

合理使用化肥 充分利用有机肥 发展环境友好的施肥体系

朱兆良*

(南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 论述了化肥在我国农业发展中不可替代的重要作用,定量估计了氮肥对地表水、地下水和大气环境的负面影响;对有机肥料的资源量及其农业利用情况进行了估算,强调指出,未被农业利用的有机肥料,特别是人畜粪尿大量直接排入地表水的氮磷量远多于农田中的化肥通过径流进入地表水的氮磷量,成为当前地表水中氮磷的主要来源。在此基础上,提出了对策建议。

关键词 肥料管理, 农业发展, 环境保护



养分循环是支持农业生态系统作物生产的基本过程之一。农业生态系统的养分循环是开放性的,由于循环过程中养分的损失,参加再循环的养分数量必然逐渐减少,生产水平必将逐步下降。因此,为了提高养分的循环强度,

必须从系统以外获得养分以增加养分投入。在化肥工业兴起以前,这一目的是通过种植豆科绿肥和利用山野荒地等非农业用地上的生物物质来达到的,但是,其量有限,农业生产发展不快,生产水平不高。19世纪中叶,德国化学家李比希提出的矿质营养学说为化肥工业的兴起提供了理论依据。化肥的生产及其在农业中的使用极大地促进了农业的发展。今天,化肥已成为发展农业生产不可或缺的物质投入。据联合国粮农组织(FAO)数据库统计,2000年世界的化肥总用量为1.42亿吨(在氮磷钾肥的基础上计入我国特有的“其它氮肥”和“其它复合肥”两项,以 $N+P_2O_5+K_2O$ 总量计,下同),

我国(包括“其它氮肥”和“其它复合肥”)为4 185万吨,占世界总用量的近1/3,为世界之首。

1 化肥对我国粮食生产发展的贡献及对环境的影响

1.1 化肥对我国粮食生产发展的贡献

据FAO数据库的统计资料,1961年我国人均谷物生产量仅为世界人均的近60%。但是,到1998年,除奶类外,我国的谷物和肉蛋类的人均生产量都已超过世界平均水平。这一重大进展的取得与化肥施用量的逐步增加有密切关系(图1)^[1]。

据林葆^[2]的估算,1949年,我国农业生产中尚未使用化学磷肥和钾肥,化学氮肥的使用量也仅为0.6万吨,而有机肥料的用量却达到443万吨,占养分总投入量的99.9%,粮食总产仅为1.13亿吨。随着化肥使用量的增加,有机肥料的资源量随之增多,农业中有机肥料的用量也随之增加,但是,其在养分总投入量(包括有机肥料和化学肥料)中的比重则下降。例如,1995年的化肥使用量达3 594万吨,有机肥料养分的使用量虽也增加到1 701万吨,但仅占养分总投入量5 295万吨的32%,而粮食总产则增加到4.67亿吨。

* 修改稿收到日期:2003年2月8日

化肥使用量的大量增加对粮食产量增长的重大作用,还可从我国粮食总产量与化肥总使用量的相关分析加以论证。从 1949—1998 年的 50 年中,我国粮食年总产与化肥年使用量呈高度线性正相关,相关系数(r)高达 0.959(n=50),回归系数(b)为 8.9(表 1)^[1]。

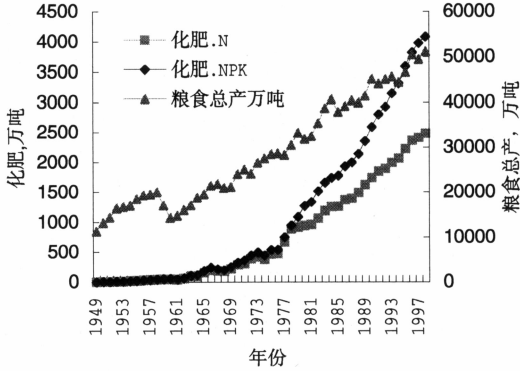


图 1 1949—1998 年我国粮食总产与化肥施用量的增长
(据《中国农业年鉴》绘制)

表 1 1949—1998 年及其不同时段中粮食总产量(Y)与化肥施用量(X)的线性相关(Y=A+BX)

(据《中国农业年鉴》资料计算)

年代	b	r
1949-1958	162.5	0.907
1959-1968	34.2	0.947
1969-1978	11.7	0.852
1979-1988	9.1	0.894
1989-1998	9.7	0.931
1949-1998	8.9	0.959

