

海河流域畜禽养殖污染负荷研究

朱 梅¹, 吴敬学¹, 张希三²

(1.中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081; 2.水利部天津勘测设计院, 天津 300222)

摘 要: 建立畜禽养殖输出系数模型, 从省级行政区和水资源 3 级区两个层面分别估算了 2007 年海河流域畜禽养殖污染物产生量、排放量和入河量以及各省和各 3 级区所占的比例。结果表明, 2007 年全流域畜禽养殖产生污染物 COD 534.69 万 t、BOD 459.47 万 t、NH₃-N 45.42 万 t、总氮 116.53 万 t、总磷 37.16 万 t、污水 41 672.73 万 t; 排放污染物 COD 36 万 t、NH₃-N 2.88 万 t、总氮 4.15 万 t、总磷 0.55 万 t; 入河污染物 COD 7.2 万 t、NH₃-N 0.58 万 t、总氮 0.83 万 t、总磷 0.11 万 t。从各省来看, 河北省所占比例最大, 产生量占全流域的 51%, 排放量和入河量分别占 54.4%; 从水资源 3 级区来看, 徒骇马颊河平原所占比例最大, 产生量占全流域的 23.7%, 排放量和入河量分别占 18.66%。

关键词: 海河流域; 畜禽养殖; 污染负荷

中图分类号: X522 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)08-1558-08

Pollutants Loads of Livestock and Poultry Breeding in Hai Basin, China

ZHU Mei¹, WU Jing-xue¹, ZHANG Xi-san²

(1. Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Tianjin Survey & Design Institute, Ministry of Water Resources, Tianjin 300222, China)

Abstract: Pollution from livestock and poultry breeding can be calculated by three indicators according to different stages of pollution, namely, pollutants loads contained in animal wastes, loads discharged with waste water and loads delivered into rivers. By setting up and applying Export Coefficient Modeling approach for livestock and poultry breeding, the thesis estimated pollutants loads contained in animal wastes, discharged with waste water and delivered into rivers respectively in Hai Basin on the basis of each province and each water district. In 2007, pollutants loads contained in animal wastes totaled COD 5 346.9 kilotons, BOD 4 594.7 kilotons, NH₃-N 454.2 kilotons, TN 1 165.3 kilotons and TP 371.6 kilotons; pollutants loads discharged with waste water reached COD 360 kilotons, NH₃-N 28.8 kilotons, TN 41.5 kilotons and TP 5.5 kilotons; pollutants loads delivered into rivers amounted to COD 72 kilotons, NH₃-N 5.8 kilotons, TN 8.3 kilotons and TP 1.1 kilotons. On the provincial level, Hebei Province, the main body of Hai Basin, accounted for the largest proportion. It contributed 51% of pollutants loads contained in animal wastes, 54.4% of pollutants loads discharged with waste water and delivered into rivers respectively. On the water district level, Tuhaimajiahe Plain, the main agricultural and livestock concentrated region, occupied the biggest share. It contributed 23.7% of pollutants loads contained in animal wastes, 18.66% of pollutants loads discharged with waste water and delivered into rivers respectively.

Keywords: Hai Basin; livestock and poultry breeding; pollutants loads

改革开放以来, 伴随着我国经济的快速增长, 人类活动和资源环境的矛盾加剧, 水资源短缺和水环境污染的形势严峻。《2008 中国环境状况公报》指出, 全国七大水系 200 条河流 409 个断面中, I~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的断面所占比例分别为 55.0%、24.2%和

20.8%。其中, 珠江、长江水质总体良好, 松花江为轻度污染, 黄河、淮河、辽河为中度污染, 海河为重度污染。

海河流域是我国的经济和文化中心, 其中包括首都北京, 却成为我国水污染最严重的流域, 面临着有河皆干、有水皆污的严峻挑战。2008 年, 63 个断面中, I~Ⅲ类水质断面占 28.6%; Ⅳ类占 14.3%、Ⅴ类占 6.3%; 劣Ⅴ类占 50.8%。因此, 改善海河流域水资源和水环境迫在眉睫。水体污染分为点源和非点源两大类, 非点源污染又包括农业非点源和城市非点源。多年来, 我们把关注的重点都放到了点源污染上, 非点

