

硫丹和高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的急性毒性研究

李思雯, 肖蓉, 程李芳, 华健超, 杨凤娟, 黄璞祎* (东北林业大学野生动物资源学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 [目的] 揭示有机氯和菊酯类农药对葛氏鲈塘鳢的毒性效应。[方法] 采用换水式毒性试验方法研究硫丹和高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的急性毒性效应。[结果] 硫丹对葛氏鲈塘鳢 24、48、72、96 h 的半致死浓度 (LC_{50}) 分别为 18.58、12.46、11.38 和 7.59 $\mu\text{g/L}$, 安全浓度为 1.68 $\mu\text{g/L}$ 。高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的 24、48、72、96 h LC_{50} 分别为 2.49、2.37、1.93 和 1.72 $\mu\text{g/L}$, 安全浓度为 0.65 $\mu\text{g/L}$ 。根据化学物质对鱼类毒性的分级标准, 硫丹和高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的毒性属于剧毒。[结论] 该研究丰富这 2 种常用农药对鱼类的毒理学数据, 也为农药的安全使用提供理论依据。

关键词 硫丹; 高效氯氟氰菊酯; 葛氏鲈塘鳢; 急性毒性

中图分类号 S94 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)11-03282-02

Study on the Acute Toxicity of Endosulfan and Lambda-cyhalothrin on *Percottus glenii*

LI Si-wen, HUANG Pu-yi et al (College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin, Helongjiang 150040)

Abstract [Objective] The research aimed to reveal the toxic effect of organic chlorine and lambda-cyhalothrin on *Percottus glenii*. [Method] The toxic effect of endosulfan and lambda-cyhalothrin on *P. glenii* was studied by an acute semi-static toxic test. [Result] 24, 48, 72, and 96 h LC_{50} of endosulfan on *P. glenii* were 18.58, 12.46, 11.38 and 7.59 $\mu\text{g/L}$ respectively, and its safe concentration was 1.68 $\mu\text{g/L}$. 24, 48, 72, and 96 h LC_{50} of lambda-cyhalothrin on *P. glenii* were 2.49, 2.37, 1.93 and 1.72 $\mu\text{g/L}$, and its safe concentration was 0.65 $\mu\text{g/L}$. According to the classification standards of toxic chemicals on fish, endosulfan and lambda-cyhalothrin were highly toxic. [Conclusion] The research enriched the toxicological data of these common pesticides on fish and could provide theoretical basis for safe use of pesticides.

Key words Endosulfan; Lambda-cyhalothrin; *Percottus glenii*; Acute toxicity

有机氯农药硫丹, 化学名称为 1,2,3,4,7,7-六氯双环 2.2.1 庚-2-烯-5,6-双羟甲基亚硫酸酯, 具有持久性、高毒性、生物富集性等特点, 进入水体后对水生生物, 特别是对鱼类的危害极大, 已被斯德哥尔摩公约列为可持续污染物 (POPs), 在 50 多个欧美国家的农业生产中被禁止使用。但是, 由于硫丹成本低、使用方便、杀虫灭菌效果好, 在我国以及一些发展中国家仍被广泛使用^[1]。高效氯氟氰菊酯属于拟除虫菊酯类广谱性杀虫剂, 杀虫力强, 药效迅速, 目前被广泛使用, 但由于其对光和热不敏感, 不易分解, 进入水体后会给鱼类等水生动物带来严重危害^[2-3]。

葛氏鲈塘鳢 (*Percottus glenii*) 隶属鲈形目 (Perciformes)、虾虎鱼亚目 (Gobioidei)、塘鳢科 (Eleotridae), 分布于黑龙江、图们江流域的静水处或者水生植物较多的沼泽内, 是东北地区淡水生态系统的重要种类。然而, 关于农药对葛氏鲈塘鳢的毒性研究未见报道。为了揭示有机氯和菊酯类农药对葛氏鲈塘鳢的毒性效应, 笔者研究了硫丹和高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的急性毒性效应, 以期丰富这 2 种常用农药对鱼类的毒理学数据, 也为农药的安全使用提供理论依据。

