

中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算

马 林^{1,2}, 王方浩², 马文奇^{1*}, 张福锁², 范明生²

(1. 河北农业大学资源与环境学院, 保定 071001;

2. 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 规模化畜牧业、农牧分离等引起了一系列问题, 尤其是饲养方式改变后, 畜禽粪尿养分的循环和处理最值得关注。该文利用统计资料和文献数据, 估算了东北三省畜禽粪尿产生量及其中的氮磷养分和 COD 含量, 在此基础上评价和预测了 2002~2020 年畜禽粪尿资源及其环境风险。结果表明, 2003 年辽宁省、吉林省、黑龙江省畜禽粪尿耕地承载量分别为 24、20、11 t/hm², 耕地畜禽粪尿承载量在空间上分布极不平衡。2003 年, 辽宁省、吉林省、黑龙江省畜禽粪尿排泄物进入水体的 COD 数量占畜禽粪尿、工业、生活排放 COD 总量的 52%、65%、40%。预测表明, 2010 年、2020 年畜禽养殖业对东北三省环境污染的风险将进一步扩大。因此, 需要制定相应的政策法规来控制畜禽粪尿污染。

关键词: 畜禽粪尿肥; 资源; 污染潜势; 集约化畜牧业; 中长期预测; 中国东北

中图分类号: S141; X501

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)08-0170-05

马 林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 170-174.
Ma Lin, Wang Fanghao, Ma Wenqi, et al. Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in Northeast China for middle and long period[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(8): 170-174. (in Chinese with English abstract)

0 引言

据报道中国对肉产品的消费量年增速接近或者超过 10%^[1], 2003 年, 中国肉类总产量达到 6932.9 万 t, 禽蛋 2606.7 万 t, 奶类 1848.6 万 t^[2]。同时, 伴随着畜牧业的迅速发展, 产生了大量畜禽粪尿, 如果处理和利用不当, 将带来严重的环境问题。这一问题在欧美发达国家引起了高度重视, 已经制定了相应的法律法规对畜禽污染进行控制。欧盟的硝酸盐法规中明确规定了粪尿肥氮投入量不能超过 170 kg/hm² 的限制。荷兰畜牧业密集程度居世界之冠, 全国每年约有 1/6 的畜禽粪尿属于过剩^[3], 由于没有完全执行欧盟限量投入法规, 2003 年被欧盟法庭罚款 2.3 亿欧元^[4]。美国部分地区由规模化畜牧业生产所引起的地表地下水以及不良气味等环境污染已成为人们普遍关注的问题^[5]。这一问题在中国也开始显现, 1999 年, 中国畜禽养殖的废水 COD 排放量超过全国工业废水和生活污水的 COD 排放量^[6]。畜禽粪尿已成为面源污染的主要来源, 部分地区畜禽粪尿污染更加严重。

东北畜牧业区是中国畜牧业综合区划的七大区域之一, 具有发展畜牧业得天独厚的自然资源和空间, 辽宁、吉林和黑龙江都制订了向畜牧强省飞跃发展的新目标, 畜牧业势必迅速发展。然而, 由此带来的环境问题目

前已经显现。1999 年, 抚顺市工业废水主要污染物排放量为 3.45 万 t, 而畜牧业产生的主要污染物为 23.32 万 t。吉林省 8 个主要城市畜禽存栏数已达到 20184.87 万头(只), 由畜禽产生的粪尿总量达 6533.24 万 t。它相当于全省当年工业废弃物产生量的 4.1 倍^[7]。从流域分析, 辽河流域辽宁段, 畜禽粪尿总量为 4406.76 万 t, BOD₅ 为 191.2 万 t。畜禽粪尿的产生量贡献率排在前三位的是沈阳市 952.84 万 t、鞍山市 922.75 万 t、铁岭市 886.22 万 t, 三个地区畜禽粪尿总排放量占全流域的 62.7%^[8]。因此, 如何实现畜牧业快速发展和生态环境保护协调已经成为东北地区必须解决的问题, 为此, 本研究试图通过对东北地区畜禽粪尿资源产生量、污染物含量、单位耕地承载量的计算及畜禽粪尿进入水体比例、规模化养殖的影响等的定量分析, 阐明东北地区畜禽粪尿资源的数量及其对环境的潜在污染; 并根据国家食物营养咨询委员会的“中国食品与营养发展纲要(2001-2010 年)”和“中国中长期食物发展战略”等研究, 预测 2010 年、2020 年东北地区畜禽养殖业发展规模及其粪尿资源产生量和对环境的影响。

