

研究报告

鱼类对重金属及农药的迴避反应研究

姜礼潘 潘炳炎

(国家水产总局太湖水产增殖科学实验基地, 无锡)

在江河、湖泊等天然水域中, 由于受到农药及其它工业废水的污染, 轻则引起鱼类种群的迅速迴避, 重则减少鱼类的栖息密度及切断洄游路线, 甚至可造成鱼类中毒死亡, 严重影响渔业^[1]. 为了了解水域的污染程度, 首先必须了解鱼类对不同农药及其它毒物的迴避力, 我们特选择了敏感性较强的几种淡水鱼类, 分别实验研究十五种常见的农药和重金属的迴避反应, 得出其迴避值, 这就为保护渔业环境, 防止水域污染及制定渔业水质标准提供依据.

材料与 方法

一、试验设备

本试验的迴避装置, 采用 1978 年自行研制^[2], 1981 年加以改进的 PT-2 型鱼类迴避槽. 槽用有机玻璃制成, 结构可分三部分: (一)恒流槽: 由供水(液)源分别用直径 1 公分左右胶管与各恒流槽连接, 其溶液与清水由恒流槽的进水孔流入, 因该槽的排水管直径小于进水管, 故流入的溶液水平迅速上升, 多余的溶液则由内一竖立排水管中溢出, 故可供给稳定流量. 总流量控制在 2500—3000 毫升/分; (二)试验槽部分: 整个试验槽有 10 个环形支槽, 每两个支槽汇成一组, 由一个弧形的带孔档板拦起. 总槽直径为 1.1 公尺, 高度为 18 公分. 每个支槽长度与总槽之长为 1:3 左右. 各支槽进水口内亦设有带孔档板, 使流入槽内的溶液均匀; 各支槽进入的清水与溶液汇合于混合区, 在槽中心

的排水口经下水管道而排出槽外. 在混合区上装环形闸, 可以升降. 试验液的高程则由排出管调节; (三)自控部分: 安装于总槽的下部, 由时间继电器与电磁衔接装置组成, 并由线路联接环型闸, 可定时控制闸的降落(见图 1).

二、试验条件

供试的白鲢、草鱼及非洲鲫鱼平均体长

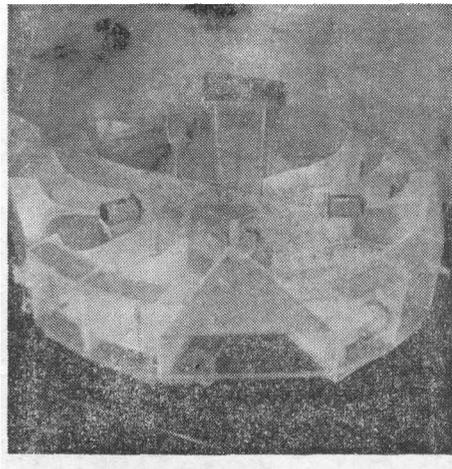
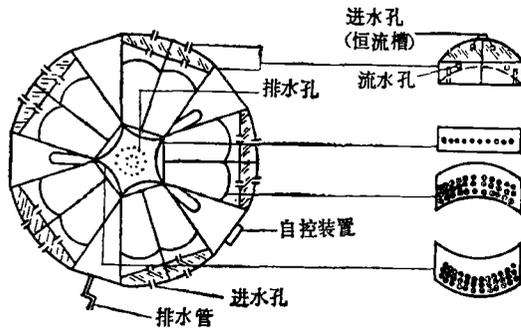


图 1 PT-2 型鱼类迴避槽

分别为 3.1、4.8 及 3.5 公分，平均体重分别为 0.61、0.77 及 0.40 克。试验前选健壮的鱼在室内驯化七天以上。驯养期内每天喂大麦粉及豆饼粉，并更新水以供应充足的氧气维持鱼的正常呼吸。试验时停止喂食，以防饲料影响试液的浓度。