1 材料与与方法

1.1 试验用鱼 葛氏鲈塘鳢采自哈尔滨市 (道外区红星村) 的松花江湿地, 体长 (6.97 ± 0.79) cm, 体重 (5.02 ± 1.81) g。室内暂养 14 d 后进行试验, 暂养期间每日定时投喂摇蚊幼虫, 自然死亡率低于 1%, 试验前 1 d 停止投饵, 选取活泼健康的个体进行随机分组。

1.2 试验药物 硫丹 (乳油), 购于拜耳作物科学 (中国) 有限公司, 有效成分 35%; 高效氯氟氰菊酯 (微乳剂) 购于山东

曹达化工有限公司, 有效成分 2.5%。

1.3 试验条件 试验在 60 cm × 40 cm × 50 cm 的玻璃水族箱中进行, 水温 (24 ± 1) °C, 溶解氧大于 5 mg/L。试验用水为充分曝气 2 d 以上的自来水。

1.4 试验方法 根据预试验的结果, 硫丹浓度梯度设置为 1.25、2.50、3.75、5.00、6.25、12.00、16.00、20.00 $\mu\text{g/L}$ 共 8 个浓度; 高效氯氟氰菊酯设置为 0.5、1.0、1.5、2.0、4.0 $\mu\text{g/L}$ 共 5 个浓度梯度, 每个浓度梯度设置 3 个平行组。硫丹和高效氯氟氰菊酯分别设置 2 个对照组。每组放置试验鱼 5 尾。试验期间停食, 每隔 24 h 更换药液 1 次。试验开始后连续观察记录鱼的中毒症状 12 h, 记录 24、48、72、96 h 的死亡数量, 及时剔除死亡个体。当受试鱼鳃盖停止活动, 鳍不再摆动, 用小镊子轻轻夹住尾柄 5 min 内仍无反应则确定为死亡。

1.5 数据处理 采用线性回归法^[4] 计算 24、48、72、96 h 的半致死浓度 (LC_{50})。按照以下公式计算安全浓度 (SC)^[5]: $SC = 48 \text{ h } LC_{50} \times 0.3 / (24 \text{ h } LC_{50} / 48 \text{ h } LC_{50})^2$ 。

2 结果与分析

2.1 硫丹对葛氏鲈塘鳢的急性毒性 由表 1 可知, 试验中对照组死亡率为 0。葛氏鲈塘鳢暴露于硫丹 24 h 后, 12.00、16.00、20 $\mu\text{g/L}$ 浓度组出现死亡个体, 96 h 后 5.00、6.25 $\mu\text{g/L}$ 浓度组出现死亡个体。急性中毒症状主要表现为: 行为焦躁, 撞击水族箱内壁 (撞缸); 运动失去平衡, 鱼体倾斜, 腹部朝上, 旋转游泳, 出现跳跃出水面的现象; 呼吸缓慢, 鳃部肿胀并张开, 头腹部颜色发白; 当鱼体死亡时, 口和鳃盖张开, 皮肤有大量粘液。由表 1 可知, 硫丹对葛氏鲈塘鳢 24、48、72、96 h LC_{50} 分别为 18.58、12.46、11.38 和 7.59 $\mu\text{g/L}$, 安全浓度为 1.68 $\mu\text{g/L}$ 。

2.2 高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的急性毒性 试验结果表明, 试验中对照组死亡率为 0。葛氏鲈塘鳢暴露于高效氯

基金项目 东北林业大学大学生创新训练项目 (201310225109)。
作者简介 李思雯 (1992 -), 女, 黑龙江哈尔滨人, 本科生, 专业: 湿地科学。* 通讯作者, 讲师, 博士, 从事鱼类学方面的研究。
收稿日期 2014-03-08

