及业环境计学学报 JOURNAL OF AGRO-ENVIRONMENT SCIENCE

中文核心期刊/CSCD

请通过网上投稿系统投稿 网址: http://www.aes.org.cn

区域畜禽环境承载力核算方法研究与应用

彭紫微, 吴根义, 黄杰, 戴诗琴

引用本文:

彭紫微, 吴根义, 黄杰, 戴诗琴. 区域畜禽环境承载力核算方法研究与应用[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(4): 769-777.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.11654/jaes.2022-0821

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

山东省畜禽粪污土地承载力时空分异特征分析

郑莉, 张晴雯, 张爱平, 刘杏认, 刘士清, 韩聪

农业环境科学学报. 2019, 38(4): 882-891 https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0863

基于种养平衡的吉林省辽河流域农田畜禽粪便负荷研究

黄鑫, 赵兴敏, 苏伟, 郑玉昕, 王鸿斌, 王玉军

农业环境科学学报. 2022, 41(1): 193-201 https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0593

中国畜牧业环境约束的量化分析——基于土地环境承载力和生态足迹

熊学振,杨春,于琳

农业环境科学学报. 2021, 40(8): 1799-1807 https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0136

山西省畜禽粪污土地承载力及粪尿替代化肥潜力分析

郭彩霞,杨子森,马文奇,焦光月,张建杰

农业环境科学学报. 2020, 39(7): 1548-1557 https://doi.org/10.11654/jaes.2019-1431

海南省畜禽养殖环境承载力及有机肥替代化肥潜力分析

杨旭, 黄艳艳, 刘海林, 茶正早, 罗微, 林清火

农业环境科学学报. 2019, 38(11): 2609-2618 https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0669



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

彭紫微, 吴根义, 黄杰, 等. 区域畜禽环境承载力核算方法研究与应用[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(4): 769-777.

PENG Z W, WU G Y, HUANG J, et al. Research and application of the accounting method of regional livestock and poultry environmental carrying capacity [J]. *Journal of Agro–Environment Science*, 2023, 42(4): 769–777.

区域畜禽环境承载力核算方法研究与应用

彭紫微,吴根义*,黄杰,戴诗琴

(湖南农业大学资源环境学院,长沙 410128)

摘 要:针对畜禽养殖区域布局不合理,科学、实用的环境承载力核算方法欠缺的问题,本研究在畜禽土地承载力核算方法的基础上,综合考虑水环境容量和经济社会发展等因素,构建了基于作物养分需求及水土环境多要素的畜禽环境承载力核算模型,确定了模型参数取值,形成了畜禽环境承载力核算方法。以湖南省为例对核算方法进行应用验证,核算出湖南省畜禽环境承载力为6113.16万头当量生猪。经与相关研究成果比对分析,认为该核算方法优于我国当前广泛采用的土地承载力核算方法,表明该核算方法具有较强的科学性与实用性,对各地科学合理的测算畜禽养殖环境承载力,确保畜牧业与环境协调发展具有指导意义。

关键词:畜禽养殖;环境承载能力;水环境容量;环境质量目标

中图分类号:X713 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2023)04-0769-09 doi:10.11654/jaes.2022-0821

Research and application of the accounting method of regional livestock and poultry environmental carrying capacity

PENG Ziwei, WU Genyi*, HUANG Jie, DAI Shiqin

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Due to the unreasonable regional layout of livestock and poultry breeding and deficiency of scientific and practical environmental carrying capacity accounting methods, on the basis of the livestock land carrying capacity accounting method, as well as considering the factors of water environmental capacity and economic, and social development, this study built an accounting model of livestock environmental carrying capacity based on crop nutrient demand and multiple factors of the soil and water environment. Furthermore, the model parameter values were confirmed, and the livestock and poultry environmental carrying capacity accounting method was developed. Taking Hunan Province as an example to verify the application of the accounting method, the environmental carrying capacity of livestock and poultry in Hunan Province was calculated as 6 113.16×10⁴ equivalent pigs. After comparison with related research results, it is concluded that this method was superior to the current widely used land carrying capacity accounting method in China, indicating that the method was practical and scientifically sound. Thus, this method is important for scientific and reasonable calculations of livestock and poultry breeding environmental carrying capacity, ensuring coordinated development of animal husbandry and the environment.