1 材料与方法

1.1 基础数据

东北地区分省畜禽养殖数量的数据全部来源于中国农业出版社的《中国畜牧业年鉴 2004》公布的统计资料(数据的截至时间是 2003 年底), 分县畜禽养殖数量来源于 2002 年分县统计资料(数据的截至时间是 2002 年底)。

本研究根据各种牲畜饲养周期选取不同的基础数据。在猪的计算中, 由于中国猪的平均饲养期一般为 199 d^[9], 统计数据中年末存栏数包含在此年的出栏数

收稿日期: 2005-10-31 修订日期: 2006-02-28

基金项目: 中国工程院东北地区可持续发展战略咨询项目; 农业部 948 项目(2003Z53); 国家自然科学基金项目(30571087)

作者简介: 马 林, 男, 研究方向: 养分资源综合管理。保定 河北农业大学资源与环境学院, 071001。Email: ml332@126.com

*通讯作者: 马文奇, 男, 教授, 博士生导师, 保定 河北农业大学资源与环境学院, 071001。Email: mawq@mail.hebau.edu.cn

中,因此猪的年出栏数就可以代表猪当年的饲养量。在牛的计算中,中国目前饲养的牛按照用途分,主要有用作役畜的水牛或者黄牛,以及肉牛和奶牛。用作役畜的牛和奶牛一般当年不出栏,各自的年末存栏数即可视为当年饲养数量,而肉牛一般在未出栏时记在黄牛的年末存栏数中,因此肉牛的年出栏数就可以代表肉牛当年的饲养量。在羊、马、驴、骡的计算中,羊、马、驴和骡生长期一般长于一年,因此采用年末存栏量作为当年的饲养量。在家禽的计算中,肉鸡的生长期一般为 55 d^[9],因此,以鸡的出栏数代表肉鸡的当年饲养量。鸭和鹅的生长期一般为 210 d^[6],由于年鉴中没有鸭和鹅的饲养量,本文认为鸭和鹅均出栏肉用,所以将家禽与肉鸡的出栏总数之差视为鸭和鹅的饲养数量。在兔的计算中,兔的生长期一般为 90 d^[10],以当年出栏数计为饲养数。

1.2 计算参数

1) 畜禽粪尿排泄系数

畜禽的粪尿日排泄量与品种、体重、生理状态、饲料组成和饲喂方式等均相关。中国目前尚没有国家权威部门发布的整套的畜禽粪尿排泄系数,研究者引用的系数出处也不尽相同。中国当前的研究水平,很难把畜禽排泄物数量准确地按照粪便和尿液分开进行计算,为了得到可靠的排泄系数,本文通过查阅中国 1994 年至 2004 年间公开发表或出版的文章和著作,收集其中的畜禽粪尿排泄相关参数(用畜禽排泄鲜样的数量代表畜禽粪尿排泄数量)并进行比较和计算,最终取平均值确定为各种畜禽新鲜粪尿的排泄系数(表 1)。

表 1 畜禽粪尿排泄系数

Table 1 Animal excreta parameters

畜禽种类	粪尿排泄系数值	平均值
猪/kg·d ⁻¹	4.2 ^[11] , 5.0 ^[12,13] , 5.1 ^[9,14] , 5.3 ^[6] , 5.8 ^[15,16] , 5.9 ^[9] , 6.0 ^[9,17-19]	5.3
役用牛/t·a ⁻¹	5.0 ^[20] , 7.3 ^[21] , 9.0 ^[22] , 9.1 ^[12] , 14.6 ^[9,18] , 15.5 ^[23]	10.1
肉牛/t·a ⁻¹	6.9 ^[13] , 8.1 ^[15,16]	7.7
奶牛/t·a ⁻¹	14.4 ^[15,16] , 20.1 ^[24] , 23.7 ^[24]	19.4
马/t·a ⁻¹	5.0 ^[20] , 5.3 ^[22] , 5.5 ^[23] , 5.6 ^[25] , 8.2 ^[23]	5.9
驴、骡/t·a ⁻¹	5.0 ^[26]	5.0
羊/t·a ⁻¹	0.5 ^[20,22] , 0.6 ^[18] , 0.75 ^[22] , 0.95 ^[6,9] , 0.97 ^[23,24] , 1.10 ^[15] , 1.19 ^[11]	0.87
肉鸡/kg·d ⁻¹	0.06 ^[15] , 0.08 ^[16] , 0.10 ^[24] , 0.15 ^[14,9]	0.10
蛋鸡/kg·a ⁻¹	45.0 ^[15] , 54.8 ^[24] , 60.0 ^[23,16]	53.3
鸭、鹅/kg·a ⁻¹	39.0 ^[6,15,16]	39.0
兔/kg·a ⁻¹	10 ^[27] , 18 ^[27] , 29 ^[20] , 50 ^[23] , 100 ^[15]	41.4

