

表面活性剂 SDS 与 DBS 对褐点石斑鱼急性毒性研究

白丽蓉^{1,2}, 陈刚², 张健东^{2*}, 周晖, 施钢, 汤保贵², 黄建盛

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东湛江 524025; 2. 广东省水产经济动物病原生物学及流行病学重点实验室, 广东湛江 524025)

摘要 [目的] 研究表面活性剂 SDS 和 DBS 对水环境的污染程度, 分析比较 2 类毒性数据处理方法的优劣。[方法] 以褐点石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus*) 变态期仔鱼作为指示生物, 采用静水法生物测试研究 SDS 和 DBS 的急性毒性。建立直线回归模型, 并用非线性最小二乘拟合技术构建非线性回归模型, 预测表面活性剂的毒性效应。[结果] 2 种表面活性剂的直线方程 F 检验均为极显著; 其剂量-效应曲线 (DRC) 均可用双参数模型 Weibull 与 Logit 函数有效表征。直线和非线性回归模型对 2 种表面活性剂毒性效应估算表明, 预测半致死浓度时, 2 种模型差异可忽略不计; 预测极端效应浓度时, 差异显著。直线回归模型估算的安全浓度 SDS 为 0.429 2 ng/L, DBS 为 0.954 3 ng/L; 双参数模型对 48 h LC₅₀ 拟合预测值 SDS 为 1.503 3 ng/L, DBS 值为 3.341 6 ng/L, 两者预测结果一致, 毒性均为 SDS 大于 DBS。[结论] 试验结果为研究表面活性剂污染对水环境造成的危害及评价提供参考资料, 并为毒性数据的分析处理提供一种可供参考的新模式。

关键词 表面活性剂; 急性毒性; 直线回归模型; 非线性回归模型; 褐点石斑鱼

中图分类号 S941 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)21-09087-04

Acute toxicity effect of Surfactants on *Epinephelus fuscoguttatus*

BAI Li-rong et al (Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524025)

Abstract [Objective] A research to water environment pollution by surfactants (SDS and DBS), Comparison of the two kinds of processing methods on toxicity data. [Method] Using the Admit-fin larvae of *Epinephelus fuscoguttatus* as the bioindicator, the acute-toxicity of surfactants was studied with the static test method. Linear regression was established, and nonlinear least-squares fitting technique was apply to construct nonlinear regression model. Predicting surfactant of toxic effect. [Result] Firstly, the linear regression of function was very significant by F test, and the dose-response curve (DRC) for surfactants was effectively characterized by two-parameter model-Weibull or Logit function. Secondly, using linear regression model and nonlinear regression model to estimate toxicity effect, the differences of two kinds of models was neglected in predicting LC₅₀. While, the differences of two kinds of models was significant in predicting extreme concentration. Thirdly, safe concentration of SDS and DBS was 0.429 2 ng/L, 0.954 3 ng/L by linear regression model, Median lethal concentration of SDS and DBS was 1.503 3 ng/L, 3.341 6 ng/L by two-parameter model, prediction results is uniform, the toxicity of SDS was more than DBS. [Conclusion] The experimental results supplied reference for water pollution and evaluation; A new pattern was provide of analysis on toxicity data.

Key words Surfactants; Acute-toxicity; Linear regression model; Nonlinear regression model; *Epinephelus fuscoguttatus*

随着工农业的发展, 表面活性剂的生产和使用量急剧增加。据统计, 每年全世界表面活性剂的消耗量达 7×10^6 t, 除用于家庭洗涤外, 还被广泛地用于纺织、塑料、橡胶、造纸、石油、医药和食品等行业^[1]。表面活性剂的广泛使用, 导致其大量进入水环境, 成为对渔业环境具有潜在危害的化学物质^[2]。十二烷基硫酸钠(又称月桂醇硫酸钠, Sodium dodecyl sulfate, 缩写为 SDS) 是一种常见的阴离子表面活性剂, 极易溶于水, 在生化试验及免疫检验中常用作蛋白质变性剂和助溶剂, 同时也广泛应用于液体洗涤剂及化学试剂的工业生产中^[3], SDS 毒性较大^[4], 为美国试验材料协会 (ASTM) 推荐的生物毒性试验方法中常用标准毒物之一^[5]。而十二烷基苯磺酸钠 (Sodium dodecylbenzene sulfonate, 缩写为 DBS) 是各类洗涤剂和去污剂的主要成分, 随生活污水排放, 对环境也造成了一定的危害。

