

至 21 倍, 平均相差 15 倍左右。这与水中残留 BHC 浓度高于 DDT 的结果相一致。

三、讨论

一些学者的研究指出^[4,7], 藻类能吸附、富集水中的农药, 但能降解农药的藻类有限, 降解的能力也不强。一部分藻体自然死亡后沉至底泥, 在适宜的条件下, 所含的农药被微生物降解, 而相当数量积累在藻体内的农药通过食物链中低位生物转移到高位生物体内(如鱼类), 从而给人类造成潜在的威胁, 因此人们应该合理使用农药。

单细胞藻繁殖快, 能迅速地从水中摄取物质并加以浓缩。可利用藻类的这种特性为人类服务。日本正在进行用小球藻浓缩回收海水中铀的研究^[40], 同样可用栅藻回收废水中的某些贵重金属, 还可用于氧化塘及其他方式废水处理的生化工程中, 以净化污水, 改善环境。

水中残留 DDT 小于 BHC、而藻体内的 DDT 多于 BHC 的原因可能与它们的脂溶性差异有关。DDT 的亲脂性大于 BHC。藻类之所以能富集农药, 主要是因为细胞内

含有类脂质, 脂溶性大的物质必然被富集得多, 反之则少。至于富集量与藻细胞膜的透性, 农药本身的结构的关系尚待研究。

国外一些学者曾报道^[1,3,4], 海链藻、杜氏藻等能降解 DDT, 降解量为 1—7.5%。我们在藻液的萃取物中均未检测出 DDT、BHC 的降解产物, 这说明栅藻只能从水中摄取、浓缩 DDT 和 BHC, 而不能将它们降解、代谢。

参 考 文 献

- [1] Vonce, B. D. et al., *J. AWWA.*, **61** (7), 360 (1969).
- [2] Gregory, W. W. et al., *J. of Protozoology*, **16** (1), (1969).
- [3] Bowes, G. W., *Plant Physiology*, **49**, 172(1972).
- [4] De Kooning, H. W. et al., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **6** (3), 244 (1971).
- [5] 湖北水生所第五室藻类应用组, 水生生物学集刊, 第 6 卷 1 期, 67—73 页, 1976 年, 科学出版社。
- [6] 南京大学生物系环保组, 环境科学, **2**, 39(1977)。
- [7] 张雨元等, 环境科学, **1**(2), 8(1980)。
- [8] 祝玉珂等, 环境科学, **6**, 37(1977)。
- [9] Hansen P-D., *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **8** (8), 721 (1979)。
- [10] 宫崎医大, 发酵和工业, **37**(9), 74(1979)。

关于氮肥地下流失率的初步研究*

朱 济 成

(北京市水文地质工程地质公司)

本实验通过对北方栽培作物和不栽培作物共十个试验盆定期浇灌含有各种氮肥的蒸馏水, 测定各种氮肥在土壤中形成硝酸盐随水流失的数量比例。这个实验对于研究氮肥的地下流失率、合理施用氮肥以及防治氮肥对地下水的硝酸盐污染都具有一定的意义。

一、实验材料和方法

(一) 实验材料

在 10 个底部有小孔的盆内填入 20 公斤清灌区土壤(系单一砂卵砾石层浅层地下水源开采区轻粉土质砂质粘土), 土壤表面积为 0.08 平方米, 土层厚度为 20 厘米, 盆底铺有铜丝网、滤纸及数厘米厚的细粒白色石英砂作为过滤层。分别在五个盆里栽种油菜、韭菜、西红柿、茄子和柿子椒, 另五个盆内不

