

广东省土壤磷素流失和控制对策

戴照福¹, 王继增^{2,3}, 程炯³

(1. 皖南医学院, 安徽 芜湖 241002; 2. 仲恺农业技术学院 环境科学与工程系, 广东 广州 510025; 3. 广东生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650)

摘要: 土壤磷素的农业非点源污染是导致水体污染的最主要的原因之一。通过分析广东省的土壤磷素状况, 发现由于近 20 a 来的高强度施肥造成了磷在土壤中大量积累, 使土壤磷素的流失风险和数量都大大增加, 给水环境造成了严重的威胁。为了应对土壤磷素流失给环境带来的影响, 根据广东省自身的情况, 提出了相应的控制措施和治理对策。

关键词: 广东省; 土壤磷; 控制对策

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2007)05—0155—04

中图分类号: S158.5

Soil Phosphorus Loss and Its Control Measures in Guangdong Province

DAI Zhao-fu¹, WANG Ji-zeng^{2,3}, CHENG Jiong³

(1. Wannan Medical College, Wuhu, Anhui 241002, China; 2. Department of Environmental Science and Engineering, Zhongkai Agricultural Technology College, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 3. Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Science, Guangzhou, Guangdong 510650, China)

Abstract: Soil phosphorus as agricultural non-point source pollution is one of the main factors which lead to water pollution. By analyzing the status of soil phosphorus in Guangdong Province, we discovered that risk and quantity of soil phosphorus loss increase rapidly and it severely pollutes the aquatic environment. So we should adopt some control measures to reduce the environment pollution resulted from soil phosphorus loss.

Keywords: Guangdong Province; soil phosphorus; control measure

人类活动导致水体的加速富营养化现象是当今世界水污染治理的难题, 已经成为全球关注的环境问题之一。磷是水体富营养化的主要限制因子^[1], 农业非点源磷素对水环境的恶化有着显著的作用, 水体富营养化和赤潮等现象的发生与农田土壤中磷素的流失有着极为密切的关系^[2-3]。由于磷素在土壤中的迁移性较弱, 而且磷肥的当季利用率较低, 一般为 15%~25%, 长期施肥会导致土壤中的磷素明显积累, 使土壤磷素水平不断提高^[4]。当降雨径流及土壤侵蚀发生时, 土壤磷素就会以水溶态和颗粒态的形式随地表径流或吸附在泥沙颗粒上向水体迁移, 从而导致受纳水体的富营养化。

随着工业点源污染得到全面的治理和控制, 农业非点源污染负荷已经成为主要的水环境污染负荷来源, 流失的土壤磷素是其主要污染负荷之一。广东省有着丰富的河网水系和充沛的降水, 且降雨集中, 降雨量大, 为地表径流的产生以及土壤侵蚀的发生提供

了有利的条件, 也为土壤磷素的流失提供了动力和迁移通道。同时, 由于广东省经济发达, 农业生产集约化程度高, 施肥强度大, 磷肥的施用量普遍高于作物收获带走的磷, 土壤磷素近 20 a 来一直处于积累状态。这无疑使土壤磷素向相邻水体迁移流失的风险和数量大大增加。广东省的碧水和碧海计划准备着重整治主要的河流水库、近岸海域等水体, 其中从源头上控制非点源磷素迁移流失进入水体, 进而减轻水体的富营养化, 是整个整治工作中一个必须考虑的重要环节。

1 广东省的土壤磷素状况

广东省地处热带和亚热带地区, 土地总面积 $1.72 \times 10^5 \text{ km}^2$, 其中山地丘陵面积占 2/3, 成土母质大多以花岗岩和砂页岩风化物为主。其气候特点是夏长冬暖, 雨量丰沛, 雨季长, 干湿季节明显, 多年平均降水量约为 1 500~2 200 mm。特殊的生物气候

收稿日期: 2007-01-24

修回日期: 2007-04-20

基金项目: 广东省科技攻关项目(2003C34509); 皖南医学院人才基金项目(WKRC200602)

