

含酚工业废水灌溉稻田的研究*

I. 长期利用工业废水灌溉稻田对土壤性质及其肥力的影响

邱鳳琼 李鳳珍 高子勤 庄季屏 曾祥林 李玉坤

(中国科学院林业土壤研究所)

利用工业城市废水灌溉稻田,在撫順李石寨公社已有二十多年的历史。当地农民从多次的增产或减产的生产实践中积累了不少经验。解放以后,在党的正确领导下,组织农民总结灌溉技术经验,修筑调配废水浓度的渡槽和灌排渠道,使废水灌溉的水稻产量由1951年亩产200斤增加到1958年平均亩产800斤,灌溉面积由1951年的3,300亩增加到1959年的11,300亩。但是由于废水成分复杂,而农民的经验又有所局限,因此,水稻常因贪青倒伏而减产,产量很不稳定,特别在老废水灌区更是如此。我所从1959年开始,在该地区进行了连续3年的田间观察试验,探明了引起水稻贪青倒伏的原因是随废水灌溉进入稻田的氮素过多,使土壤养分供应状况失调。另一方面,废水灌溉量过多,带入过多的某些有害物质,使土壤生物活性受到一定的抑制,减缓了土壤中物质的转化速度,这些物质在土壤中的积累,也将影响土壤的性质和根的生长。据此,曾提出了合理利用工业废水灌溉稻田的技术措施,指出在利用废水为灌溉水时,应以其中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量作指标,折合成硫酸铵来计算,并根据土壤条件和作物品种(特别是耐肥性能)控制废水灌量^[1,2]。

废水的成分比较复杂,各成分对作物的作用各有不同,有的有益,如 $\text{NH}_4\text{-N}$;有的有害,如酚和硫化氢,这些有害的物质,每年随着废水灌溉大量进入土壤,经年累月,是否会引起土壤性质变坏,是废水灌溉的一个带根本性的问题。为此,我们于1961年开始在撫順李石寨废水灌区,对连续用废水灌溉年限不同的几种土壤进行了连续两年的季节性定位观测,并在室内进行了盆栽试验,以研究工业废水灌溉对水稻土的性质和肥力的影响。

一、土壤和试验方法

(一) 观测土壤的剖面特征

由于选取肥力特性大体相似,但利用废水连续灌溉的年限有一定差距的不同土壤,在实际比较困难,因此,在选择观测土壤时,我们是以灌溉年限不同为主,尽可能照顾土壤性质的大体一致。此外,李石寨公社的水稻土仅一万多亩,而附近废水灌渠较多,相距工厂亦不过几里,因此,很难找到完全不受废水影响的一般稻田。我们所选取的未经废水灌溉的土壤,实际上只是受废水影响最小的水稻土。

* 本工作是在陈恩凤先生的指导下进行;又蒙姚归耕和吴维中先生在设计上给予指导,特此致谢。参加工作的有孔庆新、常士俊、邵君、王美玲、陈美芳、黄美纯等同志。

观测土壤的剖面特征及其灌溉情况简介如下:

(1) 草甸土(清-1), 清水灌溉

- 0—13 厘米 表层, 4—13 厘米处有较明显暗灰色还原层, 重壤, 较松, 结构不明显。
 13—32 厘米 棕色, 重壤, 核粒状, 有铁锰结核, 较上层湿润和紧。
 32—61 厘米 色较上层浅, 结核较多而大, 较上层松。
 61—91 厘米 结构明显, 结核大, 很湿, 75 厘米处见潜水面。
 91—110 厘米 粉砂粘壤土, 松块状结构, 有胶膜。

(2) 草甸棕壤(污-3) 废水灌溉 3 年

- 0—11 厘米 暗灰带棕, 砂壤, 石英粒极少, 少量锈斑和铁锰结核, 稍湿, 稍紧。
 11—22 厘米 暗棕带灰, 中壤, 鳞片状结构, 夹有石砾, 有较大的铁锰结核, 紧, 较上层干。
 22—38 厘米 棕色, 重壤, 核粒状, 团块结构, 含铁锰结核, 较上层松, 湿润。
 38—64 厘米 黄棕, 轻粘, 核状结构, 少量铁子, 比上层稍湿。
 64—90 厘米 棕色带灰黄, 色较杂, 中壤至重壤, 核块状结构, 少量铁子, 紧, 稍湿。

