量，按照本研究的仪器条件，得到扑草净峰面积Y与X浓度之间的线性关系，方法线性范围：0~100.00 μg/L，回归方程为：y=1878.54x+3.84998，相关系数r=0.9999。10.00 μg/L标准溶液的选择离子流图见图1。

2.1.2 定量限、回收率与精密度试验

在空白样品中添加扑草净标准溶液，按信噪比大于10计算，因此最终确定该方法的定量限为1.00 μg/kg。选用阴性的海参样品为研究对象，研究了方法的回收率与精密度。在空白样品中添加三个不同浓度的扑草净标准溶液，按照本研究的方法步骤进行回收率试验，同时每个浓度的实验重复六次，计算回收率和精密度，结果表明在添加量为1.00 μg/kg~10.00 μg/kg，扑草净在样品中的平均回收率大于70%；实验结果表明批内相对标准偏差和批间相对标准偏差均在10%以下（见表2）。说明该方法能够准确测定海参样品中的扑草净含量。

表 2 扑草净在海参中的回收率及精密度试验

Table 2 Recoveries and relative standard deviations (RSDs) of Prometryn in *Apostichopus japonicas*

添加量/(μg/kg)	测定批次	回收率（%, n=6）	批内相对标准偏差/%	批间相对标准偏差/(%, n=3)
1.00	1	82.15, 74.62, 89.62, 90.15, 70.36, 85.31	9.83	8.59
	2	76.35, 85.16, 73.21, 87.62, 73.15, 80.13	7.73	
	3	92.73, 86.62, 83.16, 72.92, 80.16, 74.32	9.20	
5.00	1	81.30, 76.25, 74.29, 81.92, 92.63, 84.26	7.94	6.71
	2	75.31, 85.19, 76.25, 84.62, 94.58, 81.26	8.52	
	3	81.25, 75.92, 81.24, 83.17, 85.24, 81.67	3.81	
10.00	1	87.29, 91.24, 82.57, 84.62, 84.19, 81.93	4.05	5.51
	2	88.29, 85.62, 91.27, 79.25, 80.57, 87.24	5.43	
	3	93.24, 81.51, 87.56, 75.68, 82.27, 90.11	7.56	

2.2 海参在扑草净 1.00 μg/L、10.00 μg/L 和 200.00 μg/L 曝污质量浓度下富集数据

在1.0 μg/L和10.0 μg/L曝污质量浓度下，海参对扑草净有一定的富集能力，富集试验共持续18 d，分别在曝污后的0.5、2、6、12、24、48、72、96、120、144、168、240、312和432 h对海参样品进行取样，观察不同作用时间下海参对扑草净的富集情况。经拟合后的C-t图和lnC-t图如图2和图3所示。扑草净在海参中的残留量变化趋势表现为先增加后降低，并最终维持在某一质量浓度水平(3.73 μg/kg和9.40 μg/kg)而仅产生微小波动，且富集达到最大值所需时间分别为1 d和3 d，最大残留量分别为4.70 μg/kg和43.80 μg/kg，此时扑草净在海参中的残留量为曝污液质量浓度（1.00 μg/L和10.00 μg/L）的4.70倍和4.38倍。在200.00 μg/L曝污质量浓度下，海参对扑草净同样有一定的富集能力，富集试验共持续21 d，分别在曝污后的0.5、2、6、12、24、48、72、96、120、144、168、240、312、432、456和504 h对海参样品进行取样，观察不同作用时间下海参对扑草净的富集情况。经拟合后的C-t图和lnC-t图如图4所示。扑草净在海参中的残留量变化趋势同样表现为先增加后降低，并最终维持在某一质量浓度水平（321.00 μg/kg）而仅产生微小波动，且富集达到最大值所需时间为4 d，最大残留量为674.00 μg/kg，此时扑草净在海参中的残留量为曝污液质量浓度（200.00 μg/L）的3.37倍。