氟氰菊酯 24 h 后, 2.0、4.0 $\mu\text{g/L}$ 浓度组开始出现死亡; 48 h 后, 1.5 $\mu\text{g/L}$ 浓度组出现死亡个体。急性中毒症状表现为: 游泳姿态改变, 腹部朝上或侧身倾斜游泳; 肌肉痉挛抽搐, 鱼体重复翻转, 出现撞缸及跳跃行为; 鳃部充血, 呼吸节律不稳定; 皮肤溃烂, 眼部充血。死亡个体的体表发白, 皮肤有大量粘液, 口和鳃部张开, 尾部弯曲。由表 2 可知, 高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 分别为 2.49、2.37、1.93 和 1.72 $\mu\text{g/L}$, 安全浓度为 0.65 $\mu\text{g/L}$ 。

表 1 硫丹对葛氏鲈塘鳢的 LC_{50}

暴露时间//h	回归方程	LC_{50} $\mu\text{g/L}$	95% 置信区间	相关系数
24	$Y = 3.510 + 30.135X$	18.58	11.02 ~ 26.14	0.935**
48	$Y = 3.382 + 18.159X$	12.46	7.29 ~ 17.63	0.944**
72	$Y = 3.153 + 16.445X$	11.38	7.39 ~ 15.36	0.963**
96	$Y = 2.363 + 16.709X$	7.59	7.59 ~ 13.84	0.978**

注: ** 表示在 0.01 水平存在显著差异。

表 2 高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的 LC_{50}

暴露时间//h	回归方程	LC_{50} $\mu\text{g/L}$	95% 置信区间	相关系数
24	$Y = 0.873 + 3.225X$	2.49	0.66 ~ 4.32	0.913*
48	$Y = 0.627 + 3.491X$	2.37	1.14 ~ 3.61	0.965**
72	$Y = 0.378 + 3.107X$	1.93	0.29 ~ 3.57	0.938**
96	$Y = 0.392 + 2.658X$	1.72	0.02 ~ 3.90	0.881*

注: ** 表示存在极显著差异 ($P < 0.01$); * 表示存在显著差异 ($P < 0.05$)。

表 3 硫丹和高效氯氟氰菊酯对不同鱼类的 LC_{50}

农药名称	试验鱼类	不同时间的 LC_{50} // $\mu\text{g/L}$				参考文献
		24 h	48 h	72 h	96 h	
硫丹	葛氏鲈塘鳢	18.58	12.46	11.38	7.59	该试验结果
	黄鳝 <i>Monopterus albus</i>				0.42	[6]
	欧洲鳗鲡 <i>Anguilla anguilla</i>				41.00	[7]
	真骨鱼类				2.60	[8]
	斑马鱼 <i>Danio rerio</i>	4.24	2.49	1.77	1.62	[9]
	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	3.82	2.52	1.86	1.42	[10]
	玉丽体鱼 <i>Cichlasoma dimerus</i>	13.60	4.98	3.90	3.34	[1]
	虹鳟 <i>Oncorhynchus mykiss</i>	19.80	8.90	5.30	1.80	[11]
	翠鳢 <i>Channa punctatus</i>	19.70	13.00	10.20	7.80	[12]
	高效氯氟氰菊酯	葛氏鲈塘鳢	2.49	2.37	1.93	1.72
黄鳝		0.04	0.03	0.03	0.02	[13]
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>		25.93	17.28		14.11	[3]
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		32.41	24.40		18.37	[14]

鳃对这类杀虫剂的吸收率, 因此鱼类对拟除虫菊酯类杀虫剂具有更灵敏的反应^[15]。根据我国《化学农药环境安全评价试验准则 (GB## - 2004)》的评价标准, 高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢 96 h LC_{50} 为 1.72 $\mu\text{g/L}$, 属于剧毒, 与以前报道的研究结果一致^[3, 13-14]。作为神经毒剂, 高效氯氟氰菊酯的作用机制主要是通过抑制脑突触体膜上的 ATPase, 使突触后膜上的乙酰胆碱酯酶等神经递质大量聚集, 从而抑制脑乙酰胆碱酯酶, 严重影响鱼体正常的生理功能而导致死亡^[16]。该试验中葛氏鲈塘鳢表现出来的肌肉痉挛抽搐、撞缸、跳跃、呼吸困难、尾部弯曲等均是神经中毒的症状。