(3) 粘壤质泛滥地草甸土(污-12), 废水灌溉 12 年

- 0—13 厘米 灰棕色, 轻粘土, 结构不明显, 微现核状, 锈斑多, 较紧且湿。
 13—22 厘米 锈棕色带灰, 轻粘土, 结构不明显, 微显鳞片状, 较紧, 湿, 锈斑及灰斑较多。
 22—45 厘米 中壤至重壤, 微粒状结构, 有灰棕色条纹状锈斑及少量铁锰斑点, 局部夹有粗砂。
 45—58 厘米 灰棕、色杂, 片状, 小核粒状结构。45—57 厘米处有砂层(砂壤土), 有斑块状铁锰结核, 58 厘米遇潜水面。

(4) 砂壤质泛滥地草甸土(污-20), 废水灌溉 20 年

- 0—16 厘米 灰棕色带乌灰, 色杂, 细砂壤, 结构不明显, 有锈斑, 有大量的白云母, 夹石砾(小卵石), 松, 湿润。
 16—32 厘米 锈斑多, 有乌灰色条纹, 局部地方有石英砂, 较上层稍干, 根量较少, 其他同上层。
 32—50 厘米 有少量中粗砂, 大量铁锰斑块, 锈斑多, 成网状分布。
 50—69 厘米 棕灰色, 轻壤, 锈斑块大而多, 并有灰色斑块条纹, 锈斑成网状分布, 有 3 厘米厚的植物残体堆积, 稍紧。
 69—100 厘米 灰色, 细砂壤, 上部有锈斑。

(二) 盆栽试验

为确定上述观测土壤的肥力状况, 进行了盆栽试验, 其处理如下:

土号	处理	简称	土号	处理	简称
(1) 清-1	用清水灌溉	对清	(5) 污-12	用清水灌溉	十二清
(2) 清-1	用废水灌溉	对污	(6) 污-12	用废水灌溉	十二污
(3) 污-3	用清水灌溉	三清	(7) 污-20	用清水灌溉	二十清
(4) 污-3	用废水灌溉	三污	(8) 污-20	用废水灌溉	二十污

供试土壤为各观测土壤的表土, 各个处理均未施任何基肥或追肥。每盆土重 6 公斤, 采用 20 × 25 厘米的密氏瓷盆。指示作物为水稻(农垦 58 号), 重复 6 次。6 月 11 日插秧, 10 月 5 日收获。

试验中所用废水取自工厂出门口, 每升含 $\text{NH}_4\text{-N}$ 66—180 毫克。整个生长期每盆共灌入氮 565 毫克(合硫酸铵 2.83 克)。

用清水灌溉的目的, 企图查明土壤长期灌溉废水后有无毒害物质的积累而影响作物

生长。用废水灌溉则在于探明废水中有效成分在土壤中的积累是否已达到再用废水已不起作用的程度。

(三) 测定方法

土壤微生物和土壤酶的测定按“土壤微生物分析方法手册”^[3]、废水水质和土壤溶液中酚和硫化物按“工业废水的化学分析法”^[4]、土壤腐殖质按“土壤有机质”^[5]中所叙述的方法进行。土壤溶液是用压力为每平方厘米 300 公斤的油压机压取出的。

观测期间,每年分春、秋两季取样,一在作物非生长期,一在作物生长期。取样日期为 1961 年 5 月 4 日(代号-I), 1961 年 10 月 18 日(代号-II), 1962 年 4 月 27 日(代号-III), 1962 年 10 月 18 日(代号-IV)。以下图表均用此代号表示。

二、结果和讨论

(一) 废水灌溉对土壤微生物的影响

土壤微生物积极参与土壤中各种物质的转化过程,在土壤形成以及植物营养中起着重大作用。因此,人们常以土壤微生物类群及其生理作用为主要指标,研究土壤的发生和肥力状况。我们测定了各观测土壤剖面中的某些微生物类群,结果列于表 1 和表 2。

表 1 土壤氨化细菌和固氮菌的含量

土 号	取样深度 (厘米)	氨化细菌(万个/1 克干土)				固氮菌(百个/1 克干土)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
清-1	2—12	3,600	533	29	191	0	53	100	11
	18—28	350	144	2	13	0	26	5	33.6
	45—55	150	116	0.4	3	0	0	0	0
污-3	0—10	2,795	476	11	99	0	0	0	0
	11—22	235	47	2	11	0	0	0	0
	25—35	37	15	0.2	2	0	0	3.3	0
污-12	0—10	33,800	1,470	23	132	160	0	5	2.8
	13—23	7,630	143	13	18	19	0	0	0
	30—40	520	37	3	31	0	0	0	0
污-20	0—10	43,040	548	2.0	230	0	0	1	0
	15—25	2,000	351	2	77	24	0	0	0
	50—60	85	436	2	101	83	0	0.5	0

