

应开展科学研究,以得到较为理想的生态模式。在我国农村要建立以农业经营为主体的社会—经济—自然复合生态系统的样板点。使农民认识到,生态农业的发展,不仅有明显的环境效益和社会效益,对农民自身来说有明显的经济效益,农民的个人收入都得到明显的增加。发展生态农业对于传统农业来说是件新事物,也是比较复杂的,应组织试点,做出样子再进行推广。

(二)全面规划,合理布局,贯彻因地制宜的方针,把发展生态农业纳入乡镇建设的规划。改善生态环境,建设生态农业,涉及国土整治,综合开发,合理利用自然资源,牵涉面很广。加之,我国地域辽阔,地区之间自然环境、地理条件以及光、热、水、气、营养元素等非生物因子差异很大,生存于其间的植物、动物、微生物等生物因子也各不相同。因此,应根据各地自然环境和社会经济条件,发展不同类型、不同形式的农业生态模式。并把

这种模式纳入计划,以期从经费和技术措施上得以保证。如在山地、丘陵地可建立森林生态系统或林牧粮结合的生态系统;平原地区建立粮食和经济作物相结合的生态农业系统;牧区可建立草原生态系统;水网区可建立基塘生态系统。而这些生态系统是从小到大逐渐发展起来的。

(三)防治工业污染,保护农业生态环境。我们除防止掠夺式利用和开发自然资源而外,重要的一条是防止城市污染转移到农村。不少地区的农村为了增加收入,接受污染严重的工业,导致对生态破坏和对人体的危害,同时指出发展生态农业其收入并不比发展有污染危害的工业收入低。国内有不少这方面的例证。

如果能做到上述三条,则我国的农业将走出一条具有中国特色的新路,这就是一个符合我国国情的新型农业——生态农业。

化 肥 污 染 的 趋 势 与 对 策

张 夫 道

(中国农科院土壤肥料研究所)

解放前,我国基本上不施用化肥。1949年全国化肥纯养分为1.3万吨(N),五十年代为几万至几十万吨,六十年代为229—378万吨。七十年代之后化肥量急骤上升,到1984年为1591.87万吨^[1]。就化肥品种而论,主要是氮肥和磷肥,例如1984年,氮肥(N)1201.78万吨,磷肥(P_2O_5)299.69万吨,钾肥(K_2O)90.40万吨*。亩施化肥量,1969年仅6.9斤(标肥),1975年35.5斤,1982年100.5斤。随着化肥施用量增加,粮食产量也随之增加。若不考虑其它增产因素,仅就肥料而

言,其效果60%来源于化肥,40%来源于有机肥和绿肥^[2]。要实现我国在本世纪的战略目标,化肥用量必将成倍增长。因此,化学肥料对环境的影响将是长期的。

一、化肥污染现状

(一)化肥对环境的贡献

1. 氮肥。我国现阶段氮肥品种主要是碳酸氢铵(简称碳铵)、尿素和氨水,另有少量硫

* 化肥量指生产量加进口量。

铵、氯化铵等。其中碳铵占氮肥生产总量的 54%，尿素占 30.8%，氨水占 15%，其它品种只占 0.2%。在作物整个生育期间，吸收肥料氮为 30—40%，由土壤供给 60—70%。由于我国土壤类型和作物种类差异较大，各地结果很不一致。北方旱作物从土壤中吸收的养分为 73.3—77.5%^[3-5]，南方约为 45—83%^[6]。黄东迈等研究^[8]，残留于土壤中的氮占施氮量的 10—40%。其残效却很低，在稻麦轮作的四季中，各季稻麦吸收残留肥料氮平均占施入肥料氮的 $2.5 \pm 2\%$ 。很大一部分氮通过各种途径损失了。