人们对表面活性剂危害的认识最早来自其对河流湖泊中的水生生物的危害^[6]。徐立红等研究认为, 含有大量家用洗涤剂的生活污水排放到自然水体中后将对水生动物产生持续的有害影响^[7]。谭渝云研究认为, DBS 对鱼类危害也很大, 鱼类十分容易吸收 DBS^[8]。近年来的研究也表明, 表面活性剂在水体表面的泡沫化可干扰正常的水体氧气交换, 导致溶氧下降及水质恶化, 进而对水生生态系统造成严重破坏^[9-10]。此外, 研究还发现, 水体中的表面活性剂对鱼类的

存活力、繁殖力、回避反应及其他生理功能有明显的负面影响^[3,9]。

笔者以褐点石斑鱼为指示生物, 进行阴离子表面活性剂 SDS 与 DBS 的毒性效应研究, 应用直线回归拟合和非线性拟合对其剂量-效应进行拟合预测, 准确计算各效应对应的毒物剂量浓度, 以期为水域环境监测及该类化合物的环境生态效应风险评价奠定理论基础, 同时也为进一步揭示 SDS 和 DBS 的毒理机制提供一定的试验依据。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂及条件 供试材料选用海南省俊泓实业有限公司养殖场自繁的褐点石斑 18 d 仔鱼, 体长 0.9 ~ 1.2 cm, 平均体重 11.2 mg/尾。试验用褐点石斑鱼属于变态阶段, 此阶段鱼体生长相对缓慢, 对逆境反应敏感。在试验前对仔鱼驯养 2 d, 使其适应试验环境, 试验前 24 h 停止投喂, 试验期间不投喂, 不充气。

试验试剂为十二烷基硫酸钠, 分子式 $C_{12}H_{25}NaO_4S$, 分子量 288.38, 有效含量 85.0%; 十二烷基苯磺酸钠, 分子式 $C_{18}H_{29}NaO_3S$, 分子量 348.48, 有效含量 95.0%。均为化学纯, 生产厂家为广东汕头市西陇化工厂。试验前按照有效含量用去离子水配成一定质量浓度的母液, 试验时再按比例将母液稀释至所需浓度。

试验条件如下: 试验容器为 1 000 ml 玻璃烧杯, 每试验容器放鱼 8 尾; 试验用砂滤海水, pH 值为 8.1 ~ 8.3, 比重 1.015, 溶氧量为 5.4 ~ 6.0 mg/L。试验期间水温为 29 ~ 32℃, 自然光照。试验水体负荷为每升水放鱼 0.10 g; 试验周期 48 h; 试验方式为半静态 (8 h 全部更换试验液)。试验用

基金项目 广东省科技厅科技攻关项目 (2006 B20201059); 广东省海洋与渔业局科技兴海招标项目 (A200608C02)。

作者简介 白丽蓉 (1980 -), 女, 内蒙古四子王旗人, 硕士研究生, 研究方向: 水产养殖学, 水产经济动物生物学及种苗工程。

* 通讯作者, E-mail: zhangjd@gdou.edu.cn。

收稿日期 2008-05-04

水于试验前充气30 min 备用。

1.2 试验方法 试验于2007年5~6月在海南省俊泓实业有限公司养殖场试验基地进行。根据水生生物急性毒性试验方法^[11-12]进行毒性试验,依据预试验确定最大无效应浓度和最小全致死浓度,正式试验按等对数间距在此浓度范围内设7个浓度试验组和1个空白对照组,每组设2个平行,2次重复。从驯养的网箱中捞取规格一致、健康、无病、活泼的仔鱼,随机放入试验环境中,试验期间前12 h内不间断连续观察,在暴露过程中观察受试鱼的行为、中毒症状等,后定时观察鱼体活动及中毒情况,24和48 h记录各组试验鱼的死亡数据。死亡个体及时从试验环境中捞出,波恩氏液及5%甲醛固定备查。

1.3 数据处理 试验结果参照刘麟魁等^[13]对测量值经正态分布检验后取舍可疑值,再计算测量值的平均值,若对照组因为不可预料的原因出现死亡时,死亡率根据Abbott^[12]公式修正。