作者简介: 戴照福(1980—), 男(汉族), 山东省高密县人, 硕士, 主要从事非点源污染和环境化学方面的研究。E-mail: zf_dai@126.com。

条件形成了地带性土壤——具有明显脱硅富铝化特征的红壤。土壤呈地带性有规律的分布,自北向南从红壤过渡到赤红壤,再到砖红壤^[5]。土壤中原生矿物少,黏土矿物丰富,缺乏植物所需氮、磷、钾等营养元素;有机质因分解快而较少,含量多在 20 g/kg 以下;土壤普遍呈酸性,pH 值多在 4.5~6.5 之间。

广东省属酸性或强酸性的土壤面积很广,一般认为,这些酸性土壤速效磷非常缺乏,并且施用磷肥后很容易被固定,施磷效果较差。根据 20 世纪 80 年代广东省第二次土壤普查的结果,全省土壤全磷含量平均为 0.087%,等级在四级以下的占 77.3%;土壤速效磷含量(P_2O_5)平均为 14.8 mg/kg,等级在四级以下的占 57.4%^[5]。可见当时全省的土壤磷素含量水平比较低。

但是近 10~20 a 来,随着经济的高速发展和市场经济的不断推进,农民为了获得较高的经济效益和作物产量,对种植结构进行了相应的调整,许多水田被改种成集约化程度高,需肥量较大的菜地,同时加大了肥料的投入强度。由于广东省在 20 世纪 60 年代就大力开展了磷肥的科研和推广工作,农民普遍有施用磷肥的习惯。我们在调查中得知,一般农民会在每年作物种植前大量施用磷肥一次作为基肥,其后再根据作物的需肥时期,再分次施用复合肥(一般为 15:15:15 的进口复合肥)和禽畜粪便等有机肥。近年来广东省耕地平均每年施磷量(P_2O_5)81 kg/hm²,全省磷肥施用量从 1980 年的 8.59×10^5 t 增加到了 2003 年的 1.62×10^6 t(图 1)^[6-7]。

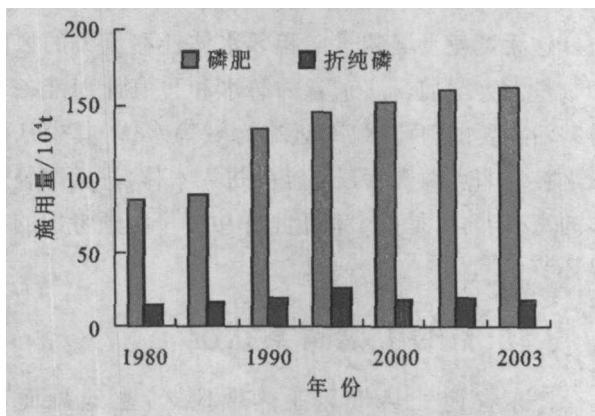


图 1 广东省近年来磷肥施用量

同时畜禽养殖业的发展产生了大量含磷的禽畜粪尿,2002 年广东省禽畜粪尿磷素含量 1.87×10^5 t,折合还田磷素约为 9.23×10^4 t,单位耕地面积禽畜粪尿磷承载量约为 57.3 kg/hm²^[8]。

如此数量巨大的磷素施入到土壤中,造成了土壤有效磷水平显著提高。例如,广东省第二次土壤普查时,从化市土壤有效磷含量较低,一级和二级的占到

22.28%,三级和四级的占到了 66.59%,五级和六级占 10.77%。近 10 a 来从化市种植业结构进行了较大的调整,在经济利益的驱动下施肥量显著增加,使得土壤有效磷含量普遍提高,一级和二级已经占到 52.53%,三级和四级占到 46.97%,五级和六级含量只占 0.51%。耕层土壤有效磷含量平均为 35.0 mg/kg,菜地为 67.1 mg/kg,而花都区的菜地甚至达到了 103.9 mg/kg,处于极丰富水平。这两地原来处于偏低水平的园地土壤有效磷含量也上升到了中上水平^[9-10]。