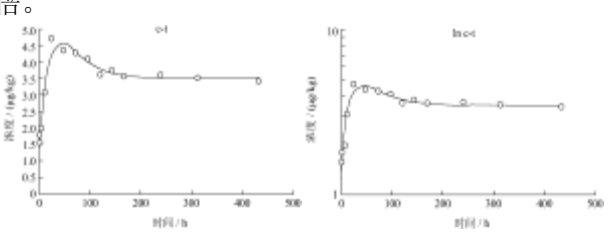


图 2 扑草净拟合 C-t 和 lnC-t 图(1.00 μg/L 曝污质量浓度下)

Fig.2 C-t and lnC-t of Prometryn at concentration of 1.00 μg/L

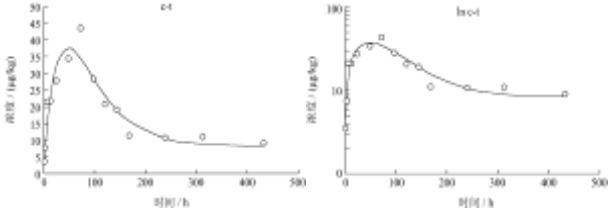


图 3 扑草净拟合 C-t 和 lnC-t 图(10.00 μg/L 曝污质量浓度下)

Fig.3 C-t and lnC-t of Prometryn at concentration of 10.00 μg/L

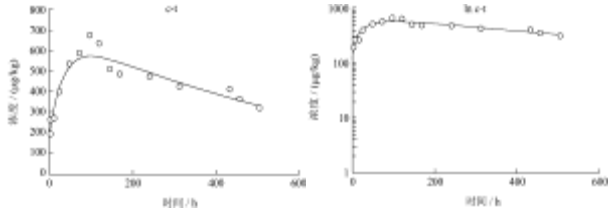


图 4 扑草净拟合 C-t 和 lnC-t 图(200.00 μg/L 曝污质量浓度下)

Fig.4 C-t and lnC-t of Prometryn at concentration of 200.00 μg/L

2.3 海参在扑草净 1.00 μg/L、10.00 μg/L 和 200.00 μg/L 曝污质量浓度下的富集规律比较

在不同的曝污质量浓度下，海参对扑草净具有不同的富集能力，但无论在低质量浓度还是在高质量浓度下，扑草净在海参中的残留量变化趋势均表现为先增加再降低，并最终维持在某一质量浓度水平而仅产生微小波动。扑草净在海参中的残留量达到最大值的时间随着暴露浓度的不同而产生一些差异，基本表现为低浓度(1.00 μg/L和10.00 μg/L)下所需时间短，分别为1 d和3 d，最大残留量分别为4.70 μg/kg和43.80 μg/kg，分别为曝污质量浓度的4.70倍和4.38倍；高浓度(200.00 μg/L)下所需时间长，为4 d，最大残留量为674.00 μg/kg，为曝污质量浓度的3.37倍。在1.00 μg/L、10.00 μg/L和200.00 μg/L曝污质量浓度下富集达到最大值所需时间分别为1 d、3 d和4 d，此时从低浓度到高浓度的富集系数分别为4.70、4.38和3.37，呈现出曝污质量浓度越低富集系数越大的现象。以扑草净曝污质量浓度为横坐标，扑草净在海参中的最大富集系数为纵坐标，做回归分析，得回归方程为：y=-0.2552lnx+4.7967(R^2=0.9542)，经t检验相关系数R达到极显著水平(P<0.01)。在相同作用时间下，海参中富集的扑草净量随曝污浓度的增加呈线性增加趋势。以扑草净曝污质量浓度为横坐标，扑草净在海参中的富集量为纵坐标，分别对第1、2、3、4、5、6、7、10、13和18 d的质量浓度-富集量关系做线性回归分析，得回归方程分别为：y=1.9734x+3.5556(R^2=0.9997)、y=2.6553x+3.1717(R^2=0.9998)、y=2.9011x+5.2365(R^2=0.9995)、y=3.3765x-1.4897(R^2=0.9999)、y=3.1902x-3.4073(R^2=0.9997)、y=2.5572x-1.6592(R^2=0.9998)、y=2.4522x-3.8876(R^2=0.9993)、y=2.3919x-3.817(R^2=0.9992)、y=2.1275x-2.8405(R^2=0.9994)和y=2.0792x-3.2218(R^2=0.9992)，经t检验相关系数R均达到极显著水平（P<0.01）。