计算浓度对数(以 x_0 表示)一死亡率概率单位(以 y_0 表示)(浓度一效应关系)的直线回归方程和相关系数(判定系数),用F检验回归方程的显著性。其余试验数据包括 LC_{10} (10%致死浓度)、 LC_{50} (50%致死浓度)、 LC_{90} (90%致死浓度)、95%置信限、 S_E (标准误)、 SC (安全浓度)均采用直线加权回归法^[14-15]宏语言编程计算。其中 SC 的计算公式采用:

$$SC = \frac{0.3 \times 24 \text{ h} LC_{50}}{\left(\frac{24 \text{ h} LC_{50}}{48 \text{ h} LC_{50}}\right)^3}$$

在直线回归分析的基础上,对剂量一效应关系进行非线性曲线拟合^[16-17],拟合获得的曲线称为剂量一效应曲线(Dose-response curves,简称DRC)。设毒物浓度为 x ,死亡率为

$f(x)$,以 x 为自变量, $f(x)$ 为因变量,采用Scholze等^[18-23]提出的描述典型剂量一效应曲线的非线性模型,应用Origin 7.5软件中的非线性最小二乘拟合(NLSF)模块对毒物剂量一效应曲线进行非线性拟合,以标准误差(RMSE)最小为目标结果,定义收敛标准为 10^{-5} 。同时计算拟合曲线的陡度(G),陡度公式为: $G = LC_{10}/LC_{50}$ 。

2 结果与分析

2.1 SDS和DBS对褐点石斑鱼仔鱼的中毒症状比较 试验初期,低浓度组试验鱼活动状况基本同对照组;高浓度组在放入试验液后约8 h出现中毒症状,试验鱼在试验液上层急剧游泳,不时撞击器壁,在SDS试验液中约16 h出现死亡。解剖死鱼发现,鳃部有少量的附着物,中毒严重的鱼体体表有轻微溃烂。在DBS试验液中,试验鱼同样表现为烦躁不安,在试验容器内上下乱窜,甚至跳出试验环境;随后表现出呼吸困难,甚至“浮头”等现象;随着中毒时间的延长,高浓度组的试验鱼慢慢停止活动,直至死亡。低浓度组试验鱼中毒症状同高浓度组,仅中毒时间出现较晚。

2.2 SDS和DBS对褐点石斑仔鱼的急性毒性效应 SDS和DBS的毒性数据计算结果列于表1,F检验回归方程均为极显著。依据国家环保局1986年制订的《生物技术监测规范(水环境部分)》^[24]中将化学物质对鱼类的毒性分为5级: $LC_{50} < 1 \text{ ng/L}$ 为剧毒; LC_{50} 在1~100 ng/L为高毒; LC_{50} 在100~1000 ng/L为中等毒性; LC_{50} 在1000~10000 ng/L为低毒; $LC_{50} > 10000 \text{ ng/L}$ 为微毒或无毒。按照此标准,该试验研究的SDS、DBS对褐点石斑鱼仔鱼均为高毒物质。SDS和DBS 48 h SC 值分别为0.429 2和0.954 3 ng/L,依据48 h SC 值,SDS毒性大于DBS。

表1 SDS、DBS对褐点石斑仔鱼24、48 h的急性毒性计算结果

Table 1 Calculation results of the acute toxicity of SDS, DBS to *E. fuscoguttatus* larva in 24 and 48 h

项目 Item	SDS		DBS	
	24 h	48 h	24 h	48 h
LC_{50}	1.466 4	1.454 4	3.390 3	3.319 0
S_E	0.019 6	0.022 3	0.007 4	0.007 5
LC_{50} 95%置信限 Confidence limit of LC_{50} 95%	1.281 4~1.678 0	1.270 0~1.665 6	3.248 6~3.538 3	3.178 4~3.465 8
LC_{10}	1.148 1	1.082 0	3.077 7	3.008 5
LC_{10} 95%置信限 Confidence limit of LC_{10} 95%	0.935 5~1.409 0	0.845 4~1.384 9	2.822 8~3.355 6	2.781 2~3.254 4
LC_{90}	1.958 5	1.991 7	3.771 9	3.688 3
LC_{90} 95%置信限 Confidence limit of LC_{90} 95%	1.607 1~2.386 6	1.579 2~2.511 9	3.504 7~4.059 6	3.401 9~3.998 9
回归方程 Regression equation	$y_0 = 11.05x_0 + 3.06^{**}$	$y_0 = 9.67x_0 + 3.39^{**}$	$y_0 = 29.01x_0 - 10.45^{**}$	$y_0 = 28.97x_0 - 10.14^{**}$
r	0.997 3	0.998 0	0.995 6	0.990 5

