

第七章 生物监测

- 第一节 生物污染监测
- 第二节 生态监测
- 第三节 生物毒性试验



成都理工大学环境与土木工程学院

程温莹

概述

- 一、生物监测的特点
- 二、生物监测的方法
 - 以生物体为监测对象：指对生物体本身（如数量、所受污染因素程度或进入体内的化学污染物的数量等）进行监测。
 - 以生物体为监测手段：是利用生命系统及其相互关系的反应做“仪器”进行环境监测。
- 三、生物监测的内容
 - 目前生物监测工作主要有以下几个方面：生物群落监测法、生物残毒监测、细菌学监测、急性毒性试验和致突变物监测等。

2

第一节 生物污染监测

- 一、污染物在生物体内的分布
- （一）污染物在植物体内的分布
- 若从土和水体中吸收污染物的植物，一般分布规律（在体内的残留量顺序）是：根>茎>叶>穗>壳>种子。
- 如植物从大气中吸收污染物后，在植物体内的残留量常以叶部分布最多。
- 作物的种类不同，对污染物质的吸收残留量分布也有不符合上述规律的。
- 残留分布情况与污染物质的性质有关。

3

（二）污染物在动物体内的分布

- 能溶解于体液的物质，在体内分布比较均匀。
- 三价和四价阳离子，主要蓄积于肝或其他网状内皮系统。
- 与骨骼亲和性较强的物质，在骨骼中含量较高。
- 对某一种器官具有特殊亲和性的物质，则在该种器官中蓄积较多。
- 脂溶性物质，易蓄积于动物体内的脂肪中。

一些金属、类金属在动物及人体内的主要分布部位

元 素	主要分布部位	元 素	主要分布部位
镉	肾、肝、主动脉	铬	肝、肺、皮肤
铅	骨、主动脉等	钴	肝、肾肌
汞	肾、脂肪、毛发	锌	肉、肝、肾心、肠、肺
铍、钡	骨、肺	镧	肺
铈	骨、肝、毛发	铝、钛	体脂
砷	肝、脾、肾、头发	钒	随钾分布
铜	肝、骨、肌肉	铈	肌肉、肝
钼	肝	铈	

5

二、生物样品的采集和制备

（一）植物样品的采集

1、布点

原则：采集的植物样品要具有代表性、典型性和适时性。

布点方法：

2、采样

（1）采集样品的工具

（2）采样方法：在每个采样小区内的采样点上，采集5-10处的植株混合组成一个代表样品。

- 采集果树样品
- 采集根系部位样品
- 采集水生植物样品
- 进行新鲜样分析的样品

（3）采样量

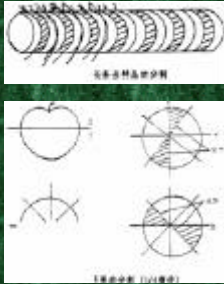
（4）记录

6

(二) 植物样品的制备

1、鲜样的制备：测定植物内易挥发、转化或降解的污染物质，如酚、氰、亚硝酸盐等；测定营养成分如维生素、氨基酸、糖、植物碱等，以及多汁的瓜、果、蔬菜样品，应使用新鲜样品。鲜样的制备方法如下：

- 清洗
- 切碎、混匀，最后，对各个平均样品加工处理，制成分析样品。不同的样品方法不同。



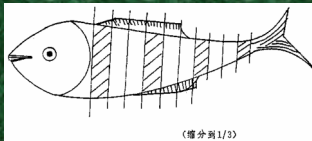
2、干样的制备

- 分析植物中稳定的污染物，如某些金属元素和非金属元素、有机农药等，一般用风干样品，这种样品的制备方法如下：
- 植物鲜样 → 洗净 → 风干 → 去除灰尘、杂物、剪碎 → 用磨碎机磨碎过筛（通过1mm筛孔）→ 磨口玻璃瓶或聚乙烯广口瓶存放