收稿日期: 2010-02-03

基金项目: 全球环境基金 (GEF) 海河流域水资源与水环境综合管理项目《海河流域农业非点源污染防治战略研究》

作者简介: 朱 梅 (1967—), 女, 内蒙古包头人, 博士, 主要从事水资源和水环境的研究。E-mail: zmkzmzzy@126.com

源污染没有引起足够的重视。《第一次全国污染源普查公报》显示,农业源污染物排放对我国水环境的影响较大。2007年化学需氧量排放量为1 324.09万t,占化学需氧量排放总量的43.7%;总氮排放量270.46万t,占排放总量的57.2%;总磷排放量28.47万t,占排放总量的67.4%。因此,农业非点源污染是影响我国水体污染的重要因素。

具体到海河流域,农业非点源污染对水体污染的影响程度如何?到目前为止,国内还没有文献专门对这一问题进行研究。海河流域第二次水资源评价^[1]首次涉及非点污染源调查,其中包括城镇地表径流、化肥农药使用、农村生活污水及固体废弃物、水土流失、分散式饲养畜禽废水5个方面,估算了2000年海河流域非点污染源的产生量和入河量,结论是海河流域COD和氨氮主要来自于点源,总氮和总磷主要来自于非点源。该项研究在流域级非点源污染负荷估算方面做出了积极的探索,但是总体上比较粗糙,没有细分各类农业非点污染源,没有区别不同区域非点源污染的差异,各种系数的选用也比较单一,缺乏科学依据。畜禽养殖污染是农业非点源污染的重要组成部分,本文首次对海河流域畜禽养殖污染负荷进行专门研究,同时将研究区进行划分,细化了污染负荷量的分区贡献,对评估农业非点源污染对水体污染的影响程度,科学分配点源和非点源的消减指标,进而采取有效控制措施有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况^[1-4]

海河流域位于我国华北地区,地跨八省、自治区和直辖市,包括北京、天津全部,河北省绝大部分,山西省东部,河南、山东两省北部,以及内蒙古自治区和辽宁省一小部分。流域总面积32万km²,占全国总面积的3.3%。

海河流域包括滦河、海河和徒骇马颊河3大水系,分为滦河及冀东沿海、北三河、永定河、大清河、子牙河、黑龙岗运东、漳卫南运河、徒马河八大河系。

海河流域的主体是京、津、冀,有首都北京、直辖市天津,地级以上城市26个,是我国的政治文化中心和发达地区,扮演着与长三角、珠三角鼎足而立的角。2005年,海河流域人口1.34亿,占全国的10.2%;国内生产总值25 750亿元,占全国的14.1%。在这片占国土面积3.3%的土地上,聚集了10%的人口和14%的经济总量。

海河流域是国家三大粮食生产基地之一,也是京津等大中城市主要的“菜篮子”生产基地。畜禽养殖业发展迅速。2007年,生猪出栏超过5 000万头,肉牛和奶牛存栏接近1 000万头,家禽出栏超过11亿只。

海河流域是我国水资源开发利用程度最高的流域,也是水污染最严重的流域。从20世纪70年代初起,先后发生了三起闻名全国的水污染事件,即1971年官厅水库、1974年蓟运河、1975年白洋淀水污染事件。进入80年代以后,随着社会经济的迅速发展,水污染形势愈发严重。水污染已由局部发展到全流域,由下游蔓延到上游,由城市扩散到农村,由地表延伸到地下。

根据《海河流域水资源公报》的数据整理分析,海河流域近年(1998—2008年)受污染(水质劣于Ⅲ类)河长平均占评价河长的65%,其中受严重污染(水质劣于Ⅴ类)河长占评价河长的53%,超过一半的河水受到严重污染。受污染(水质劣于Ⅲ类)水库数量平均占评价水库总数的17.3%。水库富营养化问题也较为严重,从2005年开始就没有了贫营养水库,富营养水库数量急剧增加。

不仅是地表水,海河流域浅层地下水水质也堪忧。海河流域第二次水资源评价结果显示,评价区域的浅层地下水环境质量总体状况较差,海河平原及山间盆地受人类活动影响的地下水污染面积为6.24万km²,占评价面积的42.7%。其中轻污染面积占23%,重污染面积占18.6%。

1.2 养殖业输出系数模型

畜禽养殖污染的产生有其自身的特点,一般经历如下3个过程:

第一,产生畜禽粪便。畜禽在养殖过程中会产生粪便,同时,用水冲洗饲养圈舍、饲养器具等会产生携带粪便和食物残渣等污染物的污水,这是原始污染物。

第二,畜禽粪便和污水排放到周围环境中。不是所有的粪便和污水都能排放到环境中,一部分返回农田,用作有机肥料;一部分进入沼气池,用于生产沼气;一部分经过污水处理设施(如三级沉淀)被净化。

