

酚、氰污水灌溉对土壤及地下水的影晌

夏增祿 钟佐桑 郑颖吾 孟维奇

污水灌溉引起地下水污染的情况越来越使人关注,对于这个问题,应因地制宜地采取防治的措施,达到化害兴利、综合利用的目的。本文主要探讨华北某城市西郊污水灌区,含酚、氰污水在农田土壤中下渗及对地下水的污染问题。

基本情况

研究点地处永定河冲积洪积扇的上中部,是该市地下水的富水区和补给区。大部地区土层较薄,一般2—6米不等,有的不足2米。其下为较厚的砂卵石层。地下水以山为界分东北、东南向东流。年平均雨量682.9毫米,多集中在6、7、8月。地下水部分由降雨补给。

共选定两个观察点,一个在向阳村四队

菜地,一个在鲁谷村北粮地。污灌为混合污水。分季节和灌前、灌后采样。采集待测的酚、氰样品置冰箱中保存,于3—4天内分析完毕。

污水灌溉对土壤的纵向污染

酚、氰在土壤中的纵向分布,一方面说明土壤被污染的程度,另一方面也说明土壤对酚、氰的影响。由表1、2中各次分析结果可以看出:污灌土壤表层的酚、氰含量较清水灌地高约1—4倍,表明污灌土壤受到一定程度的污染。

由土壤的纵向剖面分析可得:酚、氰的污染主要集中在20—40厘米以上。40厘米以下含量很低,各层次数值也大约相同。这一纵向分布特征,除了由于土壤对污水中的酚、

表1 鲁谷点和清灌地土壤各层酚、氰含量

深度 (厘米)	鲁 谷 点						清 灌 地	
	酚化物 (ppm)			氰化物 (ppm)			酚化物 (ppm)	氰化物 (ppm)
	3月28日	5月31日	11月1日	3月28日	5月30日	11月1日		
0—5	0.198	0.185	0.169	0.266	0.246	0.232	0.093	0.045
5—20	0.061	0.197	0.156	0.182	0.228	0.164	0.054	0.037
20—40	0.020	0.092	0.031	0.121	0.079	0.066	0.010	0.001
40—70	0.006	0.036	0.013	0.035	0.040	0.035	—	0.001
70—100	0.007	0.021	0.014	0.032	0.034	0.034	0.005	—
100—150	0.007		0.009	0.032		0.034	0.005	0.001
150—200	0.006		0.004	0.032		0.034	0.005	0.002
200—250	0.006		0.008	0.032		0.034	0.002	—
250—300	0.006		0.002	0.032		0.032		
300—350	0.007			0.032		0.033	0.001	0.002
350—400	0.006		0.003	0.034		0.034		

表 2 向阳点土壤各层酚、氰含量 (1974 年)

深度 (厘米)	酚化物 (ppm)				氰化物 (ppm)			
	3月28日	5月31日	8月7日	11月1日	3月28日	5月31日	8月7日	11月1日
0—5	0.208	0.358	0.270	0.400	0.281	0.358	0.180	0.225
5—20	0.149	0.527	0.200	0.386	0.160	0.302	0.140	0.216
25—40	0.060	0.201	0.070	0.088	0.102	0.142	0.090	0.105
40—70	0.016	0.024	0.060	0.029	0.030	0.058	0.020	0.035
70—100	0.025	—	0.040	0.022	0.030	0.046	0.050	0.027
100—150	0.015	0.006	0.030	0.007	0.033	0.039	0.040	
150—200	0.014	0.004	痕		0.031	0.032	0.030	0.021
200—250	0.013		—	0.014	0.033		—	0.080
250—300	0.013				0.033			
300—350	0.010				0.025			

氰具吸附、固定、阻滞的作用外，亦可能与土壤中有机的分布有关。

污灌地和清灌地 40 厘米以下土层的酚、氰含量相比较，前者稍高一些。差别虽不大，但其原因值得追究。根据对土壤水分状况的分析，我们设想，可能与雨季时大量雨水的淋溶，下层土壤所保持的悬着水中的酚、氰含量有关，此外，过大的污灌水也有可能随水带下少量酚、氰。

