

稀有鮡鲫外周血红细胞微核试验方法研究

刘楠楠¹, 吕碧平¹, 厉以强², 查金苗¹, 马梅¹, 王子健¹ (1. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

摘要: 将稀有鮡鲫(*Gobiocypris rarus*)半静态暴露于重铬酸钾溶液中,研究发现稀有鮡鲫的本底微核率处于较低的水平,重铬酸钾在不同浓度和时间暴露后能明显观察到外周血红细胞微核增加。在一定条件下存在剂量-效应关系和时间-效应关系,表明稀有鮡鲫可用于鱼类外周血红细胞微核试验。试验中每尾鱼观察15000个细胞,能有效地减小试验偏差,保证试验结果的可靠性。暴露浓度大于等于0.01mg/L时,染毒组与空白组的外周血红细胞微核率有显著性差异,其微核率随染毒时间的延长呈先升高后下降的趋势,均在24h时出现所有测定时间微核率的峰值。与其他鱼类比较显示,稀有鮡鲫具有较高的敏感性,可用于遗传毒物诱发微核的监测。

关键词: 稀有鮡鲫; 外周血红细胞微核试验; 重铬酸钾

中图分类号: X835; X832 文献标识码: A 文章编号: 1002-6002(2012)03-0121-05

Development of the in Vivo Micronucleus Assay for Peripheral Erythrocytes in Chinese Rare Minnow (*Gobiocypris rarus*)

LIU Nan-nan¹, et al. (1. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: The in vivo micronucleus assay was conducted by exposing Chinese rare minnow (*Gobiocypris rarus*) in potassium dichromate solution followed by collecting the peripheral erythrocytes of the fish. The frequency of micronucleus increased with the variation of Cr(VI) potassium dichromate concentration and the exposure time. Results indicated that the fish had low background MN frequencies in peripheral erythrocytes which could be significantly increased by hexavalent chromium, and there were obviously dose-response and time-response relationships between Cr(VI) and MN frequencies under certain conditions. Besides, observing 15000 cells per fish can effectively reduce test bias to ensure the reliability of the results. Generally, as compared to the negative control group, there was a significant increase in the MN frequencies of Chinese rare minnow for the groups in concentrations equal or greater than 0.01mg per liter. What is more, the MN frequencies in Chinese rare minnow's peripheral erythrocytes were increased proportionally to the rise in concentrations, while a current of increase firstly and then decrease could be observed with the prolongation of exposed time, and it spent nearly 24h for the MN frequencies reaching the peak value in the higher concentrations of potassium dichromate solution. Furthermore, Chinese rare minnow seems to be more sensitive than other fishes. The present study supports the suitability and sensitivity of MNT in peripheral erythrocytes using Chinese rare minnow as an effective short-term in vivo assay system for monitoring aquatic environmental genotoxicants.

Key words: *Gobiocypris rarus*; Piscine micronucleus assay in peripheral erythrocytes; Potassium dichromate

自 Heddle^[1]和 Schmid^[2]提出微核试验至今,微核试验已被广泛用于检测各种化学或物理因素导致的生物体染色体/纺锤体损伤。国际防止环境致突变性和致癌物委员会(ICPEMC)将染色体分离障碍及染色体数目和结构异常作为表征染色体损伤的两个遗传学终点^[3],而微核试验因其经济、简便易行、可信度高等优点越来越广泛地应用于染色体/纺锤体损伤效应的检测^[4]。

水环境中的遗传毒物能诱发鱼体产生微核,通过监测鱼类红细胞微核率的变化可研究外源物的遗传毒性和评价环境水质。目前,研究者已对多种鱼的红细胞微核试验的有效性进行讨论。Nepomuceno等^[5]发现金属态汞(Hg⁰)影响鲤鱼外周血红细胞微核率;齿鲈^[6]、鲤鱼及虹鳟^[7]的红细胞被用于评价苯并[a]芘的染色体损伤毒性;对于典型的染色体断裂剂丝裂霉素C,通过暴