8

二、动物样品的采集和制备

- 尿液
- 血液
- 毛发和指甲
- 组织和脏器等
- 水产品



9

三、生物样品的预处理

(一) 消解与灰化

1、湿法消解法

- 常用消解体系
- 常用防起泡剂（表6-8）

2、灰化法

- 高温灰化法
- 低温灰化法

10

(二) 提取和浓缩

1、提取方法

- 振荡浸取法
- 组织捣碎法
- 脂肪提取器法
- 球磨提取法

2、分离与富集方法

- 常用液-液萃取法、层析法、磺化法和皂化法、冷冻法、气提法等。

11

四、污染物的测定方法

- 生物样品经过预处理后，可按水质的分析方法测定。
- 分析结果的表示
样品中污染物质的分析结果常以干重为基础表示($\text{mg} / \text{kg} \cdot \text{干重}$)，对含水量高的蔬菜、水果等，以鲜重表示计算结果为好。

12

第二节 生态监测

- 一、大气污染植物监测方法
- 二、水质污染生物群落监测
- 三、土壤污染生物监测

13

一、大气污染植物监测方法

(一) 大气污染指示植物的选择

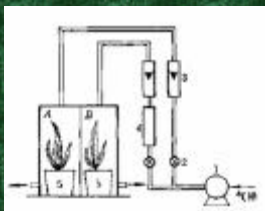
- **指示生物**：所谓指示生物(indicator organism)，就是对环境中某些物质，包括污染物的作用或环境条件的改变能较敏感和快速地产生明显反应的生物，通过其所作的反应可了解环境的现状和变化。利用指示生物来监测环境状况的方法，称为**指示生物法**。
- **指示植物**：对大气污染反应敏感并被用于监测和评价大气污染状况的植物称为大气污染指示植物，包括高等植物和低等植物。**常见污染物的指示植物**
- **选择原则**：指示植物在受到污染物的侵袭后，应有明显地显示，包括明显的伤害症状、生长和形态的变化、果实或种子的变化及生产力或产量的变化等。

14

(二) 利用指示植物监测大气污染的方法

1、盆栽植物监测法

- (1) **现场监测法** 先将指示植物在没有污染的环境中盆栽培植，待生长到适宜大小时，移至监测点，观测它们受害症状和程度。
- (2) **人工熏气法**
- **植物指示器**
 1. 气泵；
 2. 针形阀；
 3. 流量计；
 4. 活性炭净化器；
 5. 盆栽指示植物



5

2、现场调查法

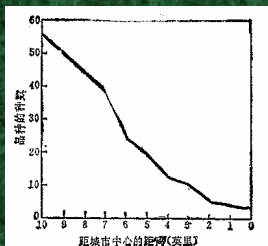
- (1) 植物群落调查法：是分析监测区内植物群落中各种植物受害症状和程度以估测该地区大气污染程度的一种监测方法。

对某化工厂附近植物群落调查的结果

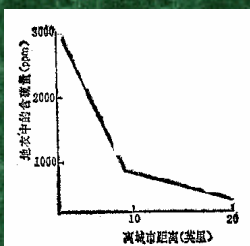
植物名称	受害情况
悬铃木、加拿大白杨	80%或全部叶片受害，甚至脱落
桧柏、丝瓜	叶片有明显大块伤斑，部分植物枯死
向日葵、葱、玉米、菊花、牵牛花	50%左右叶面积受害，叶脉间有点斑
月季、蔷薇、枸杞、香椿、乌柏	30%左右叶面积受害，叶片脉间有轻度点、块伤斑
葡萄、金银花、构树、马齿苋	10%左右叶面积受害，叶片有轻度点状伤斑
广玉兰、大叶黄杨、腊梅	无明显症状

16

(2) 地衣和苔藓调查法



- 地衣品种随着距城市中心的接近而减少



- 英国纽卡斯尔附近生长的地衣含硫量的分析

17

3、污染指数法

- (1) 污染影响指数：

$$IA = \frac{W_0}{W_m}$$

$$IAP = \sum_{i=1}^n \frac{Qf}{10}$$

- (2) 大气清洁度指数：

式中：IAP为大气清洁度；n为监测区指示植物种类数；Q为种的生态指数(即各测点共存种均值)；f为种的优势度(即目测盖度及频度的综合)。

$$(3) \text{污染量指数法} \quad IPC = C_m / C_0$$

- 根据IPO值可对各监测点空气污染程度分级：

- I级：清洁大气(<1.20)
- II级：轻度污染(1.21~2.0)
- III级：中度污染(2.01~3.0)
- IV级：严重污染(>3.0)