2.3 SDS和DBS对褐点石斑鱼的剂量一效应关系 分别利用文献中给出的多个描述剂量一效应关系的非线性函数对试验测定值进行非线性拟合。结果显示,拟合效果较好的分别是双参数Weibull和Logit模型。拟合模型表达式和模型拟合参数、拟合相关系数 R^2 、均方根误差(标准误差, RMSE)、半致死浓度 LC_{50} 等分别见表2和表3。

根据RMSE最优阈值(0.05),及相关系数最优阈值(0.95)的原则,结合表3数据可知,SDS和DBS效应拟合相关系数均大于0.98,标准误差均小于0.03,说明拟合结果有效。以48 h LC_{50} 作为毒性评价标准,双参数模型拟合预测的SDS 48 h LC_{50} 为1.503 3 ng/L, DBS值为3.341 6 ng/L,毒性为SDS大于DBS。

表2 剂量一效应曲线优化模型函数一反函数表达式

Table 2 Sigmoidal regression function $f(x)$ and the corresponding inverse formulae $x = f^{-1}(y)$ for optimal model

模型 Model	函数 Function	反函数 Inverse Function
Logit (双参数 Two-parameters)	$f(x) = \frac{1}{[1 + \exp(-)]}$	$x = \text{POW} \left[\frac{\log_e(k) - Y}{1 - Y} \right]$ with $k = \frac{Y}{1 - Y}$
Weibull (双参数 Two-parameters)	$f(x) = 1 - \exp[-\exp(-)]$	$x = \text{POW} \left[\frac{\log_e(k) - Y}{\log_e(1 - Y)} \right]$ With $k = -\log_e(1 - Y)$

Note: POW(t) means raise the value of 10 to the power t, and the linear predictor term is defined as $Y = a + b \log_{10}(x)$.

表3 SDS、DBS 双参数DRC 优化模型
Table 3 The two parameter optimal DRC models for SDS and DBS

受试时间 h Tested time	表面活性剂 Sufactants	模型 Model			R	RMSE	LC ₅₀	G
24	SDS	Weibull	- 2.440 5	11.473 6	0.993 2	0.016 6	1.516 2	0.427 6
	DBS	Logit	- 25.167 3	47.362 5	0.993 0	0.016 8	3.420 7	0.740 9
48	SDS	Weibull	- 2.240 4	10.584 6	0.998 6	0.007 2	1.503 3	0.398 1
	DBS	Weibull	- 17.451 0	32.606 4	0.989 2	0.022 2	3.341 6	0.741 6

3 讨论

3.1 表面活性剂的致毒机理及危害性 在致毒机理方面, 以往的研究表明, 水体中的表面活性剂污染物可通过吸附鱼鳃和皮肤进入鱼体, 并在胆囊和胰腺富集^[25]。当浓度较高时, 表面活性剂对鱼类的鳃、血液、肾、胆囊及胰腺产生明显的毒性^[26]。而毒性效应的产生可能在于鱼类的某些生理生化过程受到SDS 及 DBS 等表面活性剂的影响。此外, 表面活性剂还可抑制水体中有毒物质的降解, 降低水体复氧速率和充氧率, 影响水生动物的生长发育, 甚至导致死亡^[9-10]。程吕柏等^[27]认为, DBS 分子中疏水性的长碳氢链, 容易插入细胞膜的磷脂双分子层, 从而引起膜结构损伤; 同时, DBS 中的苯磺酸根离子容易跟膜上的蛋白质结合, 改变蛋白质分子的构象或引起蛋白质变性, 使膜的通透性改变, 引起动物细胞死亡。

表面活性剂在环境中的生物降解性虽然很高, 但对环境的依赖性也很大, 在一些不利于微生物降解的环境下, 表面活性剂的危害较为严重。当其浓度达到1 ng/L 时, 水体表面形成隔离层, 减弱了气—液相间的气体交换。当其在水体中的浓度超过临界胶束浓度(CMC) 时, 致使不溶或微溶于水的有毒物质浓度增大, 并且使一些不具有吸附能力的物质迁移进入吸附层, 这种增溶作用造成了间接污染, 改变了水体性质, 阻碍了水体的自净化。