一般来说,在磷素水平较低的红壤区,磷素的平衡可以允许有 100%~150% 的盈余。但土壤若长期处在这种土壤磷素有较大盈余的水平下,磷素的流失对地表水环境污染的潜在风险就会增大。由于当地有着近 40 a 的施肥历史,因此,大部分土壤特别是水稻土均出现了磷素的积累状况。新的耕地地力调查表明,农田磷素积累趋势十分明显^[10-11]。相关研究也表明,广州市城郊菜地的土壤磷素含量极高,全磷达到了 2.7 g/kg,是自然土壤的 11 倍^[12]。从化流溪河流域菜地土壤全磷平均含量为 0.24%,有效磷平均含量为 95.14 mg/kg,分别为自然土壤的 18.46 倍和 40.49 倍,土壤磷素积累明显^[13]。

近年来广东省的土壤磷素增长速率为 7.7%,磷素盈余高达 300% 以上,即当年所施磷肥量比作物实际吸收量增加了 3 倍,特别是近 10 a 中,在播种面积有所下降的情况下仍有如此快的增长,势必导致土壤磷素的快速积累。由此可见经过几十年的高强度的磷肥投入,广东地区土壤磷素已经从原来一个较低的水平跃升到较高水平。

2 土壤磷素流失状况及其环境影响

土壤磷素水平的提高,一方面提高了作物产量,但同时也增加了土壤磷素流失的潜在风险。研究表明,当土壤有效磷含量达到作物生长的适宜水平时(Olsen-P, Bray-P 分别为 25 和 30 mg/kg),就水质保护来说已经处于过高水平^[12]。土壤磷素的主要流失途径是通过径流进入地表水。影响土壤磷素流失的外界因素主要是动力和迁移通道。地表径流是土壤磷素迁移流失的主要动力,主要包括降雨和农田灌溉。伴随着地表径流而发生的土壤侵蚀也会使土壤中积累的磷素吸附在土壤颗粒上随水流发生迁移。因此雨季集中降雨会导致土壤养分流失量增加。广东省降雨量丰富,加之四通八达的大小河网水系以及高强度的施肥投入,使得该区成为土壤磷素流失潜在风险较大的区域。

广东省碧海行动计划指出,全省总磷现状排放负荷为 3.3×10^4 t/a,对总磷排放负荷贡献比例较大的污染源首先为农业面源,占 52.2%,其次为生活污染源,占 31.2%。农业面源和水产养殖外排水等导致的氮、磷排放量呈增加趋势^[14]。

土壤磷素的流失不仅导致土壤肥力下降、施肥效益降低,并且带来了日趋严重的水环境问题。受纳水体磷素水平升高,发生富营养化,造成水质恶化,水体生态功能降低,进而影响到水生动植物的生长和生存,并且严重影响到饮水安全。

近年来,广东省由于经济的高速发展以及人口的不断增长,加之水污染控制的相对滞后,导致受污染的水体逐年增加,出现水质性缺水现象。全省现有大中型水库 315 座,小型水库 6 399 座。由于人类活动对水库生态系统干扰的加剧,水库的富营养化水平上升,水质下降十分明显。

笔者在调查广州的饮水水源保护区——流溪河流域时,发现流域下游水体富营养化现象比较明显,水葫芦过度繁殖,水体的生态功能严重下降。其主要原因是流溪河下游是广州市的一线蔬菜基地,农民施用化肥和有机肥的强度非常大,单季施肥达到 $1\ 500 \sim 2\ 250$ kg/hm²,造成了土壤磷素的高度积累。磷素的高积累也带来流失的高风险,流失的土壤磷素进入水体,造成了水体的富营养化,从而为水葫芦的大量繁殖创造了条件。

据 2004 年广东省环境状况公报,全省主要受污染的江河水系氮磷是主要的污染指标之一。饮用水源超标的项目里就有总磷,水库湖泊的主要超标指标也是氮磷^[15]。

土壤磷素的流失导致河流、水库、湖泊中磷的浓度增加,从而使受纳水体发生富营养化。同时由于携带大量磷素的河流水系最终要流入近海,使近海海域接纳了大量含氮磷污水,并出现富营养化,导致赤潮发生频率增加。据不完全统计,全省 1981—2000 年共发生赤潮 97 次,平均每年 5 次^[13]。