18

二、水质污染生物群落监测

(一) 指示生物

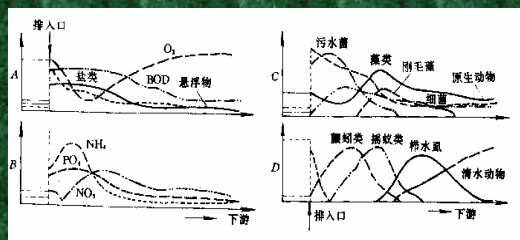
- 生物群落中生活着各种水生生物，如浮游生物、着生物、底栖动物、鱼类和细菌等。由于它们的群落结构、种类和数量的变化能反映水质污染状况，故称之为指示生物。

(二) 监测方法

- 1、污水生物系统法
- 2、生物指数法

19

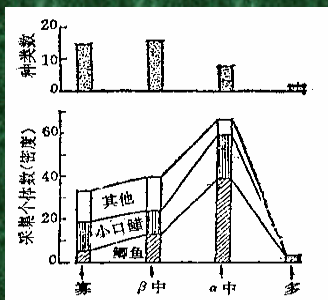
污水排进河流后有机污染物浓度变化情况沿河生态模型变化



A, B. 物理化学的变化, C. 微生物的变化, D. 大型动物的变化

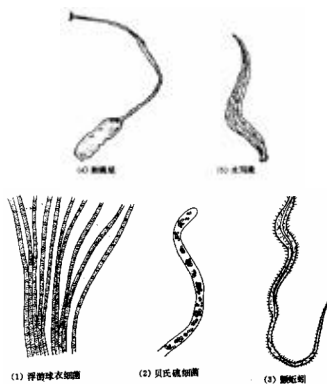
20

(1) 用于河流污染、尤其是有机污染的一种监测方法

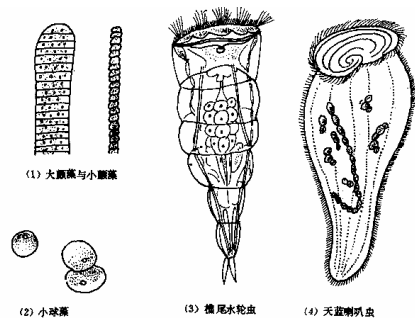


21

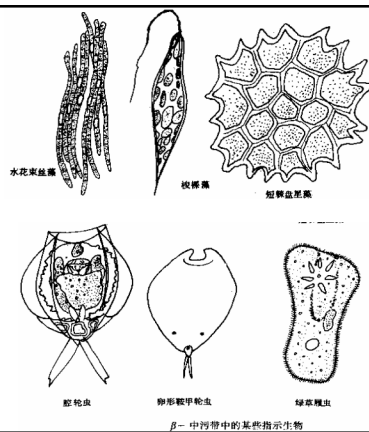
多污带指示生物



—中污带中的某些生物

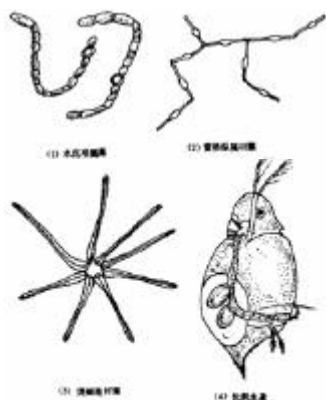


—中污带中的某些生物



β-中污带中的某些指示生物

寡污带指示生物



(2) 用群落中优势种群来划分污染带的方法

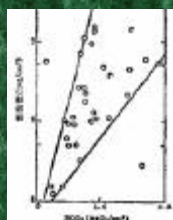
- 粪生带 (Coprozoic zone)
- 甲型多污带 (a-Polysaprobic zone)
- 乙型多污带 (B-Polysaprobic zone)
- 丙型多污带 (T-Polysaprobic zone)
- 甲型中污带 (Mesosaprobic Zone)
- 乙型中污带 (Mesosaprobic Zone)
- 丙型中污带 (Mesosaprobic Zone)
- 寡污带 (Oligosaprobic zone)
- 清水带 (Kacharobic zone)