由表 3 可知, 葛氏鲈塘鳢暴露于高效氯氟氰菊酯 24、48、

3 讨论与结论

3.1 硫丹对葛氏鲈塘鳢的急性毒性 已有文献表明, 硫丹对真骨鱼类 96 h LC_{50} 范围为 0.42 ~ 41 $\mu\text{g/L}$ ^[6-7], 平均值为 2.6 $\mu\text{g/L}$ ^[8]。该试验中葛氏鲈塘鳢 96 h LC_{50} 为 7.59 $\mu\text{g/L}$, 在此范围之内。根据我国《化学农药环境安全评价试验准则 (GB## - 2004)》的评价标准, 当农药对鱼类 96 h LC_{50} 小于 0.1 mg/L 时, 说明该农药对鱼类属于剧毒。该试验结果说明硫丹对葛氏鲈塘鳢的毒性属于剧毒。

试验表明, 硫丹对不同鱼类的急性 LC_{50} 存在差异。硫丹对葛氏鲈塘鳢 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 分别为 18.58、12.46、11.38 和 7.59 $\mu\text{g/L}$, 该结果高于黄鳝 (*Monopterus albus*)^[6]、斑马鱼 (*Danio rerio*)^[9]、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)^[10]、玉丽体鱼 (*Cichlasoma dimerus*)^[1], 以及真骨鱼类的平均 96 h LC_{50} (2.6 $\mu\text{g/L}$)^[8], 这说明葛氏鲈塘鳢对硫丹的敏感程度可能低于上述鱼类。硫丹对葛氏鲈塘鳢 24 h LC_{50} (18.58 $\mu\text{g/L}$) 与虹鳟 (19.8 $\mu\text{g/L}$)^[11] 相接近, 但 48、72、96 h 的 LC_{50} 高于虹鳟, 说明随染毒时间延长虹鳟对硫丹的毒性反应更敏感。从表 3 可以看出, 葛氏鲈塘鳢 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 与翠鳢 (*Channa punctatus*)^[12] 接近, 说明硫丹对葛氏鲈塘鳢和翠鳢的急性毒性相似。

3.2 高效氯氟氰菊酯对葛氏鲈塘鳢的急性毒性 高效氯氟氰菊酯属于拟除虫菊酯类杀虫剂, 其脂溶性的特征提高了鱼

72、96 h 的 LC_{50} 低于大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*)^[3] 和泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)^[14], 而明显高于黄鳝, 说明高效氯氟氰菊酯对不同鱼类的毒性强度不同, 对葛氏鲈塘鳢的急性毒性大于大鳞副泥鳅和泥鳅, 而小于黄鳝。

笔者进行了硫丹和高效氯氟氰菊酯 2 种农药对葛氏鲈塘鳢的急性毒性试验, 笔者认为葛氏鲈塘鳢是对硫丹和高效氯氟氰菊酯敏感的种类。根据化学物质对鱼类毒性分级标准, 这 2 种农药对葛氏鲈塘鳢均属于剧毒。因此, 在使用硫丹和高效氯氟氰菊酯杀虫时应尽量远离水体。

(下转第 3286 页)

差异。马占峰等^[9]对哈尔滨市周边地区奶牛场奶牛产奶周期进行研究表明,在泌乳期头1~2个月乳脂率含量较低,此后随着泌乳期的进展,乳脂率呈上升趋势,这与产奶量的变化趋势刚好相反^[10]。笔者主要从前3个泌乳月出发,测定泌乳早期的各种常规乳成分含量,并进一步分析这3个不同泌乳月对常规乳成分含量的影响,结果发现乳脂肪发生显著变化,第3个泌乳月的乳中脂肪含量显著较高,由此可见该荷斯坦牛泌乳前期3个月的乳成分具有明显的变化。