收稿日期: 2010-11-22; 修订日期: 2011-02-21

基金项目: 环保公益性行业科研专项(200909040); 国际科技合作项目(2009DFA91920); 水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07419-001-02)

作者简介: 刘楠楠(1987-), 山东临沂人, 博士研究生。

露试验比较罗非鱼不同组织的红细胞微核敏感性^[8];对黑头软口鲮^[9]、银鲫^[10]、鲫鱼^[11]等重铬酸钾暴露后的遗传毒性效应进行研究,证实了鱼类外周血红细胞作为监测遗传毒物染色体损伤的生物标志物的可行性。此外,国内学者应用鲫鱼^[11,12]、鲤鱼^[13]、鲢鱼及鳙鱼^[14]等成功地采取原位测试评价环境水质。

小型真骨鱼类因易于在实验室饲养和易暴露于有毒化学物质当中成为一种理想的试验对象^[15]。其中,稀有鮡鲫(*Gobiocypris rarus*)是中国特有的一种小型鲤科鱼类,因个体小、生命力强、性成熟时间和周期短、饲养简易和对化学物质敏感等优点成为一种鱼类毒性试验材料^[16],目前已被成功应用于分子毒理学^[17,18]、筛选和评价内分泌干扰物^[19-21]及评价人工湿地系统对有毒有机污染物的去除效果^[22]等研究领域,但对稀有鮡鲫外周血红细胞微核试验的研究尚未见报道。本试验以稀有鮡鲫为供试生物,研究重铬酸钾对外周血红细胞微核率的影响,旨在分析稀有鮡鲫作为外周血红细胞微核试验生物标志物评价环境遗传毒物的有效性,并提供相应的受试生物敏感性及毒理学资料。

1 试验部分

1.1 试验鱼类

供试鱼类为稀有鮡鲫,由本实验室繁殖并饲养,供试鱼健康,无畸形,鱼龄相同(95~105d),个体的大小和体重相近,体长(39.121 ± 1.207) mm,体重(0.577 ± 0.056) g,均达到性成熟。试验前将鱼驯养两周,每天正常喂食,光暗比为16h:8h。驯养期间无自然死鱼现象,经驯养,其外周血红细胞微核率达到0.1%左右,可用于试验。

1.2 试验用水

经活性炭过滤并充分曝气的自来水(pH = 7.2~7.6;硬度为44.0~61.0 mg/L,以CaCO₃计),水温控制在(23 ± 1) °C,光周期为16h:8h(昼:夜),溶解氧不低于7 mg/L。不含任何对试验用鱼有毒的物质。

1.3 仪器与试剂

生物显微镜、pH计、天平等。1 mg/L 肝素钠抗凝血剂;1/15 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH = 6.8);Giemsa 母液;体积分数为10%的Giemsa 应用液(体积比1:9的Giemsa 母液与磷酸盐缓冲液混合

而成);甲醇(分析纯);重铬酸钾(分析纯)。

1.4 试验鱼染毒

采用半静态暴露试验法对稀有鮡鲫染毒。预试验确定正式试验染毒所需的浓度范围,预试验中重铬酸钾设空白组、1、10、100、300 mg/L,每剂量组放入6尾鱼,每天换水一半,持续168 h,除300 mg/L浓度组外,其他组鱼全部存活。据预试验所得结果,在168 h鱼全部存活的最高浓度下设空白组、0.001、0.01、0.1、1、10 mg/L等6组浓度,每天换水一半,补足受试物至原有质量浓度,试验期间不喂食,其余条件与驯养期间相同。

稀有鮡鲫在染毒后的3、6、12、24、48、96、168 h,对所有浓度组断尾采血,观察不同暴露浓度和不同作用时间下重铬酸钾对稀有鮡鲫外周血红细胞微核率的影响。

1.5 制血涂片及显微镜检

取样时从每个浓度组平行样中随机抽取试验鱼5尾。滤纸吸干鱼表面,断尾后用玻璃毛细管(为防止血液凝固,毛细管先由肝素钠液润湿)吸取外周血,滴至洁净载玻片上,常规操作制得血涂片并晾干,每尾鱼制作3张血涂片。经甲醇固定10 min、Giemsa 应用液染15 min后,立即用pH = 6.8的磷酸盐缓冲液冲洗干净,晾干后保存备用。