但是,近些年来化肥的增产效果却趋于降低。如表 1 所示,从 1949—1998 年的 5 个 10 年段中,虽然各段的相关系数 r 仍很高,但自 1949 年起的各 10 年段中其回归系数 b 值(曲线的斜率)却呈明显降低趋势^[1]。

1.2 农田中化学氮肥的损失对环境的影响

近些年来,我国与施肥有关的环境污染问题受到了广泛关注。常常把一些湖泊的富营养化主要归咎于化肥。

化肥中对环境有影响的主要是氮肥和磷肥。关

于磷肥,因为我国农田土壤中约有 79%缺磷(20 世纪 80 年代土壤普查结果),加之磷肥又极易被土壤所吸附因而移动性很低,所以农田中磷的损失主要是通过径流中的颗粒物而进入环境,在一般情况下其量很少,因此,从宏观上来看,磷肥的施用目前尚不至于对环境造成明显影响。不仅如此,有的学者还提出通过施用磷肥以大幅度提高我国农田土壤磷库的建议^[3]。与磷肥不同,氮肥施入农田后,由于损失途径多、损失量大,对地下水、地表水和大气环境都有负面影响,因而一直受到广泛关注。

综合我国部分地区主要作物的田间原位观测结果,对我国农田中化肥氮在当季作物收获时的去向做出了初步估计(图 2)^[4]。当季作物的吸收利用率约为 35%,氨挥发损失 11%,硝化-反硝化损失 34%,后者中具有温室效应和破坏臭氧层作用的 N₂O-N 约为 1.6%^[4],其余的主要是不影响环境质量的 N₂,淋洗损失 2%,径流损失 5%,尚有 13%未能明确(其中包括在农田土壤中的净残留部分)。因此,除 N₂ 外,化肥氮的损失中对环境质量有影响的各种形态的氮素总量约为其施用量的 20%。以此系数换算出 1998 年我国农田中化肥氮通过不同损失途径进入环境的氮量为:进入地表水的约 124 万吨,进入地下水约 50 万吨,以 N₂O 形态进入大气的约 40 万吨,以 NH₃ 形态进入大气的约 273 万吨,总计约 487 万吨。它们成为地表水的富营养化、地下水的硝酸盐富集以及大气 N₂O 的重要来源之一。

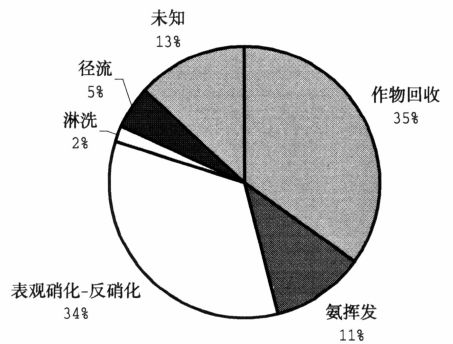


图 2 我国农田中化肥氮在当季作物收获时的去向

应当强调,目前我国农田中化学氮肥的当季作物利用率相当低,在图 2 中虽然估计为 35%,实际上,在高产高肥地区可能低于 25%,而通过各种途径所损失的总氮量约占 50%,因此,改进施用技术,

通过降低施入农田的氮肥损失率来提高作物的吸收利用率具有相当大的潜力^[1]。这是协调农业发展与环境保护的根本要求,因而成为国内外有关学者长期研究的热点。还必须强调指出,在这些地区的农田土壤中矿质氮已有明显的积累,许多田间观测表明,在当季作物收获后,每公顷农田土壤剖面中常存留有数十公斤至数百公斤的矿质氮(主要是硝态氮)^[1]。从全国来看,1998年氮素收支平衡账中氮素的盈余(扣除氮素损失后)多达622万吨,其中相当大的一部分可能残留在土壤中。这一部分矿质氮,或部分地被下季作物所吸收,或部分地通过反硝化或淋洗损失而污染环境,因此,也是对环境的一个潜在威胁。控制氮肥的使用量以减少作物收获时土壤中矿质氮的残留量,既有利于提高氮肥的当季作物利用率,又有利于环境保护,因而应是重要的施肥原则。