Keywords: livestock and poultry breeding; environmental carrying capacity; water environmental capacity; environmental quality objective

收稿日期:2022-08-16 录用日期:2022-11-03

作者简介:彭紫微(1998—),女,湖南长沙人,硕士研究生,从事畜禽养殖污染防治政策与技术研究。E-mail:pengziweii@163.com

*通信作者:吴根义 E-mail:wugenyi99@163.com

基金项目:国家自然科学基金联合基金项目(D010502)

我国是世界上最大的畜牧业生产国,近几十年来,畜牧业迅速发展,养殖规模不断扩大,畜产品总量持续增加,畜牧业已经成为农业农村经济的支柱产业^[1-3]。然而,随着养殖规模的扩大,因发展过程中存在的随意性、布局不合理所带来的养殖环境污染问题也越来越受到关注。根据《第二次全国污染源普查公报》结果,2017年全国畜禽养殖业水污染物排放量为:化学需氧量1000.53万t,氨氮11.09万t,总氮59.63万t,总磷11.97万t,分别占水污染物排放量的46.67%、11.51%、19.61%和37.95%^[4],已经成为制约水环境质量提升的重要因素^[5]。

基于环境质量目标,结合区域环境容量,准确核 定畜禽环境承载力、科学规划布局,是实现畜禽粪污 资源化利用,遏制养殖污染的前提。目前,我国畜禽 承载力的研究主要分为两个思路:一是基于种养平 衡,从土地粪污消纳能力角度出发,核算区域最大畜 禽承载量的养分平衡法[6-10],该方法是目前应用最广 泛的畜禽承载力核算方法[11],但该方法未充分考虑环 境质量目标和环境容量,核算结果不一定能满足环境 质量的需求;二是从区域系统角度出发,通过建立指 标体系,对畜禽养殖进行系统的环境适应性分析,例 如层次分析法[12-13]、灰色预测模型法[14]等,该类方法普 遍存在计算复杂、参数值确定困难的问题,现有的统 计和基础数据难以满足参数值的需求,实际应用难度 大。探索形成一套与环境质量目标衔接、参数值可获 取的区域畜禽环境承载力核算方法,是科学确定区域 养殖规模并合理规划的现实需求。

1 区域畜禽环境承载力核算方法

水环境容量作为资源环境承载力的重要组成部分,是连接水质目标、污染物控制总量、污染防治措施的关键。区域畜禽环境承载力核算方法以保护水环境质量为出发点,根据区域水文条件、水环境质量目标、现有污染物排放量及各污染源水污染物排放比例,并结合经济社会发展目标,核算畜禽养殖可利用水环境容量;按照区域内畜禽养殖防治措施,确定区域畜禽粪污主要污染物排放系数;根据畜禽养殖可利用水环境容量和粪污氮、磷排放系数核算区域畜禽环境承载力,构建核算模型。该方法核算思路如图1所示。

1.1 核算模型构建

1.1.1 畜禽养殖可利用水环境容量

按照我国水质监测断面类别评价法,根据评价时间段内该断面指标中类别最高的一项确定水质类别,

该项指标即为定类因子。根据区域监测断面定类因子浓度现状值与水质目标值之间的差值,结合年径流量,计算区域水环境剩余总容量。由于降雨量年际的不均性,用年径流量计算水环境剩余容量,可能会导致枯水期水质超标[15],纳入不均匀系数,从而得出确保枯水期水质达标的水环境剩余容量,结合区域畜禽养殖可利用水环境容量比例,获取区域畜禽养殖可利用水环境容量,核算模型为:

$$W=(C_o-C_i)\times R\times \xi\times \alpha\times 10^{-2}$$
 (1)
式中: W 为区域畜禽养殖可利用水环境容量, t ; C_o 为区域水质定类因子平均目标浓度值, $mg\cdot L^{-1}$; C_i 为区域定类因子平均断面浓度, $mg\cdot L^{-1}$; R 为区域年径流量, C_o 加引, C_o 为区域畜禽养殖可利用水环境容量比例。