血涂片置于显微镜下观察,10×100倍观察、计数,选取视野内完整、分散均匀且着色适当的细胞,双盲法阅片,每张涂片计数约5000个胞浆清晰完整的鱼红细胞的微核率,结果以千分率(‰)表示。

1.6 数据处理

结果以平均值±标准偏差表示,回归方法分析重铬酸钾对稀有鮡鲫外周血红细胞微核率影响的剂量-效应和时间-效应关系,相关程度以决定系数(R^2)表示,并用t检验法做相关显著性检验。应用SPSS13.0软件进行单因素方差分析(ANOVA)和LSD法多重比较。

2 结果与分析

2.1 测定稀有鮡鲫的本底微核率

目前,尚未有文献报道稀有鮡鲫未经化学物质暴露的本底微核率。本试验测定驯养前稀有鮡鲫的本底微核率与驯养后空白对照组微核率比较结果表1所示。

稀有鮡鲫的外周血红细胞自发微核率较稳

定, 驯养前后微核率无显著性差异。国内外研究显示, 鲫鱼^[10-12, 15, 23]、鲤鱼^[11, 13, 24, 25]、鲢鱼^[14, 15]、鳙鱼^[14, 15]、草鱼^[15, 26]、丁岁鱼^[10, 26]等的外周血红细胞本底微核率的报道值为(0.079 ± 0.055)% ~ (10.0 ± 1.0)%; 而云斑鲮^[27]、虹鳟^[7, 28]、翠鳉^[29]、黑头软口鲮^[9]等本底微核率的报道值为0.14% ~ 1.67%。与上述鱼类比较, 稀有鮕鲫的本底微核率(0.12% ± 0.03%)处于较低水平。

表1 稀有鮕鲫驯养前与驯养后空白对照组在不同时间点的微核率

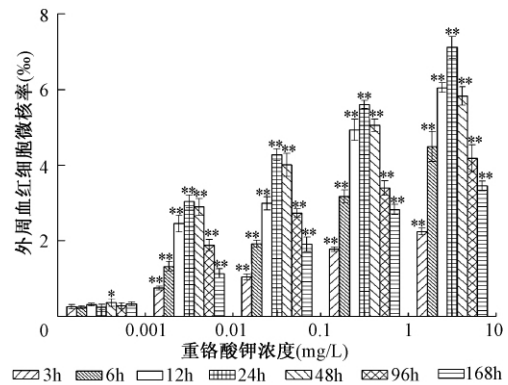
空白对照组	驯养前	驯养后								
		0h	3h	6h	12h	24h	48h	96h	168h	
总微核数(个)	9	10	10	12	12	13	13	13	13	
每尾鱼微核数(个)	1~2	1~3	1~3	2~3	2~3	2~3	2~4	2~3	2~3	
微核率(%)	0.12	0.13	0.13	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	
标准偏差(%)	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	

2.2 重铬酸钾暴露对稀有鮕鲫外周血红细胞微核率的影响

如图1所示, 在本实验所设的时间范围内, 稀有鮕鲫的外周血红细胞微核率随着暴露浓度的增加逐渐上升。对相同时间点不同暴露浓度的剂量-效应关系做线性回归分析, 经t检验, 回归方程式的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$)。

重铬酸钾的暴露时间与稀有鮕鲫的外周血红细胞微核率之间存在着明显的时间-效应关系: 当重铬酸钾暴露浓度大于等于0.01mg/L, 相同浓度时, 微核率随暴露时间的延长先增加后减小, 且

均在24h时出现峰值。除0.001mg/L外, 各浓度组与空白组相比, 微核率均有显著性差异($P < 0.01$), 多重比较显示各浓度组间也存在显著性差异。



* 为差异显著 ($P < 0.05$), ** 为差异极显著 ($P < 0.01$)

