

刘 涛,谷佳桐,郑 晶. 规模化畜禽养殖的外部环境成本测度——以广东省为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(2):293-298.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.02.081

规模化畜禽养殖的外部环境成本测度 ——以广东省为例

刘 涛,谷佳桐,郑 晶

(华南农业大学经济管理学院,广东广州 510642)

摘要:利用 2012 年中国畜牧业截面数据,对广东省规模化畜禽养殖外部环境成本进行了测度。研究表明,广东省畜禽粪便产生量较大,造成的水体流失率较高,部分地区土地负荷率高,其中茂名市的上述问题最突出;2012 年广东省规模化畜禽养殖的外部环境成本下限值约为 194.34 亿元,其中水污染、土壤污染和大气污染的外部环境成本分别为 2.62 亿、61.29 亿、30.43 亿元;如果将 2012 年的外部环境成本计入养殖户的生产成本,则畜禽养殖者将入不敷出。

关键词:畜牧业;规模化畜禽养殖;外部环境成本;测度

中图分类号: F307.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)02-0293-06

随着我国畜牧业的迅速发展,畜禽养殖已成为我国农村面源污染的主要来源。广东省作为畜禽的生产和消费大省,也是畜禽养殖污染大省,畜禽养殖与环境污染之间的矛盾更日益尖锐。据统计,2012 年广东省生猪和家禽养殖污染排放量都居全国第 7 位,而且全省 47.4% 的中小规模畜禽养殖污染得不到控制。将养殖者直接排放污染物导致的各种环境污染和损害折算成经济损失,这部分需要由社会来负担和消化的环境成本,即畜禽养殖产生的外部环境成本。巨大的外部环境成本带来了严重的经济损失。因此为了全面了解广东省畜禽养殖污染的实际状况,为下一步畜禽养殖外部环境成本控制及监督管理提供依据,对广东省畜禽养殖业发展特别是规模化畜禽养殖发展所带来的污染问题及其程度、原因进行了分析,并对广东省畜禽养殖外部环境成本进行了测度。

赵玉杰等分析了农业环境污染造成的损失,提出了评估农业环境污染损失的方法、模型和流程等^[1]。唐华仓提出可以根据不同的环境成本选择运用预防费用法、恢复费用法、生产率变动法、机会成本法、间接替代法、市场价值法、人力资本法等^[2]。武深树等以湖南洞庭湖区为对象,主要是以畜禽养殖污染物造成损害的价值为基础估算了该区域 2006 年畜禽粪便的氮素对耕地、水体、大气污染的环境成本,分别为 2.32 亿、4.81 亿、1.64 亿元^[3]。白明刚采用意愿调查评价法对河北省畜禽养殖污染的经济损失进行了估算,得到河北省畜禽养殖污染造成的经济损失总值为 64.74 亿元^[4]。周力基于 2002—2008 年中国面板数据,利用数据包络分析(DEA)测度了畜禽养殖污染强度指数,并采用面板数据模型,对畜禽养殖

是否存在半点源污染现象进行了实证分析^[5]。袁彩凤等通过研究河南省的实际情况,提出畜禽粪便产生量、堆存量、排放量 3 个概念和相应的计算方法^[6]。李静等基于清单分析法估计了我国 28 个省的农业化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)的排放量,并使用方向性距离函数法分析了农业减排的环境规制效应,估计了 3 种污染物的减排效率^[7]。王振兴等深入分析了国内外畜禽养殖业发展与污染现状,系统归纳了国内畜禽养殖业氨氮总量减排技术区域特征,综合使用层次-灰色综合评判法、费用-效益法、表单法等对氨氮总量减排技术的减排效果、运行成本等进行了综合性的评价研究^[8]。

综上所述,关于畜禽养殖外部环境成本控制的经济学研究相对较少,目前大多研究从自然科学角度出发,研究养殖业污染的程度、养殖外部环境成本形成的原因以及外部环境成本控制方案。

1 规模化畜禽养殖外部环境成本估算的实证分析

养殖者将畜禽粪污直接排入环境导致污染,将该环境影响范围内的水体、土壤、大气等方面受到的损害折算为经济损失,就是社会需要承担的经济损失,即畜禽养殖产生的外部环境成本。而这种规模化畜禽养殖的外部环境成本是可以通过一定的方法进行估算的。

1.1 估算指标体系

本研究使用的畜禽粪便污染环境成本评估的指标体系见表 1。

1.2 研究方法

为便于讨论,本研究按以下方法进行实证分析:首先,通过畜禽粪便及污染物排泄系数、畜禽养殖场废水产生系数等估算经济主体排入环境的所有污染物的实物量。其次,将与污染有关的外部环境影响予以货币化,计算实物量对应的价值量,最终确定经济主体活动的外部环境成本。

1.2.1 水体污染的环境成本评估方法 规模化畜禽养殖场(户)废水产生量计算见公式(1):