2.4 海参在扑草净 1.00 μg/L、10.00 μg/L 和 200.00 μg/L 曝污质量浓度下的富集动力学参数测定结果

采用DAS 2.0药物代谢动力学参数计算程序，处理曝污后海参体内的扑草净含量-时间数据，计算有关扑草净在海参体内的动力学参数。结果如表2所示。

表2 海参对扑草净的药物代谢动力学参数

Table 2 Pharmacokinetic parameters of Prometryn in *Apostichopus japonicus*

CW /(μg/L)	t1/2α /h	Ka /(1/h)	Tlag /h	AUC(0-t) /(μg/L·h)	Cmax /(μg/kg)	Tmax /h	CL/F /(L/h·kg)
1.00	22.691	0.037	0	1581.45	4.70	24	0
10.00	36.332	0.026	0	7296.388	43.80	72	0
200.00	-	0.028	0	230767	674.00	96	0

注：t1/2α：药物的吸收相半衰期； Ka：一级吸收速率常数；Tlag：时滞；AUC：药物浓度-时间曲线下面积；Cmax：富集达到平衡后，海参体内扑草净含量；Tmax：富集达到平衡的时间；CL/F：总体清除率

2.4.1 AUC（药物浓度-时间曲线下面积）

AUC(药物浓度-时间曲线下面积)反映药物进入体内药量的多少，是衡量药物在所研究生物体内吸收的重要指标。在1.00 μg/L、10.00 μg/L和200.00 μg/L曝污质量浓度下，海参AUC由低到高依次为：1581.45 μg/L·h（1.00 μg/L）<7296.388 μg/L·h（10.00 μg/L）<230767 μg/L·h（200.00 μg/L）；各个质量浓度下AUC相差很远，说明不同曝污质量浓度下，海参对扑草净的蓄积能力有较大差别。

2.4.2 t1/2α（药物的吸收相半衰期）

t1/2α(药物的吸收相半衰期)指药物浓度吸收曝污质量浓度到一半所用的时间，描述所研究生物体对药物的吸收速度与程度的重要指标。在1.00 μg/L和10.00 μg/L曝污质量浓度下，t1/2α为：22.691 h（1.00 μg/L）<36.332 h（10.00 μg/L）；曝污质量浓度越高，海参富集环境中扑草净浓度达到外界环境浓度一半的时间越长；在200.00 μg/L曝污质量浓度下，本富集试验从0.5 h取样，测定海参体内扑草净含量为180.00 μg/kg，已经远远大于外界环境值的一半，因此其t1/2α（200.00 μg/L）为小于0.5 h；因此DAS 2.0未计算200 μg/L曝污质量浓度下t1/2α值。

2.4.3 排出速率

富集达到最大值后，海参中扑草净含量迅速下降，在所研究三个浓度条件下，在富集实验第5 d（10.00

μg/L）、富集实验第19 d（200.00 μg/L）后，扑草净含量均下降了富集最大值的50%以上；说明在高曝污质量浓度下，海参对扑草净具有一定的排出能力；但在1.00 μg/L曝污质量浓度下，至富集试验结束时，海参体内含量为3.73 μg/kg，相比富集最大值（4.70 μg/kg），含量仅下降了20.60%。这可能是因为在低曝污质量浓度下，海参排出扑草净速度较慢有关；结果表明：扑草净在低曝污质量浓度下，排出速率较快；而在高曝污质量浓度下，扑出速率相对较慢；这与我们研究小组进行的海参中阿特拉津富集规律研究结论相反，这可能与扑草净和阿特拉津的结构有关，结构不同，其在海参体内与蛋白结合的紧密程度不同，因此排出速率不同造成的，此结论有待进一步研究。

