

农田排水中磷素对苏南太湖水系的污染*

张水铭 马杏法 汪祖强

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 采用封闭体系和磷素平衡方法研究苏南太湖地区农业面源中磷的排出负荷量和减少磷排出负荷量的措施。

实验结果表明,雨水较丰富的 1987 年,苏南太湖流域农田地表排出磷的总负荷量为 440.4t/a,而较为干旱的 1988 年为 299.9t/a。

关键词 农田排水,磷素,负荷量。

在研究水质富营养化过程中,大量的事实表明,湖泊水体中氮和磷浓度的比值在 10:1 至 25:1 的范围时,藻类生长与 N、P 浓度存在直线相关关系。当水体中磷素供应充足时,有利于藻类生长,促使水体迅速向富营养化方向发展。目前我国水体中 N、P 污染状况表明磷是决定水质富营养化的关键性限制因子。

长期而过量地施用磷肥,常导致农田耕层土壤处于富磷状态,从而加速磷向水体迁移的速度。据估计全世界每年大约有 300—400 万 t P_2O_5 从土壤迁移到水体中^[1],美国每年由化肥和土壤进入水生态系统的磷达 0.45 亿 kg 左右^[2],日本水田磷的排出负荷量为 0.3—8.4kg/(hm²·a)^[3],我国武汉东湖流域农田的磷素流失量为 0.061g/(m²·a)(610g/(hm²·a))^[2],陕西黄土高原侵蚀最严重的地区府谷县,米脂县农田中磷(P_2O_5)流失量分别为 9.9 和 8.7kg/(hm²·a)^[4]。近年来人们已逐渐认识到农田非点源造成的磷素对水体的污染与工业点源排放的污染具有同等的重要性,是一种不可忽视的污染源。本研究采用大面积水系封闭体系和磷的平衡方法,探索农业非点源污染对区域水系水质的影响。

1 实验方法

1.1 农田磷素流失测量试验

本区的自然土壤主要有两种,即黄棕壤和潮土,经长期种植水稻形成不同类型的水稻土,即漏水水稻土,侧渗水稻土,滞水水稻土,爽水水稻

土和囊水稻土^[5]。本实验分别在张家港市鹿苑乡,溧阳县新昌乡,武进县卢家巷乡,宜兴市宜丰乡和吴江县湖滨乡选择 5 处实验场地(各处面积为 1.3—3.3hm²),分别代表上述 5 种类型水稻土,设置稻田地表径流和地下渗漏试验,各实验区均设置独立封闭的灌溉和排水系统。在各实验区分别安装 NFL-150 型分流式农田量水计,PVC 渗水计,稻田渗漏量测定仪和量雨计等农田水文测量仪器设备。在降雨,灌溉和稻田排水时都进行采样,记录水量,同时测定水样中总磷浓度,稻田田面水和地下渗漏水进行定期(每周 1 次)采样和测定其总磷浓度,达到动态地定量观测进入和排出试验区的降水,灌溉用水,地表径流和地下渗漏水的水量及其总磷量。

同时,在溧阳县新昌乡,张家港市鹿苑乡和武进县卢家巷乡的棉田,豆田和桑园设置旱田地表径流试验区。地表径流量采用大口径水表进行流量测量,在有径流发生时采集地表排水并测定水样中总磷浓度。

1.2 磷肥施用量和施用方式对水质的影响试验

(1) 模拟试验 采用长宽高为 50×30×30cm 长方塑料箱,箱内分别填装 20cm 深上述 5 种类型水稻土,分别进行植稻和种麦的施磷模拟试验。依据当地施肥量设计 3 组处理,即相当于每公顷施过磷酸钙 375kg,750kg 和对照(不施磷

* 国家“七五”科技攻关课题。参加工作的还有马立珊,张桂英
1993 年 5 月 12 日收到修改稿

肥),每一处理 3 个重复,分别收集,测量排水量和分析排水中总磷浓度。

(2)田间试验 根据当地习惯,设计种麦施磷肥植稻不施磷肥和植稻施磷肥 2 种施肥方案。麦地施磷量为每公顷过磷酸钙 750kg,1500kg 和对照(不施磷肥)3 组处理。植稻施磷量为每公顷过磷酸钙 375kg,750kg 和对照 3 组处理,并测定全年植稻期间磷素的流失量。