图1 重铬酸钾在不同质量浓度和暴露时间对稀有鮕鲫外周血红细胞微核率的影响

细胞微核率的计数变异系数(CV, %)依赖于细胞的背景微核率及观察细胞数目^[30], 而IWGT^[31]推荐体内微核试验需要观察充足的细胞数目使得计数标准差小于动物个体间标准差。依据文献[32-34]中推荐的最少试验动物数, 本研究每组观察5尾鱼, 通过比较24h不同浓度暴露所得微核率的个体间差异及每尾鱼分别观察5000、10000、15000个细胞所得的标准偏差与变异系数(详见表2)可知, 每尾鱼观察15000个细胞所得试验计数误差低于相应稀有鮕鲫个体间标准偏差。

表2 24h暴露组在不同微核率下个体间及观察不同细胞数计数的试验标准偏差与变异系数变化

外周血红细胞微核率(%)	个体间标准偏差	个体间变异系数(%)	每尾鱼观察细胞数(个)	计数标准偏差	计数变异系数(%)
0.24 (暴露浓度0.001mg/L)	0.132	55	5000	0.200	83
			10000	0.134	56
			15000	0.076	32
3.04 (暴露浓度0.01mg/L)	0.290	10	5000	0.297	10
			10000	0.241	8
			15000	0.167	6
4.28 (暴露浓度0.1mg/L)	0.263	6	5000	0.200	5
			10000	0.179	4
			15000	0.152	4
5.60 (暴露浓度1mg/L)	0.190	3	5000	0.268	5
			10000	0.207	4
			15000	0.109	2
7.11 (暴露浓度10mg/L)	0.493	7	5000	0.390	5
			10000	0.327	5
			15000	0.284	4

3 讨论

作为食物链中连接水体污染物和人类的媒介,选取水生生物,特别是对外源毒物的生物富集和反应机制类似于哺乳动物的鱼类^[35],可快速地监测出水环境中的遗传毒物。将鱼类体内遗传毒性测试作为评价高等脊椎动物健康风险的模式系统一直以来都受到广泛的关注^[36,37]。当鱼类暴露在致突变剂^[9,38]及接纳工业废水^[39]和市政废水^[40]等的河流时能监测到微核及核异常。研究表明,在实验室和野外监测条件下,鱼类暴露于不同的化合物时外周血红细胞能观察到较高的微核发生率^[10,35]。因此,鱼类外周血红细胞微核试验成为评价和检测水环境中染色体断裂剂和纺锤体毒剂产生遗传毒性效应的有效方法。

使用动物模型研究环境中低浓度污染物暴露时,选取适当的生物标志物和敏感的生物指标有效地检测生物在产生严重损伤前的其间的级联生物效应^[41]尤为重要。本试验测得稀有鮟鲫的自发微核率与鱼类相比处于较低水平。经重铬酸钾168h暴露,稀有鮟鲫产生与空白组显著性差异的浓度为0.01mg/L,银鲫为0.05mg/L^[10],鲫鱼为0.10mg/L^[11],表明鱼种类差异导致敏感性不同,稀有鮟鲫外周血红细胞微核试验可敏感地监测环境中低浓度遗传毒物暴露。

试验中,重铬酸钾浓度大于等于0.01mg/L时,稀有鮟鲫外周血红细胞微核率在暴露后1d达到峰值,这与Al-Sabti等^[36,38]对研究发现多种鱼类的微核率峰值出现在暴露后1~5d的结果相似。表明重金属离子能被鱼体吸收、蓄积,开始暴露时蓄积速度较快,微核率显著升高,之后速度减慢,达平衡^[42]后,微核率下降。在24h暴露时间点出现峰值,可能与重金属的形态影响生物毒性和生物有效性^[43]以及稀有鮟鲫自身造血组织产生红细胞的速率与红细胞的细胞周期相关。因此,测定相同暴露浓度下产生遗传毒性最高效应所需时间十分重要^[9],此时间段既能使遗传毒性效应充分表达,又要避免组织器官产生自身保护和脱毒机制。