第三,未经处理利用的粪便和污水进入水体。畜禽养殖污染物进入水体的方式有两种:一是未经处理利用的粪便堆放到养殖场周围空地,在雨水的冲刷下,进入附近水体或者淋溶到地下;二是清洗饲养圈舍、饲养器具等产生的污水未经处理,直接排入周围河道。不是所有排放出来的畜禽粪便和污水都能进入水体,一部分污染物在进入河道的途中被消融掉。排放量与入河量的比例就是入河系数。

与上述污染过程相对应,畜禽养殖污染负荷估算包括产生量、排放量和入河量 3 部分。

本文针对海河流域养殖业的特点,借鉴输出系数法(或称单位负荷法)^[6]的思路,建立了养殖业输出系数模型,对海河流域畜禽养殖污染负荷进行估算。

畜禽养殖污染物产生量 $W = \sum QPR_1C_1$
式中: W 为畜禽养殖污染物产生量,t; Q 为某种畜禽的饲养数量(quantity),头或只; P 为该种畜禽的饲养周期(period),d; R_1 为该种畜禽的排泄系数(discharge rate), $\text{kg}\cdot\text{头}(\text{只})^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$; C_1 为该种畜禽粪便中的污染物平均含量(content), $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$ 。

畜禽养殖污染物排放量 $D_1 = \sum QPR_2C_2$
式中: D_1 为畜禽养殖污染物排放量,t; Q 为某种畜禽的饲养数量(quantity),头或只; P 为该种畜禽的饲养周期 (period),d; R_2 为该种畜禽的污水产生系数(sewage rate), $\text{kg}\cdot\text{头}^{-1}(\text{只})\cdot\text{d}^{-1}$; C_2 为该种畜禽污水中的污染物浓度(concentration), $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

畜禽养殖污染物入河量 $D_2 = \sum D_1\alpha$
式中: D_2 为畜禽养殖污染物入河量,t; α 为入河系数。

1.3 估算思路

由于海河流域面积较大,为了反映不同省份、不同水系的畜禽养殖污染负荷和分担比例,需要对海河流域进行分区。首先按照水系把整个海河流域分成 4 个 2 级区;在 2 级区的基础上,再按照地形分成 15 个 3 级区,其中 7 个山区分区,8 个平原分区(表 1)。

以县(区,市)为单位,进行畜禽养殖污染负荷估算。把各 3 级区内所有县(区,市)的污染负荷加总,就得到该 3 级区的污染负荷,再把 15 个 3 级区的污染负荷加总,就可以得到整个海河流域的污染负荷。

1.4 数据获取

运用养殖业输出系数模型估算污染物负荷总量,需要 7 方面的数据:1 是每一种畜禽的饲养数量;2 是该种畜禽的饲养周期;3 是排泄系数;4 是畜禽粪便中污染物平均含量;5 是污水产生系数;6 是污水中污染物平均浓度;7 是入河系数。

畜禽的饲养数量可以从海河流域各省 2008 年的统计年鉴、农村统计年鉴、调查年鉴以及各市的统计年鉴中获得,包括猪、牛、羊、鸡、鸭 5 种畜禽(表 2)。根据统计年鉴,每种畜禽都有出栏和存栏两种数量,应根据饲养周期来确定饲养数量为出栏量还是存栏量。猪的平均饲养期为 199 d,因此猪的饲养数量就是当年的出栏数;牛的平均饲养期为 365 d,因此牛的饲养数量就是年末存栏数;羊的生长期一般

表 1 海河流域分区表		
Table 1 Water districts in Hai Basin		
2 级区	3 级区	县(区,市)数量
海河北系	北三河山区	7
	北四河下游平原	14
	永定河册田水库以上山区	15
	永定河册田水库至三家店区间	17
海河南系	大清河淀东平原	20
	大清河淀西平原	16
	大清河山区	12
	黑龙港及运东平原	31
	漳卫河平原	21
	漳卫河山区	32
	子牙河平原	20
滦河及冀东沿海	子牙河山区	19
	滦河平原及冀东沿海诸河	10
	滦河山区	19
徒骇马颊河	徒骇马颊河	32
合计		285