从表 1 的资料可以明显地看出,与土壤中氮的固定和转化有密切关系的两种微生物呈现出两种完全不同的情况。氨化细菌除个别采样次不明显外,都是废水灌溉年限长的高于年限短的,表明废水对它有较明显的刺激作用。固氮菌在一般的稻田里是较多的,清水灌溉的土壤中也有一定的含量(约 5—100 百个/克干土),但在废水灌溉的土壤中则大多没有或只极少数的土层有少量存在,说明废水对它们有明显的抑制作用。

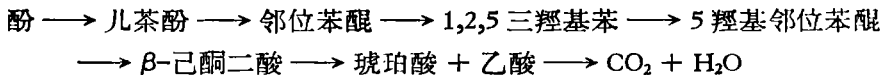
酚细菌和硫细菌的测定结果(表 2)表明,土壤中酚细菌的数量一般均比硫细菌高得多。就酚细菌来说,废水灌溉的土壤中其数量均比清水灌溉的高。这种情况表明,由于废水灌溉,产生了与由此而造成的土壤环境和物质基础相适应的土壤微生物类群。酚细菌在土壤中的存在以及对酚的分解已被许多作者的研究所证明^[2,6,7]。有的作者认为酚的分

表 2 土壤微生物的季节变化

土 号	取样深度 (厘米)	酚细菌(万个/1 克干土)				硫细菌*(千个/1 克干土)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
清-1	2—12	12	17.7	2.8	23.7	0	60	0.05	14
	18—28	2	12.2	1.4	18.6	0	320	0.6	0.5
	45—55	3	7.1	3.9	68.9	0	0.03	0.006	0.01
污-3	0—10	163	13.7	15.6	84.0	0	0.90	0.013	1.2
	11—22	97	17.9	10.0	59.0	0	0.05	0.001	0.5
	25—35	2	14.3	1	12.0	0	1.2	0.001	0.00 ⁹⁾
污-12	0—10	281	26.4	15.6	250.7	35.2	40	6.6	6.3
	13—23	23	28.4	11.2	133.3	12.5	1.2	0.2	1.1
	30—40	15	16.0	7.4	41.2	0.1	0.6	0.03	0.03
污-20	0—10	27	90.0	4.1	212.3	8.9	19.1	1.3	3.42
	15—25	14	97.4	6.8	113.9	3.1	3.3	0.006	0.30
	50—60	7	664.4	4.7	137.6	0.6	0.6	0.02	0.58

* 硫细菌是用稀释法测定。

解可能是按下列图式进行的^[8]：



看来,这类微生物在废水灌溉的土壤中的大量存在和积极活动,是使得酚在废水灌溉的土壤中未能表现出毒害水稻生长的一个主要因素。

各采样次硫细菌的数量因灌溉的水质而异。清水灌溉的土壤中硫细菌的数量在水稻生长期很高,非生长期则不存在,且差异明显;但废水灌溉的则相反,且不明显。就其绝对含量而言,在水稻生长期,凡废水灌溉的均较清水灌溉的为低,这似乎表明废水对硫细菌有一定的抑制作用,从而对土壤硫化物的氧化也有一定的不利影响。但是 H_2S 的生成还将受大气、作物根的呼吸以及土壤物理性质等的影响,所以只要废水灌溉定额合适,耕作管理合理,仍不致产生 H_2S 的毒害,影响作物的正常生长。

(二) 废水灌溉对土壤酶活性的影响

土壤中的酶除了少数一部分由高等植物根分泌外,主要是由土壤微生物所产生的,微生物所引起的生物化学过程,全是借助于它们所产生的酶来实现。因此,土壤中酶的活性,可作为判断土壤中生物学过程强度的指标^[9,10]。我们测定了那些与物质转化关系较大的酶的活性,借以了解废水灌溉对土壤性质和肥力的影响。测定结果列于表 3 和表 4。

转化酶和蛋白酶的活性与土壤中碳、氮的转化密切相关;接触酶的活性与物质的氧化有关;多酚氧化酶的活性则直接关系到土壤中多酚类化合物的转化。由表 3、表 4 可见,多酚氧化酶的活性一般均随剖面深度而增加。各种土壤比较,在清水灌溉的土壤中,其活性要较废水灌溉的高一些,废水灌溉历史短的又要较历史久的高一些。这似乎表明,长期废水灌溉将降低土壤中多酚氧化酶的活性。