2 有机肥料养分资源的农业利用与环境保护

有机肥料(除豆科绿肥中的氮素外)是收获物中的养分通过有机肥料的形式重新用于农业生产的再循环或再利用部分。有机肥料养分的资源量随着农业生产的发展而逐渐增加。

我国一向以充分使用有机肥料而著称于世,但是,近些年来,人们漠视了有机肥料的使用,大量的有机肥料特别是作为其主体的人畜粪尿,从养分源变成了污染源。有机肥料养分资源的农业利用比例决定于有机肥料的收集率和在堆制、储运过程中的损失率。近些年来,随着城镇人口的迅速增加,城镇人粪尿几乎已不再用作肥料,且大多未经处理就直接排入地表水;农村中的人畜粪尿的利用比例也比过去低;规模化养殖在促进养殖业发展的同时,也带来了牲畜粪尿农业利用上的困难,大量的牲畜粪尿(以猪粪尿和牛粪尿的养分数量为最多)也直接排入了地表水。这不仅浪费了大量的养分资源,导致农业生产对化肥的需求过快增长,而且还成为地表水的重要污染源。这一现象还可从农村有机肥料施用情况的变化得到印证。例如,据对江苏常熟市部分农户的调查,1986年施用的有机肥N平均为 50 kg hm^{-2} ,约占当季作物总施N量的30%,至1997年则下降为 20 kg hm^{-2} ,仅占总施N量的6.7%,90%

以上依靠施用化学氮肥^[5]。

从全国情况来看,1998年各种有机肥料N和 P_2O_5 的总资源量分别达到1642万吨和718万吨,但是,根据当前城镇人粪尿和规模化养殖场的牲畜粪尿的收集比例和堆制、储运过程中的氮素损失程度等情况估算,未被利用而直接进入环境的有机肥料N和 P_2O_5 量分别达到1089万吨和201万吨。其中绝大部分的磷直接进入地表水;对于氮素来说,除一部分为氨等气体挥发进入大气外,大部分也是直接进入地表水。显然,人畜粪尿直接排放而进入地表水的氮磷量,已远多于化肥自农田通过径流排入地表水的氮磷量(氮为124万吨,见前述),从而成为主要的污染源。这一论点还可从最近对江苏太湖地区河水和湖水中氮的 $\delta^{15}\text{N}$ 值的测定结果得到进一步印证。该项观测表明,江苏太湖地区河水的氮以 $\text{NH}_4\text{-N}$ 为主,且其 $\delta^{15}\text{N}$ 值平均为+10.435,阳澄湖的湖水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值平均达到+28.279,都远大于化肥铵态氮的 $\delta^{15}\text{N}$ 值(在 ± 1 左右)而接近或高于人和动物排泄物中氮的 $\delta^{15}\text{N}$ 值(+7.5—+14.7)^[6]。

应当强调指出,随着农业(包括养殖业)的进一步发展,有机肥料的养分资源量必然随之增多,因此,如果不能将其尽可能多地用于农业,而是弃置不用,则不仅增大了对化肥的需求,而且还会对环境造成日益严重的污染。近十几年来,环境污染特别是地表水富营养化日趋加重,与有机肥料资源量及其中未被农业利用数量的增加基本吻合这一现象并不是偶然的。根据《中国农业年鉴》的资料估算(表2),1998年作为有机肥料养分主体的人畜粪尿N和 P_2O_5 养分的资源量比1982年分别增加了339万吨和145万吨,而用于农业的仅增加88万吨和76万吨,未利用量却分别增加了251万吨和69万吨,这些未利用的N和P就转而成为环境的污染源。因此,随着农业生产的发展,施用有机肥料问题将会越来越重要^[6]。为此,必须大力提倡使用有机肥料,在政策上应给予积极支持和鼓励,并制定法规,限制人畜粪尿的随意排放,以促进人畜粪尿养分资源的农业利用。例如,种植业与养殖业结合,或有机肥料的商品化和综合利用等;同时应改进技术,以减少在积肥、造肥和储运过程中的损失;在难以进

行资源化时,例如城镇生活污水,则应经脱氮、脱磷 处理后再排放,为此,也需要制定相应的法规。

表 2 1998 年与 1982 年人畜粪尿养分资源(万吨)及其利用情况比较

(据 1983 年和 1999 年《中国农业年鉴》资料计算)

	资源量			净利用量			未利用量		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1998 年	1 256	524	929	396	311	375	860	213	553
1982 年	917	379	653	308	235	275	609	144	378
1998 年比 1982 年增加量	339	145	275	88	76	100	251	69	175
1998 年比 1982 年增加%	37	38	42	29	32	36	41	48	46