CSGMT^[44]研究发现,小鼠至少出生80周后自发微核率才能趋于稳定,表明动物年龄对微核率有一定的影响。本试验用鱼均达性成熟,驯养前后稀有鮟鲫的外周血红细胞自发微核率无显著性差异,表明微核率已趋于稳定。本研究采用相

同饲养条件下同一批次稀有鮟鲫,体重相近,保证试验一致性。试验过程中,控制溶解氧、水温等作用因素,减小外界因素对微核发生率影响。不同微核率下,每尾鱼观察15000个细胞所得计数标准差低于个体间标准差,均在可接受范围内,能有效地减小试验误差,保证试验结果的可靠性。

4 结论

稀有鮟鲫外周血红细胞微核试验能敏感地评估水环境中的遗传毒物。试验中每组设置5尾鱼暴露24h后,断尾取血,每尾鱼观察15000个外周血红细胞时能得到较好的检测效果。本研究结果表明稀有鮟鲫外周血红细胞微核试验是一种有效的体内短期检测水质方法。

参考文献:

- [1] Heddle J A. A rapid in vivo test for chromosomal damage [J]. *Mutation Research*, 1973, 18(2): 187 - 190.
- [2] Schmid W. The Micronucleus Test [J]. *Mutation Research*, 1975, 31(1): 9 - 15.
- [3] 曹佳, 林真, 余争平等. 微核试验——原理、方法及其在人群监测和毒性评价中的应用[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2000: 1 - 11.
- [4] 孔志明. 环境遗传毒理学[M]. 南京: 南京大学出版社, 2009: 172 - 174.
- [5] Nepomuceno J C, Ferrari I, Spano M A, et al. Detection of micronuclei in peripheral erythrocytes of *Cyprinus carpio* exposed to metallic mercury [J]. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 1997, 30(3): 293 - 297.
- [6] Gravato C, Santos M A. Genotoxicity biomarkers' association with B(a)P biotransformation in *Dicentrarchus labrax* L [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2003, 55(3): 352 - 358.
- [7] Kim I Y, Hyun C K. Comparative evaluation of the alkaline comet assay with the micronucleus test for genotoxicity monitoring using aquatic organisms [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2006, 64(3): 288 - 297.
- [8] Palhares D, Grisolia C K. Comparison between the micronucleus frequencies of kidney and gill erythrocytes in tilapia fish, following mitomycin C treatment [J]. *Genetics and Molecular Biology*, 2002, 25(3): 281 - 284.