* 参加本工作的还有李庆诚、衡卫青同志。

表 1 盆栽实验每次淋溶浇灌水量、施氮肥种类及数量、淋出水量与日期表*

实验盆号	栽培作物	每次淋溶时施氮肥种类和数量	淋溶次数		一		二		三		四		五		六		七	
			淋入、淋出量 (l)	—	淋入水量	淋出水量	淋入水量	淋出水量	淋入水量	淋出水量	淋入水量	淋出水量	淋入水量	淋出水量	淋入水量	淋出水量	淋入水量	淋出水量
1	油菜	硝酸铵 4g	20	—	10	1.27	17	4.21	14	2.47								
2	无	硝酸铵 4g	20	9.6	10	7.5	11	6.27	12	5.94								
3	韭菜	无	16	4.05	11	2.73	12	3.88	11	3.86	11	6.06	11	5.5	11	5.39		
4	无	无	16	5.76	11	4.94	12	6.00	11	6.11	11	7.70	11	7.15	11	7.87		
5	西红柿	硫酸铵 6g	16	2.10	16	1.20	15	2.32	11	3.57	11	5.17	13	4.2	11	3.31		
6	无	硫酸铵 6g	16	6.34	11	4.31	12	6.56	11	6.89	11	7.59	11	7.6	11	8.10		
7	茄子	碳酸铵 5g	16	5.88	11	3.3	12	4.05	11	3.86	11	2.02	14	4.06	11	3.65		
8	无	碳酸铵 5g	16	5.65	11	5.06	12	5.75	11	7.02	11	7.43	11	7.43	11	7.92		
9	柿子椒	尿素 3g	16	5.92	11	2.98	12	3.62	11	5.27	11	5.62	11	3.84	11	6.24		
10	无	尿素 3g	16	6.52	11	4.60	12	6.00	11	6.72	11	7.62	11	9.41	11	8.18		
实验日期(日/月)			22/4—6/5		7/5—21/5		13/5—4/6		23/5—17/6		18/6—2/7		3/7—15/7		15/7—30/7			

* 第一、七次淋溶未加氮肥

表 2 施用氮肥盆栽实验淋出水与土壤硝酸盐含量变化

实验盆号	淋溶日期 (日/月)	淋溶次数							土壤中 NO ₃ ⁻ 含量 (mg/100g 土)	
		一	二	三	四	五	六	七	淋溶前	淋溶后
		7/5	13/5	22/5	5/6	3/7	17/7	31/7	14/4	26/8
1			194	272	800				4.00	2.50
2		124	232	920	760				4.00	5.00
3		280	92	27.2	8.8	2.16	1.36	0.232	4.00	0.20
4		292	84	16	7.0	6.0	11.2	5.6	4.00	0.60
5		800	78	376	760	540	700	100	4.00	0.20
6		292	250	460	364	304	292	316	4.00	6.00
7		240	280	600	340	316	240	68	4.00	0.20
8		292	136	272	364	232	280	160	4.00	1.00
9		240	290	600	580	280	560	272	4.00	2.80
10		292	240	520	580	304	280	420	4.00	36.4

种作物以供比较。浇灌水为蒸馏水，氮肥种类有碳酸铵、硫酸铵、硝酸铵和尿素。

(二) 实验方法

实验从 4 月 22 日—7 月 30 日(见表 1)。其中淋出量系每次淋溶最后一日开放盆底小孔全天所放出的水量。

二、结果和分析

(一) 实验结果

施用氮肥盆栽淋溶后，土壤与淋出水中

硝酸盐含量变化如表 2 所示。

(二) 结果分析

根据表 1 和表 2 分别计算出各实验盆氮肥转化为硝酸盐的理想数量、土壤淋溶前后硝酸盐含量增减变化、土壤有机质硝化而来的硝酸盐数量等，以确定从氮肥转入淋出水中的硝酸盐含量之比例。分析结果见表 3、表 4。

从图 1 可见，各种无机氮肥每年每亩同样施用 100 公斤，在栽培作物时，以尿素流失

表 3 无机氮肥转化淋溶地下实验数据

实验盆号	栽培作物	加入氮肥种类与数量 (g) [C ₄]	淋出水中 NO ₃ ⁻ 含量 (mg) [C ₃]	淋溶前后土壤 NO ₃ ⁻ 损失量 (mg) [C ₂]	土壤中有有机质硝化而来的 NO ₃ ⁻ 数量 (mg) [C ₁]	淋出水中由氮肥转化而来的 NO ₃ ⁻ 数量 (mg) [C ₇]	若全部氮肥转化为 NO ₃ ⁻ 的数量 (mg) [C ₆]	氮肥的地下流失率 (%) [P]
1	油 菜	硝铵 12g	3367.5*	300	1726	1341.5	18600	7.21
2	无	硝铵 12g	13213.2	-200	1726	11487.2	18600	61.76
3	韭 菜	无	1546.5	760	1726	—	—	—
4	无	无	2406.0	680	1726	—	—	—
5	西红柿	硫铵 30g	9909.9	760	1726	7423.9	28181.8	26.34
6	无	硫铵 30g	15540.5	-400	1726	13814.5	28181.8	49.02
7	茄 子	碳铵 25g	7938.5	760	1726	5452.5	32291.8	16.89
8	无	碳铵 25g	11528.6	600	1726	9202.6	32291.8	28.50
9	柿子椒	尿素 15g	12934.8	240	1726	10968.8	31000	35.38
10	无	尿素 15g	18412.3	-6480	1726	16686.3	31000	53.83

