

环境调查

污水中潜在污染物的下渗及其对地下水的污染

王英彦 张维红 汤大友

(北京市环境保护科学研究所)

预测人类活动对地下水资源的生物质量的影响,特别是预测地下水中经过长期痕量累积在人群或生物群落的个体中诱发恶性变化导致体细胞突变的潜在生物性质的改变^[1],是制订人类长期接触污染物容许浓度,和管理地下水资源的重要依据之一。本文用蚕豆根尖细胞微核检测指标,配合水化学分析,通过对小区地下水污染的监测,和野外大型转移模式试验的观察,了解北京市东南郊地下水潜在性生物污染程度,污染物迁移,及该指标用于地下水常规监测的可行性。

一、背景材料

调研的小区是北京东南郊区到通县永乐店镇。

(一) 自然条件 永定河和潮白河洪冲积平原,第四纪沉淀物较深厚并多层次,地表颇多坑塘河渠。地下水分为四个含水层组,第一含水层组包括上层滞水和潜水,其下为承压水。

何家坟环保试验场 位于高碑店污水渠流域,

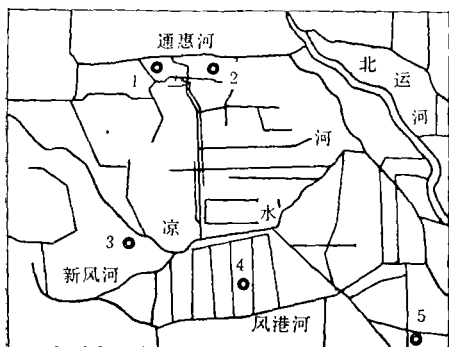


图1 调研小区地形的示意图

1. 高碑店 2. 何家坟环保试验场 3. 旧宫
4. 西田阳 5. 永乐店

面积约 22km²。

(二) 污染背景 本区地表水中 Cl⁻、SO₄²⁻、酚、氰、汞、铬、COD 等不同程度地超过排放标准,特别是有机污染甚为严重*。重污的半壁店等明沟及中污的通惠河中段,和通惠河北干渠流经小区带来环境污染。历时二十多年的污灌带来更重的污染。高碑店一带大量固体污泥,逐年积成另一污染源。

(三) 方法 检测技术阅文献[2,3]。水样自现场采回后,不预处理,低温存放,24 小时内测完。

二、结果和讨论

(一) 污水入渗过程中潜在危害性污染物的迁移

1. 污染物垂直入渗的迁移

(1) 污染物垂直入渗的监测 试验场的污水稳定塘内,设一组不同深度的取样多孔杯(图2和表1)

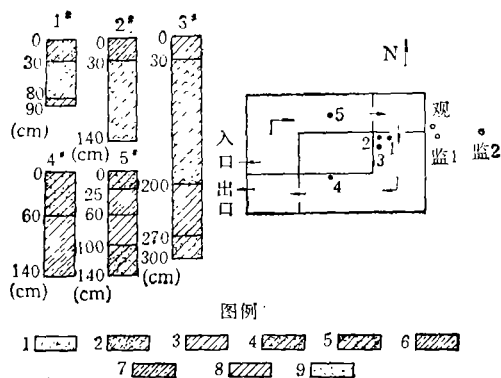


图2 污水稳定塘地层剖面及多孔杯平面布置

* 王健民等 十年科研成果和论文选编(1973—1982),北京市环境保护科学研究所,IV, 43—46 页,1983 年。

表 1 污水垂直入渗的监测

类 别	稳 定 塘			稳 定 塘 多 孔 杯					
编 号				1			2		
时间 (h)	2	4	8	2	4	8	2	4	8
VMN _s %	9.0	12.9	13.4	11.8	13.6	9.4	17.4	18.6	9.4
Cl ⁻ (mg/L)	171			515			432		
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	58			364			297		
总硬度(德度)	17			42.4			39.2		
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	299			306			350		
离子总量 (mg/L)	755			1767			1577		

类 别	稳 定 塘 多 孔 杯									对 照 组 (双蒸水)		
编 号	3			4			5					
时间 (h)	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8
VMN _s %	14.2	21.6	10.0	10.0	14.2	7.6	12.6	19.8	15.2	1.4	3.2	4.4
Cl ⁻ (mg/L)	441			326			347			—		
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	219			159			217			—		
总硬度(德度)	50.9			38.6			33.8			—		
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	492			553			436			—		
离子总量 (mg/L)	1606			1487			1433			—		