1.3 水中总磷的测定方法

用过硫酸盐氧化法同时测定水中的总氮和总磷^[6]。

2 结果与讨论

2.1 降水中磷的浓度与比负荷量

在苏南太湖流域的上、中、下游,按地貌特征及主要土壤类型设置 5 个试验区,进行 2 年实地

降水量和降水中磷的浓度测定。1987 年度降水量为 1240—1460mm,平均为 1340mm,1988 年度为 868—1000mm,平均为 930mm,全区降水中磷的浓度平均为 0.020mg/L。

设全年磷素随降水进入农田的数量为降水“负荷量”,单位面积负荷量称为“比负荷量”,按下式计算:

$$L = \bar{c} \times Q$$

式中,L 为比负荷量(g/(hm²·a)), $\bar{c}$ 为降水平均浓度(mg/L),Q 为每年每公顷降雨量(m³/(hm²·a))。各试区降水中磷素比负荷量见表 1,1987 年为 187.5—337.5g(P)/(hm²·a),平均为 267.9g(P)/(hm²·a),1988 年为 132—231g(P)/(hm²·a),平均为 186.6g(P)/(hm²·a)。

2.2 灌溉用水中磷的浓度与比负荷量

农田灌溉用水量受多种因素制约,本研究通

表 1 苏南太湖地区降水中磷的浓度与比负荷量

地 貌	地 点	浓度 (mg(P)/L)		降水量 (m ³ /hm ² ·a)	比负荷量 (g(P)/(hm ² ·a))	年度
		范围	平均			
丘陵区	溧阳县新昌乡	0—0.063	0.014	13425	187.5	1987
高平原区	武进县卢家巷乡	0—0.080	0.023	12390	285	1987
平原区	宜兴市宜丰乡	0—0.094	0.023	14670	337.5	1987
沿江区	张家港市鹿苑乡	0—0.065	0.020	14055	280.5	1987
圩区	吴江县湖滨乡	0—0.062	0.020	12465	249	1987
丘陵区	溧阳县新昌乡	0—0.063	0.014	9465	132	1988
高平原区	武进县卢家巷乡	0—0.080	0.023	8685	199.5	1988
平原区	宜兴市宜丰乡	0—0.094	0.023	10035	231	1988
沿江区	张家港市鹿苑乡	0—0.065	0.020	9150	183	1988
圩区	吴江县湖滨乡	0—0.062	0.020	9390	187.5	1988

表 2 苏南太湖地区灌溉用水中磷的浓度与比负荷量

土壤类型	地 点	浓度 (mgP/L)		降水量 (m ³ /hm ² ·a)	比负荷量 (g(P)/(hm ² ·a))	年度
		范围	平均			
测渗水稻土	溧阳县新昌乡	0.020—0.052	0.043	5490	237	1987
滞水水稻土	武进县卢家巷乡	0.051—0.087	0.063	5730	363	1987
爽水水稻土	宜兴市宜丰乡	0.013—0.087	0.047	3345	156	1987
漏水水稻土	张家港市鹿苑乡	0.047—0.137	0.093	9840	919.5	1987
囊水水稻土	吴江县湖滨乡	0.015—0.260	0.119	7365	879	1987
测渗水稻土	溧阳县新昌乡	0.020—0.048	0.041	5445	223.5	1988
滞水水稻土	武进县卢家巷乡	0.040—0.190	0.075	6555	489	1988
爽水水稻土	宜兴市宜丰乡	0.050—0.130	0.093	4935	459	1988
漏水水稻土	张家港市鹿苑乡	0.048—0.230	0.116	12255	1425	1988
囊水水稻土	吴江县湖滨乡	0.048—0.469	0.133	10350	1378.58	1988

过实地测量,1987 年该地区稻田每公顷灌溉量为 3345—9840m³,平均 6360m³;1988 年是旱年,每公顷灌溉量为 4935—12255m³,平均为 7905m³,平均每公顷灌溉水量比 1987 年多 1545m³,其中以漏水水稻土灌溉量最大。