3 讨论

3.1 富集系数与曝污质量浓度关系

在本试验中，富集系数随曝污质量浓度的增加而减小，说明在低质量浓度条件下海参更容易对扑草净产生富集作用。这种富集系数随曝污质量浓度的增加而减小的现象与本研究小组的研究结果文蛤(*Meretrix meretrix*)体内氨基脲含量与环境相关性研究[8]和氨基脲在栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)体内生物富集规律[9]研究结果一致。其他研究小组如淡水贝类对扑草净的富集行为[10]、鱼类对苯酚的富集行为[11]、牡蛎对重金属生物富集动力学特性研究[12]均与本研究结论相似。

3.2 正辛醇-水分配系数(Kow)

可通过lgKow值来估计污染物在海参中的生物富集效果。有研究发现，lgKow值在2~6之间的化合物易于在生物体内富集。扑草净的lgKow值为2.99[13]，从这个角度来看其应该易于在生物体内富集，但本研究发现扑草净在海参中的富集系数都比较低，表明其不易在海参中产生较大程度的富集，对扑草净富集能力较低，这可能与水产品体内组织结构有关，此结论有待进一步研究。想比较我们研究小组的研究成果-阿特拉津在海参中的富集规律研究，扑草净在海参中的富集系数均大于阿特拉津。文献报道阿特拉津的lgKow值为2.70[14]，化合物的lgKow值越大，说明其疏水性越强，其在水生生物中的富集系数就越大；本小组研究结果与上述结论一致。

3.3 海参对扑草净的富集时间效应

从海参对扑草净富集的时间效应来看，各质量浓度下，扑草净的富集量均随着作用时间的延长而呈现先升高后降低的变化趋势，最终使富集速度和分解代谢速度维持在一个动态平衡中，扑草净含量维持微小波动。这与陈家长等的研究成果一致，具体讨论参见文献[12]。

3.4 海参对扑草净消除试验的初步探讨

对在扑草净1.00 μg/L、10.00 μg/L和200.00 μg/L曝污质量浓度下达到稳定状态的海参进行消除试验。将海参转移到洁净水中，1.00 μg/L曝污质量浓度条件下，分别在3 h、7 h、1 d和2 d分别测定海参中扑草净含量，测定值分别为3.28 μg/kg、1.72 μg/kg、0.35 μg/kg和0 μg/kg。同样，在10.00 μg/L曝污质量浓度条件下，分别在3 h、7 h、1 d和2 d分别测定海参中扑草净含量，测定值分别为8.17 μg/kg、4.63 μg/kg、0.37 μg/kg和0 μg/kg。在200.00 μg/L曝污质量浓度条件下，将其转移至洁净水后3 h，海参体内含量从321.00 μg/kg迅速降至74.60 μg/kg，同样在第 7 h、1 d、2 d、3 d、4 d、 5 d、6 d、7 d、8 d、11 d、14 d、22 d、28 d和46 d测定海参中扑草净含量，其浓度范围为23.70±3.07 μg/kg，至本消除试验结束时，海参体内含量为20.20 μg/kg。受本实验室养殖条件和海参生长状况的影响，本试验未对消除期的海参进行系统采样测定。从消除试验数据特别是200.00 μg/L曝污质量浓度下数据可以看出，转移至洁净水中的海参体内扑草净含量，迅速降至富集实验稳定态的23%，说明扑草净在水中消除较快，因本试验条件有限，其消除期有待进一步推导。

4 结论

本试验结果表明，在扑草净1.00 μg/L、10.00 μg/L和200.00 μg/L曝污质量浓度下，海参分别在曝污后第1 d、3 d和 4 d对扑草净达到富集最大值，分别为4.70 μg/kg、43.80 μg/kg和674.00 μg/kg，最大富集系数分别为4.70、4.38和3.37。各质量浓度下，扑草净的富集量均随着作用时间的延长而呈现先升高后降低的变化趋势。海参对扑草净的富集能力因扑草净质量浓度的不同有所差异，表现为：低曝污质量浓度下富集系数大，高曝污质量浓度下富集系数小。本研究发现扑草净在海参中的富集系数都比较低，表明其不易在海参中产生较大程度的富集。转移至洁净水中的海参体内扑草净含量迅速降低，说明扑草净在水中消除较快。