综合各地试验资料，在旱地土壤上，化学肥料氮施入土壤后， ^{15}N 损失 33.3% 73.6%^[9-12]；在水田土壤， ^{15}N 损失 35.7—62.0%^[13-16]。不同的氮肥品种其损失量不一，根据朱兆良的估计^[6]，在当前的施用方法下，碳铵的氮素损失约在 40—70% 之间；尿素的氮素损失略低于碳铵，除深施外，约为 30—55%；硫酸铵在非石灰性土壤上损失比较少，估计为 15—35%，而在石灰性土壤上达 30—50% 左右。

氮素的损失途径主要有以下几种：

(1) 挥发损失 在 pH 大于 7 的石灰性土壤上，氮肥作基肥表施，氨的挥发非常迅速。在旱地土壤、在 20℃ 下碳铵一天挥发损失 16%，20 天达 50—64.5%^[17]；硫酸铵也达 51%；尿素与碳铵接近或略低，大约为 50% 左右。在石灰性水稻田中，硫酸铵作基肥表施时，氮素损失高达 41.5—51.2%；作基肥混施时也达到 50.3—54.4%^[14]。氨挥发后进入大气，除少部分被绿色植物吸收外，余随风飘逸。其主要部分被大气中的尘埃吸附，由于降雨作用，以干湿沉降物的形式重新回到地面。其中很大一部分将进入地表水中，增加了水体额外的氮负荷。

(2) 淋溶损失 试验结果表明^[26]各种铵态氮肥和尿素施入土壤后，只要 20 天就可完全被硝化，转化为硝酸盐(NO_3^-)，硝酸根不能

被土壤吸附，存在于土壤水中，易被灌溉水和雨水淋溶至还原层。我国各地气候条件比较复杂，土壤性质各异，淋失量差别很大。在干旱和半干旱地区，只有降雨量大于 150 毫米的月份和灌溉水定额使水下渗超过 30 厘米的土层时，于质地轻的土壤上才会发生硝态氮淋失。各地试验结果，氮肥淋失损失量为 8.5—28.7%。其结果将污染地下水源和部分地面水。

(3) 反硝化脱氮损失 反硝化脱氮作用主要发生在稻田地区。日本脱氮损失 30—50%，印度 20—30%^[18]。江苏试验结果^[19]，水稻田脱氮损失为 0—66.1%，平均 16.5—39.4%。我国脱氮损失均值为 15—40%，平均 35% 左右^[20]。脱氮强度与土壤 pH 值、土壤有机质含量、施肥方式、氮磷配合、农业措施等因素有关。

(4) 随水流失 稻田中的氮素还会随水流失。据研究^[21]，稻田施用氮素化肥后 24 小时内排水，损失氮 10—20%，尿素大于碳铵，因为尿素要经过 2—3 天水解后方转化为铵而被水稻吸收或被土壤胶体吸附。在有串灌习惯的地区尤为突出。

(5) 地面径流和冲刷 这是一个破坏性的流失途径。不仅施下的化肥，而且土壤也被剥蚀。在水土流失严重的地区，施用的氮肥几乎 100% 流失。

总之，按全国试验数据估计，氮素通过挥发损失约 20% 左右，淋溶损失 10% 左右，反硝化脱氮损失 15% 左右，地面径流、冲刷和随水流失 15% 左右，总损失量 60% 左右。

据国外报道，全世界有 1200—1500 万吨氮素是通过硝化作用损失的，反硝化作用损失同样数量的氮素。氮素损失总量等于世界上全部氮肥的一半，价值 60 多亿美元。据 IFDC 和 IRRI 的测定，三袋尿素施于水稻田，损失两袋，仅有一袋被作物利用。以此类推，我国 1983 年氮肥总量 1200 万吨(N)，相当于人民币 192 亿元（按化肥调价前的价格

计算),若损失 60% 即 800 万吨,相当于人民币 120—130 亿元;若按 50% 损失计算,则我国每年损失氮素 600 万吨,折合人民币近 100 亿元。

2. 磷肥 全国磷肥总产 300 万吨 P_2O_5 , 主要有两个品种——过磷酸钙和钙镁磷肥, 占磷肥总量的 98.02%。其中过磷酸钙占 70%, 钙镁磷肥占 30%。