污水灌溉后污水下渗及其对地下水的影 响

上节讨论了污灌土壤的酚、氰主要累积在土表的 0—20—40 厘米以上，但这并不表明酚、氰不会随过境水分及其它原因迁移到下层土壤或地下水中去，因此，有必要研究灌溉水在土壤中的下移。

土壤灌水后，具有一种吸水 和保水的能力。上层土壤把得到的水分尽力保持到最大限度，然后让多余的水分向下渗透。图 1 是鲁谷点灌水前后土壤含水量的变化，可以看出：污灌后污水下渗影响的深度为 100 厘米，主要是蓄积在 40 厘米以上土层中。

为进一步了解污灌后污水下渗的情况，我们作了一次实地测量平衡计算。试验在向阳村四队油菜地进行。试验土壤为砂壤至轻壤质土，至 250 厘米以下见砂卵石层。用三

角堰测得的灌量为 16.4 米³/亩，在灌前一个半小时和灌后 20 小时分别测定土壤含水量。从图 2 可见，污水下渗的深度似在 40 厘米左右。若我们进一步将 0—40 厘米实际增加的水量作一计算，则每亩 40 厘米土层中计增 14.8 米³水量，占总灌量 16.4 米³/亩的 90.2%，其余 10% 的水量设为 20 小时内植物的蒸腾和土表的蒸发所消耗，那么，这次灌水后污水

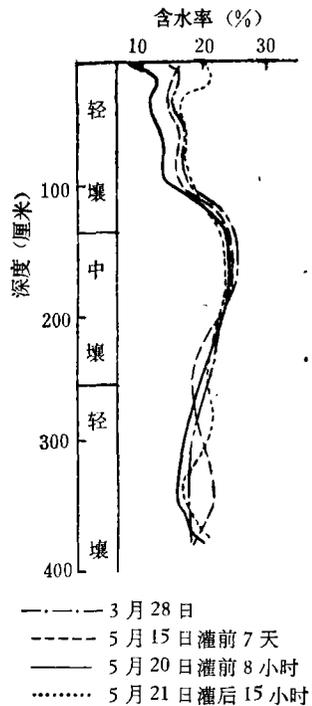


图 1 鲁谷点土壤水分含量曲线

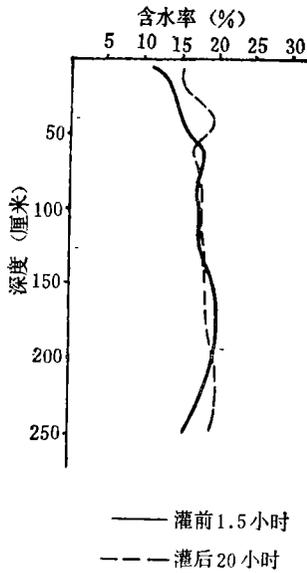


图2 灌前灌后土壤含水量曲线

下渗的深度也为 40 厘米,与用含水量曲线图分析的数值相同。

此外,我们还根据鲁谷和向阳点灌前土壤含水量作了一次理论上的计算。设土壤的最大田间持水量为 20%,灌后 20 小时内土表的蒸发和植株的蒸腾为总灌量的 10% 计,计算结果列于表 3 中。由表可见,当灌量为 20 米³/亩时,在灌前含水量较低的鲁谷麦地约可下渗 30 厘米左右。在灌前含水量较高的向阳油菜地,则可下渗 60 厘米左右。若灌水量为 40 米³/亩时,在鲁谷麦地可下渗 60 厘米,

而在向阳菜地可下渗 120 厘米左右。虽然污灌前土壤的起始含水量影响到污水下渗的深度,但在鲁谷和向阳点的条件下,每亩 40 米³的灌量,污水也仅下渗 120 厘米。

由此得出:在该地区由于地下水埋深较大(一般 6—20 米),绝大部分旱作在进行污灌时,污水下降的深度为 40—70 厘米,不会对地下水造成直接的污染。但是,在土层较薄、土壤灌前含水量较高、灌水量又大的情况下,污水有可能渗入地下水。