长于一年,因此羊的饲养数量也是年末存栏数。鸡和鸭的平均饲养期为 210 d,因此鸡鸭的饲养数量就是当年的出栏数。

畜禽粪便排泄系数是指单个动物每日排出粪便的数量,与动物的种类、品种、性别、生长期、喂养饲料甚至天气条件等诸多因素有关。我们采用国家环境保护总局自然生态保护司编写的《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策》^[6]中推荐的畜禽粪便排泄系数(表 3)。没有排泄系数的畜禽折算成猪来计算。根据国家《畜禽养殖业排放标准》,30 只蛋鸡折算成 1 头猪,60 只肉鸡折算成 1 头猪,1 头奶牛折算成 10 头猪,1 头肉牛折算成 5 头猪,3 只羊折算成 1 头猪。

畜禽粪便中污染物平均含量也采用国家环境保

表 2 海河流域畜禽饲养数量(万头或万只)					
Table 2 Quantity of livestock and poultry raised in Hai Basin					
省份	县(区,市)数量	猪出栏量	牛存栏量	羊存栏量	家禽出栏量
北京	13	288.56	23.12	78.88	12 946.73
天津	12	262.08	27.16	35.29	5 684.10
河北	142	2 964.20	474.99	1 583.70	52 107.80
山西	44	118.29	41.19	602.69	66.86
河南	34	733.94	68.13	318.12	15 201.49
山东	29	678.68	235.50	387.62	26 375.08
内蒙古	9	39.35	70.77	313.16	0.05
辽宁	2	18.99	4.53	-	113.61
合计	285	5 104.09	945.39	3 319.46	112 495.72

表 3 畜禽粪便排泄系数					
Table 3 Discharge rate of animal wastes					
项目	单位	牛	猪	鸡	鸭
粪	kg·d ⁻¹	20.0	2.0	0.12	0.13
	kg·a ⁻¹	7 300.0	398.0	25.2	27.3
尿	kg·d ⁻¹	10.0	3.3	—	—
	kg·a ⁻¹	3 650.0	656.7	—	—
饲养周期	d	365	199	210	210

护总局自然生态保护司编写的《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策》^[6]中确定的数值(表 4)。

表 4 畜禽粪便中污染物平均含量(kg·t ⁻¹)					
Table 4 Average content of pollutants loads in animal wastes(kg·t ⁻¹)					
项目	COD	BOD	NH ₃ -N	TP	TN
牛粪	31.0	24.53	1.7	1.18	4.37
牛尿	6.0	4.0	3.5	0.40	8.0
猪粪	52.0	57.03	3.1	3.41	5.88
猪尿	9.0	5.0	1.4	0.52	3.3
鸡粪	45.0	47.9	4.78	5.37	9.84
鸭粪	46.3	30.0	0.8	6.20	11.0

通过查阅文献资料,污水产生系数和污水中污染物平均浓度采用北京市环保局(干清粪方式)^[7-8]所确定的数值(表 5)。

2 结果与分析

2.1 畜禽养殖污染物产生量

2.1.1 畜禽粪便产生量

运用畜禽养殖污染物产生量模型,海河流域 2007 年各省和各 3 级区畜禽养殖粪便产生量计算结果如表 6。

表 5 畜禽养殖污水产生系数与污染物平均浓度					
Table 5 Coefficient of waste water and average concentration of pollutants loads in waste water					
畜禽种类	污水产生系数/kg·头(只) ⁻¹ ·d ⁻¹	COD/mg·L ⁻¹	NH ₃ -N/mg·L ⁻¹	TN/mg·L ⁻¹	TP/mg·L ⁻¹
猪	7.5	2 640	261	370	43.55
肉牛	20	887	22.1	41.1	5.33
奶牛	48	983	51	67.8	18.35
鸡	0.25	27	1.85	4.7	0.139
鸭	1.5	27	1.85	4.7	0.139

表 6 海河流域各省和各 3 级区畜禽粪便产生量(万 t)							
Table 6 Quantity of animal wastes of each water district and province in Hai Basin							
分区	猪		牛		羊		家禽
	粪	尿	粪	尿	粪	尿	粪
北三河山区	81	133	182	91	8	13	152
北四河下游平原	174	287	469	234	19	31	174
永定河册田水库以上山区	13	21	283	141	50	82	0
永定河册田水库至三家店区间	30	49	493	247	38	63	120
大清河淀东平原	113	187	269	134	27	44	205
大清河淀西平原	175	288	266	133	15	25	166
大清河山区	97	159	229	115	17	29	74
黑龙江及运东平原	152	252	487	244	47	78	378
漳卫河平原	184	304	349	175	38	63	208
漳卫河山区	146	241	194	97	48	79	101
子牙河平原	239	394	503	251	23	38	228
子牙河山区	73	121	270	135	15	25	72
滦河平原及冀东沿海诸河	167	275	475	238	6	11	124
滦河山区	68	112	585	293	33	55	128
徒骇马颊河平原	320	529	1 847	923	56	92	865
流域合计	2 032	3 352	6 901	3 451	440	728	2 995
北京	115	190	169	84	10	17	340
天津	104	172	198	99	5	8	149
河北	1 180	1 947	3 467	1 734	210	347	1 368
山西	47	78	301	150	80	132	2
河南	292	482	497	249	42	70	399
山东	270	446	1719	860	51	85	692
内蒙古	16	26	517	258	42	69	0
辽宁	8	12	33	17	0	0	3