26

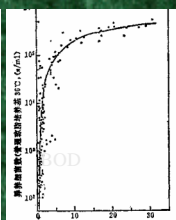
(3) 利用细菌在污染水体中的指示作用

基本方法：

- 调查种类组成、优势种以及依赖于环境特性而存在的特定细菌及其数量；
- 研究细菌群落的现存量、生产力同环境的关系。



底泥的BOD与异养细菌活菌数的关系



河水BOD和异养细菌数量的关系

27

不同类型湖沼异养细菌的活苗数

湖沼类型	活苗数 (个/ml)
贫营养湖	$<10^2$
富营养湖	10^4-10^5
养鱼池	10^5-10^6
酸性营养湖	10^2
腐植营养湖	10^2

28

2、生物指数 (biotic index) 法

(1) 贝克 (Beek) 指数

$$BI = 2nA + nB$$

- 式中：A为敏感种类，B为耐污种类，n为底栖大型无脊椎动物的种类。

BI值	0	1-6	10-40
污染状况	严重污染区域	中等有机物污染区域	清洁水区

29

(2) 沙农-威尔姆 (Shannon-Wilhm) 指数

$$\bar{d} = -\sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

- 式中：d—种类多样性指数；
- N—单位面积样品中收集到的各类动物的总个数；
- n_i —单位面积样品中第i种动物的个数；
- s—收集到的动物种类数。

$$(3) \text{ 硅藻指数} = \frac{2A + B - 2C}{A + B - c} \times 100\%$$

- 式中：A—不耐污染的种类数；
- B—对有机物耐污力强的种类数；
- C—在污染水域内独有的种类数。

30

三、土壤污染生物监测

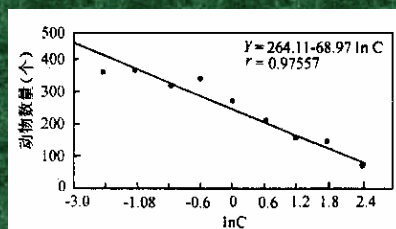
(一) 土壤污染植物监测法

土壤重金属污染监测植物

- Cu: 马齿苋科、唇形科、苔藓科、罂粟科、豆科、莎草科
- Pb: 禾本科
- Zn: 虎耳草科
- Pb、Zn: 豆科、马齿苋科、豆科等

31

(二) 土壤污染动物监测法



- 土壤动物数量与敌敌畏农药浓度的关系 (李忠武, 1999)

32

(三) 土壤污染的微生物监测法

- 通过测定污染物进入土壤系统前后的微生物种类、数量、生长状况、生理生化变化等特征就可监测土壤污染的程度。土壤微生物数量的改变与自身的耐药性有关, 对农药有耐受性的微生物增加了, 而敏感的却减少了, 因此使用农药的结果是使土壤微生物趋于单一化。

33

第三节 生物毒性试验

在以下四个方面有着重要的实用价值:

- 对可能进入环境的化学物质进行毒性的筛选, 为控制剧毒物质的生产和使用提供科学依据;
- 作为监测污染源和环境污染生物学评价的依据;
- 检查有毒物质处理效果, 为制定排放标准提供依据;
- 计算安全浓度的依据, 是制定环境标准的重要的参数。