注:以牛的排泄系数代替水牛和黄牛的排泄系数。

2) 畜禽粪尿养分含量和污染物含量系数

关于畜禽粪尿中的养分含量系数的研究有很多结果,由于各种畜禽粪尿的含水量差异很大,采用鲜样或者风干样等不同的测定方式,畜禽粪尿养分含量的结果差异也很大。全国农业技术推广中心 1999 年编写的《中国有机肥料养分志》较全面地给出了各种牲畜粪尿的养分含量,但是没有区分役用牛、肉牛和奶牛,肉鸡和蛋鸡也未区分且缺少驴和骡的粪尿养分含量,因此本文在估

算时也没有区分,用马粪尿的养分含量代替驴和骡粪尿养分含量。本研究畜禽粪尿中的纯养分含量采用《中国有机肥料养分志》^[20]中的数据。污染物含量采用国家环境保护总局的数据^[6]。牛和猪污染物含量的数据,按照粪便和尿液分别列出,但是由于粪尿排泄数量很难分开统计,所以把牛和猪的粪便和尿液污染物含量相加作为粪尿污染物含量。由于没有羊和家禽尿液污染物含量的数据,所以羊和家禽用粪便污染物含量代替粪尿污染物含量,可能会导致计算结果偏小。

3) 畜禽粪尿进入水体比例

畜禽粪尿堆放及清粪冲洗极易流失进入到水体中,但在不同地区、不同管理水平下畜禽粪尿的流失程度差异很大。据国家环保总局南京环科所(1997)对畜禽养殖场粪尿流失情况的研究,从全国来看,畜禽粪便污染物进入水体的流失率在 2%~8% 的范围内,而液体排泄物则可能达到 50%^[6],而上海市畜禽粪尿进入水体的流失率可达到 25%~30%^[6],广东为 30%^[28],市郊多为 30%~40%^[29]。由于东北地区水系相对于东南沿海地区不是很发达,加之冬季寒冷,所以畜禽粪尿进入水体流失率比上海市和广东省低。目前东北地区没有关于畜禽粪尿进入水体流失率的研究,所以本文综合考虑以上因素,东北地区畜禽粪尿流失率采用 20%。

1.3 计算方法

根据基础数据和计算参数,本研究采用的计算方法汇总如下。

1) 畜禽粪尿产生量计算方法

① 役用牛、肉牛、奶牛、马、驴、骡、羊、蛋鸡、鸭、鹅均采用下式计算:

粪尿产生量= 饲养量×年排泄量

② 猪、肉鸡和兔采用下式计算:

粪尿产生量= 饲养量×饲养期×日排泄量

2) 畜禽粪尿纯养分量计算方法

畜禽粪尿纯养分量= 畜禽粪尿产生量×畜禽粪尿纯养分含量

3) 畜禽粪尿耕地承载量计算方法

畜禽粪尿耕地承载量= 畜禽粪尿产生量/耕地面积

4) 畜禽粪尿纯养分耕地承载量计算方法

畜禽粪尿纯养分耕地承载量= 畜禽粪尿纯养分产生量/耕地面积

5) 畜禽粪尿污染物产生量计算方法

畜禽粪尿污染物产生量= 畜禽粪尿产生量×畜禽粪尿污染物含量

6) 畜禽粪尿污染物进入水体数量计算方法

畜禽粪尿污染物进入水体数量= 畜禽粪尿污染物产生量×进入水体比例

2 结果与分析

2.1 畜禽粪尿资源及其污染物含量

表 2 结果表明,辽宁省 2003 年畜禽粪尿产生量为 9871 万 t,吉林省 11267 万 t、黑龙江省 12761 万 t,分别占全国畜禽粪尿总量的 3.1%、3.5%、4.0%;其中黑龙