- [9] De Lemos C T, Rodel P M, Terra N R, et al. Evaluation of basal micronucleus frequency and hexavalent chromium effects in fish erythrocytes [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, 20(6): 1320 - 1324.
- [10] Al-Sabti K, Franko M, Andrijanic B, Knez S, et al. Chromium induced micronuclei in fish [J]. *J Appl Toxicol*, 1994, 14: 333 - 336.
- [11] 厉以强, 常卫民, 孙立伟, 等. 鱼血微核试验在项目竣工环保验收监测中应用 [J]. *环境科学与技术*, 2006, 29(2): 43 - 46.
- [12] 沈燕飞, 厉以强, 黎强. 利用鱼外周血红细胞微核技术监测长江江苏段水质污染 [J]. *江苏环境技术*, 2007, 20(6): 49 - 50.
- [13] 龙静, 张迎梅, 朱丽娜, 等. 利用微核试验和彗星电泳试验评价黄河兰州段水质致遗传毒性作用 [J]. *应用与环境生物学报*, 2006, 12(1): 59 - 63.
- [14] 高燕, 陈光荣. 东大湖养鱼场水质遗传毒理的检测研究 [J]. *环境科学与技术*, 1999(1): 19 - 22.
- [15] 李谷, 程晓莉, 陈丹, 等. 鱼微核试验筛检水体诱变物的应用与研究 [J]. *水生生物学报*, 2002, 26(1): 74 - 81.
- [16] 周永欣, 成水平, 胡炜, 等. 稀有鮡鲫——一种新的鱼类毒性试验材料 [J]. *动物学研究*, 1995, 16(1): 59 - 63.
- [17] 杨丽华, 张小艳, 李伟, 等. 氯化可的松对雄性稀有鮡鲫肾上腺激素调节功能基因的干扰作用 [J]. *环境科学学报*, 2009, 29(4): 802 - 807.
- [18] 张小艳, 查金苗, 王子健, 等. 稀有鮡鲫 Dmrt 基因家族 13 个成员克隆与序列分析 [J]. *生态毒理学报*, 2007, 2(1): 88 - 93.
- [19] 钟雪萍, 徐盈, 梁勇, 等. 稀有鮡鲫生命早期的己烯雌酚暴露对生长发育与繁殖的影响 [J]. *水生生物学报*, 2005, 29(6): 667 - 672.
- [20] ZHA Jinmiao, SUN Liwei, ZHOU Yiqi, et al. Assessment of 17 alpha-ethinylestradiol effects and underlying mechanisms in a continuous, multigeneration exposure of the Chinese rare minnow (*Gobiocypris rarus*) [J]. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2008, 226(3): 298 - 308.
- [21] ZHA Jinmiao, WANG Zijian, WANG Ning, et al. Histological alternation and vitellogenin induction in adult rare minnow (*Gobiocypris rarus*) after exposure to ethinylestradiol and nonylphenol [J]. *Chemosphere*, 2007, 66(3): 488 - 495.
- [22] LUO Jianping, MA Mei, LIU Cao, et al. Assessing Bioaccumulation and Bioavailability of PAHs and OCPs in Water Using Sediment, Rare Minnow and Biomimetic Sampler [J]. *Environmental Science*, 2009, 30(2): 610 - 615.
- [23] 余瑞兰, 郭叶华. 水环境致突变物生物监测的研究——鱼类外周血红细胞微核检测敏感性比较 [J]. *中国实验动物学杂志*, 1994, 4(4): 236 - 238.
- [24] 王利, 汪开毓. 硫酸铜诱发鲤鱼红细胞微核和核异常的研究 [J]. *湖北农业科学*, 2008, 47(11): 1336 - 1337, 1349.
- [25] Al-Sabti K. Clastogenic effects of five carcinogenic/mutagenic chemicals on the cells of the common carp *Cyprinus carpio* L [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1986, 85: 5 - 9.
- [26] Al-Sabti K. Comparative micronucleated erythrocyte cell induction in three cyprinids by five carcinogenic/mutagenic chemicals [J]. *Cytobios*, 1986, 47: 147 - 154.
- [27] Metcalfe C D. Induction of micronuclei and nuclear abnormalities in the erythrocytes of mudminnows (*Umbra limi*) and brown bullheads (*Ictalurus nebulosus*) [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1988, 40: 489 - 495.
- [28] Schultz N, Norrgren L, Grawe J, et al. Micronuclei frequency in circulating erythrocytes from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) subjected to radiation, an image analysis and flow cytometric study [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1993, 105: 207 - 211.
- [29] Yadav K K, Trivedi S P. Sublethal exposure of heavy metals induces micronuclei in fish, *Channa punctata* [J]. *Chemosphere*, 2009, 77(11): 1495 - 1500.
- [30] Kissling G E, Dertinger S D, Hayashi M, et al. Sensitivity of the erythrocyte micronucleus assay: Dependence on number of cells scored and inter-animal variability [J]. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2007, 634(1/2): 235 - 240.
- [31] Hayashi M, Macgregor J T, Gatehouse D G, et al. In vivo erythrocyte micronucleus assay-III. Validation and regulatory acceptance of automated scoring and the use of rat peripheral blood reticulocytes, with discussion of non-hematopoietic target cells and a single dose-level limit test [J]. *Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2007, 627(1): 10 - 30.
- [32] *Oecd Test 474, Guideline for the Testing of Chemicals. Mammalian Erythrocyte Micronucleus Test* [S].
- [33] *FDA Redbook 2000, Guidance for Industry and Other*

