

# 湖南洞庭湖区农地畜禽粪便承载量估算 及其风险评价<sup>\*</sup>

武深树<sup>1,2</sup> 谭美英<sup>3</sup> 黄璜<sup>4\*\*</sup> 龙岳林<sup>5</sup> 朱好<sup>2</sup> 甘德欣<sup>5</sup>

(1. 湖南农业大学生物科学技术学院 长沙 410128; 2. 湖南省畜牧水产局 长沙 410006;  
3. 湖南省畜禽水产品质量检验检测中心 长沙 410006; 4. 湖南农业大学农学院 长沙 410128;  
5. 湖南农业大学园艺园林学院 长沙 410128)

**摘要** 根据洞庭湖区畜禽养殖现状,采用排泄系数估算法测算了洞庭湖区畜禽粪便产生量,并对不同农地畜禽粪便承载量和畜禽粪便污染风险进行了评估。结果表明:2006年,洞庭湖区年产畜禽粪1616.93万t,尿液1248.30万t,  $BOD_5$  72.41万t, COD 79.33万t,  $NH_3-N$  7.48万t,农地畜禽粪便承载量平均为 $19.25 t \cdot hm^{-2}$ ,风险预警值平均为0.47,仍未造成环境污染,畜禽养殖业还有较大发展空间。但个别地区的畜禽粪便已对农地造成污染,必须引起注意。

**关键词** 洞庭湖区 畜禽粪便 承载量 风险评价

中图分类号: X503.221; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)06-1245-07

## Loading capacity estimation and risk assessment of livestock manure in cultivated lands around Dongting Lake

WU Shen-Shu<sup>1,2</sup>, TAN Mei-Ying<sup>3</sup>, HUANG Huang<sup>4</sup>, LONG Yue-Lin<sup>5</sup>, ZHU Hao<sup>2</sup>, GAN De-Xin<sup>5</sup>

(1. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;  
2. Hunan Animal Husbandry and Aquaculture Bureau, Changsha 410006, China; 3. Hunan Quality Quarantine and  
Examination Center for Livestock, Poultry and Aquaculture Products, Changsha 410006, China; 4. College of Agronomy,  
Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 5. College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural  
University, Changsha 410128, China)

**Abstract** Based on the status of animal husbandry in Dongting Lake area, the quantity of livestock manure was estimated using the excretive coefficient method and the loading capacity and risk conditions evaluated. The results show that the output of livestock manure, urine,  $BOD_5$ , COD and  $NH_3-N$  in Dongting Lake area in 2006 are  $1616.93 \times 10^4$  t,  $1248.30 \times 10^4$  t,  $72.41 \times 10^4$  t,  $79.33 \times 10^4$  t and  $7.48 \times 10^4$  t respectively. The average loading capacity of livestock manure reaches  $19.25 t \cdot hm^{-2}$ . Forewarning average risk level of livestock manure loading is 0.47. On the average, there is no environmental pollution, and there is still room to develop animal production in Dongting Lake area. However, some cultivated lands already show livestock manure pollution, a trend that can not be ignored.

**Key words** Dongting Lake area, Livestock manure, Loading capacity, Risk assessment

(Received Dec.18, 2008; accepted April 19, 2009)

畜禽养殖业是我国农村经济的重要支柱产业,是“菜篮子工程”和“农民致富工程”的重要内容。畜禽养殖在提供大量肉食产品的同时,也为农作物生产提供了大量有机肥。但是,随着畜禽养殖的快速

发展,产生的粪便越来越多,一些地方的畜禽粪便量超过了作物目标产量的有机肥养分需求量,成为我国农村面源污染的主要来源<sup>[1,2]</sup>。畜禽粪便排放量、农地畜禽粪便承载量和畜禽粪便污染等问题越

\* 国家自然科学基金项目(39670142)和湖南省养殖业科研项目(200716)资助

\*\* 通讯作者: 黄璜(1958~), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业生态学、作物信息科学的研究。E-mail: hh863@126.com

武深树(1973~), 男, 博士研究生, 经济师, 主要从事农业生态和畜牧业经济研究。E-mail: wushenshu@sina.com

收稿日期: 2008-12-18 接受日期: 2009-04-19

来引起人们的重视。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展开了研究<sup>[3,4]</sup>。为防止粪肥归田过量, 国内一些学者对畜禽粪便的排放量进行了测算<sup>[5-7]</sup>, 对畜禽粪便过量施用带来的环境影响进行了研究<sup>[8-10]</sup>, 特别是对全国以及上海郊区、闽江流域、九江流域、长江三角洲等地的农地畜禽粪便承载量及其风险状况进行了评估<sup>[11-15]</sup>, 但对粮食生产和畜禽养殖都比较发达区域的农地承载风险及同一区域不同农地的承载风险研究较少。本研究选取享有“鱼米之乡”美誉的洞庭湖区作为研究对象, 估算洞庭湖区的农地畜禽粪便实际承载量, 探讨其风险性, 旨在为合理控制畜禽粪便污染, 促进畜禽养殖和农地环境保护提供科学依据。