1.1.2 单位当量生猪主要污染物平均排放系数

(1)不同处理方式单位当量生猪主要污染物排放系数由于不同畜禽粪污产生量不用,为便于核算,以我国主要畜禽生猪为标准,其他畜禽根据产污量折算为当量生猪。我国畜禽养殖固体粪便处理方式主要为资源化利用;液体粪污处理方式主要有资源化利用、处理后资源化利用和达标排放。资源化利用和处理后资源化利用方式在粪污无害化处理过程中一部分污染物被降解去除,处理后的粪污进入土壤后少量经地表水或降雨流失进入水体;场外丢弃部分直接进入水体;达标排放处理的液体粪污外排部分直接排入水体。不同处理方式畜禽粪污进入水体的量不同,即排放系数不同。单位当量生猪主要污染物排放系数计算模型为:

$$Q_{p} = Q_{c} \times (1 - \beta) \times \gamma \times P \tag{2}$$

式中: Q_0 为单位当量生猪主要污染物排放系数,kg·头- 1 ; Q_0 为单位当量生猪主要污染物产生系数,kg·头- 1 ; β 为主要污染物去除率,%; γ 为主要污染物留存率,%;P为主要污染物流失率,%。

(2)不同粪污处理方式处理量比例

根据区域各畜种养殖量、粪污不同处理方式比例 和粪污产生系数计算区域粪污不同处理方式处理量 比例,核算模型为:

$$\lambda_{j} = \frac{\sum_{ij} K_{i} \times \theta_{ij} \times Q_{c_{i}}}{\sum_{i} K_{i} \times Q_{c_{i}}}$$
(3)

式中: λ_i 为第j种粪污处理方式处理量比例; K_i 为第i类畜种养殖量,头(羽); θ_i 为第i类畜种第j种粪污处

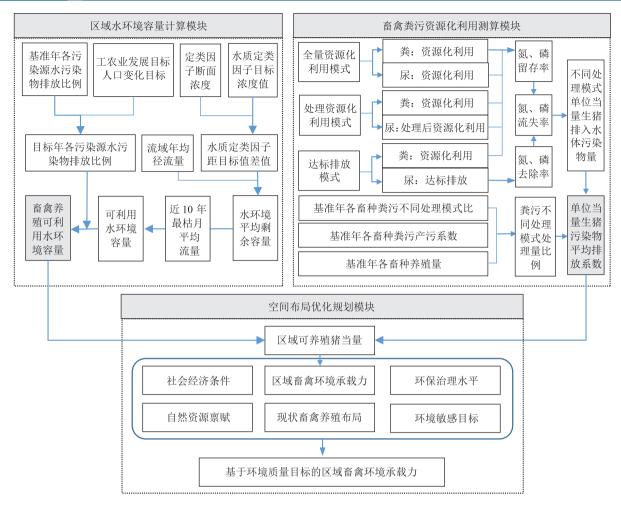


图 1 畜禽环境承载力核算方法流程图

Figure 1 Flow chart of livestock and poultry environmental carrying capacity accounting method

理模式比例; Q_{c_i} 为第i类畜种粪污主要污染物产生系数, kg^{\bullet} 头 $(羽)^{-1}$ 。

(3)单位当量生猪主要污染物平均排放系数

结合不同处理方式单位当量生猪主要污染物排放系数和不同粪污处理方式处理量比例计算单位当量生猪主要污染物平均排放系数,核算模型为:

$$Q = \sum_{j} Q_{p} \times \lambda_{j} \tag{4}$$

式中:Q为单位当量生猪主要污染物平均排放系数, $kg \cdot \mathcal{Y}^{-1}$ 。

1.1.3 区域当量生猪养殖量

区域当量生猪养殖量核算模型为:

$$K_{\rm pig} = \frac{W}{Q} \times 10^{-1} \tag{5}$$

式中: K_{pig} 为区域当量生猪养殖量,即区域畜禽环境承载力,万头。

1.2 核算模型参数取值

1.2.1 畜禽养殖可利用水环境容量核算相关参数

*C*_i: 区域定类因子平均断面浓度,以当地生态环境或水利相关部门发布的地表水环境质量数据或实际测定确定,按时间段取平均值,存在多个水质监测断面的情况取各断面平均值。

