

北京市密云县耕地畜禽粪便负荷估算及风险评价

王晓燕^{1,2},汪清平² (1. 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室,北京 100037; 2. 首都师范大学 资源环境与旅游学院,北京 100037)

摘要:以北京市密云水库水体环境保护为出发点,以土壤-植物营养学原理和科学施肥理论为指导,根据作物所需畜禽粪尿肥的最大量,估算密云县各乡镇耕地的畜禽粪便最大负荷量,并与当地畜禽粪便实际负荷量进行比较,对各乡镇畜禽养殖规模进行潜在环境风险评价。结果表明:该流域中古北口、石城和番字牌3个乡镇风险最大,北庄较大。

关键词: 畜禽粪便负荷; 环境风险评价; 密云水库

中图分类号: X592; X52; X713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5906(2005)01-0030-05

Livestock manure load of farmland in Miyun County and its environmental risk assessment. WANG Xiao-yan^{1,2}, WANG Qing-ping² (1. Key Laboratory of Resources, Environment & GIS, Beijing City, Beijing 100037, China; 2. College of Resources, Environment & Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037, China). *Rural Eco-Environment*, 2005, 21(1): 30-34

Abstract: For the purpose of environment protection and practical agricultural production, the maximum admissible load of livestock manure of the farmland in the watershed of Miyun Reservoir was calculated based on the principles of soilplant nutrition and the theory of scientific fertilization. By comparing the actual load of livestock manure with the maximum admissible load, environmental risk of livestock in each community within the watershed was evaluated. The results indicate that the pollution caused by livestock excrements threatens water quality of the watershed with different extents. Gubeikou, Shicheng and Fanzipai are exposed to the highest risk, and then Beizhuang follows.

Key words: load of livestock manure; environmental risk assessment; Miyun Reservoir

长期以来,畜禽粪便一直作为农业生产的肥料返田使用。如果粪肥供给的养分超出当地农作物达到目标产量所需,势必造成作物施肥过量。一方面不利于作物的生长;另一方面,增加了非点源污染物的来源量,使周边水体受到严重的污染威胁。因此,有必要建立一个既考虑作物达到目标产量的需求,又尽可能地兼顾降低水环境受非点源污染风险的指标——耕地畜禽粪便最大负荷量,以便于进行畜禽养殖环境风险评价和污染控制管理。

国外学者从粪便的存储和处理,粪肥归田对水质的影响,畜禽养殖污染防治,粪肥归田最佳管理措施等方面广泛展开了研究^[1-3]。国内学者相关的研究主要包括对地区养殖污染现状、养殖场布局、污染防治对策等方面。为了防止粪肥归田过量,研究畜禽粪便适宜施用量意义重大^[4]。为了合理控制地区养殖规模,提出将单位面积畜禽粪便负荷量指标作为畜禽养殖环境风险评价标准,但计算此指标的参数不统一,造成评价结果不同。如国家环境保护总

局采用各种畜禽粪便的总和累加后除以当地耕地面积求得单位面积畜禽粪便负荷量^[5]。上海市农业科学院环境科学研究所采用猪粪当量负荷及有效耕地面积对上海市郊各乡农田畜禽粪便负荷量进行了全面统计;在此基础上,还综合考虑市郊各地农田畜禽粪便有机肥可消纳量,对市郊畜禽粪便负荷量承受程度进行了警报与分级^[6-8]。另外,相关部门因对畜禽数量的统计方法不同,以及负荷面积计算严密程度不一,从而导致指标结算结果的偏差。还有一些学者利用地理信息系统对畜禽粪便的单位负荷分布进行空间分析^[9]。

目前,北京市有规模化养殖场800多家。根据2000年国家环境保护总局提供的产污系数测算,全市年产生畜禽粪尿总量为304.42万t,其中含有

基金项目:教育部高等学校骨干教师资助计划(GG-830-10028-1518);北京市科技新星计划项目(953810300)