## 1 研究地区概况

洞庭湖区位于长江中游以南, 湖南省北部,  $111^{\circ}53' \sim 113^{\circ}E$ 、 $28^{\circ}44' \sim 28^{\circ}35'N$ , 面积  $18\ 780\ km^2$ 。该区以洞庭湖为中心, 包括湖南省岳阳、常德、益阳、长沙 4 市范围的 21 个县(市、区)。2006 年, 该区总户数 516.95 万户, 总人口 1 572.00 万人, 占湖南省总人口的 23.2%; 耕地面积  $87.12\ 万\ hm^2$ , 占湖南省总耕地面积的 22.9%<sup>[16]</sup>。

洞庭湖区土地肥沃、气候温和、物产丰富, 是

全国商品粮基地, 也是全国举足轻重的畜禽养殖基地。2006 年, 洞庭湖区粮食产量 936.79 万 t, 占湖南省粮食总产量的 32.3%; 肉类产量 175.70 万 t, 占湖南省肉类总产量的 27.0%<sup>[16]</sup>。探讨该典型粮食生产和畜禽养殖基地的农地畜禽粪便承载量及其风险性具有典型意义。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源

#### 2.1.1 畜禽饲养量

畜禽养殖数据来源于《湖南统计年鉴 2007》<sup>[16]</sup>、《湖南省农业统计年鉴 2007》(湖南省农村经济调查队编, 2007)公布的统计数据, 数据截止时间是 2006 年底。目前, 不同研究部门对畜禽数量的统计方法不同, 本研究根据各类畜禽的生长期且不重复计算的原则, 分别确定其饲养量。牛的饲养一般当年不出栏, 其年末存栏数即为当年饲养量。生猪、羊、家禽的生长期一般在 1 年以内, 以其各自的当年出栏数为饲养量。虽然家禽根据其提供的产品分为肉禽和蛋禽, 但洞庭湖区的专用型蛋禽数量较少, 主要是肉蛋兼用型的地方品种, 故家禽饲养数量统一按肉蛋兼用型家禽计算。洞庭湖区的畜禽饲养量分布情况见表 1。

表 1 2006 年洞庭湖区畜禽饲养数量分布情况

Tab. 1 Distribution of livestock and poultry amount raised in Dongting Lake area in 2006

$10^4$

地区	District	生猪	Pig	牛	Cattle	羊	Sheep	家禽	Poultry
岳阳市	Yueyang City								
岳阳楼区	Yueyanglou District	34.42		1.02		1.47		193.00	
云溪区	Yunxi District	21.00		0.56		1.14		366.00	
君山区	Junshan District	40.00		2.07		0.78		285.00	
岳阳县	Yueyang County	153.00		4.59		4.99		721.80	
华容县	Huarong County	82.10		4.93		4.16		928.00	
湘阴县	Xiangyin County	109.00		2.48		2.4		485.00	
汨罗市	Miluo City	234.90		8.06		1.71		565.30	
临湘市	Linxiang City	53.47		1.93		1.90		186.02	
常德市	Changde City								
武陵区	Wuling District	17.66		0.38		2.25		329.88	
鼎城区	Dingcheng District	84.56		3.88		18.50		1 485.22	
安乡县	Anxiang County	37.69		1.71		5.29		755.35	
汉寿县	Hanshou County	62.33		2.32		3.12		764.64	
澧县	Li County	92.91		4.19		24.69		1 869.60	
临澧县	Linli County	51.20		4.07		22.09		1 844.70	
津市市	Jinshi City	34.13		1.71		6.19		384.00	
益阳市	Yiyang City								
资阳区	Ziyang District	35.50		0.63		0.14		120.00	
赫山区	Heshan District	95.56		0.80		1.86		311.00	
南县	Nan County	65.20		1.96		2.72		412.00	
桃江县	Taojiang County	76.90		6.10		5.72		380.00	
沅江市	Yuanjiang City	62.40		3.10		1.50		404.00	
长沙市	Changsha City								
望城县	Wangcheng County	134.80		1.77		1.23		560.74	
合计	Sum	1 578.73		58.26		113.85		13 351.25	