降水淋溶污灌土壤对地下水的影响

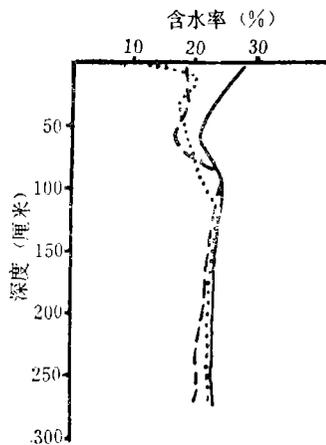
由于污灌使表层土壤受酚、氰污染,降水淋溶是否会把酚、氰带到含水层中去,并污染地下水,这也是必须回答的问题。

降水如何通过饱气带补给地下水是一个复杂的问题。一般来说,如果饱气带存在粘土层时,它会起到一定的阻隔作用,降水只通过粘土裂隙垂直补给地下水。从图 3 中可以看出,经过六天连续降雨,也没有发现降雨通过此剖面以重力水形式补给地下水的现象。因此可以认为,粘土层不但对污水中的酚、氰随水下渗起一定的阻隔作用,而且对污水中的酚、氰随降水的淋溶下渗也起一定的阻隔作用。

图 4 是一轻壤质土壤雨前、雨后土壤含

表 3 灌至 20% 含水量时各层需要添加的水量

地 点	深 度 (厘米)	灌前含水量 (%)	灌后含水量 (%)	灌后含水量增加值		逐层叠增加值 (米 ³ /亩)	减去10%的叠增加值 (米 ³ /亩)
				e (%)	(米 ³ /亩)		
鲁谷麦地	0—5	7.1	20	12.9	5.44	5.44	4.94
	5—20	12.4	20	7.6	9.57	15.01	13.51
	20—40	11.2	20	8.8	15.82	30.83	27.75
	40—70	13.2	20	6.8	18.07	48.90	44.01
向阳村油菜地	0—5	11.1	20	9.9	4.45	4.45	4.00
	5—20	13.7	20	6.3	4.93	9.38	8.44
	20—40	15.0	20	5.0	8.99	18.37	16.53
	40—60	17.6	20	2.4	4.32	22.69	20.42
	60—80	17.0	20	3.0	5.79	28.48	25.63
	80—100	17.4	20	2.6	4.68	33.16	29.84
	100—120	17.0	20	3.0	5.79	38.95	35.05

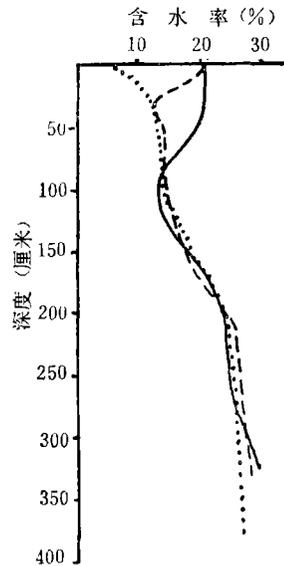


A 5月18日雨前灌后四天
B-----7月15日连续两天小雨后
C———7月29日连续六天小雨后

图3 雨前雨后土壤含水量曲线

水量曲线。雨前未灌过水，雨后地下水埋深为3.25米。从曲线分析看出，该土壤地下水毛管上升的最大高度约在100厘米左右。100厘米以上为毛管破裂带，30厘米以上因受大气影响，含水量显著降低。雨前、雨后含水量变幅较大。这一曲线较典型地代表了华北地区一般土壤水分状况特征。这里值得注意的是80厘米以下有一段土层的含水量仅有14—15%左右，远未达到田间最大持水量值。按一般土壤水分运动的理论，只有土壤含水量达田间最大持水量后，土壤水才以重力水的形式向下运动，因此，据此理论分析曲线C可以

得出：即使经过六天中、小雨后，也没有雨水通过此剖面以重力水的形式补充地下水。但是，雨前在4米处未接触到地下水，而雨后在325厘米处却接触到地下水，这一事实说明，这次降雨确实补给地下水而使地下水面上升。那么，雨水如何补给地下水的呢？根据上述曲线分析，我们认为：在雨前土壤含水量低的轻质土壤地区，雨水并非在整个地区以均匀下渗的形式垂直补给地下水，而主要