2.1.2 畜禽粪便污染物含量

根据国家环境保护总局自然生态保护司编写的《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策》中确定的畜禽粪便中污染物平均含量数值,上述畜禽粪便中污染物含量计算如表 7。

2.2 畜禽养殖污染物排放量

运用畜禽养殖污染物排放量模型,海河流域 2007 年各省和各 3 级区畜禽养殖污染物排放量计算结果如表 8。

2.3 畜禽养殖污染物入河量

入河量是一个比较复杂的问题,需要知道入河系数。排放出来的污水,一部分经过简单或达标处理,一部分流入附近沟渠,一部分直接入河,入河的污染物占污染物排放量的比例就是入河系数。入河系数需要长期监测实验才能得到,目前这方面尚缺乏系统的研究。笔者通过查阅文献资料,国家环境保护总局和世界银行主持的项目《建立中国绿色国民经济核算体系》(世界银行-意大利信托资金项目,编号:

TF054326)分报告之四——《中国环境经济核算技术指南》中入河系数北方取 0.2,南方取 0.35。按入河系数 0.2 计算,畜禽养殖污染物入河量如表 9。

3 讨论与结论

(1)2007 年,全流域畜禽养殖产生污染物分别为 COD 534.69 万 t、BOD 459.47 万 t、NH₃-N 45.42 万 t、总氮 116.53 万 t、总磷 37.16 万 t。从各省来看,河北省所占比例最大(图 1),各类污染物合计产生量为 610.2 万 t,占全流域总量的 51%;从各 3 级区来看,徒骇马颊河平原所占比例最大(图 2),各类污染物合计产生量为 283.36 万 t,占全流域总量的 23.7%。

(2)2007 年,全流域畜禽养殖产生污水 41 672.73 万 t,排放污染物 COD 36 万 t、NH₃-N 2.88 万 t、总氮 4.15 万 t、总磷 0.55 万 t。从各省来看,河北省所占比例最大(图 3),各类污染物合计排放量为 23.71 万 t,占全流域总量的 54.4%;从各 3 级区来看,徒骇马颊河平原所占比例最大(图 4),各类污染物合计排放量

表 7 海河流域各省和各 3 级区畜禽粪便中污染物含量(万 t)
Table 7 Pollutants loads contained in animal wastes of each water district and province in Hai Basin

分区	COD	BOD	NH ₃ -N	TP	TN
北三河山区	19.07	16.55	1.53	1.51	4.11
北四河下游平原	34.73	30.10	3.02	2.22	7.46
永定河册田水库以上山区	13.79	11.61	1.31	0.66	3.08
永定河册田水库至三家店区间	26.81	22.19	2.41	1.66	6.15
大清河淀东平原	27.83	24.26	2.26	2.15	5.97
大清河淀西平原	29.30	25.92	2.41	2.14	6.11
大清河山区	18.78	16.40	1.61	1.23	3.98
黑龙港及运东平原	47.19	40.64	3.82	3.71	10.28
漳卫河平原	36.26	31.86	2.99	2.63	7.61
漳卫河山区	24.15	21.74	2.00	1.68	4.87
子牙河平原	44.99	39.33	3.79	3.13	9.55
子牙河山区	18.42	15.72	1.61	1.17	4.01
滦河平原及冀东沿海诸河	33.41	28.73	2.92	2.11	7.23
滦河山区	32.54	27.10	2.92	1.98	7.38
徒骇马颊河平原	127.41	107.24	10.82	9.16	28.73
流域合计	534.69	459.47	45.42	37.16	116.53
北京	29.63	25.90	2.21	2.73	6.37
天津	20.84	18.19	1.69	1.60	4.45
河北	273.25	236.00	23.30	18.63	59.02
山西	18.80	16.34	1.73	0.97	3.97
河南	57.47	50.56	4.64	4.42	12.11
山东	111.55	93.57	9.60	7.75	25.25
内蒙古	21.39	17.44	2.09	0.96	4.97
辽宁	1.77	1.49	0.16	0.10	0.39