### 2.1.2 农地面积数

洞庭湖区畜禽粪便的吸收消纳农地主要是水田、旱地和果茶地。本研究采用的水田、旱地面积数据来源于《湖南统计年鉴 2007》<sup>[16]</sup>。湖南洞庭湖区畜禽粪便排入林地主要是果林和茶叶基地,此外由于有小部分畜禽养殖场建立在杉木、油茶等用材林或经济林中,其粪便直接排入杉木、油茶等其他林地。因此,在计算果茶地面积时,本研究将畜禽粪便排泄覆盖范围内的其他林地面积一并计入。据调查,畜禽粪便覆盖的杉木、油茶等其他林地面积为果茶地面积的 25% 左右。因此,果茶地面积为:(年末果园面积+年末茶园面积)×1.25,年末果园和茶园的面积数据来源于《湖南省农业统计年鉴 2007》(湖南省农村经济调查队编,2007)。

### 2.1.3 畜禽粪便排泄系数

畜禽粪便排泄系数与畜禽的品种、体重、生理状态、饲料组成和饲喂方法等相关<sup>[12,13]</sup>。本研究中各类畜禽日排泄系数采用国家环保总局推荐的估算系数<sup>[5]</sup>,结合洞庭湖区畜禽养殖的实际情况,对文献中推荐的年排泄系数加以修正。洞庭湖区生猪生长期平均为 180 d,家禽为 80 d,牛为 365 d,羊为 180 d。家禽排泄系数为鸡、鸭粪的平均值。该区畜禽粪便的日排泄系数和年排泄系数见表 2。

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 畜禽粪便产生量的计算方法

本研究估算的畜禽粪便包括粪、尿、 $BOD_5$ 、 $COD$ 、 $NH_3-N$ ,采用国家环保总局推荐的日排泄系数,结合洞庭湖区畜禽的饲养量、生长期计算其年粪便产生量,计算公式为:

$$Q = N \cdot T \cdot P \quad (1)$$

式中,  $Q$  为年粪便产生量, t;  $N$  为饲养量, 头;  $T$  为生长期, d;  $P$  为日排泄系数, g·头<sup>-1</sup>。

### 2.2.2 农地畜禽粪便承载量的计算方法

农地畜禽粪便承载量是各地区农地对畜禽粪便吸收消纳量的客观反映。由于各类畜禽粪便的肥效差异较大,统一换算成猪粪当量进行计算,计算公式为:

$$L_R = \delta \eta \sum XQ / S \quad (2)$$

式中,  $L_R$  为畜禽粪便以猪粪当量计的承载量, t·hm<sup>-2</sup>;  $\delta$  为畜禽粪便进入农地占畜禽粪便排放总量的比例, %;  $\eta$  为畜禽粪便在不同农地类别中的去向, %;  $X$  为各类畜禽粪尿以其氮含量为基准统一换算成猪粪当量的换算系数(表 3);  $Q$  为各类畜禽粪尿产生量, t;  $S$  为有效农地面积, hm<sup>2</sup>。

### 2.2.3 农地畜禽粪便承载预警值的计算方法

畜禽粪便承载预警值是指农地畜禽粪便实际承载量与其理论承载量的比值,可以说明各种类别农地所承受畜禽粪便是否超载,是否会给当地农地带来环境污染,计算公式为:

$$A = L_R / L_M \quad (3)$$

式中,  $A$  为农地畜禽粪便承载预警值;  $L_R$  为单位农地面积畜禽粪便以猪粪当量计的实际承载量, t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>;  $L_M$  为单位农地面积畜禽粪便以猪粪当量计的理论承载量, t·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>。

## 3 洞庭湖区农地畜禽粪便承载量分析

### 3.1 畜禽粪便产生量

根据公式(1),可以计算出洞庭湖区的年畜禽粪便产生量,结果见表 4、表 5。由表 4 可知,2006 年洞庭湖区畜禽产生的粪量为 1 616.93 万 t, 尿液为 1 248.30 万 t, 粪尿合计 2 865.23 万 t,  $BOD_5$  为 72.41 万 t,  $COD$  为 79.33 万 t,  $NH_3-N$  为 7.48 万 t。各类畜禽的年产粪尿量为:猪 1 663.98 万 t, 牛 637.95 万 t, 羊 53.28 万 t, 家禽 510.02 万 t。各类畜禽中粪尿产生量最大的是生猪,占该区畜禽年粪尿总量的

表 2 畜禽畜便排泄系数  
Tab. 2 Manure excretion coefficient of livestock and poultry manure