由表 1 可知, 设于 2 号塘的多孔杯 1、2 和 3 的渗水经三种时间染毒后, 蚕豆根尖细胞微核率 (VMN%), 高于进污水的 1 号塘的杯 5 和三级处理的 3 号塘的杯 4, 与串联三塘中塘 2 水样的 VMN% 高于塘 1 和塘 3 的次序^[4]相应。塘 2 水样含致突变物浓度高, 及多孔杯与塘间有动态的水和污染物交渗, 所以杯 1、2 和 3 的值高于杯 5, 必然更高于杯 4。在深度相同, 土层结构不同的三种多孔杯中, 杯 2 的 VMN% 高于杯 5 和杯 4, 显示浓度影响为主, 而与土层构成无关。塘 2 的多孔杯 1、2 和 3 距离塘底深度分别为 0.9、1.4 和 3.0 m, 属上层滞水-潜水, 以 4 小时染毒组为例, 随孔的浓度, VMN% 增加, 三孔与相同浓度的塘水交渗因深度有别而程度不一, 使土壤溶解物被稀释, 滞留孔中的浓度不同。杯 1 相对地被塘水稀释的程度高, 而杯 3 因深不易稀释, 滞留浓度偏高, 因此杯 3 的 VMN% 大于杯 1 和杯 2。坑塘污水在上层滞水-潜水中垂直入渗时, 潜在性污染物的迁移, 数量与塘水内该类污染物 (包括土壤溶解部分) 浓度和深度有关, 与土层结构无关。Cl⁻、SO₄²⁻、总硬度、HCO₃⁻、离子总量 (M 值) 等水化学成分均大于稳定塘水样的值, 支持潜在性污染物垂直入渗的观测结果。

(2) 污灌稻田入渗的监测 试验场的水稻田中

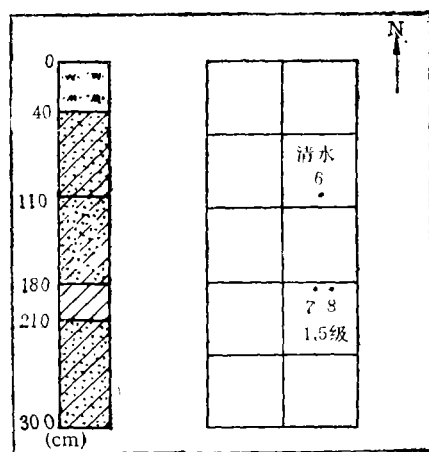


图 3 水稻田地层剖面及多孔杯平面布置

设置 3 个土壤水取样陶瓷多孔杯 (图 3)。如表 2 所示, 清灌的杯 6 的 VMN%, 略低于杯 7 和杯 8, 说明污水灌溉入渗过程中稍有潜在危害性污染物的迁移。除总硬度外, 杯 7 和杯 8 水样的 Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻ 和总离子量均明显地高于杯 6, 反映类似的倾向。

(3) 污灌稻田土柱试验 扰动土柱试验: 该土

表 2 污灌稻田多孔杯垂直入渗的监测

类 别	污 灌 稻 田 多 孔 杯									对 照 组 (双蒸水)		
编 号	6			7			8					
时 间 (h)	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8
VMN, %	16.2	18.4	—	19.8	21.0	—	19.4	20.4	—	1.4	3.2	4.4
Cl ⁻ (mg/L)	45			173			134			—		
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	63			74			113			—		
总硬度(德度)	21.1			25.4			21.7			—		
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	361			388			367			—		
离子总量 (mg/L)	648			896			855			—		

柱取当地不同种类的土壤, 扰动组成单层或多层, 按天然容重回填到方形塑料桶里, 其底部铺石英砂薄层, 装一个出水孔。共四个柱子, 种植水稻(图4)。使用前先行淋滤, 清除土柱内盐类、有机物等杂质, 使之保持低水平。柱3用清水灌溉, 其余均用进塘的1.5级污水浇灌。

如表3所示, 污灌土柱1、2和4渗水的VMN, %相近, 与1.5级污水的相比, 低2—3倍, 与清灌柱3渗水和对照双蒸水相比略高, 说明不同土层结构的

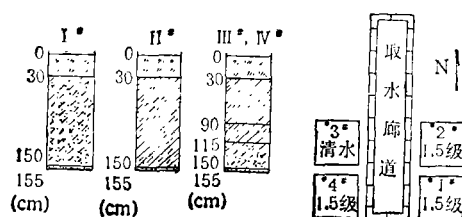


图 4 扰动土柱地层剖面及平面布置

表 3 污灌稻田土柱试验的监测

类 别	稳定塘进水 (1.5 级污水)	扰 动 土 柱*								对 照 组 (双蒸水)		
编 号		1		2		3		4				
时 间 (h)	2 4 8	2 4 8		2 4 8		2 4 8		2 4 8		2 4 8		
VMN _s %	12.8 17.4 13.2	4.0	4.6 6.6	4.6	5.2 7.6	1.6	2.4 5.0	4.4	6.0 6.8	1.4	3.2 4.4	
Cl ⁻ (mg/L)	154.5	240		399		108		289		—		
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	48.8	110		221		136		181		—		
总硬度(德度)	19.1	26.5		33.2		19.3		24.4		—		
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	349.2	558		541		444		474		—		
M 值 (mg/L)	779	1311		1742		966		1361		—		