(1) 氟污染 对全国 23 个磷矿 72 个样品分析结果, 氟含量与全磷含量呈极显著正相关 ($r=0.985$), 以含 P_2O_5 24% 的标矿计, 平均含氟 2.2%。生产过磷酸钙过程中, 每年排入大气的氟约 1.54 万吨, 以酸性废水形式排入江河的氟约 5.25 万吨; 钙镁磷肥厂排入大气的 F 约 2.2 万吨, 流入江河的氟约 2500 吨。全国磷肥生产每年排入环境的总氟量约 9.24 万吨。

(2) 磷肥中的放射性 自然界分布的磷矿石中, 往往伴生铀、镭等天然放射性核素。在加工成磷肥的过程中进入磷肥。对全国 22 个矿的磷矿石测定结果, 含铀 0.13—1000 $\mu g/g$, 多数为 10—154 $\mu g/g$, 最高含量为 0.12%; 钍 0—189 $\mu g/g$; 镭-226 微量。对全国 8 个省、地的磷肥测定结果, 总放射性强度为 1.7×10^{-12} — $8.21 \times 10^{-10} Ci/g$, 地区间差异较大。福建松溪磷肥厂制造过磷酸钙的废水中含铀 $4 \times 10^{-5} mg/g$, 钍 $8.4 \times 10^{-5} mg/g$ 镭-226 $3.35 \times 10^{-14} Ci/g$, 总放射性强度比对照水高 17—840 倍。用该废水灌溉和施用磷肥的试验表明^[22], 田泥对核素有富集作用, 但有一定的限度, 至第三年趋于平衡, 即比废水含量高 300 倍, 相当于磷肥的水平。作物的积累规律是根吸收最多, 茎秆次之, 果实部分最少; 在果实中, 稻谷比米含量高, 靠近废水的稻田, 稻谷含铀 $25.7 \times 10^{-6} mg/g$ 是米的 41.4 倍; 含钍 $23.3 \times 10^{-5} mg/g$ 是米的 60 倍; 镭-226 $4.5 \times 10^{-14} Ci/g$, 是米的 13 倍。旱作物与水稻的结果是一致的。目前, 我国食品标准规定铀和镭-226 的限制浓度为 100 $\mu g/kg$,

相当于铀 $68 \times 10^{-12} \mu g/kg$ 和镭-226 $70 \times 10^{-12} Ci/kg$, 根据目前的施磷肥水平, 要达到这个浓度, 需要几百年时间。

矿区周围存在着潜在危险。如四川某磷矿, 磷块岩中含铀 0.002—0.012%, 天然伽玛强度为 26—128 伦琴, 最高 154 伦琴; 互生矿含铀 0.018—0.035%, 天然伽玛强度一般为 22—179 伦琴, 最高 200 伦琴。井下工作人员已有轻度反应, 如头昏者较多, 白细胞 4000 以下者稍多。

(3) 重金属 对全国各地磷肥测定结果 (氢氟酸提取, ICP-800 等离子仪测定), 重金属含量在几至几百 ppm, 只有钙镁磷肥含铬 (Cr^{+++}) 量较高, 为 1000—1800 ppm, 即使一亩地施用 200 斤, 至本世纪末对土壤的影响也是不大的。因此, 施用磷肥不必考虑重金属这个因素。

(4) 三氯乙醛的危害 一些小磷肥厂由于硫酸供应不足, 利用含三氯乙醛或三氯乙酸的工业废硫酸为原料生产过磷酸钙, 由于检测控制不严, 将有毒、有害物质带到土壤里, 污染土壤, 危害农作物。这些磷肥的绝对数量虽不多, 实物量大约十多万吨, 但由于小厂分散于全国各地危害波及面较大。据不完全统计, 危害农田先后达 10 万亩, 损失粮食近 3 亿斤。