除多酚氧化酶外,各土壤剖面中其余 3 种酶的活性大体上与各土层中有机质的含量呈正相关(参见表 6)。这表明这三种酶的活性大体上是与各该土层中微生物的数量相一致的。这里看不出长期废水灌溉对微生物生化活性的明显有害影响。连续废水灌溉 20

表 3 土壤中转化酶和蛋白酶的活性

土 号	取样深度 (厘米)	转化酶(葡萄糖量 毫克/1 克土)				蛋白酶(NH ₃ -N 毫克/1 克土)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
清-1	2—12	33.2	31.2	17.6	20.7	22.3	7.9	36.3	8.8
	18—28	22.7	20.6	12.8	9.3	23.1	6.8	22.5	6.9
	45—55	32.5	8.4	1.6	1.1	25.0	3.4	8.8	5.8
污-3	0—10	30.6	32.8	21.5	21.8	9.3	4.8	25.0	6.4
	15—25	22.7	20.8	8.2	5.5	23.9	3.8	7.5	4.4
	40—50	5.0	8.6	3.0	1.8	25.0	3.2	2.5	5.1
污-12	0—13	42.7	32.3	27.1	15.9	30.0	8.0	48.5	11.4
	13—22	18.0	17.7	9.3	10.9	28.6	7.2	36.3	10.3
	30—40	8.0	18.1	7.8	5.8	28.2	7.0	28.7	5.6
污-20	0—10	10.0	15.0	4.7	8.2	28.4	8.1	28.1	6.0
	15—25	6.1	13.8	4.2	4.6	26.6	6.1	47.5	5.3
	35—45	11.0	11.7	3.8	3.8	27.4	6.3	45.0	5.7

表 4 土壤中接触酶与多酚氧化酶的活性

土 号	取样深度 (厘米)	接触酶(0.1NK ₂ MO ₄ 滴定数 毫升/1 克土)				多酚氧化酶(没食子素 毫克/1 克土)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
清-1	2—12	2.18	2.26	9.16	8.95	0.51	0.44	0.01	0.10
	18—28	1.51	1.42	5.33	5.07	1.51	0.66	0.11	0.07
	45—55	1.53	0.91	6.75	5.18	1.38	1.76	0.04	0.06
污-3	0—10	2.47	1.79	8.00	6.77	0.54	0.03	0.01	0.03
	15—25	0.35	1.16	5.95	4.67	1.71	0.22	0.13	0.05
	45—55	0.49	0.86	4.55	4.78	2.07	0.06	0.10	0.08
污-12	0—13	2.26	3.00	13.08	14.04	0.28	0.15	0.05	0.11
	13—22	1.70	1.50	9.00	10.68	0.78	0.88	0.10	0.14
	30—40	1.17	1.60	6.63	5.21	1.39	0.95	0.10	0.15
污-20	0—10	0.89	2.60	7.89	8.43	0.21	0.07	0.03	0.08
	15—25	1.00	1.84	8.85	6.35	0.38	0.18	0.12	0.09
	35—45	0.88	2.06	5.58	5.83	0.34	0.19	0.13	0.09

年的土壤(污-20),转化酶的活性明显降低,其原因还不清楚,但结合污-3、污-12的材料来看,未必可以认为它是由于灌溉废水所致。

从各采样次这些酶的活性的变化来看,转化酶和接触酶都没有一定的规律性。蛋白酶的情况虽然很不相同,无论清水灌溉或废水灌溉的土壤,在水稻生长期其活性均显著地较非生长期时为低,但是这种变化显然主要是由于土壤的水、气状况的改变所引起,而非由于废水中含有某些毒害物质的缘故。同为水稻生长期,清水灌溉的土壤,其蛋白酶的活性(按百克有机质计算)显著地较废水灌溉的为高,看来是由于废水中矿质态氮较多的影响,而非由于废水中的毒害物质所致。