收稿日期:2015-11-13

基金项目:国家社会科学基金(编号:13CJY087);教育部全国优秀博士学位论文作者专项资金(编号:201191);农业部软科学项目(编号:Z201329)。

作者简介:刘 涛(1981—),女,湖南常德人,博士,主要从事农业经济管理研究。E-mail:13902490421@163.com。

通信作者:谷佳桐,博士研究生,主要从事农业经济、农产品贸易研究。E-mail:452442376@qq.com。

表 1 禽粪便污染主要环境成本评估指标

类别	过程	评估指标	可操作性
大气污染	产生 NH_3 、 CO_2 、 N_2 、 CH_4 等气体	温室气体造成经济损失	✓
水体污染	畜禽粪便污染物流失造成地表水富营养化和地下水污染	污水处理成本	✓
土壤污染	粪便污染物超量排放影响土壤质量	水稻等农作物减产损失	✓

$$Q_w = \sum S_{wi} \times N_i \times T_i \quad (1)$$

式中： Q_w 是规模化畜禽养殖废水产生总量，t； S_{wi} 是第 i 种畜禽的综合单位废水产生系数， $\text{t}/(\text{头或只})$ ； N_i 为第 i 种畜禽的规模化养殖饲养量，头或只； T_i 是第 i 种畜禽的饲养天数，d。 $i=1,2,3,4,5$ ，是畜禽种类（猪 $i=1$ ，奶牛 $i=2$ ，肉牛 $i=3$ ，羊 $i=4$ ，家禽 $i=5$ ）。

畜禽养殖场排放的废水中富含 COD、BOD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP、TN 等污染物，其产生量与畜禽粪便中污染物浓度及其流入水体的流失率有关，因此规模化畜禽养殖场（户）废水中污染物排放量计算见公式（2）：

$$Q_p = \sum S_{pi} \times Q_{ti} \times P_{wi} \quad (2)$$

式中： Q_p 是规模化畜禽养殖废水中污染物排放总量，t； S_{pi} 是第 i 种畜禽粪便中污染物的浓度系数， kg/t ； Q_{ti} 为第 i 种畜禽的粪便总量，t； P_{wi} 为第 i 种畜禽粪便中污染物的水体流失率。 i 含义同公式（1）。

本研究中由于缺乏相应的剂量—反应研究成果和相关损失的具体统计数据，因而选用污染治理成本法，根据废水处理达标的成本，估算废水污染产生的外部环境成本，见公式（3）：

$$EC_2 = \sum P_w \times Q_w \quad (3)$$

式中： EC_2 为畜禽养殖废水排放产生的外部环境成本， P_w 为畜禽养殖废水中某种水污染物单位治理成本， Q_w 为畜禽养殖废水中某种水污染物的实物量。

1.2.2 土壤污染的环境成本评估方法 由于我国目前农业包括畜禽养殖业污染的环境统计数据不足，开展大量精细试验不太可能，而产排污系数法简单易行，在得知不同地区、不同养殖条件下单个畜禽的产排污系数后，根据畜禽养殖的数量可以对畜禽养殖污染排放总量进行估算。因此产排污系数法是当前估算来自畜禽养殖造成的非点源污染的最常用方法^[9-11]，本研究也主要选用此方法对畜禽养殖污染物的产生总量进行估算。

畜禽的年度粪便产生量计算见公式（4）：

$$Q_i = \sum N_i \times T_i \times P_{ui} \quad (4)$$

式中： Q_i 为年度粪便产生量，t； N_i 为饲养量，头或只； T_i 为饲养期，d； P_{ui} 为产污系数， $\text{t}/(\text{头或只})$ ； i 的含义同公式（1）。

土壤污染的外部环境成本可以采用市场价值法根据公式（5）进行评估：

$$EC_3 = \sum \beta \times S_r \times Q_r \times P_r \quad (5)$$

式中： EC_3 为畜禽粪便农田污染的环境成本，元； β 为氮素造成粮食减产的比例，%； S_r 为受污染农地面积， hm^2 ； Q_r 为农地单位产量， t/hm^2 ； P_r 为当年粮食平均价格，元/t。

1.2.3 大气污染的环境成本估算方法 规模化禽畜养殖场（户）温室气体排放量的估算方法与废水排放量估算方法相似，其计算见公式（6）：

$$Q_a = \sum S_{ij} \times N_j \times T_j \quad (6)$$

式中： Q_a 是规模畜禽养殖温室气体排放总量，t； S_{ij} 是第 i 种畜禽的第 j 种单位温室气体产生系数， $\text{kg}/(\text{头或只})$ ； j 是温室气体种类（ CH_4 $j=1$ ， N_2O $j=2$ ）； N_j 、 T_j 和 i 的含义同公式（1）。

温室气体排放造成的全球变暖损失可以采用根据气候变化造成的损失计算，本研究采用类比法，根据以下公式（7）进行评估：

$$EC_1 = \sum a \times T_e \times P_e \quad (7)$$

式中： EC_1 为畜禽粪便产生温室气体的环境成本，万元； a 为某种温室气体相当于 CO_2 的增温效率，倍； T_e 为某畜禽温室气体的排放量，t； P_e 为温室效应所带来的损失，元/t。