试验用水取自未经氯处理的太湖自来水。水质 pH 6.5—7.5，硬度 0.7—1.55 度，总碱度 0.2—1.35 毫克/升，氯化物 0.75—17.25 毫克/升，水温 21—26°C。

试验十五种毒物。其中金属离子选用分析级的硫酸铜 (CuSO₄)、硝酸银 (AgNO₃)、氯化汞 (HgCl₂)、重铬酸钾 (K₂Cr₂O₇)、硫酸镉 (CdSO₄)、硫酸锌 (ZnSO₄) 及三氧化二砷等七种；农药选用巴丹 (C₇H₁₆Cl·N₃O₂S₂)、贝螺杀 (C₁₃H₁₅Cl₂N₃O₅)、五氯酚钠 (C₆OCl₅Na)、敌百虫 (C₄H₈Cl₃O₄P)、西维因 (C₁₂H₁₁NO₂) 等五种及苯胺 (C₆H₅NH₂)、氨水 (NH₄OH)、苯酚 (C₆H₆O) 三种。

三、试验方法

先作毒性的探索性试验，选用白鲢做出 24、48 小时内全存活与全致死量，然后按等对数间距配制浓度，试验出 *TLm* 值，以此作为配制试液浓度的依据。

试验浓度用稀释法配制于 40 立升以上的搪瓷桶内，并盛同样容器的清水为对照的水源，调节流量，使每组试验槽保持每分钟流量为 500—600 毫升。

试验程序，采用国外 Fava* (1976) 的分期法^[4]与国内常用的计数法两种。

(一) Fava 法：把试验分成三期，第一驯化期，放鱼一尾于每组槽内驯养 0.5—1 小时，然后放水 10 分钟；第二对照期，继续放清水 10 分钟，记录鱼进入槽内次数与停留时间；第三试验期，同时放入清水与试液 10 分钟，作相同记录。每浓度一般重复试验八至十二次，最低限度不少于四次。

(二) 计数法：试验前放鱼 10 尾于每组槽内驯化 0.5—1 小时，然后同时放入清水与

试液 20 分钟，记录鱼在清水槽与试液槽内鱼的游动状况及尾数。

四、实验结果的数据处理

采用 Fava 法试验的，按以下公式计算结果。

$$\text{时间回避指数} = 100(1 - T_i/T_c)$$

$$\text{进入次数回避指数} = 100(1 - E_i/E_c)$$

T_i——试验期内鱼在试验槽内停留时间，除在试验期内鱼于两个槽内的总停留时间；

T_c——在对照期内，鱼于槽内停留时间，除鱼在两个槽内的总停留时间；

E_i——在试验期内鱼进入试验槽内的次数，除鱼进入两个槽内的总次数；

E_c——在对照期内鱼进入槽内的次数，除鱼进入两个槽内的总次数。

采用计数法试验的，则按以下公式计算结果。

$$\text{回避率} = \frac{E - A}{T} \times 100$$

E——进入清水槽内鱼的尾数；

A——进入溶液槽内鱼的尾数；

T——进入两个槽内鱼的总尾数。

由上两种计算结果表明，当鱼完全进入清水槽时，回避指数为 100；鱼完全进入试液时，回避指数为 -100；鱼既不进入清水又不进入试液时，回避指数则为 0。

由求得时间与进入次数的回避指数，并分别计算平均值 \bar{x} 及标准差 *S*；再与相应浓度之间关系，应用线性回归作出回归方程，推导回避阈限浓度、平均回避浓度及极限回避浓度。