而在一些有利于微生物降解的环境中, 其环境毒性同样不容忽视。表面活性剂的生物降解对环境有双重效应。积极的方面是表面活性剂的去除, 同时在其降解过程中, 环境中碳氢化合物的吸收速率加快, 从而使一些其他污染物作为协同代谢物被降解。而其不利的方面主要表现在: 表面活性剂的生物降解会导致环境中矿物质和氧气的耗竭, 从而抑制与此相关的其他毒物的降解。Richard 等^[28]的研究结果显示, 表面活性剂的浓度大于CMC 时, 多环芳烃的生物降解受到抑制。此外, 表面活性剂对降解菌有毒害作用, 抑制降解菌在毒物表面的吸附, 降低了其对污染物的吸收转化速率^[29]。值得注意的是, 表面活性剂降解的代谢中间产物毒性可能比原有表面活性剂的毒性更大。

3.2 非线性回归模型预测剂量—效应关系 根据试验数据拟合的2 种非线性模型均为S 形曲线, 依据其斜率和陡度不同而有着不同的形状。依据表3 双参数模型数据可知, DBS 48 h 的G 值最大, 为0.741 6, 拟合得到的DRC 曲线最陡, LC₅₀ 值是LC₁ 值的1.35 倍; SDS 48 h 的G 值最小, 为0.398 1, 拟合得到的DRC 曲线相对平缓, LC₅₀ 值是LC₁ 值的2.5 倍。陡度值越大, 曲线低效应区段越陡, 说明此种化学物质产生毒性作用的剂量范围越窄, 即最大无作用浓度与50% 致死浓度范围越窄, 在养殖生产和水质监测以及水污染控制时应特别注

意这些狭剂量的有毒物质。

不同非线性回归模型估算的LC₅₀ 差异不显著, 该试验中Weibull 模型和Logit 模型拟合预测的SDS 和DBS LC₅₀ 差值范围在0.021 6 ~0.027 3。差值较小, 可忽略不计, 但对极端效应浓度的预测存在显著性差异。

依据试验结果, 应用Logit 模型拟合预测的各极端效应浓度值均大于应用Weibull 模型拟合预测的值。2 个模型在预测LC_{0.1} 时, Logit 模型/ Weibull 模型的最小值为1.122 0, 而最大值为1.401 6; 在预测LC₁ 时, Logit 模型/ Weibull 模型的最小值为1.068 3, 最大值为1.212 6; 在预测LC₉₉ 时, Logit 模型/ Weibull 模型的最小值为1.086 5, 最大值为1.322 5。以上数据说明, 各拟合模型拟合的剂量—效应方程预测的极端效应浓度值差异较小, 因而可认为双参数模型适用于该试验数据。为精确预测有毒物质对水域环境造成的不利胁迫, 试验结果推荐使用预测准确度较高的非线性拟合模型。

3.3 线性、非线性回归模型预测剂量—效应关系的比较

为了有效评价这2 种阴离子表面活性剂对鱼体以及环境造成的不利胁迫, 该试验采用直线拟合模型和非线性拟合模型2 种分析方法对试验数据进行了分析比较。根据试验结果, 应用双参数模型预测极端低效应浓度LC₁ 值时, 直线回归模型的估算值均大于Weibull 模型和Logit 模型的估算值; 直线模型/ Weibull 模型变动范围在1.117 4 ~1.423 2, 直线模型/ Logit 模型变动范围在1.042 4 ~1.179 7, 直线模型估算的低效应浓度显著大于非线性模型的, 这说明, 直线模型由于其预测趋势的高度单调性, 对环境中毒物低剂量暴露拟合预测误差较大。在预测极端高效应浓度LC₉₉ 值时, Logit 模型的估算值均大于直线模型, 直线模型的估算值均大于Weibull 模型, Logit 模型/ 直线模型变化范围在1.036 6 ~1.175 7, 直线模型/ Weibull 模型变化范围在1.048 0 ~1.124 9。以上数据表明, 直线模型和非线性模型在对极端效应浓度的预测上, 存在显著差别, 因此, 在养殖生产和科学研究中, 对不同的试验数据选择最适的模型来预测其剂量效应浓度显得至关重要。