1.3 数据处理

本研究根据各类畜禽的生长周期分别确定其饲养标准。对于生猪平均饲养期一般为 199 d，因此生猪的饲养数量即为当年的出栏数。对于家禽、蛋禽与肉禽在生长期和日排泄量上均有较大差异，但考虑到数据限制，对家禽平均饲养期设定为 210 d，家禽的饲养量为当年家禽的出栏量。对于牛，按用途分类，主要有肉牛和奶牛，奶牛一般当年不出栏，肉牛的饲养周期一般设为 365 d，因此奶牛的年末存栏数即可视为当年饲养数量；肉牛一般在未出栏时记在黄牛的年末存栏数中，因此肉牛的饲养数量就用当年的出栏数代替。对于羊，饲养周期一般为 365 d，因此采用年末存栏量作为当年的饲养数量。本研究针对我国主要畜禽，包括生猪、家禽、奶牛、肉牛及羊的养殖来计算粪污产生量，并不包括除此之外的其他畜禽，如狗、马、驴等，因此估算结果存在一定的低估。畜禽养殖数量均来源于 2012 年《中国畜牧业年鉴》。

1.4 估算结果

1.4.1 畜禽粪便产生总量及排放量的估算结果 表 2 显示了广东省各市畜禽养殖污染排放量的测度值。从各市不同畜禽粪便产生量的排名来看，2012 年粤北和粤西是广东省畜禽养殖粪便产生量较多的地区，尤其是湛江市与茂名市。2012 年茂名市畜禽（生猪、家禽和牛）养殖粪便总产生量为 3 652 000 t，是全省主要畜禽（生猪、家禽和牛）养殖粪便总产生量最高的城市。畜禽养殖产生的环境问题已成为农村面源污染的主要方面，如果不加强畜禽粪便的管理、不注重粪便的合理利用，将产生高额的外部环境成本。

1.4.2 水污染的外部环境成本估算 畜禽粪便堆放及粪液冲洗极易进入水体中，但在不同地区、不同管理水平下畜禽粪便的流失程度差异很大。结合文献结果，本研究取广东省畜禽粪尿综合水体流失率为 35%，即畜禽粪尿进入农地的比例为 65%。粪便污染物进入水体流失率具体情况见表 3。同时，国家环保总局南京环境科学研究所测定了各种类型畜禽粪便中的 COD、BOD、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 、TP、TN 的含量（表 4），且这一结果同农业部 2011 年有关研究结论基本一致，因此沿用这种测度值。

表 2 2012 年广东省各市禽畜养殖粪便排放量测度值

城市	生猪		肉牛		奶牛		羊		家禽		总计	
	排放量(t)	排行	排放量(t)	排行	排放量(t)	排行	排放量(t)	排行	排放量(t)	排行	排放量(t)	排行
全省	8 773 300		2 888 180		691 590		467 000		14 247 240		27 067 320	
广州市	538 980	6	49 610	14	234 950	1	6 360	13	1 425 840	3	2 255 740	5
深圳市	43 370	21	0	21	68 680	3	0	21	55 200	21	167250	20
珠海市	112 620	18	2 530	18	38 560	6	1 140	19	84 400	20	239 240	18
汕头市	202 200	15	17 720	16	10 840	12	3 510	15	366 270	13	600 540	16
佛山市	460 060	8	4 560	17	34 940	8	3 130	16	1 076 990	4	1 579 670	8
韶关市	376 250	11	92 640	12	2 410	15	24 480	7	262 420	16	758 210	15
河源市	223 100	14	174 150	8	0	17	5 500	14	385 350	12	788 110	14
梅州市	596 280	5	209 590	4	12 050	11	66150	3	754 960	8	1 639 020	7
惠州市	437 380	10	101 760	11	38 560	6	7970	12	475 930	11	1 061 590	10
汕尾市	185 720	16	283 500	2	0	18	32 550	5	363 940	14	865 710	13
东莞市	67 230	20	510	20	0	18	90	20	98 870	19	166 700	21
中山市	101 720	19	2 530	19	0	18	1 330	18	115 190	18	220 770	19
江门市	601 440	4	52 140	13	0	13	16 610		1 047 400	7	1 727 230	6
阳江市	444 840	9	230 850	3	18 070	10	15 470	9	267 930	15	977 160	12
湛江市	772 720	3	759 890	1	19 280	9	90 530	1	1 057 240	5	2 699 670	2
茂名市	1 341 150	1	209 590	5	3 610	14	21 350	8	2 076 310	1	3 652 020	1
肇庆市	964 010	2	208 580	6	50 600	5	78 580	2	1 053 540	6	2 355 310	4
清远市	489 810	7	180 230	7	92 770	2	46 120	4	623 590	9	1 432 530	9
潮州市	140 700	17	33 920	15	1 200	16	2 180	17	198 540	17	376 550	17
揭阳市	350 400	12	143 270	9	55 420	4	11 960	11	481 950	10	1 043 000	11
云浮市	323 300	13	126 560	10	0	18	31 980	6	1 975 410	2	2 457 260	3