(二) 化肥对环境造成的污染

1. 使地表水源养分富集 地表水源的富营养化使藻类大量繁殖, 水源缺氧而导致鱼类和有益水生生物死亡, 从而对环境产生影响。

(1) 引起海洋“赤潮”。1977 年 8 月, 渤海湾出现了“赤潮”, 面积 560 平方公里, 时间持续 20 天。经中国科学院青岛海洋所鉴定, 是一种微型原中藻在氮磷营养富集的条件下, 大量繁殖的结果。此后, 渤海湾、大连湾、南海大亚湾及珠江口附近海域接连出现过“赤潮”。

(2) 湖泊富营养化 据对八个城市的调

查资料^[23],在靠近城市周围的一些湖泊出现了富营养化。若以尚未受到明显污染的浙江莫干山剑池水中的氮、磷含量(总N为0.80mg/L,总磷为0.02mg/L)作为暂定标准,那么,北京市积水潭氮超标3.8倍;江苏太湖(鼋头渚)氮超标1.45倍,磷超标0.6倍;杭州西湖氮超标2.37倍,磷超标10.5倍;武汉东湖氮超标1.10倍,磷超标6.0倍;南京玄武湖氮超标1.73倍,磷超标7.5倍;莫愁湖氮超标2.72倍,磷超标6.0倍;扬州瘦西湖氮超标2.55倍,磷超标5.0倍;无锡五里湖氮磷分别超标0.95倍和2.0倍。这些湖泊已进入富营养化初期至中期。水库比较突出的是官厅水库和辽宁大伙房水库。据1979年对大伙房水库测定资料^[24],库区含N1.09mg/L,含P量达0.08mg/升,“藻花”现象多次发生。官厅水库氨态氮含量除了清水河较低,其它均较高,入库河流为2.52mg/L,水库为0.17mg/升。这两个水库处于富营养初期阶段。

(3) 河流富营养化 对全国5.55万公里河段的调查表明,不符合饮水、渔业用水水质标准的河段4.77万公里,占85.9%;不符合地面水质标准的河段2.61万公里,占47%;不符合农田灌溉用水水质标准的河段1.28万公里,占23.7%;严重污染、鱼虾绝迹的河段2400公里,占4.3%。从全国情况看,江河支流的污染普遍重于干流,据统计,全国各大江河的干流有12.7%受到污染,支流有55%受到污染。

(4) 地面水源氮磷的主要来源 ①地面水径流和土壤侵蚀是河流和海洋富营养化的

基础。我国水土流失面积153万平方公里,流失土壤56亿吨左右。初步估算,每年因水土流失而损失的土壤养分大约是:有机质3000—4000万吨,N500万吨, P_2O_5 400万吨, K_2O 1000—2000万吨。②城市排污和农田大量施用化肥是富营养化的必要条件。以京津地区为例,据我们的调查结果,1979年该区排污流入渤海的铵态氮为8720吨, P_2O_5 638吨。该区耕地施氮总量16万吨,若按10%流失量计算,则有1.6万吨进入地面水体,若入海量为50%,则有8000万吨N进入渤海,与污水氮接近。在湖泊富营养化中,污水带入湖泊的氮量占入湖总氮量的85—89%,肥料(包括有机肥)的贡献是11—15%,其中因降水由大气来的氮占4—6%,通过地面径流进入湖水的氮为10%左右。进入湖泊中的磷,由污水进入的占90—96%,由肥料流失的占4—10%,主要是有机肥中的磷,占3—7%,化肥磷占1—3%。

2. 地下水源的污染 主要发生在氮肥施用量高的高产地区和城市郊区。如北京市地下水硝态氮超标地区为200平方公里,上海青浦超标1—1.7倍。

二、化肥污染预测

要了解未来的化肥污染,首先应预测今后的化肥用量。我们采用1949—1983年全国化肥系统资料,编制数学模式进行预测。最佳数学模式见表1。

1. 氮肥污染预测

根据上述数学模型推算化肥生产量,按

表1 化肥回归模型

类 别	回 归 模 型
化肥差分自回归	$Z_t = 0.76Z_{t-1} - 0.452Z_{t-3} + 0.268Z_{t-4}$
化肥N差分自回归	$Z_t = 0.888Z_{t-6}$
化肥 P_2O_5 差分自回归	$Z_t = 0.728Z_{t-1}$