C。:区域水质定类因子平均目标浓度值,根据各水质监测断面所在水功能区应执行的水环境质量标准,即区域水环境质量目标,按照《地表水环境质量标准》所对应的定类因子的目标进行取值,区域内存在不同水质类别的情况按照对应断面范围的面积取加权平均值。

R:区域年径流量,也称地表水资源量,通过当地 水资源公报或统计年鉴等获取。

ξ:不均匀系数,为近10年最枯月平均径流量占

近全年月平均径流量的比例。

- α:区域畜禽养殖可利用水环境容量比例,根据当 地生态环境各类污染源(工业源、生活源、农业源)主要 污染物排放量比例,结合经济社会发展目标确定。
- 1.2.2 单位当量生猪主要污染物平均排放系数核算的 相关参数
- Q_c:单位当量生猪产污系数,可通过实际测定方法确定,也可参考国内外文献和《第二次全国污染源普查农业源系数手册》中产排污系数的取值。
- β 、 γ 、P: 主要污染物去除率、留存率、流失率,可直接采用《第二次全国污染源普查农业源系数手册》中的系数,也可参考国内外研究论文中的相关参数或实测值。
- K:畜禽养殖量,可从当地农业农村相关部门、统 计部门公布的《统计年鉴》和《农业农村统计年鉴》 获取。
- θ :各畜种粪污处理模式比例,可通过当地农业农村相关部门公布的数据或抽样调查获取。

2 畜禽环境承载力核算应用验证——以湖南 省为例

2.1 研究区域概况

湖南省(24°38′~30°08′N,108°47′~114°15′E)位于长江中游,东、南、西三面环山,中部丘岗起伏,北部湖盆平原展开,属亚热带季风气候,光热充足,降水丰沛,水资源丰富,水系发达。湖南省是我国畜禽养殖大省,据湖南省农业农村厅统计数据,2020年生猪出栏量、奶牛存栏量、肉牛出栏量、蛋鸡存栏量、肉鸡出栏量分别为4992.13万头、1.93万头、175.25万头、8370.01万羽、31663.18万羽,折算成存栏当量生猪数为4265.43万头。湖南省各市州主要畜禽养殖量和猪当量数如表1所示。

2.2 核算参数值的确定

湖南省2020年共有国、省、市控水质断面417个, 监测断面覆盖湘江、资江、沅江、澧水的干流及一级、 二级、三级支流,能有效反映各个市州和湖南省的水

表1 湖南省各市州主要畜禽养殖量和当量生猪

Table 1 Main livestock and poultry breeding volume and pig equivalent in cities of Hunan Province

市州 City	生猪出栏量 Amount of pig slaughter/万头	奶牛存栏量 Amount of dairy cattle inventory/万头	肉牛出栏量 Amount of beef slaughter/万头	蛋鸡存栏量 Amount of hen inventory/万羽	肉鸡出栏量 Amount of chicken slaughter/万羽	当量生猪 Pig equivalent/万头
长沙市 Changsha	280.46	0.22	6.00	261.43	3 921.86	223.50
株洲市 Zhuzhou	256.82	_	4.92	423.44	916.45	185.49
湘潭市 Xiangtan	224.67	_	2.17	265.34	1 544.19	149.76
衡阳市 Hengyang	598.83	_	12.39	1 587.13	7 331.79	504.16
邵阳市 Shaoyang	527.13	0.86	25.05	188.07	937.43	451.33
岳阳市 Yueyang	385.90	_	12.99	578.91	2 076.30	319.34
常德市 Changde	402.85	0.31	15.39	1 967.57	5 639.98	429.94
张家界Zhangjiajie	53.74	_	3.44	82.61	247.25	55.08
益阳市Yiyang	353.88	_	9.13	1 250.44	655.51	293.07
郴州市 Chenzhou	476.42	0.02	10.84	308.38	1 394.46	334.13
永州市 Yongzhou	637.56	0.52	29.57	852.81	2 947.06	577.09
怀化市 Huaihua	279.99	0.004 2	16.15	293.34	1 683.15	272.91
娄底市 Loudi	398.89	_	20.72	233.89	2 135.71	364.02
湘西州 Xiangxizhou	115.01	_	6.48	76.64	232.04	105.60
湖南省 Hunan Province	4 992.13	1.93	175.25	8 370.01	31 663.18	4 265.43