结 果

一、急性中毒试验结果

由试验表明，金属离子银、汞、铜；农药巴

* 由美国马里兰大学内陆环境实验室介绍应用。

丹、五氯酚钠、贝螺杀的毒性为最强；其次为锌、氨水、镉、砷、西维因；再次为苯酚、铬、苯胺及敌百虫（详见表 1）。

表 1 15 种重金属、农药等毒物对白鲢急性中毒的试验结果 单位：毫克/升

毒物品种	平均忍受限 (TLm)		
	24 小时	48 小时	96 小时
硫酸铜	0.32	0.23	0.16
硝酸银	0.31	0.25	0.12
氯化汞	0.32	0.30	0.24
重铬酸钾	81.20	64.4	60.25
硫酸镉	4.15	3.50	2.77
硫酸锌	3.10	2.0	2.0
三氧化二砷	17.24	12.75	11.46
巴丹	0.36	0.36	0.35
贝螺杀	0.7	0.70	0.20
五氯酚钠	0.4	0.21	0.20
敌百虫	306.18	79.87	76.91
西维因	30.60	30.60	9.50
苯 胺	300	250	200
氨 水	7.22	6.60	6.50
苯 酚	31.25	22.50	16.40

二、对敌百虫等五种毒物回避反应的试验结果

白鲢对敌百虫等五种毒物的回避反应，看来对铜、汞、银为最敏感。如铜浓度 0.30 毫克/升，时间回避指数与进入次数回避指数分别达到 50.20 ± 31.81 与 23 ± 22.31 ，铜浓度上升 0.50 毫克/升时，时间回避指数与进入次数回避指数分别增加至 85.74 ± 12.06 与 56.28 ± 12.69 ，表示回避非常明显。由 t 检验， $p > 0.05$ ，表明显著性差异甚大；汞由 0.30 毫克/升浓度上升到 0.50 毫克/升，其时间回避指数与进入次数回避指数分别增长五倍至几十倍以上。由 t 检验， $p > 0.05$ ，表示回避反应亦甚显著。但对敌百虫、西维因的

反应则较弱，当它们浓度上升到 4.50 与 5.0 毫克/升时，还未见明显的辨别力（见表 2、3）。这与急性中毒试验的结果趋势是一致的。

由所得五种毒物的回避指数，分别同相应浓度之间应用线性回归表示存在明显的回归关系。例如：敌百虫在 9.90、5.4、4.5 及 0.9 毫克/升的四种浓度，与平均时间回避指数、进入次数回避指数的关系式分别为 ① $Y = -11.41 + 4.87x$ 与 ② $Y = -23.68 + 5.55x$ ；相关系数 $r = 0.955$ 与 0.930 。由此看出， r 接近于 1，表明回归线性关系显著。它们的时间、进入次数的平均回避指数与浓度之间的线性关系由图 2、3 可见。于是，依图 2、3 中方程式，可推导出它们的回避阈限浓度、平均回避浓度及极限回避浓度，见表 4。