江省畜禽粪尿产生量最大。三省畜禽粪尿分布和养殖结构有关,以牛粪尿比重最高,黑龙江、吉林、辽宁分别占各省畜禽粪尿排泄总量的73%、68%和50%;其次是猪粪尿,占各省畜禽粪尿排泄总量的比重黑龙江省为13%、吉林省为15%、辽宁省为19%。这些粪尿资源如果施入农田,相当于480万t尿素和283万t磷酸二铵养分含量。

表2 东北三省畜禽粪尿产生量

Table 2 Quantities of animal excretion in Northeast China
万t

畜禽种类	黑龙江省		吉林省		辽宁省	
	畜禽粪尿产生量	比例/%	畜禽粪尿产生量	比例/%	畜禽粪尿产生量	比例/%
猪	1683	13	1635	15	1850	19
役用牛	5119	40	4932	44	2888	29
肉牛	1880	15	2479	22	1729	18
奶牛	2282	18	227	2	284	3
马	313	2	380	3	197	2
驴、骡	65	1	175	2	599	6
羊	896	7	341	3	937	9
肉鸡	70	1	172	2	226	2
蛋鸡	391	3	411	4	887	9
鸭、鹅	57	0.45	512	5	269	3
兔	5	0.04	3	0.03	6	0.06
总计	12761	100	11267	100	9871	100

从空间分布来看,东北地区畜禽粪尿资源分布是很不均匀的。东北北部地区,即黑龙江的大部分县(市)粪尿的排放量低于中部和南部地区的县(市)。按排泄量分类,排放量在500~2000万t共14个县(市);排放量在100~500万t的县(市)共97个,占总统计县(市)的57%。

与此同时,畜禽粪尿中也含有大量对环境有害的污染物,三省COD、BOD、NH₃-N分别在300万t、250万t和30万t左右(表3)。

表3 东北三省畜禽粪尿及污染物含有量

Table 3 Quantities of animal excretion and contamination in three Provinces in Northeast China /万t

地点	粪尿产生量	污染物含有量		
		COD 总量	BOD 总量	NH ₃ -N 总量
全国	318792	8266	6893	809
辽宁	9871	295	246	29
吉林	11267	332	273	33
黑龙江	12761	304	247	30

2.2 畜禽粪尿单位耕地承载量和纯养分承载量

单位耕地畜禽粪尿承载量是衡量一个地区畜禽密度的重要指标,如果单位耕地面积畜禽粪尿承载量过大,就可能导致大量畜禽粪尿在土壤中积累,对面源污染的潜在影响加大。如表4所示,2003年东北3省单位耕地畜禽粪尿及N、P纯养分承载量接近或低于全国平均值,其中以辽宁省最高,接近或超过全国平均,吉林次之,黑龙江最低。

表4 2003年东北三省畜禽粪尿单位耕地承载量

Table 4 Load of animal excretion per hectare of cropland in Northeast China

	耕地畜禽粪尿承载量	耕地纯N承载量	耕地纯P承载量
	/t·hm ⁻²	/kg·hm ⁻²	/kg·hm ⁻²
全国	24	106	29
辽宁	24	113	32
吉林	20	82	22
黑龙江	11	44	11

虽然从全区角度分析,东北地区单位耕地畜禽粪尿承载量小于全国平均值,但是,东北地区不同县(市)单位耕地畜禽粪尿承载量差异很大。在所有统计的县(市)中,有83个县超过了全国平均值(24 t/hm²),占全部统计县个数的45%。这83个县的总耕地面积占东北统计县总耕地面积的37%,粪尿总量占全部统计县总量的66%。耕地畜禽粪尿承载量大于50 t/hm²的县27个(见表5),这27个县的总耕地面积占东北统计县总耕地面积的9%,粪尿总量占全部统计县总量的25%。

表5 耕地畜禽粪尿承载量大于50 t/hm²的县(市)