灌溉水中总磷浓度随灌溉水源而异,年度的雨量变化对水中磷的浓度变化也有影响。1987 年灌溉水浓度为 0.020—0.260mg/L,平均 0.073mg/L,而旱年 1988 年为 0.020—0.469 mg/L,平均 0.092mg/L。不同试区由于水源不同,磷的浓度差异很大。如吴江试区水源来自城

镇河道,磷的浓度来比溧阳试区来自水库库水约高出 2 倍(见表 2),磷的浓度月动态变化,也因吴江试区水源复杂季节性变化较大,而其它试区磷的浓度变化相对较小。

灌溉水比负荷量为每次灌溉水量与灌溉水浓度乘积的总和,按下式计算:

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n (c_i \times Q_i)$$

各试区灌溉水磷的比负荷量列于表 2,1987 年为 156—919.5g/(hm²·a),平均为 510.8g(P)/(hm²·a),旱年 1988 年为 223.5—1378.5g(P)/

表 3 苏南太湖地区水田渗漏水磷的浓度与比负荷量

土壤类型	地 点	浓度 (mg(P)/L)		降水量 (m ³ /hm ² ·a)	比负荷量 (g(P)/(hm ² ·a))	年度
		范围	平均			
测渗水稻土	溧阳县新昌乡	0—0.076	0.053	5055	268.5	1987
滞水水稻土	武进县卢家巷乡	0—0.101	0.032	4590	147	1987
爽水水稻土	宜兴市宜丰乡	0.020—0.065	0.039	4710	183	1987
漏水水稻土	张家港市鹿苑乡	0—0.074	0.031	5340	165	1987
囊水水稻土	吴江县湖滨乡	0.078—0.215	0.101	5910	597	1987
测渗水稻土	溧阳县新昌乡	0.030—0.064	0.051	3570	181.5	1988
滞水水稻土	武进县卢家巷乡	0.030—0.066	0.044	4485	198	1988
爽水水稻土	宜兴市宜丰乡	0.020—0.060	0.038	4050	154.5	1988
漏水水稻土	张家港市鹿苑乡	0.040—0.060	0.048	7275	349.5	1988
囊水水稻土	吴江县湖滨乡	0.060—0.292	0.109	4845	528	1988

(hm²·a),平均为 795g(P)/(hm²·a),为 1987 年的 1.55 倍。

2.3 渗漏水中磷的浓度与比负荷量

根据稻田的渗漏量测定,不同类型水稻土日平均渗漏量为 4—10mm 范围。农田渗漏量随季节而变化,一般在水稻种植初期渗漏量较大,其后逐渐减少,但在水稻田排水搁田后复水时,其渗漏量也会突增,尤其是土壤发生龟裂时渗漏量更大。

稻田中磷的渗漏比负荷量计算方法同降水。实验获得 1987 年为 147—597g(P)/(hm²·a),1988 年为 154.5—528g(P)/(hm²·a),说明不同土类间渗漏量差异较大,而年度间较接近,但漏水水稻土旱年的 1988 年为 1987 年的 2 倍(见表 3)

2.4 地表排出水中磷的浓度与比负荷量

苏南太湖地区农田的耕作特点是以水稻-三

麦或油菜轮作(水旱轮作)为主,在水稻土试验区实测的地表排水包括植稻和旱作期间的地表排水,因此,排出水中磷的浓度变幅较大,其范围在 0.020—0.460mg/L,一般在降雨时所引起的排水水浓度较低,高浓度的排水往往发生在田间长期积水或由于水稻生长过程中生理需要而进行的人为性排水。而旱作期间,三麦、油菜田间排出水中磷的浓度较高,最高达 0.78mg/L,尤其是在田间刚施肥,播种后不久,地面覆盖度低,遇到大雨时,肥料土壤随水流出,但此时正是干旱季节,农田排水量极小,所以在旱作期间磷的地表排水比负荷量并不高,而在植稻时 7、8、9 三个月地表排水磷的比负荷量较高,其中以 7 月份最高(见图 1)。