A 6月25日雨前
B-----7月15日连续两天雨后
C———7月29日连续六天小雨后

图4 雨前、雨后土壤含水量变化曲线

表4 土柱渗出液的酚、氰含量

管号	土柱设计	淋溶时间(时)	淋溶水量(毫升)	渗出水量(毫升)	酚(ppm)	氰(ppm)
A	0—75厘米, 污土	56	1518	400	0.036	0.039
	75—81厘米, 粗砂	139	1240	570	0.024	0.057
B	0—82厘米, 污土	56	2393	400	0.058	0.037
	82—220厘米, 粘土 220—243厘米, 粗砂	139	737	655	0.025	0.095
C	0—70厘米, 污土	120	1271	220	0.058	0.014
	70—210厘米, 粉砂 210—250厘米, 粗砂	360	1000	420	0.014	0.010
D	0—75毫米, 污土	120	1540	760	0.064	0.032
	75—82厘米, 粗砂	127		420	0.040	0.007

是通过一些积水之处或渗水性良好的通道（如裂隙，砂卵石层出露处等）补给地下水。

关于降雨淋溶污土对地下水污染的问题，我们还在室内装置了四组淋溶污土的土柱试验。试验用玻璃管直径为10厘米，内装取自向阳点和鲁谷点0—20厘米的污土，各土柱上面供以蒸馏水，土柱下以玻璃器皿接渗出水。

通过大量的蒸馏水淋溶后，计算渗出水中所含的酚、氰总量占原污土酚、氰总量的1—7.9%。上述试验结果说明，如果降水通过污灌区土层以垂直渗透补给地下水，污土中的酚、氰会随下渗水迁移，对地下水产生一定的污染。

关于降水淋溶污土对地下水污染的问题，我们认为，降雨会把污土中的少量酚、氰带到地下水中去，这种情况一般仅在局部地区发生。而大面积的把污土中的酚、氰带到地下水去，只有在雨量特大，土壤雨前含水量又较高、或农田普遍的、长期的积水情况下可能发生。但这种情况是少见的。

污水渠系及水稻田污灌 对地下水的影响

在污灌区，渠系有的常年流水，水稻田较

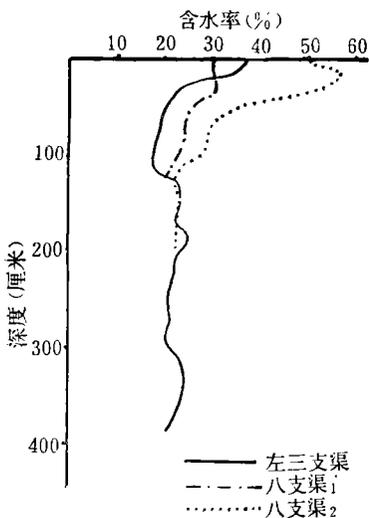


图5 渠道底部土质含水量曲线

长期蓄水，在此情况下，污水能否渗入地下水？酚、氰毒物是否也随水下渗污染地下水？这些，都成为污灌是否引起地下水污染的又一关键问题。为此，我们在两条污水灌渠中和渠旁的农田分别打钻，取样分析，进行对比研究。渠道中取样是在临时排水后进行的，结果分别列于图5、6、7中。从图5可以看