注:根据《排污许可证申请与核发技术规范 畜禽养殖行业》(HJ 1029—2019),按年出栏2头猪等于常年存栏1头猪、年出栏1头肉牛等于常年存栏2头肉牛、年出栏5只肉鸡等于常年存栏1只肉鸡比例将以出栏量统计的畜种折算成存栏量;根据《畜禽粪污土地承载力测算指南》,按存栏量折算:100头猪相当于15头奶牛、30头肉牛、2500只家禽。

Note: According to Technical Specification for Application and Issuance of Pollutant Permit-Livestock and Poultry Breeding (HJ 1029—2019), two slaughter pigs are equivalent to one pig on hand, one slaughter beef cattle is equivalent to two beef cattle on hand, and five slaughter broilers are equivalent to one broiler on hand. According to Guidelines for Calculating the Land Bearing Capacity of Livestock and Poultry Manure, 100 pigs are equivalent to 15 cows, 30 beef cattle and 2 500 poultry.

环境质量状况。根据湖南省2020年监测断面水质数 据,18个未达标断面中16个是总磷超标,80%以上的 达标断面中总磷为定类因子,说明总磷是影响湖南省 水环境质量的首要因子,因此,从改善水环境质量的 需求出发,选择以总磷作为核算的定类因子;按湖南 省水质功能分区和各区水质目标,加权平均计算全省 总磷平均目标浓度;以2020年各断面总磷浓度加权 平均计算出全省总磷实际浓度;各市州年径流量数据 来源于2011-2020年《湖南省水资源公报》:基于 2017年第二次全国污染源普查数据,根据2017— 2020年间工农业发展和人口变化情况,计算2020年 畜禽养殖业水污染物排放量占各市州总水污染物排 放量的比例作为各市州畜禽养殖可利用水环境容量 比例。2020年湖南省水质监测断面分布及达标情况 见表 2。

畜禽主要污染物产生系数、总磷去除率以及总磷 流失率数据均来自于《第二次全国污染源普查农业源 系数手册》。手册中中南区生猪固体粪便、液体粪污 总磷产生系数分别为1.1、0.1 kg·头-1(出栏),按照常 年存栏一头生猪折算为年出栏2头生猪的比例,折算 为 2.2、0.2 kg·头-1(存栏);根据第二次全国污染源普 查数据,湖南省畜禽粪污主要采用固液分离-厌氧发

酵-好氧处理、固液分离-厌氧发酵-氧化塘、固液分 离-厌氧发酵-人工湿地、固液分离-厌氧发酵-膜处 理4种液体粪污处理工艺,以这4种主要处理工艺的 加权平均去除效率的86%作为液体粪污总磷去除 率;在流失率分区中,岳阳、常德、益阳三市属于南方 湿润平原区,总磷流失率平均值为1.5844%;其他市 州为南方山地丘陵区,总磷流失率平均值为0.983 8%; 根据抽样调查,目前堆肥、污水氧化塘贮存或厌氧发 酵后农田利用是湖南省畜禽粪污资源化利用的主要 方式,对照《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》,采 用推荐值72%作为畜禽粪污资源化利用的氮磷留存 率;沼气工程处理是湖南省液体粪污处理后资源化利 用的方式,氮磷留存率采用推荐值65%。湖南省粪污 不同处理模式单位当量生猪总磷排放系数见表3。

2020年,湖南省各畜禽养殖量来自于湖南省农 业农村厅统计数据。粪污不同处理模式比例通过抽 样调查更新获取,调查以2020年湖南省畜禽直联直 报系统数据为基础,在每个州市选取2个县进行抽样 调查,抽取不同畜种、不同规模的430家养殖场(每个 市州选取生猪养殖场15家、肉牛养殖场5家、蛋鸡养 殖场5家、肉鸡养殖场5家,全省所有奶牛场共10家) 进行调查。调查结果如表4所示。