注:数据根据 2013 年《广东农村统计年鉴》数据计算所得。

表 3 畜禽粪便污染物进入水体流失率

项目	流失率(%)				
	牛粪	猪粪	羊粪	家禽粪	牛猪尿
COD(化学需氧量)	6.16	5.58	5.50	8.59	50.00
BOD(生化需氧量)	4.87	6.14	6.70	6.78	50.00
NH ₃ -N(氨氮)	2.22	3.04	4.10	4.15	50.00
TP(全磷)	5.50	5.25	5.20	8.42	50.00
TN(全氮)	5.68	5.34	5.30	8.47	50.00

注:数据根据文献整理所得。

表 4 畜禽粪便中污染物平均含量

畜禽	项目	kg/t				
		COD	BOD	NH ₃ -N	TP	TN
牛	粪便	31.00	24.53	1.71	1.18	4.37
	尿液	6.00	4.00	3.47	0.40	8.00
猪	粪便	52.00	57.03	3.08	3.41	5.88
	尿液	9.00	5.00	1.43	0.52	3.30
羊	粪便	4.63	4.10	0.80	2.60	7.50
	尿液	未计	未计	未计	1.96	14.00
家禽(鸡)	粪便	45.00	47.87	4.78	5.37	9.84

注:数据来源于国家环保总局南京环境科学研究所(1997)和农业部课题组(2011)。

表 2 中的 2012 年广东省各城市的生猪、家禽、羊以及牛粪便产生量,结合表 3 和表 4,依据公式(2)和(4),可以计算出 2012 年广东省各城市畜禽粪便主要污染物 COD、BOD、NH₃-N、TP、TN 的水体流失量。如表 5 所示,2012 年广东省畜禽粪便主要污染物 COD 的流失量为 204 650 t、BOD 的流失量为 147 160 t、NH₃-N 流失量为 25 400 t。从各市区的数据来看,茂名市的废水污染物排放量居全省最高,达到

54 500 t,其中 COD、BOD 和 NH₃-N 的流失量分别达到 29 660、21 370、3 510 t。

由于数据和方法方面的原因,本研究只核算了 COD、

表 5 2012 年广东省畜禽养殖废水中污染物排放量 t

城市	COD	BOD	NH ₃ -N	总计
全省	204 650	147 160	25 400	377 210
广州市	14 720	10 840	1 580	27 140
深圳市	960	760	140	1 860
珠海市	7 910	1 530	280	9 720
汕头市	4 610	3 380	530	8 510
佛山市	11 400	6 900	1210	19 510
韶关市	7 220	5 050	970	13 230
河源市	5 660	4 050	770	10 480
梅州市	13 040	9 280	1 680	24 000
惠州市	9 130	6 330	1 170	16 630
汕尾市	5 440	3 880	830	10 150
东莞市	1 420	1 030	160	2 610
中山市	2 040	1 450	240	3 730
江门市	13 600	9 870	1 550	25 010
阳江市	8 920	6 180	1 300	16 400
湛江市	19 210	1 358	2 830	35 610
茂名市	29 660	21 370	3 510	54 540
肇庆市	19 990	14 180	2 540	36 700
清远市	11 000	7 810	1 440	20 240
潮州市	3 040	2 210	380	5 630
揭阳市	7 770	5 720	1 050	14 540
云浮市	13 170	10 140	1 240	24 540

注:数据根据 2013 年《广东农村统计年鉴》数据及表 3、表 4 数据计算所得。

BOD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 这 3 种水污染物的治理成本。参考相关文献 [12-13], 确定广东省规模化畜禽养殖场单位废水产生系数 S (表 6), 进而根据公式 (1) 计算出广东省禽畜养殖废水排放量; 再根据 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》, 集约化畜禽养殖业水污染物最高允许日排放浓度为 COD 400 mg/L、BOD 150 mg/L、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 80 mg/L, 计算出广东省达标范围的 COD、BOD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 排放量。以此为据, 计算广东省 2012 年规模化畜禽养殖场排放的废水中应该削减的 COD、BOD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 含量。

表 6 规模化养殖场不同畜禽废水产生系数	
养殖种类	$S[\text{kg}/(\text{头} \cdot \text{d})]$
生猪	15.38
奶牛	48.00
肉牛	20.00
家禽	0.42

根据国内相关研究成果 [14-16], 在出水浓度达到 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》规定时, 养殖废水的 COD、BOD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的参考单位处理成本分别为 1 875.6、385、468.9 元/t, 以此为依据, 通过公式 (3) 计算得到 2012 年广东省各地区规模化畜禽养殖 COD、BOD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 实现达标排放的处理成本分别为 21 497.62 万、4 365.81 万、346.68 万元, 各市区具体情况见表 7。2012 年广东省规模化畜禽养殖水污染的外部环境成本约 26 210.11 万元。