排泄物 Manure	日排泄系数 Daily excretive coefficient (g·头 <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )				年排泄系数 Annual excretive coefficient (kg·头 <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup> )			
	猪 Pig	牛 Cattle	羊 Sheep	家禽 Poultry	猪 Pig	牛 Cattle	羊 Sheep	家禽 Poultry
粪 Feces	2 210	20 000	2 600	478	398	7 300	468	38.2
尿 Urine	3 640	10 000	—	—	656	3 650	—	—
$BOD_5$	144	529	7.3	18.5	25.9	193	1.3	1.5
$COD$	148	678	12	21.2	26.6	247	2.2	1.7
$NH_3-N$	11.5	69	1.6	2.2	2.1	25	0.3	0.2

表 3 畜禽粪便猪粪当量换算系数<sup>[9]</sup>  
Tab. 3 Livestock manure and pig dung equivalent conversion coefficient

排泄物 Manure	猪粪 Pig feces	猪尿 Pig urine	牛粪 Cattle feces	牛尿 Cattle urine	羊粪 Sheep feces	家禽 Poultry manure
氮 Nitrogen (%)	0.65	0.33	0.45	0.80	0.80	1.37
猪粪当量换算系数 Equivalent conversion coefficient of pig manure	1.00	0.51	0.69	1.23	2.10	1.23

表 4 2006 年洞庭湖区各类畜禽粪便产生量

Tab. 4 Amount of pollutants production of livestock manure in Dongting Lake area in 2006					$10^4$ t	
畜禽	Livestock and poultry	粪	尿	BOD <sub>5</sub>	COD	NH <sub>3</sub> -N
生猪	Pig	628.33	1 035.65	40.89	41.99	3.32
牛	Cattle	425.30	212.65	11.24	14.39	1.46
羊	Sheep	53.28	—	0.25	0.25	0.03
家禽	Poultry	510.02	—	20.03	22.70	2.67
合计	Sum	1 616.93	1 248.30	72.41	79.33	7.48

表 5 2006 年洞庭湖区各县(市、区)畜禽粪便产生量

Tab. 5 Amount of pollutants production of livestock manure in every districts in Dongting Lake area in 2006  $10^4$  t

地区	District	粪	尿	BOD <sub>5</sub>	COD	NH <sub>3</sub> -N
岳阳市	Yueyang City					
岳阳楼区	Yueyanglou District	29.20	26.30	1.38	1.50	0.14
云溪区	Yunxi District	26.96	15.82	1.20	1.32	0.13
君山区	Junshan District	42.28	33.80	1.86	2.06	0.19
岳阳县	Yueyang County	124.31	117.12	5.94	6.44	0.58
华容县	Huarong County	106.06	71.85	4.48	4.99	0.48
湘阴县	Xiangyin County	81.14	80.56	4.03	4.34	0.39
汨罗市	Miluo City	174.72	183.51	8.49	9.20	0.81
临湘市	Linxiang City	43.37	42.12	2.04	2.22	0.20
常德市	Changde City					
武陵区	Wuling District	23.46	12.97	1.03	1.13	0.11
鼎城区	Dingcheng District	127.37	69.63	5.21	5.77	0.58
安乡县	Anxiang County	58.81	30.97	2.45	2.72	0.28
汉寿县	Hanshou County	72.41	49.36	3.22	3.54	0.35
澧县	Li County	150.54	76.24	6.07	6.74	0.68
临澧县	Linli County	130.89	48.44	4.93	5.55	0.58
津市市	Jinshi City	43.63	28.63	1.80	1.99	0.19
益阳市	Yiyang City					
资阳区	Ziyang District	23.38	25.59	1.22	1.30	0.11
赫山区	Heshan District	56.62	65.61	3.10	3.27	0.28
南县	Nan County	57.27	49.93	2.69	2.92	0.28
桃江县	Taojiang County	92.33	72.71	3.75	4.21	0.39
沅江市	Yuanjiang City	63.60	52.25	2.82	3.12	0.29
长沙市	Changsha City					
望城县	Wangcheng County	88.57	94.89	4.68	4.98	0.44
合计	Sum	1 616.93	1 248.30	72.41	79.33	7.48

58.07%；最小的是羊，仅占畜禽年粪尿总量的1.86%。生猪是洞庭湖区畜禽养殖的重点，养殖量大，且饲养期较长，单日粪尿产生量较大，故其年粪便产生量大。从各地畜禽粪便产生的绝对量看，汨罗市的畜禽粪便量最大，其次是岳阳县、澧县，这3县(市、区)的年畜禽粪便产生量共占洞庭湖区总量的28.84%。