Table 5 Counties(city) of load per hectare of cropland of animal excretion more than 50 t/hm²

县	粪尿量/万t	耕地畜禽粪尿承载量/t·hm ⁻²
开原市	328	247
抚松县	163	180
通化市辖区	50	114
友谊县	2	103
白山市辖区	71	98
蛟河市	486	94
桓仁满族自治县	263	92
绥芬河市	16	86
柳河县	377	83
舒兰市	691	82
宽甸满族自治县	229	72
鹤岗市辖区	101	71
集安市	94	71
吉林市辖区	568	69
桦甸市	642	69
伊通满族自治县	594	65
辉南县	254	62
磐石市	422	60
东辽县	405	60
敦化市	418	58
凤城市	300	55
岫岩满族自治县	297	53
通化县	147	53
本溪市辖区	63	52
安达市	529	52
东丰县	408	51
德惠市	1071	51

2.3 畜禽粪尿及其污染物进入水体数量潜力估算

根据2003年国家统计局统计数据 and 粪尿进入水体的比例,计算得到东北三个省份2003年畜禽粪尿、纯养分及其COD进入水体的数量。2003年,辽宁、吉林、黑龙江畜禽粪尿进入水体的COD数量分别为1974、

2253、2552 万 t; 进入水体的纯 N 量分别为 9、9、10 万 t; 进入水体的纯 P 量均在 3 万 t 左右。

2.4 2010 年和 2020 年东北地区畜牧业产生的畜禽粪尿数量预测

根据“中国食品与营养发展纲要(2001~2010年)”^[30]和“中国中长期食物发展战略”^[31]等研究对国民肉产品需求的预测;并根据东北地区的情况,东北地区作为国家重要的农畜产品基地,在外调一定数量的畜牧产品的同时,还要保证合理的膳食结构;兼顾国家需要与地方和农民利益,确定畜牧业产值占农业总产值的 50% 左右。在这样的原则下,对东北三省 2010 年和 2020 年畜禽养殖业发展进行预测,并根据预测结果对畜禽养殖业可能造成的污染进行分析。研究结果(表 6)表明,与 2003 年相比,2010 年辽宁省、吉林省、黑龙江省畜禽粪尿总量将分别增长 0.22、0.3、0.32 倍;2020 年将分别增长 0.6、0.7、0.77 倍。由此可见,如果不加强管理,2010 年、2020 年畜禽养殖业对东北面源污染的影响将进一步加大。

表 6 东北三省 2010 年、2020 年畜禽粪尿总量和粪尿耕地承载力预测

Table 6 Prediction of animal excretion urine quantities and load per hectare of cropland in 2010, 2020 in the northeast of China

省	2003		2010		2020	
	粪尿总量 / 10^4 t	耕地粪尿承载力 / $t \cdot hm^{-2}$	粪尿总量 / 10^4 t	耕地粪尿承载力 / $t \cdot hm^{-2}$	粪尿总量 / 10^4 t	耕地粪尿承载力 / $t \cdot hm^{-2}$
辽宁	9900	24	12100	29	15800	38
吉林	11300	20	14700	26	19200	34
黑龙江	12800	11	16900	14	22500	19

3 结论与讨论

1) 东北地区畜禽养殖数量从 20 世纪 80 年代起逐年增加, 畜禽粪尿资源产生量也随之不断增长。2003 年, 辽宁省畜禽粪尿资源产生量为 9871 万 t, 吉林省 11267 万 t、黑龙江省 12761 万 t, 相当于 480 万 t 尿素和 283 万 t 磷酸二铵养分含量。从空间分布看, 东北地区畜禽粪尿资源分布是很不均匀的, 北部地区粪尿的排放量低于中部和南部地区。

2) 大部分畜禽养殖场的 N、P 养分输入量远大于产品携出量, 大量养分未被有效利用而流失于环境, 具有极高的环境风险^[32]。本研究粪尿流失率以 20% 计, 2003 年进入水体的 N 和 P 量辽宁省分别为 9 和 3 万 t, 吉林省分别为 9 和 3 万 t, 黑龙江省 10 和 3 万 t。通过畜禽养殖业污水进入水体的 COD 量在辽宁省、吉林省、黑龙江省分别占三省畜禽粪尿加上环境公报中工业和生活排放 COD 总量(见相关网站)的 52%、65%、40%, 畜禽养殖业污染可能已成为水体污染的重要因素。

