

# 基于磷平衡核算的畜禽粪便农田消纳研究

胡春明<sup>1</sup>, 朱祺<sup>2</sup>, 李曜<sup>1</sup>, 刘平<sup>1</sup>, 张微<sup>1</sup> (1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 江西省科学院, 江西南昌 330096)

**摘要** 畜禽粪便在我国普遍作为肥料还田, 但过量施用将带来面源污染。确定合理的施肥量, 使得畜禽粪便在周边农田消纳的同时不带来环境风险。以北京市某猪场为例, 研究该猪场粪肥施入后农田磷平衡。综合肥料施入、秸秆还田、干/湿沉降、种子含磷等输入源以及作物收获、径流淋溶及土壤侵蚀等输出源, 同时考虑农田合理磷盈余, 计算得出该种猪场周边农田最佳磷施入量为 46.45 kg/(hm<sup>2</sup>·年)。该猪场实现种养平衡所需农田面积为 50.48 hm<sup>2</sup>。该研究可为养殖场的粪便消纳及选址提供一种较可行的判定方法和思路。

**关键词** 磷平衡; 畜禽粪便; 农田负荷量; 种养平衡

**中图分类号** S153.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)19-06210-02

## Phosphorus Balance of Manure and Farmland Load in a Breeding Farm

HU Chun-ming et al (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085)

**Abstract** Dung from breeding farm was widely used as fertility in farmland. However, superfluous dung would cumulate in the farmland and turn into latent contamination to surface water and ground water. Therefore, it is significant to ascertain the reasonable quantity of dung fertilized on the farmland. In this paper, a swine breeding farm was studied to discuss the phosphorus balance of manure and farmland load. Three aspects were considered in the phosphorus balance. 1) The phosphorus imputes from dung, straw manure, atmospheric deposition, and seed. 2) The phosphorus output by crop harvest, eluviating and corading. 3) Reasonable residual phosphorus. Results show that the proper phosphorus load of farmland was 46.45 kg/(hm<sup>2</sup>·yr), and 50.48 hm<sup>2</sup> farmland were needed to receive all the dung from the swine breeding farm. This study provides a feasible means to estimate the balance between farmland and breeding farm.

**Key words** Phosphorus balance; Dung from breeding farm; Manure load of farmland; Balance between farmland and breeding farm

畜牧业一直是我国的主要产业之一, 2012 年全国畜牧业总产值达 27 189.4 亿元, 占第一产业总产值的 30.4%<sup>[1]</sup>。畜禽养殖在满足人们物质需求的同时, 也产生大量的畜禽粪便。畜禽粪便中含有丰富的养分。堆沤作为肥料还田已有数千年的历史。我国养殖场对畜禽粪便的处理方式主要包括传统堆沤还田、工厂化处理和沼气发酵处理。这 3 种方式处理的粪便分布分别占养殖场粪便总量的 49.90%、8.73% 和 13.70%, 另有 15.90% 的粪便未经处理<sup>[2]</sup>。

我国华北平原是典型的长期施肥耕种的农田生态系统, 磷平衡状况受人为影响非常得大。华北平原高产田土壤有效磷含量正在以年均 0.031 mg/kg 的速度增加, 北方菜田土壤有效磷高达 171 mg/kg, 远远超过国际上 60 mg/kg 的环境临界值。随着今后氮肥和磷肥的继续大量施用, 土壤中氮素和磷素养分会继续累积, 造成更大的环境污染风险<sup>[3]</sup>。因此, 确定农田负荷量, 实现土地消纳能力与养殖场粪污量之间的种养平衡是养殖场选址和规模确定的关键, 也是污染防治的关键。

在实际选址以及环境影响评价等工作中, 农田负荷量一般参照经验数据进行估算, 缺乏科学依据。以北京某养猪场为例, 笔者以磷元素为目标进行平衡核算, 探讨维持养殖场与农田种养平衡所需的土地面积, 以期为建设部门、决策部门以及环境影响评价部门提供参考。