注: Z_t ——化肥量,单位:万吨; t ——时间,单位:年。

表 2 氮肥污染量发展趋势预测

项 目	1983	1990 年			1995 年			2000 年		
		1*	2*	3*	1*	2*	3*	1*	2*	3*
年氮肥产量(万吨 N)	1200	1706			1905			2100		
利用率(%)	40—50	40	50	60	40	50	60	40	50	60
损失污染量 (万吨 N/年)	600—800	1024	853	682	1143	953	762	1260	1050	840

* 1.警告性预测; 2.可行性预测; 3.理想性预测

氮肥利用率计算其损失量,即污染环境的污染量(见表 2)。

在不合理施用的条件下,化肥施用量越大,其利用率越低。但随着科学的发展,施肥技术的改进,保住目前的利用率是可行的。由上表看出,若按照目前 50% 的利用率计算,至 1990 年年损失污染量为 853 万吨 N,2000 年为 1050 万吨 N。倘若任其自流,氮的损失污染量就会增加,按 40% 的利用率计算,至 2000 年损失污染量将达 1260 万吨 N。当然,

如果施肥技术能有所突破,把利用率提高至 60% 也是可能的。这样,至 1990 年污染量增加不大,2000 年也基本维持在 1983 年的水平,这是比较理想的预测。

当前,氮肥品种以碳铵和氨水为主,占氮肥总量的 70%。预计本世纪末,尿素将占绝对优势,占总 N 量的 60% 左右,氮磷复合肥将占 20% 以上,碳铵和氨水将低于 20%。

2. 磷肥污染预测

磷肥的主要污染是氟污染。表 3 指出本

表 3 磷肥的氟污染趋势预测(警告性)

项 目	1983 年	1990 年	2000 年	备 注
磷矿石产量(万吨/年)	1340	2638	3183	标矿
磷肥产量(万吨 P_2O_5 /年)	320	633	764	
流失量(万吨 P_2O_5 /年)	3.2	6.3	7.6	
总氟量(万吨 F/年)	27.5	58	70	
排入江河大气(万吨 F/年)	9.24	19.49	23.50	

世纪末,将用标准磷矿石(含 P_2O_5 24%) 3200 万吨左右,总氟量 70 万吨,目前大约有 34% 的氟进入大气和水域,按此计算,磷肥氟污染则比目前加重 2.1—2.5 倍。如果回收率提高 50%,则可减少排氟量二分之一,2000 年进入大气、水域的磷氟约为 14 万吨,仅为目前的 1.5 倍。

三、对 策

目前化肥对环境的污染,主要是氮肥,关键在于氮素的利用率不高。为此,对策如下:

1. 增加磷钾肥生产和有机肥的比重

目前化肥的氮磷钾比例是 1:0.27:0.031。

据全国土壤普查估计,我国有 2/3 的耕地缺磷,大约 1/4 土壤缺钾。氮磷钾比例失调。根据全国化肥网 262 个试验结果,氮磷钾经济最佳配比为 1:0.28:0.32。考虑到增产的需要,至本世纪末争取 $N:P_2O_5:K_2O=1:0.5:0.2$ 。

国内研究结果,有机肥氮与化肥氮大致各半作物产量最高,农产品品质最好,经济效益最佳^[25]。现在的有机氮与无机氮之比为 0.48:1,这是导致氮肥利用率下降的重要因素。本世纪末争取有机与无机养分比为 1.19:1,有机氮与无机氮为 0.45:0.55,则可大大提高氮肥利用率,减少污染量。