3) 辽宁省、吉林省、黑龙江省 2003 年单位耕地畜禽粪尿承载力分别为 24、20、11 t/hm^2 , 接近或低于全国平均值。但是分布不均衡, 83 个县(市)超过了全国平均

值($24 t/hm^2$), 占全部统计县个数的 45%。耕地畜禽粪尿承载力大于 $50 t/hm^2$ 的 27 个县耕地总面积占东北统计县总耕地面积的 9%, 粪尿总量占全部统计县总量的 25%。

东北部分县(市)耕地承载力相对较大, 很可能是由于规模化养殖发展造成的。据统计资料计算, 东北地区蛋鸡、肉鸡规模化生产比例远远超过 50%, 奶牛、肉牛规模化生产比例也接近 50%。规模化养殖使畜禽粪尿相对集中, 对环境的污染呈现总量增加、程度加剧和范围扩大的趋势^[33]。中国现有规模化畜禽养殖场近万个, 由于 60% 的畜禽养殖场未采取干湿分离(粪便与尿、冲洗水)的清洁工艺^[34], 近 80% 的规模化养殖场主要集中在人口密集、水系发达的东部沿海地区及其大城市周围, 对环境影响较大^[6]。对于如何发展东北地区规模化畜禽养殖以及应对规模化养殖对环境污染的潜在压力, 将成为东北地区畜牧业发展研究的重点。

4) 东北地区地属世界第二大“玉米带”^[35], 又拥有大量天然草场资源^[36], 各级政府已经把发展建设东北地区三条畜牧业商品生产带作为发展重点。通过预测我们认为 2010 年, 辽宁省、吉林省、黑龙江省畜禽粪尿资源总量分别为 12100、14700、16900 万 t; 2020 年分别为 15800、19200、22500 万 t。如果不能很好的处理这些畜禽粪尿资源, 畜禽养殖业对东北污染的影响将进一步加大。

[参 考 文 献]

- [1] 李立军, 诸庆全, 于心岭, 等. 2020 年中国全面小康社会食物需求研究[J]. 中国农业科技导报, 2004, 6(3): 57-62.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2004[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [3] 张明峰. 部分国家畜牧污染防治法规简介[J]. 世界农业, 1996(7): 45-46.
- [4] Oenema O. Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European agriculture[J]. Anim. Sci. 82(E. Suppl.): E196-E206.
- [5] 王尔大. 美国畜牧业环境污染控制政策概述[J]. 世界环境, 1998, (3): 17-18.
- [6] 国家环境保护总局自然生态保护司主编. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查技术报告, 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.
- [7] 孙胜龙, 高龙君, 隋延婷, 等. 吉林省畜禽养殖业的环境问题及防治技术[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 452-454.
- [8] 张颖. 辽河流域农村水环境污染控制对策研究(第 1 版)[D]. 沈阳: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 2002.
- [9] 张克强, 高怀友. 畜禽养殖业污染物处理与处置(第 1 版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [10] 李建国. 畜牧学概论(第 1 版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [11] 张玉珍. 九龙江流域畜禽养殖业的生态环境问题及防治对策探讨[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(7): 29-34.
- [12] 李民. 规模化畜禽养殖场粪污污染与防治措施[J]. 农业科技通讯, 2001, (10): 22-23.