## 1 材料与方

**1.1 项目区概况** 项目位于北京市顺义区。顺义区位于北京东北部, 地理坐标在 116°29' ~ 116°59' E, 40° ~ 40°23'

N。区域属于暖温带半湿润大陆性季风气候区。冬冷夏热, 冬干夏湿, 春暖秋凉, 四季分明。年平均气温 11.9 °C, 最热月 7 月平均气温 25.7 °C, 最冷月 1 月平均气温 -4.9 °C。无霜期年均 195 d。年降水量变化较大, 年平均降雨量 603.1 mm。

**1.2 养殖场概况** 项目为种猪场, 规模为 600 头基础母猪, 总存栏量为 647 头, 空怀母猪 131, 后备母猪 40, 公猪 6, 后备公猪 1, 妊娠母猪 333, 哺乳母猪 136。种猪场采用干清粪工艺, 粪污水经“厌氧+生态”工艺处理后用于农田灌溉, 粪便、污水处理产生的底泥经堆肥后作为有机肥施用于农田。因此, 该种猪场所产生的绝大部分污染物最终都将由农田予以消纳。

**1.3 周边农田概况** 项目区周边地势平坦, 农田数量较多。调查显示, 约 85% 面积的农田种植玉米, 其余 15% 种植花生、蔬菜等作物。周边农田耕作周期为每年种植一季玉米, 冬季不种小麦。

## 2 结果与分析

**2.1 农田系统磷循环** 磷在农田土壤中的循环<sup>[3]</sup>是一个开放的过程。磷的天然储库是磷矿石。磷矿石分解可为农田土壤带来小部分磷素, 但农田土壤中磷素最主要的来源还是人工施入。当磷素进入土壤后, 大部分因固定作用在土壤中累积成为不溶性磷, 另有小部分溶解于土壤溶液中。当土壤溶液中溶解性磷被作物吸收后, 不溶性磷可在土壤化学作用、微生物作用以及矿化作用下迅速转化为溶解态的有效磷。而被土壤固定的磷则有相当一部分随着径流淋溶、土壤侵蚀等过程从农田生态系统中迁移至河流、湖泊等水体<sup>[4]</sup>。

图 1 所示的磷循环过程是以农田土壤为研究对象。在实际耕作中, 若以农田生态系统为研究对象, P 输入源还包

**作者简介** 胡春明(1982-), 男, 江西遂川人, 工程师, 博士, 从事生态工程技术研究及环境影响评价工作。

**收稿日期** 2014-06-03

括作物种子携入、大气湿沉降等途径,而 P 输出源则包括作物收获、径流淋溶、土壤侵蚀等<sup>[5-6]</sup>。所有这些途径共同作用形成一个围绕着农田生态系统的平衡。若输入量大于输出量,则导致农田磷盈余,反之则形成磷亏损。

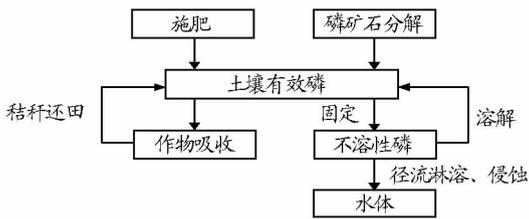


图1 农田土壤磷素循环示意图

**2.2 磷平衡核算** 养殖场与农田的种养平衡,实质是在允许一定盈余基础上的元素平衡。以 P 为例,农田内 P 元素需满足输入量 = 输出量 + 盈余量,再细化到各输入源、输出源,即为肥料含量 + 秸秆还田 + 种子含磷量 = 作物收获含磷 + 径流淋溶损失 + 合理 P 盈余。

我国农田土壤磷含量在 20 世纪 50 年代约为 10 mg/kg,60 年代中期至 70 年代末期降至 4 mg/kg<sup>[7]</sup>。自 80 年代以来,随着大量磷肥的投入,我国农田磷盈余不断增加,90 年代初期和末期分别达到 23.8、33.7 kg/hm<sup>2</sup>,一些经济作物种植体系磷盈余增加得更多,如有些设施菜田每年磷盈余达到 1 801 kg/hm<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。鲁如坤等<sup>[9]</sup>对我国南方 6 省的农田平衡状况进行研究,发现南方农田磷素普遍处于盈余状态。