* 已漏失部分。

表 4 每亩每年施用 100 公斤无机氮肥对地下水的污染状况

氮肥种类	氮肥流失与转化关系		流失于地下的氮肥比例 (%) (1)*		流失于地下的氮肥数量 (kg) (2)*		流失于地下的氮肥转化为 NO ₃ ⁻ 后可能进入到地下水中的数量 (kg) (3)*		流失于地下的氮肥转化为 NO ₃ ⁻ 污染地下水的数量 (使水中 NO ₃ ⁻ 升高 1mg/l 的水量)(万吨)(4)*	
	有作物	无作物	有作物	无作物	有作物	无作物	有作物	无作物	有作物	无作物
硝 铵	7.21	61.76	7.21	61.76	0.806	59.120	0.08	6		
硫 铵	26.34	49.02	26.34	49.02	6.518	22.572	0.65	2.26		
碳 铵	16.89	28.50	16.89	28.50	3.684	10.490	0.37	1.05		
尿 素	35.38	53.83	35.38	53.83	25.874	59.892	2.59	5.99		

* 下文计算说明中用的编号。

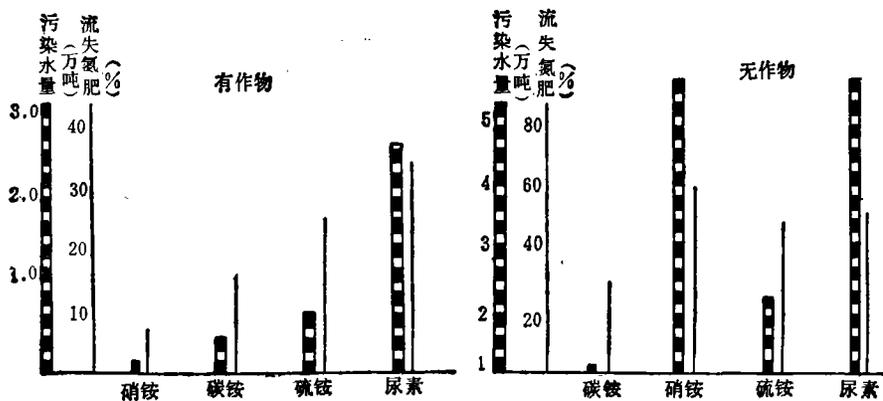


图 1 各种无机氮肥每年每亩施用 100 公斤流失于地下的百分比与使地下水硝酸盐含量升高 1 毫克/升的污染水量

到地下为最多,可达 35.38%。如转化为硝酸盐渗入地下后,可使 2.59 万吨地下水的硝酸盐含量每年升高 1 毫克/升,而硫酸铵、碳铵则次之。硝铵流失到地下的数量最少,为 7.21%,当其以硝酸盐的形式渗入地下水后,仅使 0.08 万吨地下水的硝酸盐含量每年升高 1 毫克/升。在不栽培作物时,硝铵渗入到地下的数量最大,可达 61.76%,能使近 6 万吨地下水的硝酸盐含量每年升高 1 毫克/升,而尿素、硫酸铵则次之。以碳铵流失到地下的数量较少,为 28.5%,可使 1.05 万吨地下水的硝酸盐含量每年升高 1 毫克/升。

实验过程中,由于 1 号盆(有作物,施硝铵)漏失了一部分淋出水,故硝铵流失而污染地下水的数量偏小。在上述化学氮肥中,不论栽培作物与否,均以碳铵流失于地下的数量最少,因而对地下水造成的硝酸盐污染也最轻。