(三) 废水灌溉对土壤溶液中酚和硫化物含量的影响

土壤溶液中酚和硫化物含量的多少直接或间接关系到作物的生长和产量。因此,研究因废水灌溉而引起的土壤溶液中酚和硫化物含量的变化,将有助于采取合理措施,防止

它們的为害,从而保証作物增产。

表 5 土壤溶液中酚和硫化物的含量*

土 号	取样深度 (厘米)	酚*** (毫克/升)				硫化物** (毫克/升)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
清-1	2—12	4.28	50.36	4.93	14.57	2.00	9.51	3.44	12.30
	18—28	3.24	41.42	3.17	12.95	1.99	10.51	1.72	8.79
	45—55	1.41	38.65	0.79	6.48	0.67	4.50	0.52	2.64
污-3	0—10	5.56	50.39	11.85	21.86	3.32	6.76	5.17	12.30
	15—25	5.38	48.32	10.30	21.05	2.33	7.51	3.44	7.03
	40—50	5.01	49.70	9.51	17.80	1.33	12.01	1.77	5.27
污-12	0—13	8.49	59.62	12.69	33.13	14.62	31.53	11.15	14.95
	13—22	6.14	60.74	5.35	30.76	6.98	19.52	7.75	11.29
	30—40	4.34	37.27	3.17	26.71	2.66	18.01	5.17	10.55
污-20	0—10	6.17	57.29	7.77	24.29	4.66	24.77	6.89	12.30
	15—25	5.19	51.08	2.22	21.04	2.73	24.02	6.03	6.15
	35—45	5.32	34.51	3.81	22.66	0.66	15.01	5.13	5.27

* 张尔敬同志参加部分分析工作。

** 硫化物的测定系用醋酸铅将溶液中的硫化物沉淀后在酸性溶液用标准碘液分解沉淀,再用标准硫代硫酸钠液滴定碘,结果按 H_2S 分子量计算。

*** 酚的测定系用过量溴使酚溴化后用碘量法进行,实际上不尽是酚,而包括部分溴化物。

从表 5 中可以看出,土壤溶液中酚和硫化物的含量都是表土比底土高;灌废水的土壤比灌清水的高;灌废水年限长的又比年限短的高;水稻生长期的含量显著地较水稻非生长期时的高。这不但说明废水中含有较多的酚和硫化物,而且也指出,这些物质将因废水灌溉而在土壤中而逐渐积累起来。虽然过量酚的存在会对作物产生毒害,大量硫化物的积累也为对作物有害的 H_2S 的生成提供更多的可能性。但是,从表 5 的材料来看,这些物质的积累量还并不是很高的;后面我们将要看到,它们似乎还没有达到毒害的剂量(酚)或生成大量毒害物质成为不可避免的剂量(硫化物)。

应当指出,虽然在废水灌溉的土壤中,由于土壤中微生物的作用及土壤的物理化学状况使得酚和硫化物并未大量的积累起来,但是必须看到土壤中的这种生物和物理化学作用是有了一定限度的,如果废水浓度过高,灌溉水量过大,则均有可能产生不良的后果。

(四) 土壤肥力状况

1. 土壤腐殖质和氮素含量: 表 6 结果表明,总的说来,土壤腐殖质和全氮的含量是灌废水的土壤比灌清水的高, 废水灌溉年限长的又比灌溉年限短的高。但是除了灌溉水质和灌溉年限外,看来腐殖质和全氮含量还与土壤质地有关,质地粘(如污-12)的含量高于质地砂的(污-20)。Allison 等也曾指出,在雨量和温度等相近似的条件下,土壤有机质的积累与土壤粘粒含量有密切的关系^[11]。

废水灌溉的土壤,一般均不施加任何肥料,因此土壤有机质的来源除每年作物的根茬外,主要是随灌溉而进入土壤的废水中的有机物。因此,可以说废水灌溉对土壤肥力的保持和提高均具有重要的作用。灌清水的土壤其腐殖质和全氮在 50 厘米内的含量逐年逐季减低;而灌废水的土壤只是在最后一次采样期,才有下降的现象。其原因可能是: 在作

表 6 土壤腐殖質和氮的含量

土 号	取样深度 (厘米)	腐殖質(%)				全 N(%)			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
清-1	2—12	1.74	1.69	1.69	1.53	0.12	0.11	0.10	0.09
	18—28	1.39	1.24	1.12	1.09	0.12	0.11	0.08	0.09
	40—50	1.14	1.09	0.97	1.12	0.11	0.09	0.08	0.07
污-3	0—10	1.71	1.86	1.74	1.64	0.10	0.11	0.10	0.10
	10—25	1.43	1.41	1.07	1.14	0.10	0.10	0.09	0.09
	25—40	1.16	1.19	0.91	0.81	0.09	0.10	0.08	0.07
污-12	0—13	2.83	2.90	2.65	2.81	0.17	0.14	0.16	0.15
	13—22	2.00	2.03	2.24	2.29	0.14	0.18	0.15	0.13
	30—40	1.74	2.00	1.78	1.48	0.12	0.13	0.12	0.08
污-20	0—10	1.97	2.19	2.05	1.71	0.13	0.13	0.10	0.10
	15—25	1.33	1.66	1.95	1.64	0.08	0.13	0.11	0.09
	50—60	1.64	1.14	1.60	1.16	0.08	0.11	0.09	0.06