在预测半致死浓度时, 非线性回归模型和直线回归模型差值变化范围在0.022 6 ~0.049 8, 与SDS 和DBS 较大的LC₅₀ 相比, 以上预测差值较小, 可忽略不计。因此, 在粗略的水质监测中, 可采用直线回归模型预测其效应值; 但在准确评估化学物质的极端剂量暴露对生物以及环境造成的不利效应时, 则应考虑结合使用非线性回归模型预测效应值。

参考文献

- [1] 李海普, 胡岳华, 王淀佐, 等. 阳离子表面活性剂与高岭石的相互作用机理[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2004, 35(2): 228-233.
- [2] 李玉, 俞志明, 宋秀贤, 等. 胶州湾海水中阴离子表面活性剂的含量及分布[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 284-288.

- [3] ROSEY M, ORDONEZ F J, ROSEY RODRIGUEZ M, et al. Acute toxicity of anionic surfactants sodium dodecyl sulphate (SDS) and linear alkylbenzene sulphate (LAS) on the fertilizing capability of gilthead (*Sparus aurata* L.) sperm[J]. *Hist Histopathol*, 2001, 16(3): 839 - 843.
- [4] SIRISATTA S, MOMOSE Y, KITAGAWA E, et al. Toxicity of anionic detergents determined by *Saccharomyces cerevisiae* microarray analysis[J]. *Water Research*, 2004, 38: 61 - 70.
- [5] ASTM. *Annual book of ASTM M*. Philadelphia P. A: American Society for Testing and Materials, 1988.
- [6] KIKUCHI M, WAKABAYASHI A. Effects of surfactants on aquatic organisms[J]. *Saitai Kagaku*, 1979, 1(4): 195 - 209.
- [7] 徐立红, 陈加平. 用水毒理学方法评价家用洗涤剂的潜在危害[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(5): 96 - 99.
- [8] 谭渝云. C₁₂ 标志直链烷基苯磺酸钠在鱼体内的积累、分布和释放[J]. *中国环境科学*, 1991, 11(2): 125.
- [9] KOBUKE Y. Environmental risk evaluation for anionic surfactants based on the characteristics of appearance of high concentration in rivers[J]. *Water Sci Technol*, 2002, 46: 263 - 268.
- [10] BUHL K J, STEVEN J H. Acute toxicity of fire control chemicals, nitrogenous chemicals, and surfactants to rainbow trout[J]. *Trans Am Fish Soc*, 2000, 129: 408 - 418.
- [11] 岳郁春. 水污染鱼类毒性实验方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [12] 周永欣, 章宗涉. 水生生物毒性试验方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1989.
- [13] 刘麟魁, 黄振泉. 小样本测量值正态分布的检验与可疑值的取舍[J]. *赣南师范学院学报*, 1997(3): 65 - 71.
- [14] 马桢红, 马良才. 生物测定中 LC₅₀ 或 LD₅₀ 的 Excel 运算方法[J]. *医学动物防治*, 1999, 15(11): 612 - 614.
- [15] 周海钧, 申蕴如. 生物检定统计方法[M]. 2 版. 北京: 人民出版社, 1983: 211 - 224.
- [16] KLAASSEN C D. Casarett & Cullen's toxicology: The basic science of poisons[M]. New York: McGraw Hill, 2001.
- [17] 葛会林, 刘树深, 刘芳. 多组分苯胺类混合物对发光菌的抑制毒性[J]. *生态毒理学报*, 2006, 1(4): 295 - 302.
- [18] SCHOLZE M, BOEDEKER W, FAUST M, et al. A general best-fit method for concentration-response curves and the estimation of low effect concentrations[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, 20(2): 448 - 457.
- [19] ALTENBURGER R, BACKHAUS T, BOEDEKER W, et al. Predictability of the toxicity of multiple chemical mixtures to *Vibrio fischeri*: mixtures composed of similarly acting chemicals[J]. *Environ Toxicol Chem*, 2000, 19(9): 2341 - 2347.
- [20] FAUST M, ALTENBURGER R, BACKHAUS T, et al. Predicting the joint algal toxicity of multi-component striazine mixtures at low effect concentrations of individual toxicant[J]. *Aquat Toxicol*, 2001, 56: 13 - 32.
- [21] FAUST M, ALTENBURGER R, BACKHAUS T, et al. Joint algal toxicity of sixteen dissimilarly acting chemicals is predictable by the concept of independent action[J]. *Aquat Toxicol*, 2003, 63: 43 - 63.
- [22] JUNGHANS M, BACKHAUS T, FAUST M, et al. Toxicity of sulfonylurea herbicides to the green alga *Scenedesmus vacuolatus*-predictability of combination effects[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2003, 71: 585 - 593.
- [23] JUNGHANS M, BACKHAUS T, FAUST M, et al. Predictability of combined effects of eight chloroacetanilide herbicides on algal reproduction[J]. *Pest Manag Sci*, 2003, 59(10): 1101 - 1110.
- [24] 国家环境保护局. 生物监测技术规范 水环境部分[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986: 95.
- [25] TOVELL P W A, HOWES D, NEWSON C. Absorption, metabolism, and excretion by goldfish of the anionic detergent sodium lauryl sulphate[J]. *Toxicology*, 1975, 4: 17 - 29.
- [26] KIKUCHI M, WAKABAYASHI A, KOIUMA H, et al. Uptake, distribution, and elimination of sodium linear alkylbenzene sulfonate and sodium alkyl sulfonate in carp[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1978, 2: 115 - 127.
- [27] 程吕柏, 胡家振, 姚蒙正, 等. 精细化工产品的合成及应用[M]. 2 版. 大连: 大连理工大学出版社, 1992.
- [28] RICHARD E M, WILLIAMI P. Effects of an anionic surfactant on biodegradation of phenanthrene and hexadecane in soil[J]. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 1998, 18: 1927 - 1931.
- [29] DEANS M, JIN Y, CHA D K, et al. Phenanthrene degradation in soils co-inoculated with phenanthrene-degrading and biosurfactant producing bacteria[J]. *Journal Environmental Quality*, 2001, 30: 1126 - 1133.