收稿日期:2004-06-01

COD_{Cr} 93 434 t, NH₃-N 8 759 t, T-N 18 460 t, T-P 7 030 t^[10]。

密云水库为北京市唯一地表水源地,流域现状的研究表明:非点源污染已经成为影响水库水质的主要污染源,包括畜禽粪便、农田化肥农药、水土流失等。流域畜禽粪便流失于环境的氮约为 4 890 t,磷约为 247 t,远远超过农田化肥的氮磷流失量^[11]。密云县畜禽养殖发展迅猛,畜禽养殖业产值在大农业中的比例也呈现递增趋势。因此,今后畜禽粪便污染物对该流域的贡献率将会上升,威胁库区水质。

笔者选择密云县境内的密云水库上游流域作为研究区域,从上游流域畜禽粪便与农作物需求的关系出发,建立了一个便于进行畜禽养殖环境风险评价的指标——畜禽粪便最大负荷量,以评估畜禽粪便对库区水体可能造成的影响,为该流域畜禽养殖污染控制管理提供依据。

1 畜禽粪便最大负荷量估算

流域土壤碱解氮含量平均为 70.9 mg·kg⁻¹,属于稍缺水平;土壤速效磷含量平均为 34.5 mg·kg⁻¹,属于稍丰水平。由于本区土壤主要缺氮,而磷基本满足作物所需,钾又可以通过人工调整,所以,本文以畜禽粪便供氮量为基准,进行耕地畜禽粪便最大负荷量的计算。

1.1 作物所需畜禽粪便最大供氮量

据调查,该流域禁止作物秸秆焚烧归田,而是作为牛羊的青贮饲料。规模养殖场(区)所产生的畜禽粪便基本通过各种方式归田。因此,在求算当前的最大畜禽粪便负荷量时,先忽略该流域化肥的施用量,在风险评估时,再考虑化肥施用的比例,确定预警值。

首先假设作物生长所需氮主要来自土壤、人粪尿和畜禽粪便。那么,可以通过公式(1)求出作物所需最大畜禽粪便供氮量。

$$M_{\max} = Y_{\text{总}} - N_{\text{S}} - N_{\text{P}} \quad (1)$$

式中: $M_{\max}$ 为畜禽粪便最大供氮量,t; $Y_{\text{总}}$ 为作物对氮的需求总量,t; N_{S} 为土壤供氮量,t; N_{P} 为人粪尿供氮量,t。

作物对氮的需求总量可以根据养分平衡法计算得到。作物生长期所需养分的数量在很大程度上取决于作物的种类和产量。一般而言,在一定区域内,某种作物生产出单位经济产量所需氮养分可以认为是个常数,从而使定量计算单位面积作物所需氮养

分成为可能^[12]。该流域某种作物对氮的需求量采用公式(2)进行计算。

$$Y_K = O_K \times G_K \times S_K \quad (2)$$

式中: Y_K 为作物(K)需氮量,t; O_K 为作物(K)目标产量,t·hm⁻²; G_K 为作物(K)1 kg经济产量氮养分需求量,t; S_K 为作物(K)种植总面积,hm²。目标产量是指某作物预期达到的产量。作物目标产量 O_K 的求算有多种方法^[13-14],这里采用文献[15]的方法求算,即用前3a实际平均产量再加10%~20%增产量的办法来计算。耕地面积以当地的年耕地面积统计值为准。

作物对氮需求的总量是指所有作物达到目标产量对氮需求量的总和,并不仅仅取决于其中的一种,当种植结构发生变化时,必须对各大类作物需氮量重新计算,才能判断出需氮总量的变化情况。该流域粮食作物主要包括冬小麦、玉米、谷子、高粱、甘薯、豆类和稻。油料作物主要包括花生和芝麻。果树种类包括栗、苹果、梨、核桃、葡萄、柿、杏、李等;蔬菜种类有大白菜、油菜、结球甘蓝、菠菜、芹菜、茴香、茼蒿、番茄、茄子、甜椒、冬瓜、黄瓜、胡萝卜、大蒜、韭菜等。