### 3.2 农地畜禽粪便承载量分析

畜禽粪便的去向，直接影响其农地承载量。据研究，全国畜禽粪便进入水体的流失率为：粪便保持在2%~8%的水平上，而液体排泄物则可能达到50%<sup>[17]</sup>。洞庭湖区畜禽养殖业是农户散养与规模养殖并存，以散养为主。经调查，洞庭湖区畜禽粪便的处理方式主要有4种：直接还田、流入水体、堆肥处理、沼气发酵。散养的畜禽粪便大部分是直接还

田或堆置后还田，小部分在降雨的冲刷下直接流入水体，而尿液绝大部分流失于环境。规模养殖场的畜禽尿液及冲洗污水普遍流失严重，大部分沿养殖场周边的沟渠进入农田和水体。规模养殖场的粪便处理，除部分规模猪场具有沼气处理设施外，大部分是收取干粪，将其销售给周边农户种植粮食、蔬菜、果树和其他农作物。根据实地调查，结合前人的研究结果<sup>[18~20]</sup>，洞庭湖区畜禽粪便流失率为35%，也就是说畜禽粪便进入农地的比例( $\delta$ )为65%；畜禽粪便在不同农地中的去向( $\eta$ )为：水田60%，菜地25%，果茶地15%。根据公式(2)计算，可得出2006年洞庭湖区不同农地的畜禽粪便承载量(表6)。结果显示，洞庭湖区总猪粪当量为2 848.10万t，猪粪当量最大的地区是汨罗市，其次是澧县、临澧县，最小的地区是资阳区。从洞庭湖区农地畜禽粪便总体承

表 6 2006 年洞庭湖区不同农地畜禽粪便承载量  
Tab. 6 Loading capacity of the livestock manure in cultivated land in Dongting Lake area in 2006

地区 District	猪粪当量 Equated pig excrement ( $10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ )	农地总体承载状况 General loading condition of cultivated land		水田 Paddy fields		旱地 Dry fields		果茶地 Fruit and tea fields	
		总面积 Sum area ( $\text{hm}^2$ )	承载量 Loading capacity ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	承载量 Loading capacity ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	承载量 Loading capacity ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	承载量 Loading capacity ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
<b>岳阳市 Yueyang City</b>									
岳阳楼区 Yueyanglou District	51.26	1.03	32.35	0.11	181.74	0.22	45.44	0.70	4.76
云溪区 Yunxi District	50.74	0.93	35.46	0.47	42.10	0.39	25.37	0.07	43.97
君山区 Junshan District	72.33	2.60	18.08	1.31	21.53	1.19	11.85	0.10	47.02
岳阳县 Yueyang County	216.58	5.82	24.20	2.87	29.43	1.85	22.83	1.10	12.79
华容县 Huarong County	183.95	7.04	16.98	4.25	16.88	2.50	14.35	0.29	41.59
湘阴县 Xiangyin County	143.76	4.24	22.04	3.50	16.02	0.29	96.67	0.45	20.77
汨罗市 Miluo City	295.19	4.44	43.21	3.57	32.25	0.67	85.91	0.20	95.94
临湘市 Linxiang City	73.57	3.89	12.29	2.51	11.43	0.90	15.94	0.48	10.06
<b>常德市 Changde City</b>									
武陵区 Wuling District	44.32	1.39	20.72	0.77	22.45	0.13	66.48	0.49	5.91
鼎城区 Dingcheng District	228.70	8.78	16.93	6.40	13.94	1.64	27.19	0.74	20.16
安乡县 Anxiang County	107.54	4.72	14.81	3.11	13.49	1.51	13.89	0.10	69.90
汉寿县 Hanshou County	130.90	6.3	13.51	4.62	11.05	1.23	20.75	0.45	18.90
澧县 Li County	272.17	7.69	23.01	4.98	21.31	2.11	25.15	0.60	29.49
临澧县 Linli County	236.98	5.19	29.68	3.09	29.91	0.99	46.68	1.11	13.89
津市市 Jinshi City	75.66	2.17	22.66	1.17	25.22	0.67	22.02	0.33	15.12
<b>益阳市 Yiyang City</b>									
资阳区 Ziyang District	41.71	2.49	10.89	2.02	8.05	0.31	26.24	0.16	16.69
赫山区 Heshan District	103.64	4.88	13.80	3.95	10.23	0.59	34.25	0.34	19.96
南县 Nan County	101.05	5.95	11.04	3.95	9.98	1.9	10.37	0.10	65.68
桃江县 Taojiang County	148.22	4.89	19.70	3.80	15.21	0.51	56.67	0.58	16.75
沅江市 Yuanjiang City	108.52	6.63	10.64	4.14	10.22	2.14	9.89	0.35	20.15
<b>长沙市 Changsha City</b>									
望城县 Wangcheng County	161.30	5.10	20.56	4.30	14.63	0.46	68.38	0.34	31.06
合计 Sum	2 848.10	96.17	19.25	64.89	17.11	22.20	25.02	9.08	20.42