地表排水磷的比负荷量计算方法同灌溉水,计算结果列于表 4,各土类 1987 年度地表排水磷的比负荷量为 132—787.5g(P)/(hm²·a),

表 4 苏南太湖地区水田地表排水中磷的浓度与比负荷量

土壤类型	地 点	浓度 (mgP/L)		降水量 (m ³ /hm ² · a)	比负荷量 (g(P))/(hm ² · a))	年度
		范围	平均			
测渗水稻土	溧阳县新昌乡	0.043—0.183	0.076	1740	132	1987
滞水水稻土	武进县卢家巷乡	0.020—0.783	0.073	3375	247.5	1987
爽水水稻土	宜兴市宜丰乡	0.020—0.741	0.081	2790	225	1987
漏水水稻土	张家港市鹿苑乡	0.033—0.523	0.090	3790	787.5	1987
囊水水稻土	吴江县湖滨乡	0.031—0.416	0.192	2145	412.5	1987
测渗水稻土	溧阳县新昌乡	0.049—0.130	0.098	300	30	1988
滞水水稻土	武进县卢家巷乡	0.057—0.460	0.336	870	292.5	1988
爽水水稻土	宜兴市宜丰乡	0.030—0.245	0.086	450	39	1988
漏水水稻土	张家港市鹿苑乡	0.040—0.283	0.099	1995	198	1988
囊水水稻土	吴江县湖滨乡	0.048—0.432	0.211	4215	888	1988

表 5 苏南太湖地区旱作耕地地表排水磷的浓度与比负荷量

地 貌	土壤类型	地 点	浓度 (mgP/L)		降水量 (m ³ /hm ² · a)	比负荷量 (g(P))/(hm ² · a))	年度
			范围	平均			
丘陵区	黄棕壤	溧阳县新昌乡	0.235—1.230	0.617	1167	720	1987
平原区	黄棕壤	武进县卢家巷乡	0.494—2.004	1.192	1170	1395	1987
沿江区	潮 土	张家港市鹿苑乡	0.438—1.970	1.210	1033	1251	1987
丘陵区	黄棕壤	溧阳县新昌乡	—	—	0	0	1988
平原区	黄棕壤	武进县卢家巷乡	0.091—2.980	1.023	1500	1534.5	1988
沿江区	潮 土	张家港市鹿苑乡	0.500	0.500	60	30	1988