在获取土壤供氮量时,考虑在大面积生产中实施土壤测试所存在的实际困难,以及测试结果仅为半定量的事实,因而研究和设计出一些更简便的方法,即便是经验性的,也是有积极意义的^[15-19]。由于本课题研究区域范围较大,其水热条件年际间变化也较大,所以,适宜采用经验值进行求算。在密云水库上游流域,长期种植作物、肥力一般的地块,土壤供氮量大约占作物所吸收养分的1/3。人粪尿供氮量可以通过实际人口数量、粪便收集率、存储损失率及粪便利用率计算得到。

1.2 畜禽粪便最大负荷量估算

畜禽粪便最大负荷量是指单位种植面积内作物所需畜禽粪便最大供氮量。这个指标既满足作物达到目标产量时对氮养分的需求,又规定了耕地承受畜禽粪便的最大限度值,其计算公式为:

$$L_{\max} = M_{\max} / S \quad (3)$$

式中: $L_{\max}$ 为单位面积耕地畜禽粪便最大氮负荷量,t·hm⁻²; $M_{\max}$ 为作物所需畜禽粪便最大供氮量,t; S 为耕地总面积,hm²。

1.3 畜禽粪便实际负荷量

本文所指的畜禽粪便实际负荷量,同样只考虑其对氮营养物的负荷,先计算出当年畜禽粪便实际

供氮量。在计算耕地载畜量时,通常以饲养畜禽所需生物量为依据,建立畜禽物种内部及畜禽物种之间换算标准单位,如:标准牛单位、标准羊单位等,以便于对不同物种的数量进行换算。同样,为了避免不同畜禽粪尿之间的不科学叠加,从控制畜禽粪尿污染的角度科学管理区域畜禽养殖规模,建立了一个统一的畜禽粪便供氮量的换算标准,根据各畜禽物种粪尿含氮量、排泄量、存储损失率、平均利用率等参数,通过换算得出转化系数。以 1 头标准成年牛 1 a 排放的粪尿所供给农作物吸收的氮量为换算标准,即 1 标准牛当量;算出其他畜禽粪尿供氮量与 1 标准牛供氮量的比值,即为相应的畜禽粪尿供氮当量的转化系数,进一步算得畜禽粪便供氮当量。其计算公式为:

$$D_{\max} = M_{\max} / (E_x \times S) \tag{4}$$

式中: $D_{\max}$ 为单位面积耕地畜禽粪便最大氮负荷当

量,标准牛当量 $\cdot\text{hm}^{-2}$; $M_{\max}$ 为畜禽粪便最大供氮量,t; E_x 为 1 头标准成年牛年排放粪尿的供氮量,t; S 为耕地总面积, hm^2 。

最后求出单位面积畜禽粪便负荷量,其计算公式为:

$$L_R = \sum_{k=1}^n M_K / S \tag{5}$$

式中: L_R 为单位面积耕地畜禽粪便实际氮负荷量, $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$; M_K 为畜禽(K)年排放粪尿的供氮量,t; n 为畜禽类别总数; S 为当年耕地总面积, hm^2 。

1.4 各乡镇耕地畜禽粪便最大负荷量和实际负荷量计算结果

为了便于进行实时更新和批量运算,利用 Visual Basic 数据库编程技术,通过 ADO 控件建立与后台数据库的实时连接,最后进行计算。2001 年该上游流域各乡镇耕地畜禽粪便最大负荷量和畜禽粪便实际负荷量计算结果见表 1。

表 1 2001 年各乡镇耕地畜禽粪便最大负荷量和实际负荷量

Table 1 Farmland loads of livestock manure of various communities in 2001

乡镇	$Y_{\text{总}}/$ t	$N_S/$ t	$N_P/$ t	$L_{\max}/$ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	$L_R/$ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
北庄	173.1	57.7	10.8	0.087	0.211
不老屯	327.7	109.2	30.5	0.051	0.062
大城子	206.7	68.9	21.0	0.054	0.080
番字牌	33.5	11.2	5.7	0.053	0.299
冯家峪	71.7	23.9	8.1	0.043	0.087
高岭	262.7	87.6	22.8	0.087	0.139
古北口	64.1	21.4	10.3	0.073	0.660
石城	40.2	13.4	8.2	0.045	0.264
太师屯	398.3	132.8	39.4	0.062	0.085
新城子	188.1	62.7	16.1	0.080	0.090