表 7 2012 年广东省规模化畜禽养殖废水污染物的处理成本				
万元				
城市	COD	BOD	$\text{NH}_3 - \text{N}$	总计
全省	21 497.62	4 365.81	346.68	26 210.11
广州市	1 446.52	316.17	8.37	1 771.05
深圳市	101.17	23.19	2.62	126.97
珠海市	1 324.29	46.64	5.16	1 376.09
汕头市	468.79	99.66	5.06	573.51
佛山市	1 117.72	187.10	5.71	1 310.53
韶关市	824.13	153.62	18.98	996.74
河源市	595.84	120.07	12.82	728.73
梅州市	1 410.50	277.59	27.01	1 715.10
惠州市	1 004.17	189.19	19.45	1 212.80
汕尾市	573.98	115.02	16.60	705.61
东莞市	148.54	30.59	1.61	180.74
中山市	222.00	43.46	3.22	268.69
江门市	1 398.04	291.26	15.04	1 704.34
阳江市	1 035.43	188.85	29.08	1 253.35
湛江市	2 092.79	406.58	57.19	2 556.56
茂名市	3 106.36	633.64	41.75	3 781.75
肇庆市	2 193.71	426.19	41.32	2 661.21
清远市	1 199.79	234.23	24.35	1 458.37
潮州市	319.39	65.78	5.28	390.45
揭阳市	818.35	171.03	17.29	1 006.67
云浮市	1 083.74	283.67	0.00	1 367.41

1.4.3 土壤污染的外部环境成本估算 首先, 从畜禽粪便的土地负荷值来看, 根据众多学者的研究 [17-19], 尽管不同畜禽品种和不同区域特点会有所变化, 但是一般认为土地能够负荷的畜禽粪便在 30 ~ 45 t/hm², 如果高出这一水平就会带来

土壤的富营养化, 对环境产生影响。这里从环境风险的角度考虑, 最大理论适宜量为最低限度的 30 t。因此, 根据各个地区土地负荷畜禽粪便的情况便可计算出各地区畜禽粪便负荷的警报水平。依据沿用至今的上海市农业科学研究院 1994 年提出的家畜粪便负荷警报值分级标准。结合表 8 中 2012 年粪污土地负荷量可知, 2012 年广东省总体的土地负荷警戒值还比较低, 为 0.347, 总体来说 1 hm² 粪便产生量对环境影响不大。但从各城市警报值 R 来看, 粪便产生量第 3 的云浮市禽畜养殖环境压力水平达到了“有影响”的警报值。

表 8 2012 年广东省各市畜禽养殖对环境压力情况表						
城市	粪便产生量(t)	耕地面积(hm ²)	粪污土地负荷量(t/hm ²)	警报值 R	对环境影响	
全省	27 067 320	2 601 315.96	10.405	0.347	无	
广州市	2 255 740	85 447.57	26.399	0.880	有	
深圳市	167 250	3 021.54	55.353	1.845	严重	
珠海市	239 240	18 177.96	13.161	0.439	稍有	
汕头市	600 540	37 845.88	15.868	0.529	稍有	
佛山市	1 579 670	36 505.53	43.272	1.442	较严重	
韶关市	758 210	219 656.28	3.452	0.115	无	
河源市	788 110	141 220.16	5.581	0.186	无	
梅州市	1 639 020	164 066.42	9.990	0.333	无	
惠州市	1 061 590	141 294.46	7.513	0.250	无	
汕尾市	865 710	95 472.27	9.068	0.302	无	
东莞市	166 700	15 496.18	10.757	0.359	无	
中山市	220 770	12 565.16	17.570	0.586	稍有	
江门市	1 727 230	155 324.84	11.120	0.371	无	
阳江市	977 160	145 827.48	6.701	0.223	无	
湛江市	2 699 670	456 104.4	5.919	0.197	无	
茂名市	3 652 020	226 492.65	16.124	0.537	稍有	
肇庆市	2 355 310	148 938.34	15.814	0.527	稍有	
清远市	1 432 530	269 012.43	5.325	0.178	无	
潮州市	376 550	36 053.37	10.444	0.348	无	
揭阳市	1 043 000	87 907.47	11.865	0.395	无	
云浮市	2 457 260	103 649.25	23.707	0.790	有	

注: 粪污负荷量由畜禽粪便产生总量除以耕地面积计算; 耕地面积数据来源于 2013 年《广东农村统计年鉴》。

其次, 计算广东省规模化畜禽养殖氮素的土地负荷情况。由于不同类型畜禽粪便的肥效养分含量差异大, 对环境污染作用也不同, 为了便于计算, 本研究以氮元素含量为基础, 用猪粪当量替换各市区畜禽粪便产生量, 统计、比较各市区的猪粪当量负荷情况, 作为土壤污染的计算依据。猪粪当量的换算系数见表 9, 各类畜禽粪便氮素含量见表 10。根据前文取广东省畜禽粪尿综合水体流失率为 35%, 则畜禽粪尿进入农地的比例为 65%, 估算出 2012 年广东省各市区单位农地面积上的畜禽粪尿氮素负荷, 计算结果见表 10。