3 控制对策

随着磷素非点源污染问题的日益凸显,土壤磷素流失的风险和危害也逐渐被公众所认识。在广东省水资源日益严峻的形势下加强对源头非点源磷素的污染控制和管理就显得越来越重要。非点源磷素控制和管理的关键就是非点源磷素的源和汇,考虑我国的国情以及现有的经济技术条件,主要可考虑从以下几方面进行管理和控制。

3.1 合理施肥

合理施肥包括两方面含义:一是通过施肥满足作物的正常生长需求,充分发挥肥料的增产作用;二是在满足作物正常的生长需求的前提下,严格控制施肥量,从源头上将肥料流失对环境的影响减小到最低程度。这两方面同样重要。在合理施肥的情况下,土壤磷素也会逐渐积累,所以必须考虑磷素的积累特点,适时调整磷肥用量,不使磷素积累达到危害环境的程度。测土配方施肥是指导农民科学施肥的最好方式,对这一行之有效的科学施肥方式应该大力推广。通过合理施肥可以在源头上控制磷素在土壤中的积累量,也就减少了其向水体流失的潜在风险。

3.2 实施最佳管理措施(BMPs)

最佳管理措施是美国针对非点源污染提出的防治和削减非点源污染负荷的一系列的实际措施。最佳管理措施强调农业主在生产的过程中采用最适宜的肥料用量,实行水土保持耕作法等。现有的最佳管理措施主要有免耕少耕法、草地过滤带、控制地下水水位以及施用有机肥等。

依据国外成熟的最佳管理措施并结合现阶段我国的国情,可通过政府倡导、试验示范、典型引领的渐进性发展模式,逐渐改变农民传统的耕作方式,大力推广平衡施肥、节水灌溉、有机肥还田、建设生态农业等行之有效的措施,从源头上控制土壤磷素的流失。

3.3 修筑人工湿地和缓冲带

人工湿地对氮磷等营养盐都有较好的吸收、吸附和沉降作用,且具有工艺简单、操作管理方便,投资较少,生态环境效益较大的特点^[16]。所以我们可以根据非点源污染控制的需求,在急需控制非点源污染的区域,因地制宜地修建小型人工湿地,并在土壤磷素流失风险比较大的地块与受纳水体之间设置适宜宽度缓冲带,可有效地截留来自农田地表和地下径流中的磷,从而达到控制土壤磷素进入受纳水体的目的。

3.4 充分利用多水塘系统

尹澄清提出了具有中国特色的多水塘系统在控制农业非点源污染方面的理论和应用实践^[17-18]。我国南方农业区域,几千年来修建并遗留下来了許多水塘用来汇集雨水灌溉农田,多水塘系统景观是中华民族宝贵的农耕文明遗产。研究表明,多水塘系统能有效地截留农业非点源污染物。6 a 的现场试验结果表明,多水塘系统能截留来自村庄、农田的磷、氮负荷的 94% 以上。多水塘系统在非点源污染控制中的功能主要是滞留污染径流,循环利用水和营养物质。长满植被的水塘之间的小沟,对径流也有相当程度的过滤作用。

广东省是典型的人多地少的省份,耕地资源极为宝贵,因此不可能建立许多大面积的非点源污染控制带,但该区自古就有傍水而居的传统,很多村庄附近都有大量水塘,也有许多相互连通的鱼塘,自成一个天然的多水塘系统。充分利用这些已有的水塘,再加上合理地开挖新水塘,形成一个控制非点源污染的合理空间布局,就可以在在一定程度上较好地控制土壤磷素的流失。

最后需要指出是,土壤磷素流失只是农业非点源污染的一部分,上述这些措施均是一些综合防治措施,不仅对土壤磷素控制管理有效,而且对氮素、颗粒物和有机污染物的非点源污染同样有较好的控制作用。