胎次对乳成分变异的影响,在奶牛上未见相关报道。Michiru等^[11]研究了荷斯坦奶牛的泌乳阶段、胎次对牛奶中皮质醇浓度的影响,但不涉及乳成分。Sevi等^[12]研究了不同胎次对科米萨尼亚母羊的乳产量、乳成分及体细胞数等指标的影响,结果发现胎次对乳产量影响不显著,但第3胎的乳蛋白、酪蛋白及乳脂肪显著高于第1和2胎。熊本海等^[13]研究发现乳蛋白率最高出现在第2胎,其后随着胎次的增加显著下降,可能是因为饲养管理及健康问题从而导致乳品质的下降,甚至达不到生鲜乳收购标准。该研究发现第2胎和第3胎之间的乳成分含量没有显著差异,这可能是由于样本量较小,而进一步确定需要在大量分析其他养殖场的数据后进行证实。

研究发现不同乳成分之间存在一定的相关性。高树新等^[1]研究表明乳蛋白率与乳脂率呈极显著的正相关。吴蓬春等^[14]认为在对乳脂率的影响因素中,乳蛋白作用程度最大且为正作用。张丽萍等^[15]研究表明乳脂率与干物质含量间存在较强的正相关,相关系数为0.77。笔者对中国荷斯坦牛泌乳早期乳中常规营养成分与滴定酸度间的相关性分析表明乳脂肪与密度呈显著的负相关,非脂乳固体与密度、冰点以及乳蛋白都存在显著的正相关,密度与冰点、乳蛋白也存在显著的正相关,冰点与乳蛋白存在显著的正相关。毛永江等^[16]研究发现泌乳初期的乳中蛋白质含量与固形物含量和密度,固形物含量与乳脂率和密度间呈极显著相关($P < 0.01$),乳脂率与乳中蛋白质含量及密度呈显著相关($P < 0.05$),这说明乳中各成分间都存在密切关系,但变化趋势

不完全一致。这可能与3个月的季节及温度不同有关。

该牛场中国荷斯坦牛在泌乳初期泌乳月对乳中常规乳成分及酸度具有显著影响;产奶量高低对泌乳初期乳成分含量具有明显的影响。泌乳早期乳中常规营养成分及滴定酸度间存在一定的相关性,乳脂肪与密度呈显著的负相关,非脂乳固体与密度、冰点以及乳蛋白存在显著正相关。

参考文献

- [1] 高树新,王国富,邵志文,等. 泌乳月份及部分乳成分与牛乳中体细胞数关系的相关性研究[J]. 中国乳品工业,2007,35(12):10-12.
- [2] 王芳,胡松华. 体细胞含量与牛奶质量的关系[J]. 中国奶牛,2005(4):51-52.
- [3] 邱才英,范兰春. 荷斯坦牛产后20d内牛奶的检测分析[J]. 乳业科学与技术,2003(1):26-28.
- [4] MARKS ASELTINE. 通过管理改善牛奶的干物质含量(刁其玉译)[J]. 国外畜牧学—草食家畜,1990(3):38.
- [5] ISAACS A, LINDENMANN J. Virus interference. I. The interferon [J]. Proc R Soc Lond B Biol Sci, 1957, 147(927):258-267.
- [6] 马云,邹建波,王恒. DHI体系及其在奶牛饲养管理中的应用[J]. 黄牛杂志,2002,28(6):22-27.
- [7] PULINA G, UDDA A, BATTACONE G, et al. Effects of nutrition on the contents of fat, protein, somatic cells, aromatic compounds, and undesirable substances in sheep milk [J]. Anim Feed Sci Technol, 2006, 131:255-291.
- [8] 肖培卫,蔡永华,汪海云. 奶牛无公害阶段饲养技术的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医(综合指导版),2011(10):65-67.
- [9] 马占峰,刘洪芳. 影响牛奶成分的因素[J]. 中国奶牛,2012(1):44-46.
- [10] 张兰威. 无公害乳制品加工综合技术[M]. 北京:中国农业出版社,2003:60-61.
- [11] MICHIRU F, HIDEHARU T, TAKAMI K, et al. Effect of lactation stage, season and parity on milk cortisol concentration in Holstein cows [J]. Livestock Science, 2008, 113(2/3):280-284.
- [12] SVEI A, TAIBI L, ALBENZIO M, et al. Effect of parity on milk yield, composition, somatic cell count, renneting parameters and bacteria counts of Comisana ewes [J]. Small Ruminant Research, 2000, 37(1/2):99-107.
- [13] 熊本海,马毅,庞之洪,等. 天津市中国荷斯坦牛奶乳成分变化规律及模型[J]. 中国农业科学,2012,45(23):4891-4897.
- [14] 吴蓬春,田可川,孙燕飞,等. 牛奶主要经济性性状相关性研究[J]. 新疆畜牧业,1989(4):15-19.
- [15] 张丽萍,金俊浩. 牛乳中脂肪、密度、干物质之间的相关关系测算[J]. 中国乳品工业,1999(2):15-17.
- [16] 毛永江,杨章平,王杏龙,等. 中国荷斯坦牛泌乳早期乳常规成分变化规律的研究[J]. 中国奶牛,2005(1):55-57.