单位农地面积上畜禽粪尿氮素的负荷反映了畜禽排泄污染物对土壤的污染风险。氮素虽然是作物生长发育所需的重要营养元素, 但是过量施用氮肥反而会导致作物产量下降, 1991 年欧盟制订的农田有机肥氮的限制标准为 170 kg/hm²; 朱兆良的研究表明大面积化肥年施氮量应该控制在 50 ~ 180 kg/hm² [20]; 晏娟等认为纯氮 138 kg/hm² 已经算高氮肥肥条件 [21]。本研究取 138 kg/hm² 限制标准为参考, 从表 10 的估

表 9 各类畜禽粪便猪粪当量的换算系数

养殖种类	粪便/尿液	猪粪当量换算系数
猪	粪便	1.00
	尿液	0.83
牛	粪便	0.50
	尿液	1.67
羊	粪便	1.00
	尿液	—
家禽	粪便	2.07
	尿液	—

表 10 2012 年广东省禽畜粪尿氮素含量及氮素负荷值

城市	生猪氮素含量 (t)	牛氮素含量 (t)	家禽氮素含量 (t)	总氮素含量 (t)	农地氮素负荷 (kg/hm ²)
全省	132 554.12	33 978.31	14 0192.89	30 6725.32	76.64
广州市	8 143.38	2 099.09	14 030.27	24 272.74	184.64
深圳市	1 953.12	466.56	543.17	2 962.85	637.37
珠海市	1 701.55	287.59	830.47	2 819.61	100.82
汕头市	3 055.06	253.30	3 604.05	6 912.41	118.72
佛山市	6 950.95	283.56	10 597.53	17 832.05	317.51
韶关市	5 684.72	955.59	2 582.17	9 222.48	27.29
河源市	3 370.81	1 765.52	3 791.85	8 928.19	41.09
梅州市	9 009.06	2 206.64	7 428.76	18 644.46	73.87
惠州市	6 608.23	1 293.53	4 683.11	12 584.87	57.89
汕尾市	2 806.00	2874.11	3 581.19	9 261.29	63.05
东莞市	1 015.75	5.13	972.90	1 993.78	83.63
中山市	1 536.93	25.66	1 133.44	2 696.03	139.47
江门市	9 087.11	594.11	10 306.38	19 987.61	83.64
阳江市	6 721.05	2 463.12	2 636.41	11 820.58	52.69
湛江市	11 674.92	7 834.60	10 403.26	29 912.78	42.63
茂名市	20 263.20	2 149.34	20 430.89	42 843.43	122.95
肇庆市	14 565.00	2 458.30	10 366.84	27 390.13	119.54
清远市	7 400.46	2 457.38	6 136.15	15 993.99	38.65
潮州市	2 125.87	352.05	1 953.62	4 431.54	79.90
揭阳市	5 294.10	1 828.97	4 742.36	11 865.44	87.73
云浮市	4 884.68	1 283.08	19 438.08	25 605.84	160.58

注:数据根据 2013 年《广东农村统计年鉴》及表 4、表 8 数据计算所得。

计结果看,广州市(184.64 kg/hm²)、深圳市(637.37 kg/hm²)、佛山市(317.51 kg/hm²)和云浮市(160.58 kg/hm²)4 个城市的单位农地畜禽粪尿氮素负荷超过 138 kg/hm²,可以认为畜禽粪尿已在这 4 个城市造成了土壤污染。4 个城市的农地面积为 228 623.89 hm²,约占广东省农地总面积的 8.79%。考虑到畜禽粪尿负荷存在区域的不均衡性,可以取被污染的农地比例为 8.79%。根据相关文献,高氮施肥条件下,水稻生产的空秕率增加 6%,千粒质量下降 7.5%^[20],禽畜粪便污染的农作物减产比例设定为 13%^[22]。由于广东省的农作物以水稻种植为主,因此本研究也取 13% 为畜禽粪便污染造成农作物减产的比例值。广东省稻谷作物产量达到 6 346.5 kg/hm²,2012 年稻谷平均售价 2.86 元/kg,由公式(3)、(5)可知,2012 年广东省畜禽养殖土壤污染外部环境成本约为 612 903.58 万元。由于规模化养殖户养殖集中,对环境的影响要大于散户养殖,因此,以农地氮素平均负荷来评估外部环境成本可能与实际情况会有一定的偏差,这有待于进一步收集数据并进行更深入地分析和研究。