$Y_{\text{总}}$:作物对氮的需求总量; N_S :土壤供氮量; N_P :人粪尿供氮量; $L_{\max}$:单位面积耕地畜禽粪便最大氮负荷量; L_R :单位面积耕地畜禽粪便实际氮负荷量。

从表 1 可以看出,北庄、高岭和新城子畜禽粪便最大负荷值较高,其次是古北口、太师屯、大城子、番字牌、不老屯,再次是石城和冯家峪。

2 耕地畜禽粪便负荷预警分析

2.1 耕地畜禽粪便负荷预警值

畜禽粪便最大负荷量是根据当地作物消纳畜禽粪便量计算所得,它反映了各地区对各种畜禽粪便营养物的吸收消纳能力。为了便于对该流域各乡镇畜禽养殖污染进行评价,引入耕地畜禽粪便负荷预警值 A 。该预警值是指耕地畜禽粪便实际负荷量与畜禽粪便最大负荷量的比值,可以说明各地所承受

畜禽粪便的实际压力是否超载,是否会给当地环境带来潜在的污染威胁。即

$$A = L_R / L_{\max} \tag{6}$$

式中: A 为耕地畜禽粪便负荷预警值; L_R 为单位面积耕地畜禽粪便实际负荷量, $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$; $L_{\max}$ 为单位面积耕地畜禽粪便最大负荷量, $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

耕地畜禽粪便负荷预警值可以表征地区承载的畜禽粪便实际负荷量是否超出其承载力,反映当地畜禽粪便归田对环境的压力,以及畜禽粪便归田后发生非点源污染的潜在威胁程度。理论上, A 值越大,环境受到畜禽粪便的威胁越大;反之,威胁程度越小。这一风险评估是建立在假设畜禽粪肥施用

后,被农作物完全吸收,没有损失的基础上的。实际上,由于施肥方式、时间等原因,畜禽粪肥在返田利用过程中有所流失。因此,该预警值只是反映了作物完全吸收粪肥,没有损失的理想状态下,过量施用粪肥对环境的压力。经调查,该流域原建有畜禽粪便处理厂,现已关闭多年。畜禽粪便基本在本区返田利用。

另外,畜禽粪肥的环境风险评价还与多种因素有关,例如畜禽养殖场及农田与水体的距离,流域水土流失的程度,对粪肥的处理、储存以及施用的时间、方法和数量等。本次讨论中畜禽粪便的负荷未考虑冲洗水对水体的污染。因为只有养猪场产生的冲洗污水较多,而本区养牛、羊、鸡占很大比例,这些养殖场畜禽粪便多为干粪。

为了保护密云水库水源,密云县大力开展无化肥县建设,水库上游流域基本不再销售化肥。到 2002 年底,水库上游流域农业有机肥施用量达到 95 %以上^[12]。由于 $L_{\max}$ 是在假设无化肥施用的前提下求得的,因此,要依据实际氮肥施用情况,确定风险预警。

根据密云县统计年鉴(2001 年),该流域实际化学氮肥施用量与种植种类、规模有关,各乡镇实际化学氮肥施用量占总肥源量的比例约为 10 % ~ 30 %,因此,将耕地畜禽粪便负荷预警值 A 定为 0.7。为了便于比较该流域各乡镇由畜禽粪便归田而带来的环境污染威胁程度,根据实际粪便负荷超出最大负荷的程度大小,制定本区域耕地畜禽粪便负荷预警值 A 对环境影响的风险级别,见表 2 注释部分。