参考文献

[1] 施德.农药应用大全[M].北京:中国农业出版社, 2008
Shi D. Application of Agricultural Chemicals[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2008

[2] 尹美强.除草剂在农业上的应用[M].北京:中国社会出版社,2008
Yin M Q. Application of Herbicide in Forestry Agriculture [M]. Beijing: China Society Press, 2008

[3] Sarfraz H, Tariq S, Muhammad S, et al. Chapter 5 Impact of Pesticides on Soil Microbial Diversity, Enzymes, and Biochemical Reactions [J]. Advances in Agronomy, 2009, 102: 159-200

[4] Sergio B, Enrico B, Assimo M, et al. Raman and SERS study on atrazine, prometryn and simetryn triazine herbicides [J]. Journal of Molecular Structure, 2013, 1040: 139-148

[5] Ma J, Tong S, Wang P, et al. Toxicity of Seven Herbicides to the Three Cyanobacteria Anabaena flos-aquae, Microcystis flos-aquae and Mirocystis aeruginosa [J]. International Journal of Environmental Research, 2010, 4(2): 347-352

[6] Kahle T. Bioaccumulation of trace metals in the copepod *Calanoides acutus* from the Weddell sea (Antarctica): Comparison of two-compartment and hyperbolic toxic kinetix medels [J]. Aquatic Toxicology, 2002, 59: 1-2

[7] 陈家长,孟顺龙,胡庚东,等.鲫鱼对除草剂扑草净的生物富集效应研究[J].农业环境科学学报,2009,28(6):1313-1318
Chen J Z, Meng S L, Hu G D, et al. Bioaccumulation of Herbicide Atrazine in Carassius auratus [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(6): 1313-1318

[8] 徐英江,田秀慧,张秀珍,等.文蛤(*Meretrix meretrix*)体内氨基脲含量与环境相关性研究[J].海洋与湖沼,2011,42(4):587-591
Xu Y J, Tian X H, Zhang X Z, et al. Study on the correlation between Semicarbazide in Calm meretrix and environmental pollution [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 587-591

[9] 徐英江,田秀慧,任传博,等.氨基脲在栉孔扇贝体内生物富集与消除规律研究[J].水产学报,2013,37(3):443-449
Xu Y J, Tian X H, Ren C B, et al. Research on accumulation and elimination of semicarbazide in Chlamys farreri [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(3): 443-449

[10] Jacomini A E, Avelar W E P, Martinez A S, et al. Bioaccumulation of Prometryn in freshwater bivalves *Anodontites trapesialis* (Lamarck, 1819) and *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) [J]. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 2006, 51: 387-391

[11] Franke C. How meaningful is the bioconcentration factor for risk assessment [J]. Chemosphere, 1996, 32(10): 1897-1905

[12] 王晓丽,孙耀,张少娜,等.牡蛎对重金属生物富集动力学特性研究[J].生态学报,2004,24(5):1086-1090
Wang X L, Sun Y, Zhang S N, et al. Experiment researches on the kinetic characteristics of bioconcentration of heavy metals in O.gigas Thunberg [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(5): 1086-1090

[13] Kaune A, Bruggemann R, Kettrup A. High-performance liquid chromatographic measurementof the 1-octanol-water partition coefficient of s-triazine herbicides and some of their degradation products [J]. J. Chromato. A, 1998, 805(1-2): 119-126

[14] Pacakova V, Stulik K, Jiskra J. High-performance separations in the determination of triazine herbicides and their residues [J]. Journal of Chromatogram A, 1996, 754(1): 17-31

欢迎订阅 EI 收录期刊、中文核心期刊
《现代食品科技》
邮发代号：46-349 刊号：ISSN 1673-9078/CN 44-1620

每期定价 15 元，全年 12 期仅 180 元。欢迎食品及相关行业的机构和科学工作者到各地邮局订阅，并踊跃投稿或建立广告宣传和产学研合作关系。

地址：广州五山华南理工大学轻工与食品学院麟鸿楼 508，邮编：510640
电话：020-87112373，87113352，87112532
E-mail：xdspkj@vip.sohu.com