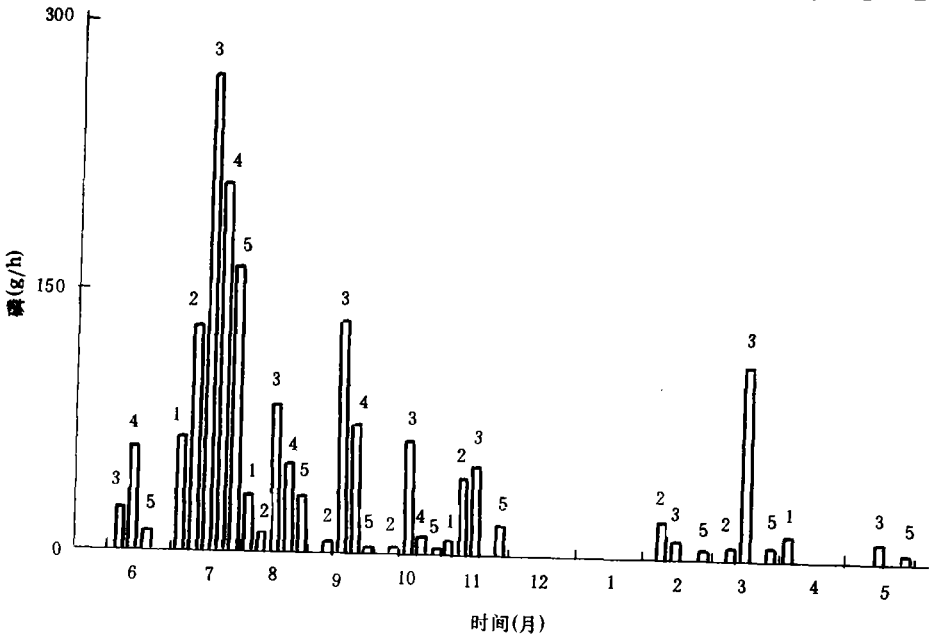


图 1 地表排水磷的比负荷量的动态变化

1. 侧渗水稻土 2. 爽水水稻土 3. 漏水水稻土 4. 囊水水稻土 5. 滞水水稻土

1988 年为 30—888g(P)/(hm² · a)。的淋失出也只是痕量^[8],本试验设计时考虑到旱地渗漏量不大,而且渗漏水经过深厚的土层之后
2.5 旱地土壤地表排出水中磷浓度和比负荷量 地渗漏量不大,而且渗漏水经过深厚的土层之后
据报道磷在土壤中移动极小^[7],它在农田中 随水所带走的磷极微,所以在旱地试验区只测量

地表排水量和降水量及其水中含磷量。

旱地地表排水测试和计算结果列于表 5。结果表明,在不同地区和不同时期地表排出的磷差异较大,一般在夏种后初期,因进行土地耕翻,施入肥料,作物处于苗期,地表覆盖度低,土壤经雨水冲刷,磷素随水排出数量较大。各试区排水中总磷浓度为 0.091—2.980mg/L,经过 2 年的试验实测,旱地地表排出的磷的比负荷量最高达 1534.5g(P)/(hm²·a),丰水年间最低的为 720g/(hm²·a),而旱年间未发生大雨的地区因无排水,比负荷量接近于零。旱地排水另一特点是排水中泥沙含量高,排出的磷主要存在于排出水中的土壤颗粒和土壤胶体悬浮物中。笔者采集了 17 个水样分别进行过滤和不过滤对比分析发现清水中的总磷量仅占 21.3%,固体物质中含磷量高达 78.7%。

2.6 农田磷素差额输出负荷量

农田磷素差额输出负荷量(即净排出负荷量)等于磷素随水排出农田的数量减去磷素随水流入农田的数量。当两者之差为正值时,表示农

田向水系输出磷素,此类农田属“排放型”;反之,差值为负值时,表示农田从水系中盈得磷素,此类农田属“吸收型”。根据下式计算结果表明,苏南太湖地区水田的差额负荷量均为:

$$Q_{TP} = \left(\sum_{n=1}^n c_{排} q_{排} + \bar{c}_{排} q_{排} \right) - \left(\sum_{n=1}^n c_{灌} q_{灌} + \bar{c}_{灌} q_{灌} \right)$$

负值,无论旱年还是丰水年都属于吸收型(见表 6)。旱地与水田不同,在正常情况下磷差额输出负荷量均为正值,除旱年个别地区极少排水外。

2 年实验表明,苏南太湖流域农田磷素地表排出总负荷量 1987 年为 440.4t,平均耕地排出 537g/(hm²·a),磷素差额输出总负荷量为 83.3t,平均每公顷差额输出磷素 102g;而旱年 1988 年排出总负荷量为 299.9t,平均每公顷为 367.5g,差额输出总负荷量为 -199t,平均每公顷 -244.5g。

2.7 减少磷素排出负荷量的措施

(1)合理施用磷肥 田间和模拟试验获得的结果是一致的,结果表明农田磷素排出负荷量与

表 6 苏南太湖流域农田地表排出总负荷量与差额排出负荷量

土 类	面积(hm ² ×10 ⁴)	地表排水总负荷量		差额排出负荷量	年度
		(g/hm ² ·a)	(t/a)	(t/a)	
水 稻	侧渗水稻土	7.92	132	10.5	1987
	滞水水稻土	8.15	247.5	20.2	1987
	爽水水稻土	18.75	225	42.3	1987
	漏水水稻土	9.43	787.5	74.3	1987
	囊水水稻土	18.76	412.5	77.4	1987
旱 作	黄棕壤	10.4	1057.5	110.0	1987
	潮 土	8.45	1251	105.7	1987
合计		81.89	537	440.4	1987
水 稻	侧渗水稻土	7.90	30	2.4	1988
	滞水水稻土	8.13	292.5	23.8	1988
	爽水水稻土	18.73	39	7.3	1988
	漏水水稻土	9.41	198	18.6	1988
	囊水水稻土	18.71	888	166.2	1988
旱 作	黄棕壤	10.29	768	79.1	1988
	潮 土	8.36	29.9	2.5	1988
合计		81.53	367.5	299.9	1988