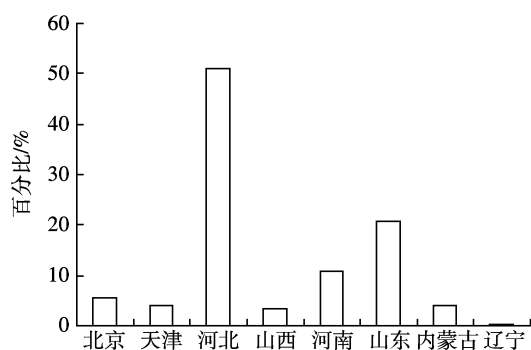


图1 海河流域各省畜禽养殖污染物产生比例

Figure 1 Proportion of pollutants loads contained in animal wastes of each province in Hai Basin

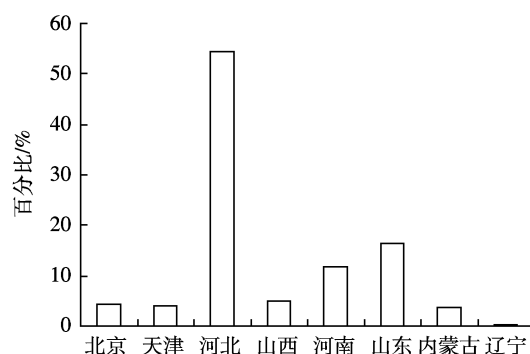


图3 海河流域各省畜禽养殖污染物排放比例

Figure 3 Proportion of pollutants loads discharged with waste water of each province in Hai Basin

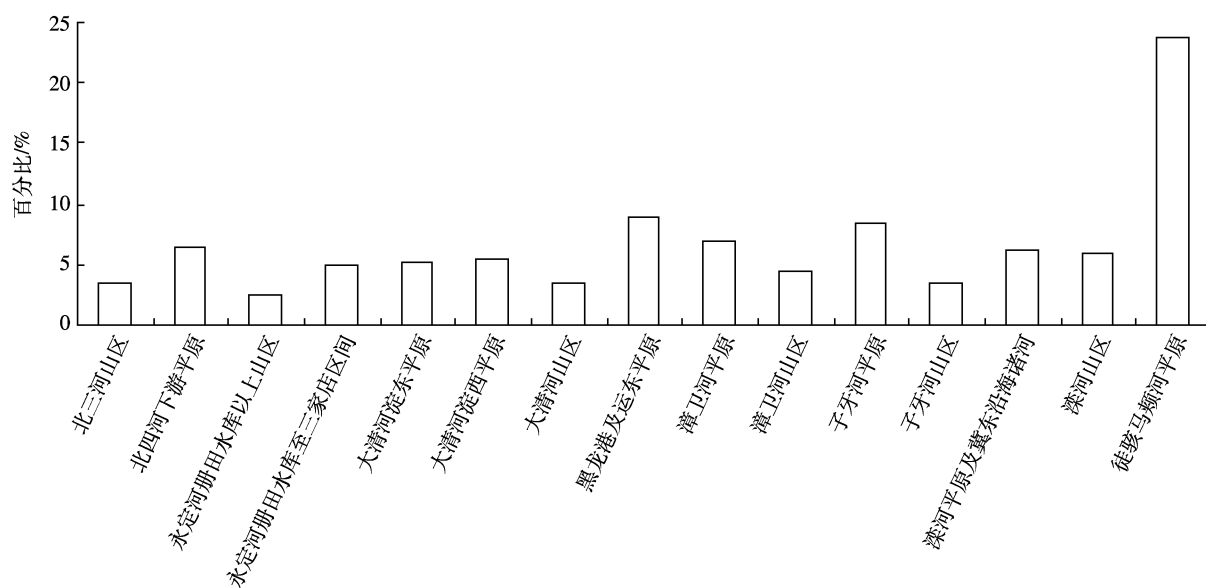


图2 海河流域各3级区畜禽养殖污染物产生比例

Figure 2 Proportion of pollutants loads contained in animal wastes of each water district in Hai Basin