国际上,对农田的磷施入量也有相关探索。有些国家制定了每年粪便磷的施用限量,如挪威、瑞典和爱尔兰为了减少磷盈余损失的转移污染,分别规定每年粪便磷的最高盈余量为 35、22 和 40 kg/hm<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。荷兰由于磷污染较严重,法令还严格限制农业生产中畜禽粪便磷与化肥磷施用量,从 1987 年以来规定的限量标准不断提高,农田系统中磷的容许最高施用限量标准由 125.0 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 80.0 kg/hm<sup>2</sup>,许可的最大盈余限量标准由 40.0 kg/hm<sup>2</sup> 提高到 20.0 kg/hm<sup>2</sup><sup>[11-12]</sup>。

针对该项目具体情况,以 1 hm<sup>2</sup> 农田为研究区域,设每年往该区域内施肥的磷输入为 X kg/hm<sup>2</sup>;磷盈余量参考荷兰的标准确定为 20.0 kg/hm<sup>2</sup>。此外,平衡核算中做以下假定:由于各作物的植物体和种子的含氮量相差不大,且该项目周边土地的玉米种植面积占绝对优势,在“种子含磷量”和“作物收获含磷量”估算中,作物按 100% 种植玉米处理。基于以上假定,1 年内磷平衡分析如表 1 所示。经计算,1 hm<sup>2</sup> 农田中养殖场粪肥较适宜的磷输入量为 46.45 kg/年。

**2.3 种养平衡核算** 该种猪场位于我国华北地区,猪群种类以妊娠阶段的母猪为主,后备母猪、公猪数量占全场总数量的比例较小。该种猪场总污染物产生量按妊娠母猪的产污系数进行估算。根据《第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》中参数,华北区每头妊娠阶段母猪的全磷产生量约为 9.93 g/d。由此可知,全场 647 头猪的全磷产生总量约为 2 345.02 kg/年。

表 1 项目区域农田(1 hm<sup>2</sup>)年内磷平衡分析

项目	输入源	序号	P 含量 kg	备注
输入源	养殖粪肥	1 <sup>#</sup>	X	1 <sup>#</sup> + 2 <sup>#</sup> + 3 <sup>#</sup> + 4 <sup>#</sup> = 5 <sup>#</sup> + 6 <sup>#</sup> + 7 <sup>#</sup>
	秸秆还田	2 <sup>#</sup>	3.60	秸秆还田比例按 50% 计,秸秆具体数值见表 5 <sup>#</sup>
	干/湿沉降	3 <sup>#</sup>	0.25	沉降系数取 0.25 kg/hm <sup>2</sup> <sup>[13]</sup>
	种子含磷	4 <sup>#</sup>	0.15	玉米播种量 45 kg/hm <sup>2</sup> ,含 P 量 0.33% <sup>[6]</sup>
输出源	作物收获	5 <sup>#</sup>	24.45	玉米产量取 7 500 kg/hm <sup>2</sup> ;秸秆产量取 9 000 kg/hm <sup>2</sup> ;玉米含 P 量取 0.23%;秸秆含 P 量取 0.08% <sup>[5]</sup>
	径流淋溶及土壤侵蚀	6 <sup>#</sup>	6.00	径流淋溶及土壤侵蚀引起的磷损失系数取 6 kg/hm <sup>2</sup> <sup>[14]</sup>
P 盈余		7 <sup>#</sup>	40.00	

基于磷平衡核算结果,发现该项目周边农田较适宜的年磷素施入量为 46.45 kg/hm<sup>2</sup>。因此,为消纳该种猪场所产生的粪肥,需要的土地面积为 50.48 hm<sup>2</sup>。

### 3 结论与讨论

农业面源污染已成为影响水环境质量的重要因素<sup>[15]</sup>。美国水体生态系统中的磷素有 33% 源于家畜养殖<sup>[16]</sup>;欧洲国家的地表水污染负荷有 24% ~ 71% 来源于农业面源<sup>[17]</sup>;我国许多流域富营养化程度的逐步升级在很大程度上同样是由流域农田肥料用量大幅增加所致<sup>[18]</sup>。由于我国农田肥料输入普遍偏高,农业面源污染已得到越来越多的关注。而“十二五”总量控制指标中氨氮的提出,更是表明我国对水环境污染的担忧。在这一形势下,切实做好种养平衡,合理施肥以减少农业面源污染具有现实意义。