物生长期間,一方面由于随废水灌溉带入了較多的有机物和氮化合物,而直接有助于腐殖質和氮素的积累。它們的累积量的绝对值与所灌废水的数量和浓度密切相关,如 1961 年废水浓度較高($\text{NH}_4\text{-N}$ 为 15—20 毫克/升),且逢春旱,因而灌废水量大,腐殖質和氮累积量較多;1962 年废水浓度低($\text{NH}_4\text{-N}$ 为 9—12 毫克/升左右),灌废水量較少,腐殖質和氮的累积量相对的較低。另一方面,由于用废水灌溉,植物产生的干物質量較多,从而为土壤提供了形成腐殖質的更多原料。总之,由于废水中含有較多的氮素和有机物质,用来灌溉土壤,可以在不施任何肥料的情况下,既满足了当季作物对养分的需要,又通过产生較大量的根槎等,有助于土壤有机質的积累从而提高土壤的潜在肥力。

此外,我們还测定了各土壤表土腐殖質的組成,其結果如表 7 所示。

表 7 土壤腐殖質的組成 (0—10 厘米)
作物生长期(占总 C%)

土 号	胡 敏 酸			富 里 酸			胡敏酸 富里酸	活性胡敏酸	胡敏素
	I	II	总量	I	II	总量			
清-1	14.3	8.9	23.2	20.1	3.1	23.2	1.0	1.8	44.6
污-3	14.2	16.4	30.6	18.5	3.6	22.1	1.4	8.7	42.6
污-12	20.4	7.6	28.0	21.3	4.2	25.5	1.1	4.7	43.5
污-20	17.6	13.5	31.1	15.4	3.7	19.1	1.6	9.6	45.5
非 生 长 期									
清-1	25.7	11.0	36.7	13.1	5.9	19.0	1.9	12.4	43.6
污-3	18.6	11.0	29.6	17.2	8.7	26.0	1.1	10.9	38.3
污-12	25.9	9.3	35.3	17.1	3.8	20.9	1.7	10.8	40.4
污-20	27.4	8.7	36.2	16.5	5.3	21.9	1.7	17.8	44.2

按照 И. В. Тюрин 的意見,活性胡敏酸是与活性 R_2O_3 結合的或游离的胡敏酸。它們在供应养分方面具有較大的作用。表 7 表明,土壤中活性胡敏酸的含量,在作物生长期,废水灌溉的均比清水灌溉的高;在非生长期彼此差异不明显,但均比生长期的低。胡

敏酸总量在作物生长期灌废水的土壤均比灌清水的高;在非生长期各土壤间差异不明显,但大都比生长期的高,富里酸则相反。这说明在废水中含有相当多能进一步形成胡敏酸的物质,用废水灌溉有助于胡敏酸的累积。

胡敏酸光密度的测定结果(图 1)表明,灌废水的土壤,胡敏酸的缩合度大多比灌清水的高。连续灌溉废水 20 年的土壤,其胡敏酸的缩合度特低,可能与该土壤质地较轻粗有关。

2. 土壤肥力的生物测定: 盆栽试验的结果列于表 8 中,各处理水稻的生长情况见图 2。从图 2 可以看出,在所有供试土壤中,水稻的生长情况都是灌废水的比灌清水的显著地好一些,即使是废水灌溉年限长、肥力较高的土壤(如污-12)也不例外。废水灌溉的处理,地上部分的干物质重一般较清水灌溉的增加 60—110%,籽实重增加 72—135%;此外,废水灌溉的处理,籽实中蛋白质的含量要比灌清水的高出 4—26%(表 8),这说明,利用废水灌溉,既能显著地提高水稻产量,又能提高水稻的品质。废水灌溉的地上部分干重