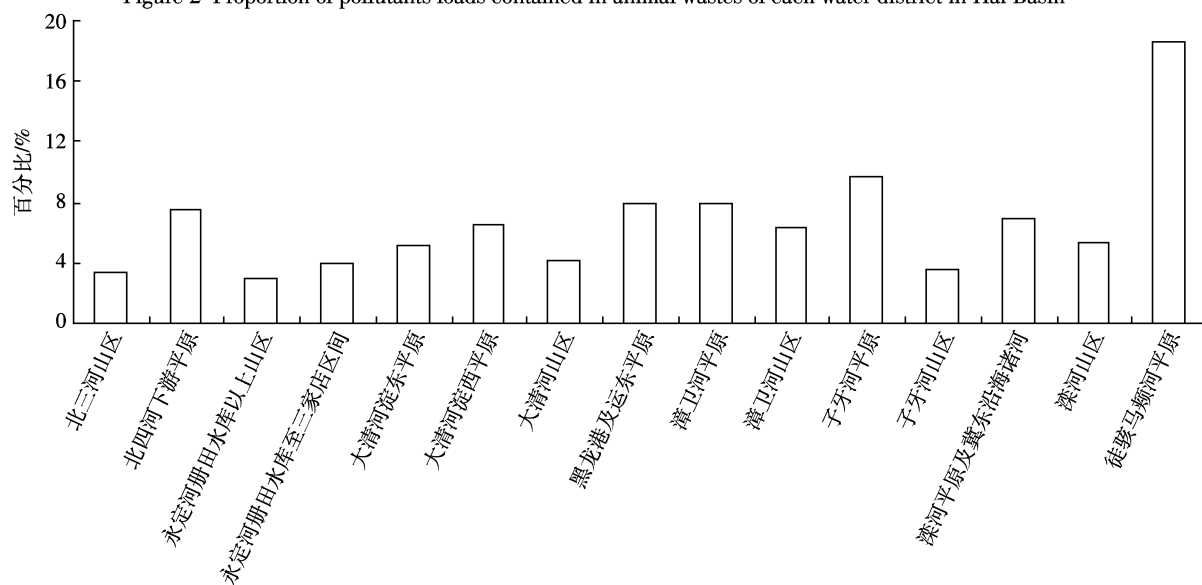


图4 海河流域各3级区畜禽养殖污染物排放比例

Figure 4 Proportion of pollutants loads discharged with waste water of each water district in Hai Basin

表 8 海河流域各省和各 3 级区畜禽养殖污水产生量和污染物排放量(万 t)
Table 8 Quantity of waste water and pollutants loads contained in waste water

分区	污水产生量	COD	NH ₃ -N	TN	TP
北三河山区	1 707.81	1.20	0.10	0.14	0.02
北四河下游平原	2 429.47	2.67	0.22	0.31	0.04
永定河册田水库以上山区	715.03	1.07	0.08	0.11	0.02
永定河册田水库至三家店区间	1 936.24	1.48	0.10	0.14	0.02
大清河淀东平原	2 413.88	1.85	0.16	0.23	0.03
大清河淀西平原	2 325.63	2.33	0.20	0.29	0.04
大清河山区	1 334.62	1.50	0.13	0.18	0.02
黑龙港及运东平原	4 225.66	2.82	0.23	0.33	0.04
漳卫河平原	2 885.12	2.80	0.24	0.35	0.04
漳卫河山区	1 764.09	2.24	0.20	0.29	0.04
子牙河平原	3 432.37	3.43	0.29	0.42	0.05
子牙河山区	1 298.62	1.32	0.10	0.15	0.02
滦河平原及冀东沿海诸河	2 327.51	2.49	0.20	0.29	0.04
滦河山区	2 273.77	1.96	0.14	0.20	0.03
徒骇马颊河平原	10 602.92	6.82	0.49	0.72	0.10
流域合计	41 672.73	36.00	2.88	4.15	0.55
北京	3 135.84	1.57	0.14	0.20	0.02
天津	1 790.22	1.42	0.12	0.17	0.02
河北	20 681.39	19.53	1.59	2.29	0.30
山西	999.86	1.74	0.14	0.20	0.03
河南	4 892.43	4.18	0.36	0.52	0.06
山东	8 974.75	6.05	0.43	0.63	0.09
内蒙古	1 092.79	1.39	0.09	0.13	0.02
辽宁	105.45	0.13	0.01	0.01	0.00

为 8.13 万 t, 占全流域总量的 18.66%。

(3)2007 年, 全流域畜禽养殖入河污染物 COD 7.2 万 t、NH₃-N 0.58 万 t、总氮 0.83 万 t、总磷 0.11 万 t。从各省来看, 河北省所占比例最大, 各类污染物合计入河量为 4.74 万 t, 占全流域总量的 54.4%; 从各 3 级区来看, 徒骇马颊河平原所占比例最大, 各类污染物合计入河量为 1.63 万 t, 占全流域总量的 18.66%。