(上接第3283页)

参考文献

- [1] CUNA R H D, VAZQUEZ G R, PIOL M N, et al. Assessment of the acute toxicity of the organochlorine pesticide endosulfan in *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes) [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2011, 74:1065-1073.
- [2] 顾宝根,王慧敏,陈隆智,等. 高效氯氟氰菊酯在稻田使用后对水生生物的安全性研究[J]. 农药学报,2006,8(1):56-60.
- [3] 张林霞,夏晓华. 高效氯氟氰菊酯对大鳞副泥鳅急性毒性和生理毒性的影响[J]. 四川动物,2013,32(4):560-562.
- [4] 李翠萍,吴民耀,王宏元. 3种半致死浓度计算方法之比较[J]. 动物医学进展,2012,33(9):89-92.
- [5] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:194.
- [6] SIANG H Y, YEE L M, SENG C T. Acute toxicity of organochlorine insecticide endosulfan and its effect on behavior and some hematological parameters of Asian swamp eel (*Monopterus albus*, Zuiew) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2007, 89:46-53.
- [7] FERRANDA M D, SANCHE E, ANDREU - MOLINER E. Comparative acute toxicities of selected pesticides to *Anguilla Anguilla* [J]. Journal Environmental Science and Health B, 1991, 26:491-498.
- [8] KEGLEY S E, HILL B R, ORME S, et al. PAN Pesticide Database. Pesticide Action Network, North America (San Francisco, CA) [DB/OL]. <http://www.pesticideinfo.org>.
- [9] 胡国成,甘炼,吴天送,等. 硫丹对斑马鱼的毒性效应[J]. 动物学杂志,2008,43(4):1-6.
- [10] 武焕阳,靳涛,丁诗华. 硫丹对草鱼鱼种的急性毒性效应[J]. 水产科学,2012,31(1):37-40.
- [11] CAPKIN E, ALTINOK I, KARAHAN S. Water quality and fish size affect toxicity of Endosulfan, an organochlorine pesticide, to rainbow trout [J]. Chemosphere, 2006, 64:1793-1800.
- [12] PANDEY S, NAGPURE N S, KUMAR R, et al. Genotoxicity evaluation of acute doses of endosulfan to freshwater teleost *Channa punctatus* (Bloch) by alkaline single cell gel electrophoresis [J]. Ecotoxicol Environment Safety, 2006, 65:56-61.
- [13] 王彦美,付荣恕. 高效氯氟氰菊酯对黄鳝的急性毒性作用[J]. 安徽农业科学,2008,36(12):4999-5000.
- [14] 夏晓华,张林霞,赵炫超,等. 高效氯氟氰菊酯对泥鳅的急性毒性及遗传毒性[J]. 贵州农业科学,2013,41(3):105-107.
- [15] EDWARDS R, MILLBURN P, HUTSON D H. The toxicity and metabolism of the pyrethroids cis- and trans-cypermethrin in rainbow trout, *Salmo gairdneri* [J]. Xenobiotica, 1987, 17(10):1175-1193.
- [16] 张征,李今,梁斌,等. 拟除虫菊酯杀虫剂对水生系统的毒性作用[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(1):125-129.