* 土层结构 1# 粗粒(轻亚砂)匀质单层 2# 细粒(亚粘土)匀质单层 3# 非均匀(亚砂土及亚粘土)多层 4# 非均匀(亚砂土及亚粘土)多层。

土柱对滤除潜在性污染物的效率近似, 去除率较好, 渗水中仅存残量, 即在土柱中致突变物经沉淀, 吸附, 氧化或离子交换作用后大部分被截留。与此相反, 渗水中 Cl⁻、SO₄²⁻、总硬度和M值等化学成分的浓度比1.5级污水的稍高或较偏高。另外, 同属细粒匀质单层的清灌柱3的浓度小于污灌柱4, 说明不管清水或污水中的 Cl⁻、SO₄²⁻、总硬度、M值等都有增加。原因可能是蒸发蒸腾及易溶盐溶解, 其次是阴离子交换和氧化还原作用, 在污水入渗时以上三种作用可能均发生, 而清水入渗时, 后两种

作用基本上不发生。再则柱2的浓度大于柱1和柱4, 在使入渗水化学成分增量上, 细粒匀质单层高于粗粒匀质单层和非均匀多层, 显示出土层结构类型对水化学成分有一定的影响, 而对潜在性生物污染物无影响。因此, 两类组分在土柱上的行为不完全对应。

潜在性污染物在土柱中大部分被截留的事实从另一侧面证明, 坑塘和稻田的过程确以垂直迁移为主, 因为土柱的土层是经扰动构成后, 没有原土壤诸如大空穴迁移等较好的迳流条件, 以及与以有机物

为主的潜在危害性污染物的物理或化学状态和迁移动力学过程有关。

2. 污染物侧向渗漏中的迁移

(1) 坑塘侧向渗漏 在稳定塘东侧布置两个上层滞水的监测孔 1 和 2, 及潜水的观测孔 5 (图 2)。由表 4 可知, 监测孔 2 和 4 渗水的 $VMN, \%$ 相近,

而距离相同, 深度不一的监测孔 2 和观测孔 5 的差别较大, 说明与离塘的距离无关, 而与深度有关, 即不存在坑塘侧向渗漏, 而存在垂直入渗。 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等水化学成分与此不相应, 后者是随离塘距离增加而增加。

(2) 污渠侧向渗漏三个观测孔设置在通惠北干

表 4 污水稳定塘侧向渗漏的监测

样 点	污水稳定塘			监测孔 2			监测孔 4			观测孔 5		
	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8
时间 (h)												
$VMN, \%$	9.0	12.9	13.4	19.2	21.2	8.8	20.2	21.6	10.6	32.2	32.6	14.6
Cl^- (mg/L)		171			275			406			282	
SO_4^{2-} (mg/L)		58			150			390			176	
总硬度 (德度)		17			32			55			64	
HCO_3^- (mg/L)		299			—			—			456	
M 值 (mg/L)		755			1400			1980			1669	

渠东岸, 距离分别为 2.50, 6.75 和 11.75 m (图 5)。按各孔渗水的 $VMN, \%$ 大小排列, 次序是孔 3, 孔 2 和孔 1, 离北干渠的距离愈远, 数值愈大 (表 5)。另外, 观测孔 3 的值大于干渠水样, 可能是因在孔 3 东边为大片污灌稻田, 又挨近淤塞不甚严重的通惠灌渠, 存在垂直入渗所致。

与此相应, SO_4^{2-} 明显较低; HCO_3^- 较高; 总硬度在观测孔 3 明显较高, 其它略高; Cl^- 在观测孔 3 和 2 相当, 而高于观测孔 1; M 值是观测孔 3 高, 其余差别很小。这说明离北干渠最近的孔 1 和孔 2, 除总硬度稍高外, 其它成分含量较低, 没有明显的