2. 提高施肥技术,改进目前的施肥技术,由撒施变成深施,水田土壤施入 5—15 厘米的还原层,旱地土壤施入 10—12 厘米土层。水田地区改串灌为畦灌。选用无毒、无副作用的硝化抑制剂,以减少氮素的硝化和流失。

3. 发展化肥新品种,大力发展复合肥和长效肥。

4. 积极研究和发展水面养殖适用的肥料品种 陆地和浅海水面养殖将会有很大发展,要提高产量就需施肥,势必增加环境负荷,对环境将带来更大的污染。建议有关部门立即组织攻关,研制适于水面养殖的肥料品种和施用技术。

5. 增加土壤覆盖,控制和减少水土流失。过去,重平原建设不重视山区和河流上游建设是违反农业生态平衡规律的,是治标不治本。应树立山区平原一起抓的战略思想,植树种草,增加土壤覆盖率,是减少水土流失的根本。

参 考 文 献

[1] 张夫道等,农业现代化探讨,第57期,1—37(1983)。

- [2] 张夫道等,农业现代化探讨,第23期,1—10(1984)。
- [3] 黑龙江农科院土肥所,土壤肥料,(4),23—25(1978)。
- [4] 赵振达等,土壤通报,(4),27—29(1979)。
- [5] 晋清源等,山西农业科学,(3),2—4(1981)。
- [6] 朱兆良,土壤,(1),2—9(1985)。
- [7] 鲁如坤,土壤学进展,(6),1—12(1979)。
- [8] 黄东迈等,中国科学,(10),907—912(1982)。
- [9] 赫崇岩等,土壤通报,(3),1—3(1981)。
- [10] 施秀珠等,土壤养分、植物营养与合理施肥(孙羲主编),329—340,农业出版社,1983。
- [11] 袁增玉等,原子能农业应用,(2),34—39(1981)。
- [12] 聂光明等,原子能农业应用,(2),16—20(1982)。
- [13] 郭云桃等,湖北农业科学,(7),14—18(1981)。
- [14] 陈荣业、朱兆良,土壤学报,19(2),122—130(1982)。
- [15] 奚振帮等,土壤学报,15(2),113—125(1978)。
- [16] 朱兆良等,科学通报,(11),503(1977)。
- [17] 赵振达等,土壤养分、植物营养与合理施肥(孙羲主编),217—229,农业出版社,1983。
- [18] 孙羲主编:农业化学,66,上海科技出版社,1979。
- [19] 杨国治等,土壤通报,(3),4—7(1981)。
- [20] 南京土壤研究所,土壤知识,第35页,农业出版社,1976。
- [21] 刘中柱,土肥建设,(4),1—35(1982)。
- [22] 夏元初等,中华放射医学与防护杂志,(3),50—53(1982)。
- [23] 舒金华,环境科学丛刊,5(4),24—30(1984)。
- [24] 马玉琴等,辐射防护,(5),48—52(1981)。
- [25] 张夫道,土壤肥料,(1),16—19(1984)。
- [26] 中国农科院土肥所,科学实验年报,P.79—93,1981。

植 物 对 SO_2 污 染 的 反 应

曹洪法 刘厚田 舒俭民 高映新

(中国环境科学研究院)

SO_2 是大气中的主要污染物,来源于煤、石油燃烧和含硫矿石的冶炼等。随着世界对能源和自然资源需求的增加, SO_2 污染日趋严重。 SO_2 的气相和液相两种形式都会对环境产生有害的影响。气相 SO_2 明显地危害植物、动物、人体和建筑材料等。 SO_2 和大气水蒸气相互作用形成液相 SO_2 ,最终以酸雨

的形式返回地面,对土壤、植物、湖泊、河流和整个生态系统产生很大的影响。

植物对 SO_2 污染的反应是十分复杂的。早期研究基本上集中在 SO_2 对植物影响的症状学和田间调查。近十几年来,采用了复杂的实验设计以及先进的熏气装置和分析技术,研究 SO_2 对植物的毒害作用和影响。本