1.4.4 大气污染外部成本估算 根据国内外相关文献[23-24],整理得到不同畜禽的 CH₄ 和 N₂O 排放系数,见表 11。首先,通过各种畜禽单位温室产生系数,广东省规模化畜禽饲养量和饲养周期,可以估算出 2012 年的广东省规模化畜禽养殖场(户)CH₄ 和 N₂O 排放总量。其次,根据国际粮农组织(FAO)研究结果,CH₄ 和 N₂O 的增温效率分别是 CO₂ 的 21 倍和 310 倍。目前,国际上碳捕捉成本为 15~75 美元/t,每吨 CO₂ 排放造成的温室效应所带来的损失是 20 美元(世界银行,2010)。因此运用公式(7)计算 2012 年广东省畜禽养殖产生温室气体的环境成本为 1 304 278.7 万元,详情见表 12。

表 11 2012 年广东省规模化畜禽养殖温室气体排放系数

养殖种类	猪	牛	羊	家禽
S _{a1} (CH ₄)[kg/(头·d)]	2.55	45.00	5.18	0.41
S _{a2} (N ₂ O)[g/(头·d)]	21.60	6.48	1.48	3.68

注:数据根据国内外相关文献资料整理得到。

表 12 2012 年广东省各地区畜禽养殖产生温室气体的环境成本
万元

城市	CH ₄ 环境成本	N ₂ O 环境成本	总计
全省	906 485.90	397 792.84	1 304 278.75
广州市	81 026.53	37 388.62	118 415.15
深圳市	4 011.94	1 609.72	5 621.66
珠海市	6 275.87	2 782.26	9 058.13
汕头市	21 454.55	10 049.86	31 504.41
佛山市	59 851.86	28 595.96	88 447.83
韶关市	21 027.13	8 845.08	29 872.20
河源市	26 232.17	10 673.78	36 905.96
梅州市	51 703.55	22 019.50	73 723.05
惠州市	32 660.46	14 302.72	46 963.17
汕尾市	27 522.60	9 932.51	37 455.11
东莞市	5 846.73	2 800.61	8 647.34
中山市	7 232.86	3 427.80	10 660.66
江门市	61 629.15	28 902.41	90 531.56
阳江市	25 558.79	9 480.89	35 039.68
湛江市	82 195.45	30 481.69	112 677.15
茂名市	126 592.21	58 356.35	184 948.56
肇庆市	72 376.34	31 639.63	104 015.97
清远市	43 511.06	18 174.68	61 685.74
潮州市	12 626.51	5 670.24	18 296.75
揭阳市	32 794.12	13 842.86	46 636.98
云浮市	104 262.70	48 814.97	153 077.67

1.5 估算结果与分析

综合以上评估结果计算可以得到:2012 年广东省规模化畜禽养殖的外部环境总成本约为 194.34 亿元,其中水污染、土壤污染和大气污染的外部环境成本分别为 2.62 亿、61.29 亿、130.43 亿元。

由于缺乏技术检测的资料和数据,部分环境污染要素的剂量-反应关系数据也残缺,本研究对水体污染和大气污染的外部环境成本按照治理成本法估算,并且只估算了 COD、NH₃-N、CH₄ 和 N₂O 的治理成本;而尚未包括恶臭气体如 H₂S 等污染、重金属残留污染、微生物污染以及这些污染造成的人畜健康损失等。

虽然上述估算结果只反映了 2012 年广东省规模化畜禽养殖实际外部环境成本的一部分,但足以引起重视:2012 年

广东省规模化畜禽养殖的外部环境成本约为194.34亿元,2012年广东省畜牧业总产值为1134.14亿元,外部环境成本相当于当年畜牧业总产值的17.14%。如果以猪单位对规模化畜禽养殖数量进行换算(GB 18596—2010《畜禽养殖业污染物排放标准》):20只蛋鸡折算成1头猪,25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7头猪,1只羊折算成2头猪),广东省2012年规模化畜禽养殖共有9207.58万猪单位出栏,则平均每个出栏猪单位的外部环境成本约为211.07元。根据《2012年全国农产品成本生产成本收益资料汇编》数据,2012年广东省规模化养殖场出栏生猪净利润为小规模生猪74.08元/头,中规模生猪174.63元/头,大规模生猪10.64元/头,即如果遵循“谁污染、谁治理”原则,养殖者将承担全部的外部环境成本控制费用,那么畜禽养殖者将入不敷出,生产经营无利可图。

2 结论

2000年以来,广东省畜禽养殖业的快速发展给环境带来了压力。(1)2012年广东省畜禽粪便产生量较大,总计26600320t;(2)2012年广东省规模化畜禽养殖粪污造成的水体流失率较高,主要污染物COD、BOD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的流失量分别为204650、147160、25400t,其中畜禽养殖的废水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的排放量已经超过工业废水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的排放量;(3)广东省禽畜养殖粪便土地负荷警戒值为0.347,即每公顷粪便产生量对环境影响不大,但从各市区警报值 R 来看,部分地区已经呈现出对环境有影响或接近较严重影响的压力水平;(4)2012年广东省规模化畜禽养殖场温室气体 CH_4 和 N_2O 的排放量分别为127559100、1036220t;(5)茂名市规模化畜禽养殖粪便产量、废水污染物排放量及温室气体排放量均居广东省榜首。