在实际工作中,种养平衡大多采用经验系数法进行估算。对农田负荷量估算偏高,使得粪肥进入农田后成为潜在的污染源。通过磷平衡核算,得出该项目周边农田较适宜的年磷素施入量为 46.45 kg/hm<sup>2</sup>,符合荷兰等西方国家为防止磷肥对水体造成污染而设置的 80 kg/hm<sup>2</sup> 的使用限值。

农田的养分平衡受到作物种类、农业周期、地域气候、土壤性质等的影响<sup>[19]</sup>,而我国幅员辽阔,不同区域的实际情况之间相差极大。在实际种养平衡核算中,最优的方法是以相应的标准和研究成果为参照值,结合当地农业实际情况开展元素平衡核算,明确最佳的农田粪肥施入量,从而切实解决畜禽养殖污染的农田消纳问题。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 - 2013 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [2] 杨帆, 李荣, 崔勇. 我国有机肥料资源利用现状与发展建议 [J]. 中国土壤与肥料, 2010(4): 77 - 82.
- [3] 王迎春. 华北平原典型农田生态系统氮磷平衡动态模拟研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [4] BENNETT E M, CARPENTER S R, CARACO N F. Human impact on erodible phosphorus and eutrophication: A global perspective [J]. Bioscience, 2001, 51: 227 - 234.
- [5] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 I. 农田养分支出参数 [J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 145 - 151.
- [6] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 II. 农田养分收入参数 [J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 151 - 154.

备和技术的引进,都需要大量的资金,导致合作社资金严重不足<sup>[3]</sup>。而银行等金融部门的贷款对合作社来说,存在门槛高、金融产品少现状,合作社可以作为抵押物财产少,农业贷款周期短等问题,导致资金严重短缺,制约了合作社的规模化发展。

**2.4 合作社运行操作不够规范** 目前,依安县合作社在运行操作上,普遍存在着民主管理、民主决策不完善;运行和管理比较随意;缺少专业监管机构对合作社的制度、财务、合同、利益分配和风险调节等方面的管理约束问题。有的合作社的理事会、监事会职责分工不明确,会员权利和义务不明确;有的合作社的理事会、监事会只是摆设,没有充分发挥各自的管理和监督作用;有的合作社设立登记不规范,只有执照,注册资金与实际出资额不相符。

### 3 推进依安县农民专业合作社发展对策建议

**3.1 高度重视农民专业合作社的发展** 要把提高农民对合作社的认识,要把发展农民专业合作社,作为突破“三农”问题,加速社会主义新农村建设进程的必经之路<sup>[7]</sup>。各级政府应将发展农民专业合作社作为依安县农村工作的中心,从各方面为合作社发展提供全方位的服务,及时帮助合作社解决运行过程中出现的困难,推动农民专业合作社的健康、有序、快速发展。

**3.2 加强政策引导,优惠农业政策向合作倾斜** 针对依安县这样的农业大县而言,应该在合作社建设方面给予重点支持,对有发展潜力的合作社可以实行“一社一议”特别奖励,这样既有利于发展现代农业,也有利于保障国家粮食安全。同时要加强政策指导,关注和掌握农民专业合作社在政策方面的需求,逐步完善相关的政策措施,特别是对标准化生产、纯绿色无公害农产品认证、特色优势农产品基地建设、品牌创建、农超对接、产品营销等方面给予政策支持,增强农民专业合作社的活力及竞争力;出台农产品加工合作社扶持政策和措施,扶持加工型农民专业合作社的发展,并积极引导种养型专业合作社与加工生产型合作社有效联合<sup>[8]</sup>。加大农产品加工项目的引进力度;成立专门扶持农民专业合作社的专项资金,着重应用到营销拓展能力、人才培养、信息服务建设等方面。