载水平看, 平均承载量为  $19.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 承载量最大的地区是汨罗市, 其次是云溪区、岳阳楼区, 承载量最小的地区是沅江市。从不同农地的畜禽粪便承载量看, 旱地>果茶地>水田。水田承载量最大的地区是岳阳楼区, 其次是云溪区、汨罗市, 承载量最小的地区是资阳区; 旱地承载量最大的地区是湘阴县, 其次是汨罗市、望城县, 最小的地区是沅江市; 果茶地承载量最大的地区是汨罗市, 其次是安乡县、南县, 最小的地区是岳阳楼区。

### 3.3 农地畜禽粪便承载风险状况分析

农地畜禽粪便承载预警值, 直接反映着该区域内的畜禽粪便产生密度和农地消纳畜禽粪便的能力。畜禽粪便不经处理直接施用或过量施用会导致作物徒长、倒伏、晚熟或不熟, 造成减产, 甚至毒害作物<sup>[21]</sup>。根据洞庭湖区不同农地的主要种植用途, 将水田按粮食种植区计算, 旱地按蔬菜种植区计算。农地畜禽粪便的适宜施用量为 25~50

$\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ <sup>[11]</sup>, 根据 Wong<sup>[22]</sup>、卢善玲<sup>[23]</sup>、黄进宝<sup>[24]</sup>、李玉英<sup>[25]</sup>等对不同作物畜禽粪便适宜施用量的研究, 结合洞庭湖区土壤特性, 本研究设定洞庭湖区旱地蔬菜种植区猪粪当量有机肥安全施用量为  $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 果茶地种植区为  $50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 水田粮食种植区为  $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。综合考虑不同作物的种植比例, 洞庭湖区农地的猪粪当量适宜安全施用量平均为  $41 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。运用公式(3), 可计算得到 2006 年洞庭湖区各地畜禽粪便承载预警值, 见表 8。2006 年, 洞庭湖区农地总体畜禽粪便承载预警值平均为 0.47, 最高的地区是汨罗市, 其次是云溪区、岳阳楼区, 最小的是沅江市。从不同农地类别看, 水田预警值最高的是岳阳楼区, 最低的是资阳区; 旱地预警值最高的是湘阴县, 最低的是沅江市; 果茶地预警值最高的是汨罗市, 最低的是岳阳楼区。

在进行农地畜禽粪便承载风险评估时, 要考虑化肥施用的比例<sup>[26]</sup>。洞庭湖区实际化肥施用量与种

植种类、规模有关,各县(市、区)化学氮肥施用量占总肥源量的比例为10%~30%。根据洞庭湖区畜禽粪便实际承载量超出理论承载量的程度大小,参考张绪美<sup>[12]</sup>、王晓燕<sup>[26]</sup>、朱兆良<sup>[27]</sup>等的研究结果,本研究将洞庭湖区农地畜禽粪便承载预警警戒值确定为0.7。由此,划分畜禽粪便承载预警值标准(表7),得出不同区域、不同农地的风险状况,见表8。结果表明,洞庭湖区农地畜禽粪便承载预警级别为1,总体没有畜禽粪便污染。但是,不同区域的农地风险状况存在差异,汨罗市有污染,云溪区、岳阳楼区稍有污染。不同农地类别的农地风险状况也存在差异,水田粮食种植区,岳阳楼区污染很严重,云溪区、汨罗市有污染,临澧县、岳阳县、津市市、武陵区、君山区、澧县稍有污染,其他地区没有污染;旱地蔬菜种植区,湘阴县污染较严重,汨罗市、武陵区、望城县有污染,桃江县、临澧县、岳阳楼区稍有污染,其他地区没有污染;果茶地种植区,汨罗市污染较严重,安乡县、南县有污染,云溪区、君山区、华容县稍有污染,其他地区没有污染。

种植区,湘阴县污染较严重,汨罗市、武陵区、望城县有污染,桃江县、临澧县、岳阳楼区稍有污染,其他地区没有污染;果茶地种植区,汨罗市污染较严重,安乡县、南县有污染,云溪区、君山区、华容县稍有污染,其他地区没有污染。