2.2 畜禽粪便实际负荷环境预警现状分析

对该流域 10 个乡镇分别进行预警值 A 的求算,结果见表 2。总体而言,该流域各乡镇都已受到畜禽粪便不同程度的污染威胁。

从空间分布角度来看,该流域偏西地区受畜禽粪便的污染威胁较大,而中部和东部大部分地区受畜禽粪便污染威胁相对较小,北部局部地区受污染威胁程度最大(图 1)。

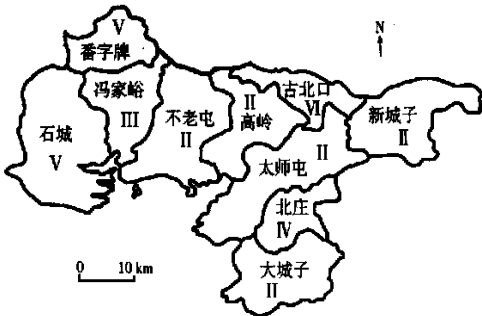
考虑到不同水环境区域,由于水质功能不同,如水源保护区、准水源保护区、农作区,对预警的要求严格程度不同。在《北京市密云水库怀柔水库京密引水渠水源保护管理条例》中,划定了密云水库一、二、三级水源保护区,其中在密云县境内的水源保护

区,一级保护区面积约为 270 km²,不老屯、冯家峪、高岭、石城、太师屯 5 个乡镇的部分区域位于一级保护区内。由于这 5 个乡镇的风险预警级别叠加了水源区的功能地位重要性,所以实际风险值应比计算值高些。

表 2 流域各乡镇耕地畜禽粪便负荷预警值 A 及预警级别
Table 2 Environmental risk value (A) and risk level of manure load of farmland in the watershed

乡镇	预警值 A	预警级别
北庄	2.42	
不老屯	1.21	
大城子	1.50	
番字牌	5.63	
冯家峪	2.03	
高岭	1.60	
古北口	9.08	
石城	5.84	
太师屯	1.38	
新城子	1.12	

$A \leq 0.7$,为 I 类,无污染; $0.7 < A \leq 1.6$,为 II 类,稍有污染; $1.6 < A \leq 2.4$,为 III 类,有污染; $2.4 < A \leq 3.6$,为 IV 类,污染较严重; $3.6 < A \leq 5.9$,为 V 类,污染严重; $A > 5.9$,为 VI 类,污染很严重。



II 稍有污染; III 有污染; IV 污染较严重; V 污染严重; VI 污染很严重。

图 1 密云县上游流域各乡镇耕地畜禽粪便负荷预警级别分布

Fig. 1 Distribution of environmental risk levels of manure load of farmland in the watershed

以流域耕地畜禽粪便预警级别 (对环境构成污染威胁) 为下界,利用 GIS 空间分析功能,将该流域的预警级别分布图与该流域一级和二级水源保护区进行叠加可知,一级水源保护区且畜禽粪便负荷

密云县统计局. 密云县统计年鉴(2001 年). 2002

预警级别在 Ⅰ级以上的区域主要分布在石城东部库区沿岸和冯家峪西南库区沿岸,该区域应该得到重点控制;二级水源保护区且畜禽粪便负荷预警级别在 Ⅰ级以上的区域主要分布在石城东南中部和冯家峪中部,该区域应该实施次重点控制。

3 结论

(1) 研究区各乡镇耕地最大畜禽粪便负荷量估算结果表明:北庄、高岭和新城子消纳畜禽粪便的能力较强,其次是古北口、太师屯、大城子、番字牌、不老屯,再次是石城和冯家峪。畜禽粪便最大负荷当量可以作为当地养殖总规模最大值的控制指标。

(2) 流域 10 个乡镇耕地畜禽粪便预警值只是从宏观上评价养殖规模是否超出当地环境的消纳能力,而 10 个乡镇畜禽粪便实际负荷的环境风险评价表明,各乡镇都已受到畜禽粪便不同程度的污染威胁。其中古北口地区畜禽粪便实际负荷对环境构成很严重的污染威胁;番字牌和石城次之,受畜禽粪便的污染威胁程度较严重;不老屯、大城子、高岭、太师屯和新城子,对环境污染威胁相对较轻。