**3.3 加快合作社人才培养与引进** 尽快建设合作社培训体系,制定培训计划,建立长效机制,尽快缓解合作社经营和管理人才紧缺问题。可以采取请进来、走出去、专题培训等方法,分层次、分内容地对全县农民专业合作社的负责人、管理人员、技术人员和财会人员进行教育。农民专业合作社带头人、管理人的素质对合作社发展有重要影响,因此要首先着重提高农民专业合作社带头人的综合素质。可以通过选送带头人定期到农业院校学习、培训、实地参观、座谈交流等方式,提升他们的经营管理能力,加快培养一批会经营、懂管理、熟技能的合作社经营管理人才队伍。地方政府应积极与农业院校、科研院所合作,给予大中专毕业生以适当的补贴,鼓励他们合作社就业,积极实施“专家进社”的行动计划等措施,设法提高农民专业合作社的科技水平和经营能力,逐渐解决农民专业合作社经营和管理人才缺乏等问题<sup>[9]</sup>。

**3.4 逐步提高合作社运行质量和规范化建设水平** 一是要规范内部运行及管理机制。不断完善相关制度,建立长效机制,全面提升合作社的凝聚力和竞争力,确保合作社快速健康发展<sup>[10]</sup>。要形成专门的监管机构,制定相关机制,严格按照制度运行管理。要定期检查合作社规范化运行情况,对发现的问题及时整改。二是积极探索专业合作社新形式。要引导农民通过以土地承包经营权入股方式成立合作社,鼓励合作社通过农村土地承包经营权作价出资,达到增资扩股,壮大发展规模。

### 参考文献

- [1] 张路雄. 黑龙江农机合作社评析[EB/OL]. (2009-03-19) [http://www.snzg.cn/article/2009/0319/article\\_13837.html](http://www.snzg.cn/article/2009/0319/article_13837.html).
- [2] 孔祥志, 史冰清. 当前农民专业合作社品牌建设的现状、问题与对策研究[C]//自主创新与持续增长第十一届中国科协年会论文集(3). 中国科学技术协会学会学术部, 2009.
- [3] 熊主武. 积极发展农民专业合作社的思考[J]. 武汉商业服务学院学报, 2012(1): 18-20.
- [7] 张凯. 农民专业合作社发展现状、问题及解决的对策[J]. 学术交流, 2011(11): 101-106.
- [8] 朱启臻. 农民专业合作社的发展方向——黑龙江讷河农民专业合作社的调查[J]. 营销界(农资与市场), 2012(22): 52-57.
- [9] 孙长坪, 林国安. 加强农村人才培养 提升农民专业合作社带头人素质[J]. 湖北经济学院学报:人文社会科学版, 2011(6): 52-53.
- [10] 吴庆荣, 吴家真. 庆元县农民专业合作社发展存在的问题及对策建议[J]. 现代农业科技, 2010(6): 368-369.
- [7] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [8] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报, 2008, 45(12): 296-303.
- [9] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方6省农田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.
- [10] ULEN B, BECHMANN M, FOLSTER J, et al. Agriculture as a phosphorus source for eutrophication in the north-west European countries, Norway, Sweden, United Kingdom and Ireland: A review[J]. Soil Use and Management, 2007, 23(S1): 5-15.
- [11] HENKENS P, VAN KEULEN H. Mineral policy in the Netherlands and nitrate policy within the European Community[J]. Netherlands Journal of Agricultural Science, 2001, 49(2/3): 117-134.
- [12] TAMMINGA S. Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production[J]. Livestock Production Science, 2003, 84: 101-111.
- [13] 侯勇, 高志岭, 马文奇. 京郊主要作物生产系统磷素养分平衡评价——以顺义区为例[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14693-14695.
- [14] 付意成, 阮本清, 许凤冉. 永定河流域农业土壤氮磷损失的计算及分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 133-139.
- [15] SCHINDLER F, GUIDRY A, GERMAN D, et al. Assessing extractable soil phosphorus methods in estimating phosphorus concentrations in surface run-off from Calcic Hapludolls[J]. Soil Use and Management, 2009, 25: 11-20.
- [16] STEINFELD H, GERBER P, WASSENAAR T, et al. Livestock's long shadow: environmental issues and options[C]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- [17] 高超, 张桃林. 欧洲国家控制农业养分污染水环境的管理措施[J]. 农村生态环境, 1999(15): 50-53.
- [18] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策[J]. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [19] 胡春明, 刘平. 养殖场粪肥与农田负荷量的种养平衡研究[J]. 安徽农业科学, 2012(22): 11399-11400.

(上接第6211页)