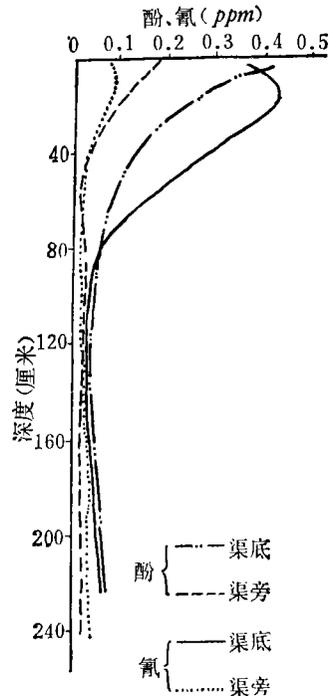


图6 八支渠渠底及渠旁农田土壤酚氰含量曲线

出，除40厘米以上土层由于孔隙中的饱和和重力水来不及排出，含水量数值较高外，40厘米以下含水量值都较均匀分布，并大于该种土质的田间最大持水量。这说明渠道在长期过水情况下，污水以重力水形式渗透过整个剖面，并有可能继续通过砂卵石层渗入地下水层。从图6、7中看出，渠道上部土层的酚、氰含量不仅较其两侧的农田高，而且含酚、氰较高土层的分布亦较农田深。这种情况的原因可能与渠道接受污水的量较多和含有机质的淤泥较厚之故，但就其绝对量来看，并不算高。至于100厘米以下土层中的酚、氰含量，其量甚微，差异也不明显。

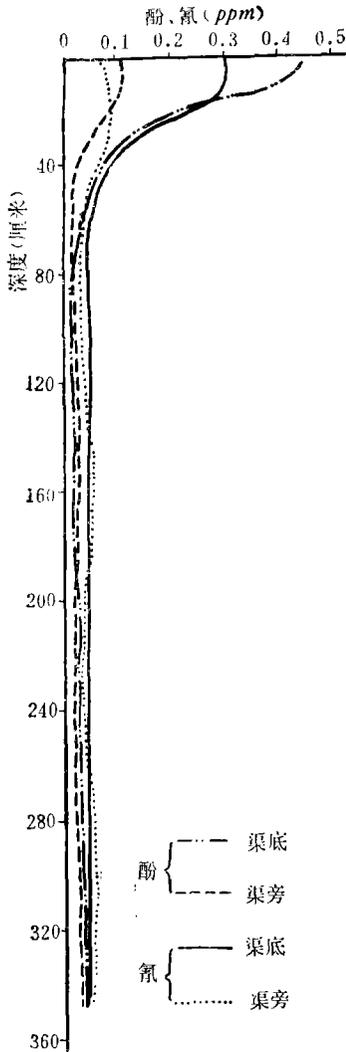


图7 左三支渠渠底及渠旁农田土壤酚氰含量曲线

通过上述野外工作,从渠旁、渠中土层水分剖面的分析,证明了污水可以通过渠道底层下渗进入地下水。但是,酚、氰能否随水下去?下去的量以及与污水浓度有何关系?这些问题仍不能充分回答。因此,在室内进行了下述的污水下渗试验。

试验设计见图8。分A、B二管,管内径为19.2厘米,每管装填鲁谷下层风干轻壤土,土柱容重控制在1.25克/厘米³,土柱长110厘米。采用自动供水,水层保持在8—9厘米范围。灌入的污水含氰的浓度按试验的三种处理的要求进行稀释。低浓度处理的浓度为

0.11—0.4ppm,中浓度处理为2.52—4.70ppm,高浓度处理为11.5—34.2ppm。一般一天对渗出水进行一次酚、氰测定,历时119天。

表5 不同浓度含氰污水的下渗试验

污水浓度 (ppm)	经历时间 (天)	渗出水浓度 (ppm)	净化率 (%)
低浓度(0.11—0.4)	43	痕量—0.009	96—99
中浓度(2.52—4.70)	34	0.3—0.55	85—90
高浓度(11.5—34.2)	42	0.01—10.04	40