天津滨海新区大气预警模型体系的构建

李 玉, 张淑娜 (天津市环境监测中心, 天津 300191)

摘要: 通过对多污染物种、多空间尺度范围、多时间尺度时效的动力-化学耦合模式预报预警系统的合理构建, 通过科学的后期数据处理模块, 实现对大气环境质量的预警预报, 以期为天津滨海新区环境管理与监督提供科学的依据。

关键词: 天津滨海新区; 大气预警; 模型

中图分类号: X84 文献标识码: A 文章编号: 1002-6002(2012)03-0126-04

The Construction of Atmospheric Pre-alarm Model System in Tianjin Binhai Area

LI Yu, et al. (Tianjin Environmental Monitoring centre, Tianjin 300191, China)

Abstract: This article discussed the reasonable construction of Forecast and Pre-alarm System with dynamic-chemistry coupling model, which formed by three aspects, multi-polluting species, multi-spacial range and multi-temporal effectiveness. The forecast and alarm of atmospheric quality was carried out via scientific data process module at the later stage, and supply scientific support for environmental management and supervision in Tianjin Binhai New Area.

Key words: Tianjin Binhai New Area; Atmospheric forewarning; Model

天津滨海新区已经成为继深圳经济特区、上海浦东新区之后的区域经济增长第三极。为了确保在天津滨海新区经济高速增长的同时, 该地域大气环境质量能够得到有效地监管和控制, 本文探讨了滨海新区预警体系的构建, 以期对环境管

理、预测和预警提供科学依据。

1 天津滨海新区概况

天津滨海新区地处华北平原北部, 位于山东

收稿日期: 2010-09-05; 修订日期: 2010-12-23

作者简介: 李 玉(1973-) 男, 天津人, 本科, 工程师。

- Stakeholders Toxicological Principles for Safety Assessment of Food Ingredients [S].
- [34] EPA Health Effects Test Guidelines OPPTS 870. 5395, In Vivo Mammalian Cytogenetics Tests: Erythrocyte Micronucleus Assay [S].
- [35] Udroui I. The micronucleus test in piscine erythrocytes [J]. Aquatic Toxicology, 2006, 79(2): 201-204.
- [36] Al-Sabti K, Metcalfe C D. Fish Micronuclei for Assessing Genotoxicity in Water [J]. Mutation Research-Genetic Toxicology, 1995, 343(2/3): 121-135.
- [37] Powers D A. Fish as model systems [J]. Science, 1989, 246: 352-358.
- [38] Grisolia C K, Cordeiro C M T. Variability in micronucleus induction with different mutagens applied to several species of fish [J]. Genetics and Molecular Biology, 2000, 23(1): 235-239.
- [39] Cavas T, Eegene-Gozukara S. Micronuclei, nuclear lesions and interphase silver-stained nucleolar organizer regions (AgNORs) as cyto-genotoxicity indicators in Oreochromis niloticus exposed to textile mill effluent [J]. Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 2003, 538(1/2): 81-91.
- [40] Ergene S, Cavas T, Celiik A, et al. Evaluation of river water genotoxicity using the piscine micronucleus test [J]. Environmental and Molecular Mutagenesis, 2007, 48(6): 421-429.
- [41] 万斌. 生态毒理学中生物标志物研究进展 [J]. 国外医学卫生学分册, 2000, 27(2): 110-114.
- [42] 朱毅, 胡小玲. 重金属对鱼类毒性效应研究进展 [J]. 水产养殖, 1998(2): 22-23.
- [43] 刘清, 王子健, 汤鸿霄. 重金属形态与生物毒性及生物有效性关系的研究进展 [J]. 环境科学, 1996, 17(1): 89-92.
- [44] CSGMT. Guidelines for testing of chemicals. Protocol recommended by the CSGMT/JEMS, MMS for the short-term mouse peripheral blood micronucleus test [J]. Mutagenesis, 1995, 10: 153-159.