三、对铬、镉等十种毒物回避反应的试验结果

白鲢、草鱼、非洲鲫鱼分别对铬、镉、巴丹

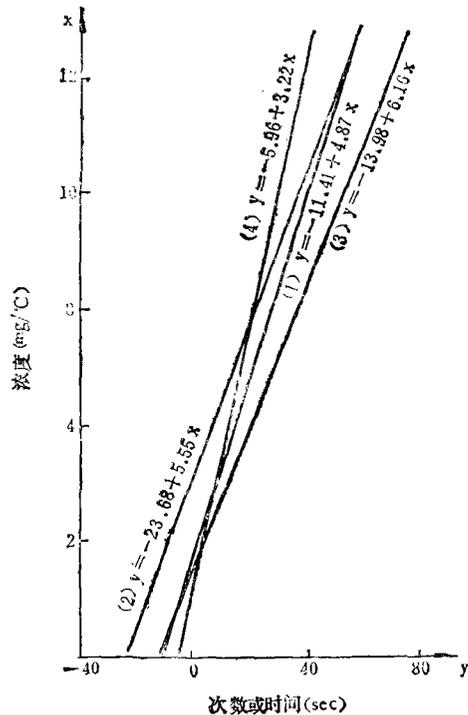


图 2 对敌百虫、西维因的时间与进入次数指数-浓度之间线性关系

表 2 白鲢对敌百虫等毒物的迴避时间反应

毒物品种	试验浓度 (毫克/升)	对 照 期 (停留时间秒)		试 验 期 (停留时间秒)		时间指数
		清 水	溶 液	清 水	溶 液	
敌百虫	9.90	196±37.27	240±63.19	286.3±115.99	167±121.15	32.88±27.49
	5.40	149.7±63.21	168±65.98	135±13.02	44.5±24.82	22.8±30.78
	4.50	121.7±63.2	134.2±12.26	59.3±17.73	39.17±21.34	10.47±13.66
	0.90	64.25±61.14	202.75±105.24	39±54.08	97.25±44.56	-10.98±5.27
西维因	10.00	99±80.73	121.13±74.15	242.63±136.66	184.88±137.31	40.19±34.26
	5.00	202±30.81	195.75±62.22	201.75±73.39	72±36.57	39.13±23.02
	2.50	83.5±60.01	215.25±74.60	75.25±51.51	254.5±19.55	-13.48±34.76
硝酸银	0.5	83±35.96	91.25±67.86	307.75±260.11	95±152.00	69.88±27.33
	0.25	107.8±10.4	264.4±169.72	120.4±65.45	84±54.43	37.88±9.00
	0.05	84±29.74	157.67±90.71	73.33±37.27	181.5±120.72	-32.08±26.56
氯化汞	0.50	171.5±38.30	151.75±225.82	215.75±150.36	75.25±104.44	100±0
	0.30	186.5±71.85	149.25±53.18	181.75±97.45	94.75±45.06	19.98±32.44
	0.05	144±72.13	238.2±99.34	146.4±93.80	280±117.41	-4.86±4.10
硫酸铜	0.50	142.40±123.87	164±83.36	304.4±153.07	33.4±19.36	85.74±12.06
	0.30	210.75±126.37	95±42.72	322.25±131.42	75.5±23.77	50.20±31.81
	0.05	220.25±55.00	236±47.29	239.25±77.54	250.25±99.07	-3.65±23.85

表 3 白鲢对敌百虫等毒物的迴避次数反应

毒物品种	试验浓度 (毫克/升)	对 照 期 (进入次数)		试 验 期 (进入次数)		进入次数指数
		清 水	溶 液	清 水	溶 液	
敌百虫	9.90	4.2±0.897	4.83±1.95	4.3±1.37	3.3±1.79	30.45±20.74
	5.40	3.83±0.687	3.2±0.897	4±1.29	2.3±0.94	15.95±11.30
	4.50	6.0±3.00	5.17±2.54	6.2±2.11	6±2.37	-8.77±3.9
	0.90	3.75±1.78	6.0±1.22	1.75±1.78	6±6.36	-17.49±25.00
西维因	10.00	3.75±2.11	5.88±3.76	5.63±4.82	6.63±4.09	21.19±39.52
	5.00	4.25±2.05	6.25±1.48	6±4.3	5.25±2.86	25.3±22.02
	2.50	2.25±1.48	3.5±0.50	3.25±2.16	7±1.87	-8±27.39
硝酸银	0.5	2.25±1.09	1.5±0.87	6.25±5.67	2.5±3.20	43.54±35.82
	0.25	7±2.53	3±1.55	5.8±1.60	3.6±1.17	-33.76±39.29
	0.05	7.5±3.10	7.33±3.45	6.33±3.40	7±3.46	-17.2±32.23
氯化汞	0.50	1.5±1.66	1±1.00	2.5±1.12	4±4.18	100±0
	0.30	8.5±7.12	6.25±2.16	6.25±2.59	3.75±1.48	3.53±28.91
	0.05	9±1.26	7.8±2.64	8.3±1.37	8±3.90	-10.04±31.29
硫酸铜	0.50	2.8±2.40	4±3.10	8±1.09	3.6±1.96	56.28±12.69
	0.30	2.75±2.77	2.75±2.05	4.5±1.50	4.25±1.09	23±22.31
	0.05	7±1.58	5.5±1.12	6±1.87	6.25±2.86	11.83±12.63