通过将规模化畜禽养殖对水体、大气和土壤的污染和损害折算成经济损失,测度畜禽养殖产生的外部环境成本发现,2012年广东省规模化畜禽养殖的外部环境成本约为194.34亿元,其中水污染、土壤污染和大气污染的外部环境成本分别为2.62亿、61.29亿、130.43亿元。由于缺乏检测资料数据以及部分环境污染要素的剂量-反应关系数据,本研究得到的估算结果只能是规模化畜禽养殖实际外部环境成本的一部分,实际的外部环境成本应该更大,可将结果看作实际环境成本的下限值。

2012年广东省规模化畜禽养殖的外部环境总成本相当于当年畜牧业总产值的17.14%,平均单位外部环境成本约为211.07元。如果将外部环境成本计入养殖户的生产成本,则畜禽养殖者将无利可图,甚至亏损,最终导致养殖者退出,影响规模养殖产业发展。

最后本研究认为,对畜禽养殖污染的防治不能只采用征收排污费等末端治理手段,更应该制定科学的补贴激励政策引导养殖者应用清洁生产技术,从源头控制污染。可以从畜禽养殖户的思想意识因素、经济因素、技术因素和制度监管因素等方面,进一步考察畜禽养殖造成环境污染的现实原因,从而从根本上降低规模化畜禽养殖外部环境成本,真正实现规模化畜禽养殖业的健康持续发展。

参考文献:

- [1]赵玉杰,师荣光,高怀友,等. 农业环境污染事故损失评价方法研究[J]. 安全与环境学报,2004,4(5):34-37.
- [2]唐华仓. 农业生产环境成本的核算与控制[J]. 环境与可持续发展,2006(3):35-37.
- [3]武深树,谭美英,黄 璜,等. 湖南洞庭湖区农地畜禽粪便承载量估算及其风险评价[J]. 中国生态农业学报,2009,17(6):1245-1251.
- [4]白明刚. 河北畜禽养殖污染评价及对策研究[D]. 保定:河北农业大学,2010:22-23.
- [5]周 力. 产业集聚、环境规制与畜禽养殖半污染源污染[J]. 中国农村经济,2011(2):60-73.
- [6]袁彰凤,张 飞,张粉如,等. 河南省畜禽养殖污染对环境影响研究[J]. 中国人口·资源与环境,2012(S1):44-48.
- [7]李 静,李 红,谢丽君. 中国农业污染减排潜力、减排效率与影响因素[J]. 农业技术经济,2012(6):118-126.
- [8]王振兴,许振成,谌建宇,等. 畜禽养殖业氨氮总量控制减排技术特征与评估方法研究[J]. 广东农业科学,2014,41(4):185-192.
- [9]彭 里. 畜禽养殖环境污染及治理研究进展[J]. 中国生态农业学报,2006,14(2):19-22.
- [10]沈玉英. 畜禽粪便污染及加快资源化利用探讨[J]. 土壤,2004(2):164-167.
- [11]武淑霞. 我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2005:45-46.
- [12]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.
- [13]王凯军. 畜禽养殖污染防治技术与政策[M]. 北京:化学工业出版社,2004:34-37.
- [14]史光华. 北京郊区集约化畜牧业发展的生态环境影响及其对策研究[D]. 北京:中国农业大学,2004:45-47.
- [15]郭高丽,葛英勇,熊毕华,等. 环境与经济综合核算研究初探[J]. 环境科学与管理,2006,31(5):7-10.
- [16]胡庆年,陈海棠,王 浩. 化学需氧量、二氧化硫排污权价格测算[J]. 水资源保护,2011,27(4):79-82.
- [17]李国学. 不同通气方式和秸秆切碎程度对堆制效果和养分转化的影响[J]. 农业环境保护,1999,18(3):11-15,49.
- [18]刘红艳. 河北省畜禽粪便负荷与警报分级[J]. 农业环境与发展,2007,24(1):75-77.
- [19]沈体忠,王业鹏,雷代英,等. 武汉城市圈农田畜禽粪便负荷量估算与预警分析——以天门市为例[J]. 湖北农业科学,2009(3):70-74,78.
- [20]朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境,2000,9(1):1-6.
- [21]晏 娟,尹 斌,张绍林,等. 太湖地区稻麦轮作系统中氮肥效应研究[J]. 南京农业大学学报,2009,32(1):61-66.
- [22]郭 晓. 规模化畜禽养殖业控制外部环境成本的补贴政策研究[D]. 重庆:西南大学,2012:75-76.
- [23]李玉娥. 减缓稻田甲烷排放的技术研究[J]. 农业资源与环境学报,1995,12(2):38-40.
- [24]陈文颖,代光辉. 广西重点行业二氧化碳减排潜力分析[J]. 环境科学与技术,2007,30(6):45-48,117-118.