质恶化。

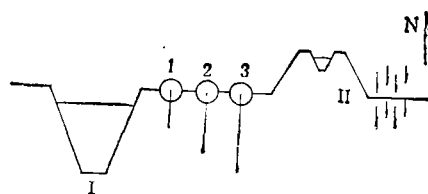


图 5 污渠侧向入渗采样图

观测孔 1#, 2#, 3#

I 通惠北干渠 II 通惠灌渠

表 5 通惠北干渠侧向渗漏的监测

类 别	通 惠 北 干 渠 观 测 孔											
	北 干 渠			1			2			3		
编 号	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8
时间 (h)												
$VMN, \%$	10.8	38.8	20.6	18.0	26.2	12.2	32.0	35.4	15.2	39.8	43.6	15.6
Cl^- (mg/L)		121			123			196			160	
SO_4^{2-} (mg/L)		65			44			23			52	
总硬度 (德度)		19			27			26			41	
HCO_3^- (mg/L)		400			464			527			732	
总离子量 (mg/L)		862			835			966			1251	

总之, 在本小区的地质条件下, 潜在性污染物主要随污水垂直入渗过程迁入地下水, 而侧向渗漏较轻。

(二) 上层滞水, 潜水和承压水的监测

本小区的地下水属承压水为主的潜水-承压水型。三者的水位分别为 28.9, 26.5 和 18.6 m, 左右。表 6 的 $VMN, \%$ 表明, 地下水的垂直区分明显, 上层滞水 > 潜水 > 承压水。与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、总硬

度、 HCO_3^- 和 M 值的倾向一致。但各项指标在平面上分布上无明显的规律。因此,潜在危害性污染物随地下水的深度而渐减。其过程可能是随补给水到上层滞水,再直接随补给水入潜水,故其污染程度高于经层间越流流入承压水。承压水的 VMN, % 略大于对照组双蒸水,说明已有轻度的污染,进一步证实小区内污染物是通过垂直入渗影响地下水水质。

(三) 小区深层和浅层地下水的监测

表 6 不同地下水水层的监测*

类 别	上 层 滞 水						潜 水**						承 压 水		
样 点	监 2			监 4			稳定塘多孔杯			稻田多孔杯			场附近机井		
时间(h)	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8	2	4	8
VMN ₃ %	19.2	21.2	8.8	20.0	21.6	10.6	13.2	17.6	10.3	18.8	19.6	—	6.0	8.2	11.0
Cl ⁻ (mg/L)	340 (187—531)						218 (76—552)						101(15—240)		
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	270 (84—453)						115 (11—536)						63(6—152)		
总硬度 (德度)	43 (18—55)						35.6(13.9—65.5)						23.6(13.6—40.6)		
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	51.3(436—590)						584 (227—952)						420(281—556)		
M 值 (mg/L)	1690(1096—2138)						1294 (639—2020)						792(479—1270)		
酚 (mg/L)	100% (<0.002—0.012)												77%(未—0.005)		
氟 (mg/L)	100% (0.004—0.07)												100%(未—0.027)		

* 砷、镉均未检出。

** 1—5 多孔杯的均值; 6, 8, 10 观测孔的均值。

表 7 小区内深层水和浅层水的监测

类别	深 层 水				浅 层 水				地 面 水				对 照 水	
样点	旧宫	何家坟	西田阳	永乐店	旧宫	何家坟	西田阳	永乐店	旧宫	何家坟	西田阳	永乐店	香山公园	颐和园南
VMN, %	8.5	6.0	9.4	5.6	10.8	18.8	10.2	21.8	12.4	20.2	24.8	11.2	4.8	4.4
±SE	0.97	2.04	1.18	0.40	0.47	2.53	1.59	2.24	1.43	2.08	2.64	1.50	1.13	0.86
均值	7.4				15.4				17.2				4.6	

三、小 结

1. 河渠或坑塘的潜在污染物渗入地下水以垂直迁移为主,侧向渗漏微弱。

2. 潜在污染物先污染上层滞水,再通过补给水渗入潜水。受污染的潜水越流污染承压水,因层间越流很小,故承压水污染很轻,说明地下水有自身保护作用。

3. 在地下水体中潜性污染物的行为与水化学总面貌不完全平行。

小区的浅层水是压井水,属上层滞水-潜水(深 20m 以上),现存的井数极少。深层水是机井水,属承压水(深 100 m 左右),为饮用和灌溉的地下水。表 7 说明,VMN, % 大小的次序是地面水 > 浅层水 > 深层水 > 对照水(永乐店除外),反映潜在污染物在本小区内对深层水已有轻度污染,只在程度上小于浅层水。

4. 在筛选地下水损害遗传物质 DNA 的潜性污染物上,蚕豆根尖细胞微核率 (VMN, %) 是一项可行的综合性生物短期监测指标。

参 考 文 献

- [1] Hwang S. T., *Environ. Prog.*, 5(1), 66(1986).
- [2] 王英彦等,环境科学, 5(4), 20(1984).
- [3] 王英彦等,中国环境科学, 6(2), 19(1986).
- [4] 王英彦等,环境科学与技术, 4, 7(1987).

(收稿日期: 1988 年 3 月 1 日)