等 10 种毒物的试验表明,对巴丹为最敏感,浓度 0.5 毫克/升迴避率为 100%,降至 0.1 毫克/升迴避尚显著,迴避率为 75—85%,其

最低的迴避浓度值在 0.1—0.05 毫克/升之间;对五氯酚钠、贝螺杀的敏感性亦较强,迴避阈限均在 0.75—0.50 毫克/升之间;硫酸

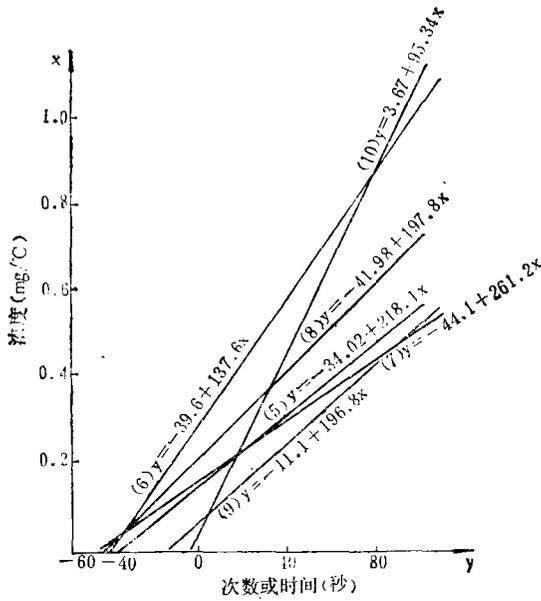


图 3 对硝酸银、氯化汞、硫酸铜的时间与进入次数指数-浓度之间线性关系
 锌、三氧化二砷、氨则次之；而对苯酚和铬两

表 4 白鲢对敌百虫等 5 种毒物的回避浓度值

毒物品种	回避值(毫克/升)		
	阈限浓度	平均回避浓度	极限回避浓度
敌百虫	2.40	12.20	22.2
西维因	1.10	8.10	18.8
硝酸银	0.017	0.43	0.62
氯化汞	0.018	0.40	0.62
硫酸铜	0.07	0.35	0.54

注：本表依时间回避指数求得
 种却例外，当浓度升高至 25 毫克/升与 50 毫克/升，三种鱼类仍未见明显的回避反应，见表 5。

讨 论

鱼类回避试验，是检测水污染的有效方法之一。早在 1947 年，Jones 就设计一种管道型的回避装置，用于检测铜、锌对鱼类的影

表 5 白鲢、草鱼、非洲鲫鱼对 10 种毒物回避反应的试验结果

毒物品种	试验浓度(毫克/升)	回避率(%)			毒物品种	试验浓度(毫克/升)	回避率(%)		
		白鲢	草鱼	非洲鲫鱼			白鲢	草鱼	非洲鲫鱼
重铬酸钾	100	50	-30	-33	贝螺杀	1	80	80	70
	50	11.4	-41	-53		0.75	40	40	40
	20	-42.8	-20	-62		0.5	-60	-40	-50
硫酸铜	20	100	25	25	苯胺	5	100	75	80
	15	93.3	91	90		1	42.8	20.1	26.3
	1	0	-18.1	-17.6		0.5	-100	-20	-30
硫酸锌	2	100	90	91	五氯酚钠	1	100	100	100
	1	60	33	33		0.8	53.3	60	50
	0.5	-33.3	-30	0		0.5	-100	-40	-60
三氧化二砷	20	75	70	65	氨水	1.5	77.7	45	47.4
	15	66.6	55	60		0.75	42.8	41	40.1
	10	33.3	10	20		0.51	-33	-25	-30
巴丹	0.5	100	100	100	苯酚	25	-100	37	36.8
	0.1	85	75	80		10	-60	0	0
	0.05	-25	-15	0		5	14.2	13	18.9