表 7 不同施肥方法对磷排出量的影响

试验地点	试验方法	处 理 ¹⁾	排水磷浓度(mg/L)	排水量(m ³ /ha·a)	磷排出量(g/hm ² ·a)
溧阳新昌	种麦施磷, 水稻不施磷	对照	0.107	1740	186
		750kg/hm ²	0.113	1740	196.5
		1500kg/hm ²	0.171	1740	297
溧阳新昌	水稻施磷	对照	0.071	1266	90
		375kg/hm ²	0.367	1266	465
常熟辛庄	水稻施磷	对照	0.199	1920	382.5
		375kg/hm ²	0.340	1920	652
		750kg/hm ²	0.549	1920	1054.5
模 拟	种麦施磷 水稻不施磷	对照	0.044	370L/m ²	0.016g/m ²
		2.3g(P)/m ²	0.053	370L/m ²	0.020g/m ²
		4.6g(P)/m ²	0.057	370L/m ²	0.021g/m ²
试 验	种水稻施磷	对照	0.171	140L/m ²	0.024g/m ²
		2.3g(P)/m ²	0.386	140L/m ²	0.054g/m ²
		4.6g(P)/m ²	0.671	140L/m ²	0.094g/m ²

1) 每公顷施用的磷肥量,磷肥为普通过磷酸钙

磷肥的施用量和施用方式关系密切(表7)。在稻麦轮作中,等量磷肥在种麦时施磷肥,磷的排出负荷量比植稻时施磷肥少得多,磷素排出负荷量随稻田磷肥施用量的增加而增加,换言之,要减少磷的排出,必须在种水稻期间尽量少施或不施磷肥。据报道土壤缺磷临界值,水稻为<5ppm,而太湖地区土壤中有效磷<5ppm,只占总耕地16.6%,缺磷面积不大,而实验证明,缺磷土壤在种麦时施用45—60g/(hm²·a)磷肥后,植稻不施磷肥对水稻产量没有影响。

(2)合理灌溉 稻田磷素排出主要是由于暴雨溢流或人为性排水所致,减少田面水的排出无疑是降低稻田磷素排出的关键。从水田各类水样分析结果表明,各种水体中磷的浓度:田面水>地表排水>灌溉水>渗漏水。这说明灌溉水进入农田后,经过蒸发浓缩,以及土壤中磷素向水层释放作用等过程,使得田面水中磷的浓度升高,特别是施用磷肥后几天内,田面水中磷的浓

度可高过3mg/L,甚至更高。1988年度吴江稻田试验区,通过排水排出磷888g/hm²,其中人为性排水中所排出的磷达633g/hm²,占磷排出量的71.3%,所以加强田间水浆管理,采用浅水勤灌,干湿灌溉,减少排水量,可有效达到降低稻田排出负荷量。

参考文献

- 1 刘怀旭主编. 土壤肥料. 合肥:安徽科学出版社,1987:202—230
- 2 彭近新. 水质富营养化与防治. 北京:中国环境科学出版社,1988:191
- 3 田渊俊雄,高村义亲著. 集水域からの窒素ツソの流出. 东京大学出版会,1985:75—129
- 4 余存祖等. 中国水土保持. 1987,(5):13
- 5 徐琪等. 中国太湖地区水稻土. 上海:上海科学技术出版社,1980:53—64。
- 6 钱君龙等. 环境科学. 1987,8(1):81
- 7 沈善敏. 土壤通报. 1985,16(3):97
- 8 王方桃. 生态学杂志. 1985,4(6):26

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Ra-226, K-40 in various waters are 0.12—8.94, 0.02—0.66 μ g/L and 6.0—98.1, 19.2—643 mBq/L, respectively. The geographical distribution of the environmental radiation levels is higher in the west-north mountain area and lower in the east-south plain of Beijing.

Key words: environmental radiation level, dose rate, Beijing.