#### 4 结论和讨论

2006年洞庭湖区的畜禽粪便产生量为粪1616.93万t,尿液1248.30万t,BOD<sub>5</sub>72.41万t,COD 79.33万t,NH<sub>3</sub>-N 7.48万t。洞庭湖区农地畜禽粪便实际承载量平均为19.25 t·hm<sup>-2</sup>,低于九江流域、闽江流域的研究结果,主要原因是本研究没有将畜禽粪便流失量计入农地实际承载量,而段勇、张玉珍等在研究闽江流域、九江流域的畜禽粪

表7 畜禽粪便承载预警值分级  
Tab. 7 Risk value level of livestock manure loading

预警值 Risk value	0.7	0.7~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	>2.5
预警级别 Risk level						
农地风险状况 Risk of cultivated land	无污染 Free from pollution	稍有污染 Have a little pollution	有污染 Have a pollution	污染较严重 Pollution a little severity	污染严重 Pollution severity	污染很严重 Pollution very severity

表8 2006年洞庭湖区不同农地畜禽粪便承载的风险状况  
Tab. 8 Risk situation of the livestock manure in cultivated land in Dongting Lake area in 2006

地区 District	农地总体风险状况 General risk of cultivated land		水田粮食种植区 Paddy field for crop		旱地蔬菜种植区 Dry field for vegetable		果茶地种植区 Fruit and tea field	
	预警值 Risk value	预警级别 Risk level	预警值 Risk value	预警级别 Risk level	预警值 Risk value	预警级别 Risk level	预警值 Risk value	预警级别 Risk level
<b>岳阳市 Yueyang City</b>								
岳阳楼区 Yueyanglou District	0.79		6.06		0.76		0.10	
云溪区 Yunxi District	0.86		1.40		0.42		0.88	
君山区 Junshan District	0.44		0.72		0.20		0.94	
岳阳县 Yueyang County	0.59		0.98		0.38		0.26	
华容县 Huarong County	0.41		0.57		0.24		0.83	
湘阴县 Xiangyin County	0.54		0.53		1.61		0.42	
汨罗市 Miluo City	1.05		1.07		1.43		1.91	
临湘市 Linxiang City	0.30		0.38		0.27		0.20	
<b>常德市 Changde City</b>								
武陵区 Wuling District	0.50		0.75		1.11		0.12	
鼎城区 Dingcheng District	0.41		0.46		0.45		0.40	
安乡县 Anxiang County	0.36		0.45		0.23		1.40	
汉寿县 Hanshou County	0.33		0.37		0.35		0.38	
澧县 Li County	0.56		0.71		0.42		0.59	
临澧县 Linli County	0.72		0.99		0.78		0.28	
津市市 Jinshi City	0.55		0.84		0.37		0.30	
<b>益阳市 Yiyang City</b>								
资阳区 Ziyang District	0.27		0.27		0.44		0.34	
赫山区 Heshan District	0.34		0.34		0.57		0.40	
南县 Nan County	0.27		0.33		0.17		1.31	
桃江县 Taojiang County	0.48		0.51		0.94		0.34	
沅江市 Yuanjiang City	0.26		0.34		0.16		0.40	
<b>长沙市 Changsha City</b>								
望城县 Wangcheng County	0.50		0.49		1.14		0.62	
总体风险状况 General risk condition	0.47		0.57		0.42		0.40	

便承载量时没有考虑畜禽粪便流失因素<sup>[13,14]</sup>。如果洞庭湖区的畜禽粪便流失量全部由农地吸纳,则其畜禽粪便承载量将达到  $29.62 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 超过全国耕地的平均承载量( $24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )<sup>[6]</sup>。洞庭湖区有 35% 左右的畜禽粪便流入水体或在堆弃中流失, 给水体等自然环境造成污染, 今后要进一步研究。

从农地畜禽粪便承载风险状况分析, 洞庭湖区的预警值为 0.47, 对环境不构成污染威胁。表明单纯从农地畜禽粪便承载量看, 洞庭湖区畜禽粪便完全可以被农地环境消纳和承受, 且有承载空间, 畜禽养殖业还有较大发展潜力。但是, 个别地区的农地出现不同程度的畜禽粪便污染, 如汨罗市有污染, 云溪区、岳阳楼区稍有污染, 必须引起注意。

理论上讲, 预警值越大, 环境受到畜禽粪便的威胁越大; 反之, 威胁程度越小。从不同农地的预警值看, 水田粮食种植区>旱地蔬菜种植区>果茶地种植区, 表明不同农地单位面积畜禽粪便的消纳潜力顺序依次为果茶地种植区>旱地蔬菜种植区>水田粮食种植区。洞庭湖区要引导规模养殖场建设与果茶基地、蔬菜基地建设相结合, 鼓励通过果茶地和菜地消纳畜禽粪便, 减少农地污染。从不同区域看, 不同地区的畜禽粪便农地承载预警值差别较大, 最高地区汨罗市为 1.05, 最低的地区沅江市只有 0.26, 两地相差 3.04 倍。洞庭湖区在规划畜禽养殖区域布局时, 要重点支持发展预警值低的地区, 积极推进畜禽养殖由预警值高的地区向预警值低的地区转移, 促进畜禽养殖与当地农地生态环境保护协调发展。