表 2 2020 年湖南省水质监测断面分布及达标情况

Table 2 Water quality monitoring sections in Hunan Province in 2020

市州 City	水质监测断面 数量 Number of water quality monitoring sections/个	Num	ber of	every	5类别 sort wa ation/ IV	ater q	uality 劣 V	Average target	断面浓度 Average section	Number of unqualified water quality monitoring	未达标断面主要污染物 Main pollutants of unqualified water quality monitoring section
长沙市 Changsha	27	2	21	4	_	_	_	0.193	0.103	_	_
株洲市 Zhuzhou	25	2	23	_	_	_	_	0.204	0100	_	_
湘潭市 Xiangtan	11	_	8	3	_	_	_	0.195	0.114	_	_
衡阳市 Hengyang	32	_	26	5	1	_	_	0.209	0.119	1	总磷、氨氮
邵阳市 Shaoyang	41	_	41	_	_	_	_	0.195	0.100	_	_
岳阳市 Yueyang	41	1	19	12	8	_	1	0.170	0.135	9	总磷(9)
常德市 Changde	32	_	27	2	3	_	_	0.187	0.113	3	总磷(3)
张家界Zhangjiajie	12	3	9	_	_	_	_	0.150	0.080	_	_
益阳市Yiyang	23	11	_	9	3	_	_	0.177	0.126	3	总磷(3)
郴州市 Chenzhou	44	12	27	4	_	_	1	0.189	0.094	1	氟化物、砷
永州市 Yongzhou	41	3	38	_	_	_	_	0.183	0.094	_	_
怀化市 Huaihua	42	3	39	_	_	_	_	0.202	0.094	_	_
娄底市 Loudi	14	_	13	1	_	_	_	0.221	0.107	_	_
湘西州 Xiangxizhou	34	1	32	_	_	1	_	0.206	0.106	1	镉
湖南省 Hunan Province	417	38	323	40	15	1	2	0.193	0.103	18	总磷

注:"未达标断面主要污染物"一列括号中数值代表此类指标超标的断面个数。

Note: The values in the column of "main pollutants of unqualified water quality monitoring section" represent the number of sections with such indicators exceeding the standard.

774 农业环境科学学报 第42卷第4期

表 3 湖南省粪污不同处理模式单位当量生猪总磷排放系数

Table 3 Emission factor of TP of pig equivalent in different treatment modes of manure in Hunan Province

		固体粪便Sol	id manure		液体粪污Liquid man	ure	
粪污处理方式 Treatment mode of manure		资源化利用 Recycling utilization	场外丢弃 Discard	资源化利用 Recycling utilization	处理后资源化利用 Resource utilization after treatment	达标排放 Standard discharge	场外丢弃 Discard
单位当量生猪总磷产生系数/(kg·头-1)		2.2	2.2	0.2	0.2 0.2		0.2
总磷去网	总磷去除率/%		_	_	_	86	_
总磷留有	总磷留存率/%		_	72	65	_	_
总磷流失率/%	南方山地丘陵区	0.983 8	0.983 8	0.983 8	0.983 8	_	0.983 8
	南方湿润平原区	1.584 4	1.584 4	1.584 4	1.584 4	_	1.584 4
单位猪当量总磷排放	南方山地丘陵区	0.015 6	0.021 6	0.001 4	0.001 3	0.028 0	0.002 0
系数/(kg·头 ⁻¹)	南方湿润平原区	0.025 1	0.034 9	0.002 3	0.002 1	0.028 0	0.003 2

表 4 湖南省各市州粪污不同处理模式处理量比例和单位当量生猪总磷平均排放系数

Table 4 The ratio of treatment amount in different treatment modes of manure and the average emission factor of TP of pig equivalent in cities of Hunan Province