三、分析计算说明

本实验研究分析系建立在水、土壤与氮肥的硝酸盐三者之间平衡计算上,所有的计算均以硝酸盐收支平衡为基础的。

(一) 氮肥的地下流失率 (P) 计算:

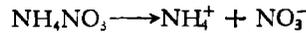
$$P = C_i / C_0 \times 100\%$$

C_0 为理想的全部氮肥转化为硝酸盐的数量; C_i 为淋出水中由氮肥转化的硝酸盐数量,其中: $C_i = C_3 - C_2 - C_1$, 式中 C_3 为屡次淋出水中硝酸盐数量; C_2 为实验前后土壤硝酸盐损失量若为负值,则表示土壤本身的硝酸盐不但未淋入地下,反而增加了(其来源是化肥硝化过程)。计算时应视为零。 C_1 为土壤中有有机质硝化来的硝酸盐数量,可由不种作物、不施化肥的盆 4 得出:淋出水硝酸盐数量与淋溶前后土壤硝酸盐损失量之差值即 $C_1 = C_3 - C_2 = 2406 - 680 = 1726$ 毫克。设盆 1—10 均相同, C_1 均为 1726 毫克。

试举盆 1 与盆 2 为例:

1. 计算 C_0 : 盆 1 与盆 2 各加入硝铵

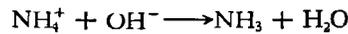
(NH_4NO_3) 12 克,硝铵全部转化为 NO_3^- 按下列反应式推算:



$$\begin{array}{ccc} 12000 & X' & X \\ 80 & 18 & 62 \end{array}$$

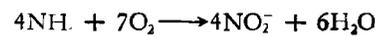
$$X = \frac{62 \times 12000}{80} = 9300 \text{ 毫克 } (\text{NO}_3^-)$$

$$X' = \frac{18 \times 12000}{80} = 2700 \text{ 毫克 } (\text{NH}_4^+)$$



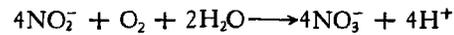
$$\begin{array}{ccc} 18 & 17 & \\ 2700 & M & \end{array}$$

$$M = \frac{17 \times 2700}{18} = 2550 \text{ 毫克 } (\text{NH}_3)$$



$$\begin{array}{ccc} 4 \times 17 & 4 \times 46 & \\ 2550 & Q & \end{array}$$

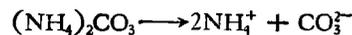
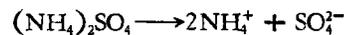
$$Q = \frac{4 \times 46 \times 2550}{4 \times 17} = 6990 \text{ 毫克 } (\text{NO}_2^-)$$



$$\begin{array}{ccc} 4 \times 46 & 4 \times 62 & \\ 6900 & Y & \end{array}$$

$$Y = \frac{4 \times 62 \times 6900}{4 \times 46} = 9300 \text{ 毫克 } (\text{NO}_3^-)$$

$C_0 = X + Y = 9300 + 9300 = 18600$ 毫克,即为盆 1 与盆 2 理想的全部氮肥转化为 NO_3^- 的数量。盆 5 与盆 6、盆 7 与盆 8、盆 9 与盆 10 推算 C_0 方法亦相同。但硫酸铵与碳铵反应式可为:



而尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 可为: $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + 2\text{OH}^- \longrightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_3^{2-}$ 。再分别按前述方法推导出三式中 NH_4^+ 与 NH_3 转化为 NO_3^- 的数量即为 C_0 。

2. C_2 (实验前后土壤 NO_3^- 损失量): 盆 1 (有作物) 实验前后土壤 NO_3^- 含量分别为 4、2.5 毫克/100 克土 (见表 2); 盆 2 (无作物) 实验前后土壤 NO_3^- 含量为 4、5 毫克/100 克土。则盆 1 的 $C_2 = (4 - 2.5) \times$

$10 \times 20 = 300$ 毫克; 盆 2 的 $C_2 = (4 - 5) \times 10 \times 20 = -200$ 毫克 (即土壤 NO_3^- 未淋失)。