- [13] 郝兴璋. 畜牧业污染的治理方法[J]. 饲料工业, 2002, 23(8): 44-45.
- [14] 刘培芳. 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.
- [15] 苏玉萍. 福建省畜禽污染分析与防治对策[J]. 福建地理, 2004, 19(3): 1-4.
- [16] 张德生. 菏泽市规模化养殖污染情况调查分析[J]. 菏泽师专学报, 2001, 23(4): 38-41.
- [17] 刑廷铄. 畜牧生产对生态环境的污染及其防治[J]. 云南环境科学, 2001, 20(1): 39-42.
- [18] 妙旭华. 甘肃省畜禽养殖污染及粪便的综合利用[J]. 甘肃环境研究与监测, 2002, 15(4): 305-307.
- [19] 王桂英. 牧业污染及其营养调控措施[J]. 饲料安全, 2003, 23: 20-24.
- [20] 全国农业技术推广服务中心编著. 中国有机肥料养分志(第1版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [21] 晓岩. 农业科技常用手册(第1版)[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 1989.
- [22] 金同铭, 黄莲芳. 农家肥料知识(第1版)[M]. 北京: 农村读物出版社, 1982.
- [23] 王新谋. 家畜粪便学(第1版)[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999.
- [24] 辛总秀. 减轻畜禽粪便对环境污染的现状及技术探索[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2004, 4: 35-37.
- [25] 鲁如坤, 史陶钧. 农业化学手册(第1版)[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [26] Jongbloed A W, Lenis N P. Alteration of nutrition as a means to reduce environmental-pollution by pigs [J]. *Livestock Production Science*, 1992, 31(1-2): 75-94.
- [27] 周世朗. 鸡兔粪饲用研究概况[J]. 饲料营养杂志, 1992(7): 71-77.
- [28] 杨国义, 陈俊坚, 何嫁文, 等. 广东省畜禽粪便污染及综合防治对策[J]. 土壤肥料, 2005, (2): 46-52.
- [29] 罗定. 农村养殖业污染触目惊心[N]. 新民晚报, 2001-04-01(4).
- [30] 中华人民共和国国务院办公厅. 中国食品与营养发展纲要(2001-2010年)[Z]. 2001年11月.
- [31] 中国中长期食物发展研究组. 中国中长期食物发展战略研究[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [32] 曾悦, 洪华生, 曹文志, 等. 九龙江流域养猪场氮磷流失特征研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 116-120.
- [33] 李远. 我国规模化畜禽养殖业存在的环境问题与防治对策[J]. 上海环境科学, 2002, 21(10): 14-17.
- [34] 冯涛. 华北地区大型养牛场粪便无害化处理方案[J]. 中国奶牛, 2003(1): 49-50.
- [35] 祝业辉, 刘笑然. 吉林省玉米经济发展问题研究[J]. 社会科学战线, 2004, 6: 248-251.
- [36] 高信顶, 刘伟, 刘国选, 等. 黑龙江省草地资源优势和畜牧业持续发展潜力[J]. 国土与自然资源研究, 2000, 1: 65-67.

Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in Northeast China for middle and long period

Ma Lin^{1,2}, Wang Fanghao², Ma Wenqi^{1*}, Zhang Fusuo², Fan Mingsheng²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;

2. Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, Ministry of Education, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: There is an increasing concern about the environmental consequences of the intensification of animal production, and the spatial decoupling of animal feed production and animal production in China. A major concern is the difficulty of properly disposing and recycling the nutrients from the animal manure. This holds true especially for confined animal feeding operations as the land-base is missing here. The aim of this study was to assess the changes in the production of animal manure and its contribution to surface water eutrophication in northeast China in the period 2002~2020. Data statistics and literature data were used to calculate the production of animal manure, the amounts of nitrogen and phosphorus, and the chemical oxygen demand of the manure. The authors used simple emission factor equations to assess the discharge of animal manure into surface waters. The study was carried out for the three Provinces Liaoning, Jilin and Heilongjiang. Results indicate that the mean amounts of animal manure produced in 2003 were equivalent to 24, 20 and 11 Mg per ha of agricultural land in Liaoning, Jilin and Heilongjiang Provinces, respectively. However, the production was spatially very uneven, suggesting that some areas received much higher doses than the mean amounts. The estimates suggest that the discharges of animal manure contributed 52%, 65% and 40% to the total loading of chemical oxygen demand of surface waters in Liaoning, Jilin and Heilongjiang Provinces, respectively. Clearly, discharges of animal manure have a large share in the total loading of surface waters with nitrogen, phosphorus and oxygen demanding substances, and thereby greatly contribute to the deterioration of the surface water quality in these provinces. Forecasts suggest that the intensification of animal production will develop further during the next decades, and that the discharges to surface waters will also continue to increase, unless drastic policies and measures are implemented to regulate animal production or animal manure management. In conclusion, animal manure greatly contributes to the eutrophication of surface waters in Northeast China. Drastic measures are needed to reverse the trend of increasing discharges of nutrients from animal manure to surface waters.

Key words: animal manure; resources; eutrophication; intensive animal husbandry; medium-and long-term prediction; Northeast China