34

一、毒性试验的动物与试验的类型

(一) 实验动物

(二) 试验的类型

1、急性毒性试验

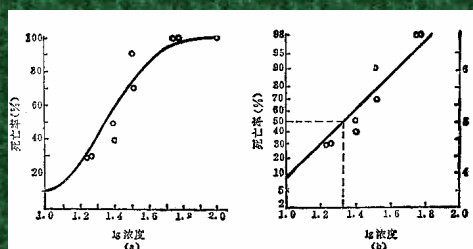
- 指在较短时间(96小时或更短时间)内, 能引起受试动物死亡或剧烈损伤的一种试验方法。
- 特点: 时间短, 变化因子少, 容易试验, 且经济, 所以广泛采用。

35

应用

- 求 LD_{50}

急性毒性试验典型的剂量反应曲线



以百分率表示死亡状况

以概率单位表示死亡状况

计算安全浓度

- 根据急性毒性试验的数据计算安全浓度，常采用下列经验公式：

$$\text{安全浓度} = \frac{24LC_{50} \times 0.3}{(24LC_{50} / 48LC_{50})^3}$$

$$\text{安全浓度} = \frac{48LC_{50} \times 0.3}{(24LC_{50} / 48LC_{50})^2}$$

$$\text{安全浓度} = 24LC_{50} \times 0.1$$

37

2、亚急性毒性试验

- 是介于急性毒性试验和慢性毒性试验之间的试验方法。通常以1/5~1/20 LD₅₀的剂量，连续投毒0.5~3个月，观察在短期内的中毒反应。其目的是了解毒物毒性的积蓄作用和耐受性。

3、慢性毒性试验

- 是指在实验室条件下进行的较低浓度、长时间的中毒试验。其目的是确定对生物无影响的浓度（安全浓度）或最大允许浓度（指在慢性毒性试验中对生物无影响的最高和有影响的最低浓度之间的毒物阈浓度）。
- 最大允许浓度 = LD₅₀ × 应用系数

38

二、毒性试验的方法

（一）吸入毒性试验

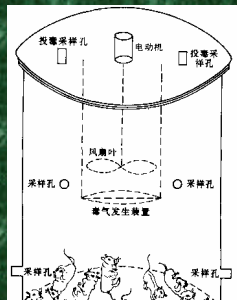
对于气体或挥发性液体，通常是经呼吸道侵入机体而引起中毒。

- 动态染毒法
- 静态染毒法

（二）口服毒性试验

对非气态毒物，可用经消化道染毒方法。

- 饲喂法
- 灌胃法



（三）鱼类毒性实验

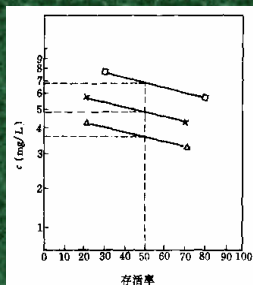
是检测成分复杂的工业废水和废渣浸出液的综合毒性的有效方法。

- 实验鱼的选择和驯养
- 实验准备工作
 - 试验组数
 - 实验液
- 实验步骤
 - 预试验（探索性试验）
 - 实验浓度设计
 - 合理设计实验浓度
 - 另设一对照组

毒物浓度 (mg/L)	每尾鱼数 (尾)	试验组存活数		
		24小时	48小时	96小时
15.0	10	0	0	0
7.5	10	1	0	0
3.75	10	8	2	1
1.875	10	9	7	2
0.9375	10	10	9	5
0.46875	10	10	10	8
对照组	10	10	10	10

（3）毒性判定

- 鱼类毒性实验的 TL_m，是反映毒物或工业废水对鱼类生存影响的重要排标，计算要求必须使实验鱼存活半数以上和半数以下的各浓度。



TL_m的直线内插法

— 24小时存活率，

x—48小时存活率， — 96小时存活率

4、鱼类毒性实验结果的应用

- （1）鱼类毒性实验的重要目的是推导毒物的安全浓度。用 TL_m 推导安全浓度的经验公式：

$$\text{安全浓度} = \frac{48TL_m \times 0.3}{(24TL_m / 48TL_m)^2}$$

$$\text{安全浓度} = 24TL_m \times 0.1$$

- （2）鱼类毒性实验所得安全浓度可为制订该物质在水中最高允许浓度的依据之一，也可作为管理工业废水（成分复杂）排放的一种检定方法。

42