Study of Treating Acid Cd-Containing Effluent with Expanded Graphite Fluidized Electrode. Zhang Hongbo et al. (Chemistry and Chemical Engineering Department, Hunan University Changsha); *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(6), 1993, pp. 20—23

Acid Cd-containing effluent was treated with expanded graphite fluidized electrode effectively. It has advantages of fairly high current efficiency (40—50%), rapid removal of Cd²⁺ (40.7mg/min), fairly low energy consumption (6—10kWh/kg Cd) and so on. The concentration of cadmium ion in treated effluent can be decreased to below 10ppm. It does not comply with national effluent discharge standard, but it is still effective in the recovery of cadmium. Suitable conditions of treating acid Cd-containing effluent and methods for Cd-recovering were also investigated.

Key words: expanded graphite, fluidized electrode, Cd-containing effluent.

Pollution by Phosphorus in Farmland Drainage to the Taihu-Lake Water system. Zhang Shuiming et al. (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008); *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(6), 1993, pp. 24—29

By the phosphorus balance method in a closed system, this paper dealt with the discharge of phosphorus from agricultural non-point source in Taihu-Lake region in southern Jiangsu Province, and the measures to reduce this discharge. The results showed that the total discharge of phosphorus from the surface drainage of farmland in Taihu-Lake region was 440.4 t/a in a rainy year as 1987, and 299.9 t/a in a dry year as 1988.

Key words: farmland drainage, phosphorus discharge.

Study of the Genotoxicity and Concentration of Five Metals in Air-Borne Particles. Lei Xiufen et al. (Department of Epidemiology, Beijing Medical University, Beijing 100083); *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(6), 1993, pp. 30—33

Samples of variously-sized total suspended particulates (TSP) in the air of one sampling site of Taiyuan are collected in winter. The concentration and the percentage of the particulates are measured, five metals including Pb, Mn, Cr, Ni and Cd in the

extracts from the samples are quantitatively analyzed by atomic absorption spectrometer, and the genotoxicity of the extracts are detected by the SOS chromotest and the mouse bone marrow cellular chromosome aberration assay in vivo. The results show that the mean concentration of TSP is 1.04mg/m³, much higher than the National Standard. The pollution of the smaller-sized particles is serious, as nearly half of the particles are less than 7.0 μ m in diameter. The concentration of Pb, Mn and Ni are high. Besides, the metals can be enriched strongly on the surface of the small particles. Having extracted by simulated lung fluid (SLF), it has been found that metals can dissolve partially into the SLF. The experiments show that both the extracts of acid and that of SLF of the smaller sized particles can induce SOS response and cause an increase in chromosomal aberrations. This indicates the existence of genotoxicants which may cause DNA damage or have clastogenic effects in the smaller-sized particles.

Key words: air-borne particles, genotoxicity, SOS chromotest, chromosome aberration assay.

Study on the Collection Efficiency of a Granules-moving Bed Dust Filter. Zhang Liping et al. (Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(6), 1993, pp. 34—37

Based on analysing the mechanism of filtration through a granule layer and the factors affecting the dust collection efficiency of a granule layer moving bed filter, an orthogonal multi-factor method was used in a laboratory apparatus to preliminarily study the effects of the factors such as the filtration velocity, the size and type of particles, the bed thickness, and the dust load of granule layer, on the dust collection efficiency. Then, a demonstration was made in an industrial pilot plant. The results showed that the suitable filtration velocity was 0.2m/s, the particle size in the moving bed was preferred in 1—2mm, and the bed thickness should be equal to or slightly more than 150mm.

Key words: dust collection efficiency, granular moving-bed, filter.

Anaerobic-Anoxic-Aerobic Process for Municipal Wastewater Treatment. Yang Xiushan et al. (Capital Normal University, Beijing, 100037); *Chin. J. Environ. Sci.*, 14(6), 1993, pp. 38—42

A pilot reactor of anaerobic-anoxic-aerobic process was operated to treat municipal wastewater. The results indicated that the process was able to remove 90% total COD, 89% TSS, 93% VSS, and the removal rates of nitrogen and phosphorus were 80% and 40%, respectively. In anoxic phase, the