3 任务和对策

预计到 2030 年中国人口将达到 16 亿,以人均粮食 400 公斤计算,粮食生产目标应为 6.4 亿吨。即使是粮食播种面积保持不变(很难做到),粮食单产也需从目前的 4.5t hm⁻² 提高到 5.6t hm⁻², 提高约 25%,其中,谷物单产可能需要达到 6t hm⁻² 左右;其它农副产品的增产任务也很大。因此,继续增加化肥的施用量是必须的。在这种情况下,为了保护好环境,必须建立既能达到优质高产,又能保护好环境的肥料管理体系。为此,建议:

(1)“力求协调优质高产与环境保护的关系”应是农业中肥料管理的根本指导思想;大力发展无公害农业,适当发展“绿色食品”生产以促进有机肥料的使用;而“有机食品”的生产,则主要用于商业需要。实际上,有机食品并不都是无公害的,因为有机肥料(如某些牲畜粪便)中也可含有过量的重金属和农药;而且长期大量地将有机肥料集中施于小面积的农田,无论对农产品的质量还是对环境保护都是不利的;

(2)将坚持化肥-有机肥料相配合的施肥制度作为实施可持续发展战略的一个重要内容,努力提高有机肥资源的农业利用比例以及生活污水和养殖场牲畜排泄物的无害化处理率和资源化率。制定政策和法规,积极鼓励施用有机肥料、限制人畜粪尿的随意排放;改进技术,以减少在积肥、造肥和储运过程中的养分损失;

(3)从宏观上调整各区域的农业产业结构。将粮食增产的重点转移到中低产地区。加强中低产田的改造,大力提高中低产田土壤的肥力和生产力;

减轻高产地区粮食生产的压力,在高产地区,应改变单纯追求高产、忽视环境保护的倾向,将因不合理使用化肥所造成的环境污染的治理费用纳入经济效益的考核中;

(4)大力加强农业技术推广工作,提高农技推广人员的环境意识;改变某些农技推广站靠卖化肥、农药补贴经费不足的现象。同时,还应加强农业生态系统中养分循环和优化养分管理的基础性研究。

主要参考文献

- 1 Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China—Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2002,63:117-127.
- 2 林葆.我国肥料结构和肥效的演变、存在问题及对策.中国农业持续发展中的肥料问题.李庆逵等主编.南昌:江西科技出版社,1998,12-27.
- 3 沈善敏.中国土壤磷素肥力与农业中的磷管理.中国土壤肥力.沈善敏主编.北京:中国农业出版社,1998,452-484.
- 4 Xing G X, Yan X Y. Direct nitrous oxide emissions from agricultural field in China estimated by the revised 1966 IPCC guidelines for national greenhouse gases. *Environmental Sciences & Policy*, 1999,2:355-361.
- 5 朱兆良.我国氮肥的使用现状、存在问题和对策.中国农业持续发展中的肥料问题.李庆逵等主编.南昌:江西科技出版社,1998,38-51.
- 6 邢光熹,曹亚澄,施书莲等.太湖地区水体氮的污染源和反硝化.中国科学, B 辑, 2001,31(2):130-137.

Fertilizer Management Strategies for the Harmonization of Agriculture Development with Environment Protection

Zhu Zhaoliang

(Institute of Soil Science, CAS, 210008 Nanjing)

In the present paper the substantial contribution of chemical fertilizers to the development of agriculture in China is demonstrated by the high correlation coefficient between the food production versus the total consumption of chemical fertilizers in the 50 year period of 1949—1998, meanwhile the negative impacts of chemical fertilizer N losses from farmlands on surface and ground waters as well as atmosphere are quantitatively indicated and evaluated. On the other hand, the total amount of nutrient resources in the form of organic manures are estimate, and it is emphasized that the unused proportion, which increases along with the development of agriculture and animal husbandry, is being largely released directly and indirectly into surface water. The amount of which is much higher than that of the runoff losses of chemical fertilizer N and P is becoming the dominant source of N and P in the surface water. Accordingly, the strategies for the improvement of the efficiency of chemical fertilizers and the encouragement in the use of organic manure in agriculture are suggested.

Keywords agriculture development, environment protection, nutrient management

朱兆良 中国科学院南京土壤研究所研究员,中国科学院院士,博士生导师。1932年8月出生于山东青岛。1953年毕业于山东大学化学系后,进入中国科学院南京土壤研究所工作至今。现任中国土壤学会理事长,国际氮素启动项目科学顾问委员会委员。长期从事土壤农业化学研究工作,重点是土壤氮素。刊出论文100余篇。