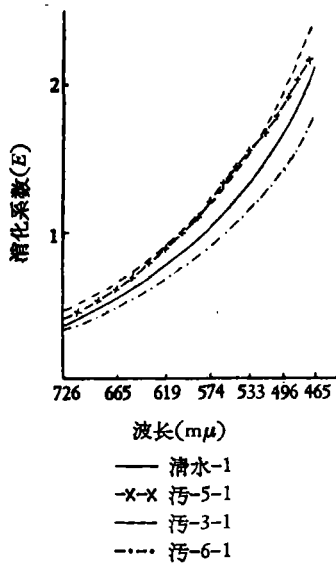


图 1 土壤胡敏酸的光密度

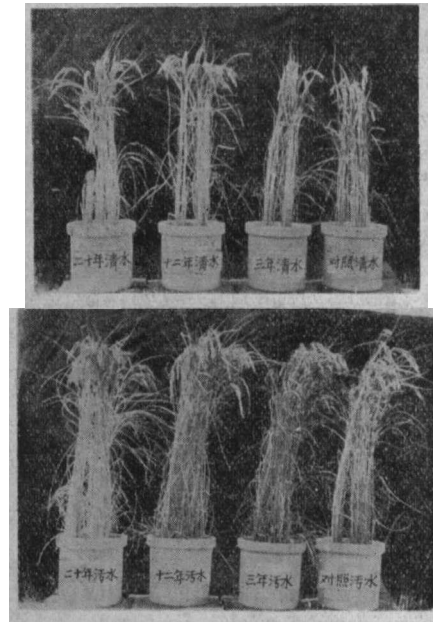


图 2 各处理水稻的生长情况

表 8 各处理水稻的产量和品质

处 理	每盆产量 (克)	增 产 (%)	地上部分干物重 (克/盆)	增 产 (%)	蛋白质 (%)
对 清	26.7	100	57.5	100	5.25
对 污	56.6	211.9	92.5	160.9	5.50
三 清	27.8	100	59.0	100	5.44
三 污	65.4	235.3	120.0	212.2	5.75
十二清	48.2	100	80.0	100	5.81
十二污	83.3	172.8	155.0	193.8	6.38
二十清	35.0	100	79.5	100	5.56
二十污	67.1	191.7	130.3	164.3	7.00

和籽实重的增产%与土壤的历史没有明显的相关说明,废水的这些有益效果,并不因废水灌溉的历史较久而减弱。从各种土壤清水灌溉的产量比较中还可看到,凡具废水灌溉历史的土壤,其产量均较高,且有随灌溉年限增加而增高的趋势。看来,在所研究的土壤的具体条件下,连续利用废水灌溉 20 年,并不曾使土壤中积累大量妨碍作物生长的有害物质使土壤肥力降低。反之,它还提高了土壤肥力。因此,可以认为,利用废水灌溉,只要采取合宜的措施,不但是提高当季水稻产量的有效措施,而且也是提高土壤肥力的一种途径。

摘 要

1. 随着废水灌溉进入土壤中的物质除氮素外,还有酚和硫化物等有害物质。

2. 土壤溶液中酚和硫化物的含量随废水灌溉年限的增长而增高,其绝对含量受土壤质地的制约,质地粘的虽灌溉年限不长积累量亦高,如灌溉 12 年的粘壤质泛滥地草甸土,其酚和硫化物的含量比灌溉 20 年的砂壤质泛滥地草甸土高。

3. 灌废水的土壤中酚细菌的含量明显地比灌清水的为高,其数量既有随灌溉年限增长而增加的趋势,同时又受土壤质地的影响,质地粘的含量较高,砂的较低。酚细菌的含量与酚的含量成正相关,说明酚的存在给酚细菌的活动提供了物质基础,酚细菌的积极活动可能是酚在土壤中的年积累量不多的主要原因。

4. 在 50 厘米土层内腐殖质和氮的含量,灌废水的土壤比灌清水的高 15—53%。显然,利用废水灌溉有助于腐殖质的积累。在水稻生长期,废水灌溉的土壤中活性胡敏酸含量较清水灌溉的为高的事实说明,随废水灌溉进入土壤中的有机物——可能是酚类化合物的氧化产物醌类,在一定条件下参与了腐殖质的形成。

5. 盆钵试验证明,历年用废水灌溉的土壤,水稻产量均比灌清水的高,其中灌溉年限为 12 年的最高,20 年的其次,3 年的再其次。所有供试土壤继续用废水灌溉的都比改用清水灌溉的产量显著提高。这表明,即使连续用废水灌溉稻田达 20 年之久,对土壤性质亦无不良的影响,且仍有提高土壤肥力的作用。

6. 废水中虽同时含有大量对作物生长有利和有害的物质,但由于土壤本身具有较大的生物活性和缓冲作用,因而消除或缓和了有害物质的为害,发挥了有益物质的作用,提高了土壤肥力,导致作物明显的增产。