由表5可以看出:低浓度处理的渗出水氰化物的含量在痕量至0.009ppm之间,未超过饮用水标准。灌渠底部或水稻田土层在一米

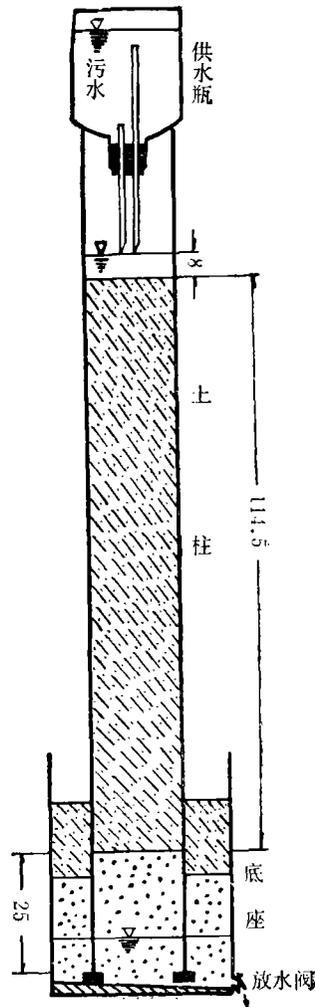


图8 试验设计略图

以上的情况下,污灌区因灌渠或水稻田的渗漏而产生地下水的污染是很微小的,它不会导致地下水中氰化物浓度超过饮用水标准。

在中浓度处理时,渗出水的氰化物浓度最后稳定在 0.3—0.55ppm 间,已大大超过饮用水的标准。因此,这样中等浓度的污水在渠系或水稻田的渗漏,会引起地下水严重污染。若以低浓度处理的净化率计算,此种污水浓度的渗出水至少也将在 0.07ppm 以上,超过饮用水标准。

在高浓度处理中,渗出水的浓度逐渐上升,数值很高,最高达 10.04ppm,而且远不是稳定值。其净化率也由低浓度处理的 96—99% 减低至 40%。因此,这种高浓度的含氰废水应严禁用于农田灌溉或排入渠系。

最后,从三种处理的净化率可以看出,尽管取自鲁谷下层土壤的生物活性可能较低,但对污水中的氰化物仍有很强的净化能力,在低浓度时,净化率达到 96—99%,即使中浓度时,也达到 85—90%。因此,在研究和考虑可能污染地下水的一面时,也应认识到污水中的氰化物在土层中净化的一面。利用自然净化的途径,可能也是污水处理的一种方式。

结 语

一、该研究点污灌土壤中的酚、氰主要

(上接第 14 页)

种因素影响而非均匀地分布。其中微生物因素起主要作用。

3. 随着对工业废水治理工作的迅速开展,江水水质将逐渐好转并变得更有利于微生物活动,沉积物向江水中释放甲基汞的数量也相应增加,采取适当措施加以控制是必要的。

4. 在嫌气条件下, A 点江段的沉积物释放甲基汞的速度很微弱,因此,可将沿右岸分布的含汞量很高的沉积物,采取原地深埋办法治理。如果在深埋前复盖以足够的含硫物

集中分布在 20—40 厘米土层,比一般清灌土壤含量稍高。

二、旱作农田和菜地污灌后,污水下渗的深度一般仅约 40—100 厘米,在土层较厚,灌前含水量不高,灌量不大的情况下,污灌水不会通过土壤直接渗入污染地下水。但常年过水的渠道和较长期蓄水的水稻田,污水能够直接渗入地下水。

三、降水淋溶污灌土壤时,可能把少量酚、氰带到地下水去,但此种情况一般仅在局部地区发生,其量甚微。

四、污水下渗污染地下水的主要途径,不能归因于大面积旱作农田的污灌,而主要是通过常年过水的排水渠、灌水渠和部分水稻田的渗漏。

五、在污灌区或水田保持一米土层,灌溉水中的氰化物稳定在不超过 0.5ppm 的水平时,污灌渠道或水田渗漏对地下水污染的影响很小,不致有使地下水氰化物含量超过饮用水标准的危险。对于下切较深、渠底砾石层常暴露的排水渠应进行渠道衬底。

六、根据室内试验和该区地下水氰化物污染的状况分析,并考虑到氰化物在土壤、植物中的残留状况,建议该区污水灌溉水质标准中氰化物的允许标准为 0.5ppm。

质,效果会更好些。

参 考 资 料

- [1] Tames, T. Bisogni 等: 好气和嫌气水生环境中汞甲基化作用的动力学,《地理环境污染与保护译文》第五集, (1975)。
- [2] Wood, J. M., Mechanisms for Methylation of Mercury in the Environment, Mercury Contamination in Man and His Environment, Vienna, (1972)。
- [3] Jensen, S. and Jernelöv, A., Behaviour of Mercury in the Environment, (1972)。
- [4] Jernelöv, A., Factors in the Transformation of Mercury to Methylmercury, (1972)。