(上接第9060页)

2.3 临床治疗结果 19 例酵母菌性乳腺炎病牛在治疗 1 个疗程后均痊愈, 乳房乳汁无肉眼可见炎症变化, 产奶量开始回升。1 例热带念珠菌乳房炎用药 1 个疗程后好转, 但停药后复发, 其原因正在做进一步分析。

自拟中药方剂“乳消汤”中, 蒲公英具有清热、凉血、解毒散结消肿, 通乳, 散滞气的功效; 黄连抗真菌效果明显^[6-7]; 黄芩味苦、性寒, 具有清热燥湿、泻火解毒的功效, 且黄芩为广谱抗菌药物, 对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、链球菌、绿脓杆菌等均有抑制效果。对于耐药性大肠杆菌, 黄芩能够清除其耐药质粒的产生, 还有资料表明黄芩对真菌具有抑制作用, 对白色念珠菌的抑制作用尤为明显^[8]。

3 讨论

3.1 奶牛酵母菌性乳腺炎的预防 应加强畜主预防奶牛酵母菌性疾病的意识, 注意酵母菌引起的奶牛乳腺炎多表现为隐性乳腺炎, 及时作出诊断, 减少不必要的损失。当牛患病后, 应及时送实验室或相关部门进行诊断, 盲目使用抗生素往往贻误治疗, 收不到理想效果。

3.2 奶牛酵母菌性乳腺炎的治疗 目前所用的抗生素和化学合成药物均可引起微生物产生抗药性, 而中药独特的抗菌作用机理, 不易导致微生物产生耐药性, 可长期添加使用。这与中草药提取物的有效成份或含有某些生物碱对真菌具有杀灭抑制作用有关。中草药制剂还具有高效及价廉等优点, 因此在今后对顽固性乳腺炎的防治工作中, 应当加大对我国中草药资源的利用, 从而减少抗生素的残留和减少耐药菌株的出现。该研究采用中药方剂成功治疗奶牛乳腺炎, 为奶牛病例的治疗提供了新思路。

参考文献

- [1] 王英珍, 张国祥. 国外牛真菌性疾病研究现状[J]. *畜牧兽医杂志*, 1994(1): 20 - 23.
- [2] 孙鹤龄. 医学真菌鉴定初编[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [3] 威廉·C·雷布汉. 奶牛疾病学[M]. 8 版. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [4] 姚火春. 兽医微生物学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [5] 陈奇. 中药药理研究方法学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1993.
- [6] 刘钟杰, 许剑琴. 中兽医学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [7] 肖培根, 连文琰. 中药植物原色图鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [8] 于船, 陈子斌. 现代中兽医大全[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000.