参 考 文 献

- [1] 吴维中等:工业废水灌溉稻田的研究。(未刊稿) 1960。
- [2] 邱凤琼等:不同定额的工业废水灌溉稻田引起的土壤性质的变化对作物增产的影响。土壤通报, 6 期, 6—11 页, 1963。
- [3] 中国科学院林业土壤研究所微生物室:土壤微生物分析方法手册。65—72 页, 科学出版社, 1960。
- [4] Ю. Ю. 卢里耶, А. И. 雷布尼利娃:工业废水的化学分析法。145—154 页, 化学工业出版社, 1960。
- [5] М. М. 科诺诺娃(陈恩健等译):土壤有机质。88—108 页, 科学出版社, 1959。
- [6] В. О. 塔乌松:植物生物力能学的基本原理。119—121 页, 科学出版社, 1961。
- [7] Hamdy, M. K., Sherrer, E. L., Randles, C. L., Weiser, H. H. and Sheets, W. D.: Some characteristics of a phenol-oxidizing *Pseudomonas*. Applied microbiology, 4:2, 71—75, 1956.
- [8] Kilby, B. A.: The Formation of β -Ketoacid by bacterial fission of aromatic rings. Biochem. J., 49, 671—674, 1954.

- [9] Купревич, В. Ф.: Вопросы почвенной энзимологии. Вест. АН СССР; 4, 52—57, 1958.
- [10] Доробник, Я.: Изучение биохимических превращении органических веществ в почве. Почвоведение, № 12, 62—71, 1957.
- [11] Allison, F. E., Sherman, M. S. and Pink, L. A.: Maintenance of soil organic matter: I. Inorganic soil colloid as a factor in retention of carbon during formation of humus. Soil Sci., 68:463—478. 1949.

ИЗУЧЕНИЕ ОРОШЕНИЯ РИСОВЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОТРАБОТАННОЙ ВОДОЙ С ФЕНОЛОМ

I. ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ РИСОВЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОТРАБОТАННОЙ ВОДОЙ НА СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ ПЛОДОРОДИЕ

Цю Фэн-цюн, Ли Фэн-чжэнь, Гао Цзы-цин, Чжуан Цзи-пин,
Чжэн Сян-линь и Ли Юй-кунь
(Институт Леса и Почвы АН Китая)

(Резюме)

1. Азот, поступающий вместе с отработанной водой в почву, является полезным веществом, а фенол и сернистые соединения—вредными.

2. Содержание фенола и сернистых соединений в почвенном растворе повышается по мере удлинения продолжительности орошения, а их абсолютное количество зависит от механического состава почв. В тяжёлых почвах количество накопления этих веществ высоко, хотя история их орошения недолга. Так например, в луговых пойменных суглинистых почвах, орошаемых на 12 лет, содержание фенола и сернистых соединений выше, чем в луговых песчаных пойменных почвах, орошаемых на 20 лет.

3. Количество феноловых бактерий в почвах, орошаемых отработанной водой, значительно выше, чем в почвах, орошаемых обычной водой. Причём чем продолжительнее орошаются почвы, тем больше содержится этих бактерий. Их абсолютное количество зависит от механического состава почв: в тяжёлых почвах их больше, чем в лёгких почвах. Между содержанием фенола и феноловыми бактериями существует прямая корреляция. Из этого видно, что фенол дает материальную основу для деятельности феноловых бактерий. Вероятно, это является главной причиной малого накопления фенола в почвах.

4. Содержание гумуса и азота в верхних горизонтах почв (в пределах 50 см), орошаемых отработанной водой, увеличивалось на 15—53% по сравнению с содержанием в одних и тех же горизонтах почв, орошаемых обычной водой. В вегетационном периоде содержится больше подвижных гуминовых кислот в почвах, орошаемых отработанной водой, чем в почвах, орошаемых обычной водой. Эти явления говорят о том, что органические вещества поступают с отработанной водой в почву, или продукты окисления феноловых соединений (хиноны) принимают участие в образовании гумуса в определенных условиях.

5. Вегетационные опыты показывают, что урожай риса в почвах, орошаемых отработанной водой, выше, чем в почвах, орошаемых обычной водой. Максимальная прибавка получена в почвах, орошаемых на 12 лет, меньшая—в почвах, орошаемых на 20 лет, а минимальная—в почвах, орошаемых на 3 года. Во всех почвах, постоянно орошаемых отработанной водой, урожай риса выше, чем в почвах, орошаемых сначала обычной водой, а потом отработанной водой. Результаты этих опытов показывают, что постоянное орошение рисовых полей отработанной водой на 20 лет не оказывало плохого влияния на свойства почв, причём оно играло положительную роль в повышении плодородия почв.

6. В отработанной воде одновременно содержатся полезные и вредные для растений вещества, однако почвы исключают и ослабляют токсичность вредных веществ благодаря их большой биогенности и буферности, что значительно способствует развертыванию эффекта полезных веществ, повышению почвенного плодородия и большой прибавке урожая культур.