3. C_3 (淋出水中 NO_3^- 含量): 由表 1 中三次淋出水量与表 2 中三次淋出水中的 NO_3^- 含量分别相乘并求和: $C_3 = 1.27 \times 194 + 4.21 \times 272 + 2.47 \times 800 = 3367.5$ 毫克。盆 2 (无作物) 计算方法同上, 得 $C_3 = 13213.2$ 毫克。

4. C_i (淋出水中由氮肥转化的 NO_3^- 数量): 淋出水中 $\text{NO}_3^- (C_3)$ 的来源只能有三个: 土壤中原来的 $\text{NO}_3^- (C_2)$ 、土壤中有有机质硝化的 $\text{NO}_3^- (C_1)$ 以及施用氮肥转化来的 $\text{NO}_3^- (C_i)$ 。十个盆都上覆塑料罩, 因而没有硝酸盐干湿沉降。对于盆 1, $C_i = C_3 - C_2 - C_1 = 1341.5$ 毫克; 对于盆 2, $C_i = 11487.2$ 毫克。

5. P (氮肥的地下流失率): 盆 1 $P = C_i / C_0 = 1341.5 / 18600 = 0.0721 = 7.21\%$ (因漏失一部分淋出水, 故该数字偏小)。盆 2 $P = C_i / C_0 = 61.76\%$ 。盆 5—10 计算方法同上 (结果见表 3)。化学氮肥除了作物吸收、大气挥发和土壤残留部分外, 其余可随灌溉水、降水下渗, 即为氮肥的地下流失率。

(二) 表 4 的计算方法

1. 表 4 中的 [1] 行为流失于地下的氮肥比例, 分有作物与无作物两种情况。由表 3 中 [P] 行而来, 计算过程如前所述。

2. 表 4 中的 [2] 行为设定的每年每亩施用各种氮肥 100 公斤后流失于地下的数量, 其数值由 [1] 行流失的比例而来, 即用 100 公斤与流失比率相乘。仍分有无作物两种情况。

3. 表 4 中的 [3] 行为设定的每年每亩施

用氮肥 100 公斤中流失于地下部分转化为 NO_3^- 的形式, 通过下渗可能进入到地下水中的数量。这在水浇田 (如蔬菜、园田等耗水多的农作物) 地区, 尤其是在地下水埋藏较浅的地方, 施用较多的氮肥, 并不时进行大水漫灌, 流失于地下的氮肥转化为 NO_3^- 后, 极易随灌溉水或降水渗入到地下水中。[3] 行同样也分为有无作物两种。计算方法是用 [2] 行流失于地下的各种氮肥数量与表 3 中的 [C_i] 行加入氮肥数量中, 从淋出水里转化为 [C_i] 行的 NO_3^- 数量相比较即可得到。

4. 表 4 中的 [4] 行是从 [3] 行换算而得到, 即将可能进入到地下水中的 NO_3^- 数量按每升水含 1 毫克 NO_3^- 分摊得到的水的体积数。

试举碳铵为例: [1] 碳铵的地下流失率有作物的为 16.89%, 无作物的为 28.50%。[2] 每年每亩施用 100 公斤碳铵后, 栽培作物时流失于地下的碳铵为: 100 公斤 $\times 16.89\% = 16.89$ 公斤; 不栽培作物时为: 100 公斤 $\times 28.50\% = 28.50$ 公斤。[3] 25 克碳铵在有作物、无作物时分别从淋出水中转化为 5452.5、9202.6 毫克 NO_3^- , 那么 16.89 公斤与 28.5 公斤碳铵可转化的 NO_3^- 数量为:

$$25 \text{ 克} / 5452.5 \text{ 毫克} = 16890 \text{ 克} / x_{有};$$

$$x_{有} = 368.4 \text{ 万毫克}$$

$$25 \text{ 克} / 9202.6 \text{ 毫克} = 28500 \text{ 克} / x_{无};$$

$$x_{无} = 1049 \text{ 万毫克}$$

[4] 若 1 升水含 1 毫克 NO_3^- , 则有作物时, 流失于地下的 16.89 公斤碳铵可使 0.37 万吨地下水的 NO_3^- 含量升高 1 毫克/升; 无作物时, 流失于地下的 28.5 公斤碳铵可使 1.05 万吨地下水的 NO_3^- 含量升高 1 毫克/升。