响; 1969年 Hansen、1974年 Meldrim 及 1980年 Hose 等人均曾设计过不同类型的鱼类回避装置, 用于检测农药及其它废水对鱼类的影响。1977年, 我们设计一种 PT 型鱼类回避槽, 1981年加以改进定为 PT-2 型鱼类回避槽, 并经实验证明具有结构简单、测试灵敏度高、操作方便等特点, 达到各项实验指标的要求。

从有关资料报道: 鱼类对某些金属离子及农药具有很高的鉴别力。1976年美国学者 Folmar, 曾利用虹鳟苗能检测水中硫酸铜浓度低至 0.001 毫克/升^[5-7]。据我们试验结果, 白鲢对铜的最低鉴别力为 0.07 毫克/升, 草鱼、非洲鲫鱼对铜的鉴别力稍差, 分别为 0.08 毫克/升与 0.1 毫克/升。看来, 它们鉴别力随着鱼的品种不同而异。

但应当指出: 随着毒物种类不同, 其反应则有显著的差异。例如: 一种条鱼 (sheepshead minnows) 对滴滴涕及 2, 4-滴两种农药的回避值为其半致死剂量以下, 而对马拉硫磷及西维因两种则无反应 (Hansen 1969)^[8]。从本试验结果也不难看出, 白鲢对巴丹、贝螺杀、五氯酚钠的反应敏感, 它们的回避阈限均在 0.8 毫克/升以下, 对铬、砷的分辨力较差, 其回避阈限均大于 20 毫克/升。但是, 对苯酚却几乎未见回避反应, 这与 Jones(1964)、Sprague、Drur(1969) 及 Statt^[9,10] 等(1979)研究结果是一致的。

鱼类对重金属混合物的反应, 看来往往比它们单一的成分具有更大的回避效应。如我们用铜、锌混合液, 比单一相同浓度的回避率几乎增加一倍。美国学者 Charles (1971) 也曾用鲑鱼作试验, 表明对铜、锌的回避阈限分别为 2.3 与 55 微克/升, 而混合液的回避阈限, 铜下降为 0.42 微克/升, 锌下降为 6.1 微克/升, 有明显的协同作用。

鱼类对氨的敏感性也较高, 我们的试验结果表明, 白鲢、草鱼、非洲鲫鱼对氨水浓度低至 0.75 毫克/升, 仍见明显的趋避反应, 尤以鳊鱼为明显。但据美国学者 Fava 等(1976)利用黑鼻鱼 (blacknose dace) 对氨氮试验表明, 水中浓度高至 31 毫克/升时, 其时间回避指数与进入次数回避指数分别为 15.2 ± 14.5 与 11.3 ± 0.9 , 反应不明显。这可能与水中存在氨的形式——离子铵 (NH_4^+)、非离子氨 (NH_3) 以及 pH 值、水温等因子均有直接的关系。

利用时间回避指数与进入次数回避指数计算回避值, 在国外还有种种看法。Jones (1956)、Whitmore 等 (1960) 及 Waxman 等 (1973) 认为, 时间回避指数与进入次数回避指数两种的计算法均具有同等价值; Sprague (1968)、Drury (1969) 及 Meldrim 等 (1974) 则认为用次数指数的计算法没有实用价值。他们认为鱼类进入清水和试液的次数常常是相等的, 而反映在停留时间上仍有明显差异, 所以他们建议采用时间指数。从本试验结果 (见表 2、3) 表明, 后者是正确的。

鱼类对污染物的回避行为表现有多种方式。一为反应迅速, 如对银、汞、巴丹等, 较少见有迂回游动; 另一种为通过污染区与非污染区之间反复的接触, 从接触中迅速获得回避的经验。另外也有不引起回避的毒物, 如苯酚, 这就极易造成鱼类的急性中毒死亡, 这对当今的渔业生产, 将构成重大威胁。