4 结语

广东省虽然地处华南土壤磷素背景值较小的地区,但是由于农业生产集约化程度高,施肥强度大,加上磷肥的利用率比较低,造成了磷素在土壤中大量积累。磷素的积累也使流失风险随之增大,对环境的危害也日趋严重。这就需要我们在充分认识土壤磷素在土壤中易积累的特性的基础上,因地制宜地采取一些综合性的防治和调控措施,力争从源头上减小非点源磷素的流失,从而减轻对水环境的污染风险。

[参 考 文 献]

- [1] 金相灿. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 31—39, 115—1171.
- [2] 李如忠, 汪家权, 钱家忠. 巢湖流域非点源营养物控制对策研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 119—122.
- [3] 范成新, 季江, 陈荷生. 太湖富营养化现状、趋势及综合整治对策[J]. 上海环境科学, 1997, 16(8): 4—8.
- [4] 陈欣. 磷肥的两施用制度下土壤磷库的发展变化[J]. 土壤学报, 1997, 34(1): 81—87.
- [5] 广东土壤普查办公室. 广东土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 461—474.
- [6] 谢春生, 周修冲, 姚丽贤. 广东省土壤磷素状况及磷肥需求预测[J]. 土壤肥料, 2003(1): 13—15.
- [7] 广东农村统计年鉴编纂委员会. 广东农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [8] 许俊香, 刘晓利, 王方浩. 中国畜禽粪尿磷素养分资源分布以及利用状况[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 5—9.
- [9] 广东省土壤肥料总站. 广东省广州市花都区耕地地力调查与质量评价成果报告[R]. 2005.
- [10] 广东省土壤肥料总站. 广东省从化市耕地地力调查与质量评价成果报告[R]. 2005.
- [11] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方六省养分平衡现状评价和动态变化研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63—67.
- [12] 刘远金, 卢瑛, 陈俊林. 广州城郊菜地土壤磷素特征及其流失风险分析[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 237—240.
- [13] 戴照福, 王继增, 程炯, 等. 流溪河流域菜地土壤磷素特征及流失风险分析[J]. 广东农业科学, 2006(4): 82—84.
- [14] Sharpley A N, Sims J T. Determining environmentally sound soil phosphorus level[J]. J. Soil and Conservation, 1996, 51(2): 160—165.
- [15] 广东省环保总局. 广东碧海行动计划[R]. 2004.
- [16] 广东省环保局. 2004年广东省环境质量公报, <http://www.gdepb.gov.cn>.
- [17] Amanda S Hill, Helenl Beasley, David P McAdam, John H Skerritt. Monoand polyclonal antibodies to the organophosphate fenitrothion (2) Antibody specificity and assay performance[J]. Agric Food Chem, 1992, 40(8): 1471—1474.
- [18] Yin C Q, Zhao M, Jin W G, et al. The multi-pond system as the protective zone use in the management of lakes of China[J]. Hydrobiologia, 1993, 251: 321—329.

(上接第 154 页)

[参 考 文 献]

- [1] 王秋兵. 土地资源学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. 224—239.
- [2] 张晓虎, 王新军. 商洛山区农业产业化发展问题探讨[J]. 陕西农业科学, 2005(2): 86—88.
- [3] 张晓虎, 张晓伟. 商洛山区耕地资源状况分析及保护[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 78—82.
- [4] 白巧凤, 张晓虎. 浅论商洛山区土地资源的可持续利用[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6): 132—135.
- [5] 张晓虎, 张红燕, 张向东. 浅析影响商洛水土流失的几个因素[J]. 商洛师范专科学校学报, 1999, 专刊: 121—122.
- [6] 陈米海, 孙永文, 李岚. 商洛: 山川秀美工程点亮商山丹水[N]. 陕西日报, 2005.
- [7] 张晓虎. 商洛市中药材种植药源基地土壤肥力的研究初报[J]. 陕西农业科学, 2007(3): 53—55.
- [8] 谢凤勋. 中草药栽培实用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [9] 杨世林, 林余霖. 名贵中药材原色图谱[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.