畜禽粪便对农地污染的影响是多因素综合作用的结果<sup>[28]</sup>, 如对畜禽粪便处理、储存以及施用的时间、方法和数量, 粪肥与化肥结合施用的比例, 等等。本研究在进行农地畜禽粪便承载风险评估时, 没有把粪肥处理、施肥方式、灌溉用水等因素考虑进去, 而单纯从畜禽粪便单一因素计算对农地环境的干扰, 使得结果与客观情况有一定出入。而单纯从畜禽粪便对农地环境干扰强度的评价角度看, 忽略这些因素能够在量化分析中减少对一些参数的苛求。为了校核评估结果的客观性, 课题组对洞庭湖区畜禽污染状况进行了实地调查, 发现研究结果与调查结果基本吻合。因此, 该评估方法具有一定的可行性和生产指导性。

## 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] 付俊杰, 李远. 我国畜禽养殖业污染防治对策[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 171–173
- [3] Phillips P. A., Culley L. B., Hore F. R., et al. Pollution potential and corn yields from selected rates and timings of liquid manure application[J]. Trans. ASAE, 1981, 24(1): 139–144
- [4] Hooda P. S., Edwards A. C., Anderson H. A., et al. A review of water quality concerns in livestock farming areas[J]. The Science of the Total Environment, 2000, 250(5): 143–167
- [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: 14–103
- [6] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614–617
- [7] 彭里, 古文海, 魏世强, 等. 重庆市畜禽粪便排放时空分布研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 213–216
- [8] 杨国义, 陈俊坚, 何嘉文, 等. 广东省畜禽粪便污染及其综合防治对策[J]. 土壤肥料, 2005 (2): 46–48
- [9] 李帷, 李艳霞, 张丰松, 等. 东北三省畜禽养殖时空分布特征及粪便养分环境影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(6): 2350–2357
- [10] 高定, 陈同斌, 刘斌, 等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险控制策略[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 311–319
- [11] 沈根群, 汪雅谷, 袁大伟. 上海市郊区农地畜禽粪便负荷量及其警报与分极[J]. 上海农业学报, 1994 (10): 6–11
- [12] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1311–1318
- [13] 段勇, 张玉珍, 李延凤, 等. 闽江流域畜禽粪便负荷及其环境风险评价[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(3): 55–59
- [14] 张玉珍, 洪华生, 曾悦, 等. 九江流域畜禽养殖业的生态环境问题及防治对策讨论[J]. 重庆环境科学, 2003, 25 (7): 30–34
- [15] 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(9): 457–460
- [16] 湖南省统计局. 湖南统计年鉴 2007[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007: 192–394
- [17] 中国环境年鉴编辑委员会. 中国环境年鉴[M]. 北京: 中国环境年鉴, 2003: 54–72
- [18] 张高强, 高怀友. 畜禽养殖业污染物处理与处置[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 22–23
- [19] 王新谋. 家畜粪便学[M]. 北京: 上海交通大学出版社, 1998: 19–37
- [20] 刘晓利, 许俊香, 王方浩, 等. 我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 7–32
- [21] 朱文转, 李传红. 南方农村集约化养殖场污染及其防治[J]. 重庆环境科学, 1998, 17(6): 281–283
- [22] Wong J. C., Ma K. K., Fang K. M., et al. Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong[J]. Bioresource Technology, 1999, 67(1): 43–46
- [23] 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): 51–56
- [24] 黄进宝, 范晓晖, 张昭林, 等. 太湖地区黄泥土壤水稻氮素利用与经济生态适宜施氮量[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 588–595
- [25] 李玉英, 余常兵, 孙建好, 等. 蚕豆/玉米间作系统经济生态施氮量及对氮素环境承受力[J]. 农业工程学报, 2008, 24 (3): 223–227
- [26] 王晓燕, 汪清平. 北京市密云县耕地畜禽粪便负荷估算及其风险评价[J]. 农村生态环境, 2005, 21(1): 30–34
- [27] 朱兆良. 耕地中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1–6
- [28] 冯永忠, 杨改河, 王得祥, 等. 近 40 年来江河源区草地生态压力动态分析[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 492–498