鱼类对金属离子的回避反应, Jones^[7] 曾认为以铅最敏感, 汞、锌次之, 再之为铜, 这是利用刺鱼试验的结果。从本试验看来, 对金属离子最敏感的为银、汞、铜, 其次为锌、镉, 再次为砷、铬; 对农药等毒物的反应次序为巴丹、贝螺杀、五氯酚钠、氨、苯胺、西维因、敌百虫及苯酚。

参 考 文 献

- [1] 姜礼燧, 动物学杂志, 3, 39 (1978).
 [2] 姜礼燧, 浙江化工, 1, 70—75 (1978).
 [3] 姜礼燧, 环境污染与防治, 2, 38 (1980).
 [4] Fava, A. et al. *Transaction of the American Fisheries Society*. 105(3), 361—502 (1976).
 [5] Wilber, C. G., *The Biological Aspects of Water Pollution*, pp. 61—62, Springfield, Illinois, 1971.
 [6] Hose, J. E. et al., *Bulletin of Environmental*

- Contamination and Toxicology*, 25(6), 929—935 (1980).
 [7] Jones, J. R. *Fish and River Pollution*. pp. 66—81, Butterworths, London, 1964.
 [8] Polmar, L. C., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 19(3), 312—318 (1978).
 [9] Sprague, J. B., *J. Water Pollution Control*, 36, 990—1004 (1964).
 [10] Stott, B. et al., *J. Fish Biol.*, 14, 135—146 (1979).

张士灌区镉、铅等重金属迁移 分布规律及其治理途径

张学询 吴燕玉 陈 涛 孔庆新 王连平 宋胜焕

(中国科学院林业土壤研究所)

张士灌区位于沈阳市西郊, 为水稻种植区, 污灌面积 42,000 亩, 污灌历史已有 15—25 年之久, 镉等重金属在土壤中累积使作物遭到不同程度的污染。

灌渠全长 12 公里, 与市内卫工明渠相接, 流量为 3.4—4.0 立方米/秒。在 5—9 月的生长季节, 配合浑河水 1.0—2.0 立方米/秒, 由灌渠通水灌溉, 秋季则排入细河, 其灌溉水质中重金属含量如表 1。

表 1 张士灌区灌溉水质重金属含量 单位: ppm

项目 含量	pH	镉	铅	铜	锌
平均含量	6.3	0.037	0.119	0.19	2.5
灌溉水质标准	5.5—8.0	0.005	0.1	0.1	3.0

据 1977—79 年对水质重金属的测定, 其变化范围, 镉为 10—40ppb; 铅 80—300ppb; 铜 0.1—0.5ppm; 锌 1—7ppm, 其中镉在污水中年际变化较大, 有明显下降, 1980 年降至

10ppb 左右, 仅超出灌溉水质标准的一倍。

污灌农田多分布在浑河高河滩地及第一阶地上, 土壤为草甸水稻土, 呈微酸性反应, 耕层有机质含量 1—2%, 在污灌条件下, 重金属易在土壤中累积, 并能增强其活性, 因此, 研究镉、铅等重金属在污灌区迁移分布, 弄清在环境中的相互作用, 才能进行有效的防治与治理措施。

一、重金属在污灌农田土壤中迁移分布

重金属在污灌区的迁移, 主要通过水介质而发生运动, 并在不同地形条件下进行富集与扩散。本区地形平坦, 重金属在区域内的水平分布具有一定的规律性。一般处于灌渠上游、污灌年限长、含量较高。经由同一渠道, 逐年污灌的田块, 大抵以渠首至渠末逐渐减低。在局部地区, 由于土壤沙粘性的差异, 则呈现不均匀的分布。

据 1978—79 年对区域内重金属测定的结果表明, 在本区一闸和二闸地区, 土壤中镉的平均含量达 5—7ppm, 高出对照区的 30 余