如下问题还需要进一步研究:

(1)养殖业输出系数模型的计算结果依赖于各种系数的选定, 如排泄系数、畜禽粪便中污染物含量、污水产生系数以及污水中污染物含量等。本文选取的系数都是环保部门提供的平均数据, 没有考虑各种畜禽在不同饲养阶段的差异, 也没有考虑不同饲养方式和不同饲料引起的差异。但对于流域这样大范围尺度而言, 忽略这些细微的差异不足以影响对畜禽养殖污染负荷总量的判断。

(2)没有区分畜禽养殖点源污染和非点源污染。从严格意义而言, 规模化养殖场属于点源污染的范畴。但是, 多大规模的养殖场应算作点源污染, 国内目前还没有权威的界定。另一方面, 单从统计数据上, 也无法区分规模化养殖场和其他养殖场的饲养数量。

(3)污染物入河系数需要进一步深入的研究。入河系数受多种因素的影响, 如地形地貌、植被条件等各地差异较大, 采用同一系数过于简单。

参考文献:

[1] 任宪韶. 海河流域水资源评价 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
REN Xian-shao. Water resources evaluation of Hai Basin[M]. Beijing: China Water Resources & Hydroelectricity Press, 2008.

[2] 任宪韶, 卢作亮, 曹寅白. 海河流域水利手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
REN Xian-shao, HU Zuo-liang, CAO Yin-bai. Water resources handbook for Hai Basin[M]. Beijing: China Water Resources & Hydroelectricity Press, 2008.

[3] 李惠敏, 霍家明, 于 卉. 海河流域水污染现状与水资源质量状况综合评价[J]. 水资源保护, 2000(4): 12-14.
LI Hui-min, HUO Jia-ming, YU Hui. Current situation of water pollu-

表 9 海河流域各省和各 3 级区畜禽养殖污染物入河量(万 t)

Table 9 Quantity of pollutants loads delivered into rivers of each water district and province in Hai Basin

分区	COD	NH ₃ -N	TN	TP
北三河山区	2 391	200	290	37
北四河下游平原	5 346	438	629	82
永定河册田水库以上山区	2 136	157	226	32
永定河册田水库至三家店区间	2 960	197	288	42
大清河淀东平原	3 703	313	452	57
大清河淀西平原	4 662	408	586	73
大清河山区	3 010	253	363	47
黑龙港及运东平原	5 645	461	669	86
漳卫河平原	5 598	485	696	87
漳卫河山区	4 490	406	580	71
子牙河平原	6 863	580	834	106
子牙河山区	2 643	209	301	40
滦河平原及冀东沿海诸河	4 987	401	577	76
滦河山区	3 917	275	398	57
徒骇马颊河平原	13 647	988	1 443	199
流域合计	71 997	5 772	8 331	1 091
北京	3 146	275	401	48
天津	2 845	242	349	44
河北	39 059	3 187	4 589	596
山西	3 472	286	408	54
河南	8 351	727	1 046	130
山东	12 093	861	1 256	176
内蒙古	2 775	176	254	39
辽宁	256	19	27	4

tion and composite water resources quality evaluation of Hai Basin[J]. *Water Resources Conservation*, 2000(4):12-14.

[4] 水利部海河水利委员会. 海河流域水资源公报, 1998-2007.

Hai Basin Water Resources Committee of Ministry of Water Resources. Water Resources Communique of Hai Basom, 1998-2007.

[5] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: The export coefficient modeling approach[J]. *J Hydrol*, 1996, 183:323-349.

[6] 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.

Department of Nature and Ecology Conservation, Environmental Department. Investigation and protection measures on pollution of national

livestock and poultry breeding feedlots[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.

[7] 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.

XU Qian, ZHU Gui-zhen, XIANG Li-yun. Pollution of large-scaled livestock and poultry breeding farms in Beijing and its control[J]. *Rural Eco-Environment*, 2002, 18(2):24-28.

[8] 宋秀杰, 张增杰, 闫育梅, 等. 密云水库流域畜禽养殖粪便的污染影响及污染控制[J]. 农业环境与发展, 2008(3):65-68.

SONG Xiu-jie, ZHANG Zeng-jie, YAN Yu-mei, et al. Influence and control of pollution of livestock and poultry breeding in Miyun Reservoir [J]. *Agro-Environment & Development*, 2008(3):65-68.