任何粪肥归田之前均应该建立一个粪肥归田利用系统。要达到粪肥归田利用中水污染最小化,关键在于如何减少和避免田地中粪肥营养物的流失。因此,对粪肥的处理、储存、施用时间、方法、数量都应该做详细规划,从而减少对水体污染。根据目前发展状况,未来畜禽粪便污染程度有加剧趋势,应引起重视。

由于本文中所指的畜禽粪便最大负荷量是以当地农作物对氮的需求为基准的,而畜禽粪便对环境的污染常是高负荷的 COD 对水体造成的有机污染,加之畜禽粪便中还含有磷、钾以及其他微量元素,因此,应该进一步对这一问题进行探索,寻求相关解决方案。其次,要从环境毒理学角度研究畜禽养殖场对附近水体水生生物和水质,以及对居民健康的影响。

致谢:北京市密云县水土保持工作站蔡新广、王连如等协助野外工作和调研,北京市农林科学研究院文化研究员对本文提出宝贵意见,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 汪清平,王晓燕. 畜禽养殖污染及其控制[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2003,24(2):96-101
- [2] Phillips PA, Culley JLB, Hore FR, et al. Pollution potential and corn yields from selected rates and timings of liquid manure applications[J]. Trans ASAE,1981,24(1):139-144
- [3] US Environmental Protection Agency. National management measures to control non-point source pollution from agriculture (Draft) [R]. Chapter 4D:Animal Feeding Operations (AFOs). 2000:107-128
- [4] 卢善玲,沈根祥,汪雅谷. 粮区和菜区的畜禽粪便适宜施用量[J]. 上海农业学报,1994,10(增刊):51-56
- [5] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002:1-95
- [6] 沈根祥,汪雅谷,袁大伟. 上海市郊农田畜禽粪便负荷量及其警报与分级[J]. 上海农业学报,1994,10(增刊):6-11
- [7] 刘培芳,陈振楼,许世远,等. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(5):456-460
- [8] 丁疆华. 广州市畜禽粪便污染与防治对策[J]. 环境科学研究,2000,13(3):57-59
- [9] 王少平,陈满荣,俞立中,等. GIS 支持下的上海畜禽业污染研究[J]. 农业环境保护,2001,20(4):214-216,220
- [10] 徐谦,朱桂珍,向俐云. 北京市规模化畜禽养殖场污染调查与防治对策研究[J]. 农村生态环境,2002,18(2):24-28
- [11] 王晓燕,王晓峰,王一响,等. 北京密云水库流域非点源污染现状研究[J]. 环境科学与技术,2002,26(3):1-3
- [12] 王凯军,金冬霞. 加强北京市规模化畜禽养殖场污染防治工作[J]. 城市管理与科技,2002,4(1):29-31
- [13] 牛若峰,刘天福. 农业技术经济手册[M]. 北京:农业出版社,1983:20-25
- [14] 吴玉光,刘立新,黄德明. 化肥使用指南[M]. 北京:中国农业出版社,2000:31-33
- [15] 鲁如坤. 土壤植物营养学原理和施肥[M]. 北京:化学工业出版社,1998:54-59
- [16] 高祥照,申鹏,郑义,等. 肥料实用手册[M]. 北京:中国农业出版社,2002:3-5
- [17] 劳秀荣. 果树施肥手册[M]. 北京:中国农业出版社,2000:11-16
- [18] 朱兆良. 土壤氮素有效性指标与土壤供氮量的预测[J]. 土壤,1990,22(4):177-180
- [19] Fox RH, Piekielek WP. A rapid method for estimating the nitrogen-supplying capability of a soil[J]. Soil Sci Soc Am J,1978,54(2):751-753

作者简介:王晓燕(1967—),女,甘肃宁县人,博士,教授,主要从事流域水环境污染研究。