	固体粪便So	olid manure		液体粪污 Liquid m	nanure		单位当量生猪总磷
市州 City	资源化利用 Recycling utilization	场外丢弃 Discard	资源化利用 Recycling utilization	处理后资源化利用 Resource utilization after treatment	达标排放 Standard discharge	场外丢弃 Discard	平均排放系数 Average emission factor of TP of pig equivalent/(kg·头 ⁻¹)
长沙市 Changsha	0.923	0.077	0.116	0.797	0.011	0.076	0.017 7
株洲市 Zhuzhou	0.905	0.095	0.097	0.744	0.018	0.141	0.018 0
湘潭市 Xiangtan	0.865	0.135	0.112	0.729	0.012	0.147	0.018 1
衡阳市 Hengyang	0.915	0.085	0.137	0.778	0.036	0.049	0.018 4
邵阳市 Shaoyang	0.878	0.122	0.146	0.730	0.001	0.123	0.017 7
岳阳市 Yueyang	0.814	0.186	0.131	0.680	0	0.189	0.029 2
常德市 Changde	0.814	0.186	0.221	0.618	0.006	0.155	0.029 3
张家界 Zhangjiajie	0.784	0.216	0.079	0.846	0	0.075	0.018 2
益阳市 Yiyang	0.912	0.088	0.175	0.726	0.002	0.097	0.028 2
郴州市 Chenzhou	0.938	0.062	0.142	0.781	0.004	0.073	0.017 4
永州市 Yongzhou	0.927	0.073	0.063	0.875	0.002	0.060	0.017 4
怀化市 Huaihua	0.831	0.169	0.163	0.637	0	0.200	0.018 0
娄底市 Loudi	0.909	0.091	0.162	0.665	0	0.173	0.017 6
湘西州 Xiangxizhou	0.741	0.259	0.123	0.575	0	0.302	0.018 7

2.3 核算结果与分析

2.3.1 核算结果

(1)畜禽养殖可利用水环境容量

按照模型核算湖南省各市州畜禽养殖可利用水 环境容量,核算结果见表5。

(2)湖南省各市州畜禽环境承载力

利用核算模型核算出湖南省各市州畜禽环境承载力,将其与现状养殖量比较,计算出各市州畜禽养殖承载力指数,并判断承载现状,结果见表6。

2.3.2 核算结果分析

(1)核算结论

基于2020年湖南省水环境质量监测数据,在保

持现有畜禽养殖方式和污染治理水平的基础上,不考虑产业结构变化,湖南省畜禽环境承载力是6113.16万头存栏当量生猪,大于2020年4265.43万头存栏当量生猪的养殖现状,承载力指数为0.70,说明从全省整体来说,湖南省畜禽养殖还有一定的发展空间。从地形地貌特点来看,湖南省畜禽养殖承载与污染防治大致可分为洞庭湖平原河网区、中部丘陵区、西南山区3种类型。洞庭湖平原河网区包括岳阳、益阳、常德三市,该区域畜禽养殖发达,现状养殖量超过环境承载力,主要是因为该地区种植业发达、河网密集、耕地与水域交错,氮磷流失系数高,畜禽养殖粪污更容易进入水体;为确保水环境质量改善,需适当削减养

表 5 湖南省各市州畜禽养殖水环境可利用总磷容量

Table 5 The available TP water environment capacity of livestock and poultry breeding in cities of Hunan Province

市州 City	区域总磷平均 目标浓度值 Average target concentration of TP/(mg·L ⁻¹)	区域总磷平均 断面浓度 Average section concentration of TP/(mg·L ⁻¹)	区域年均 径流量 Annual average runoff/亿 m³	不均匀系数 Coefficient of nonuniformity	畜禽养殖可利用水环境 容量比例 available water environment capacity rate of livestock and poultry breeding	畜禽养殖水环境可利用 总磷容量 Available TP water environment capacity of livestock and poultry breeding/t
长沙市 Changsha	0.193	0.103	102.76	0.24	0.29	62.66
株洲市 Zhuzhou	0.204	0100	107.73	0.23	0.32	82.27
湘潭市 Xiangtan	0.195	0.114	38.61	0.21	0.48	31.54
衡阳市 Hengyang	0.209	0.119	106.16	0.21	0.48	97.14
邵阳市 Shaoyang	0.195	0.100	160.91	0.21	0.41	132.04
岳阳市 Yueyang	0.170	0.135	113.40	0.17	0.44	30.01
常德市 Changde	0.187	0.113	139.23	0.13	0.51	68.53
张家界Zhangjiajie	0.150	0.080	93.84	0.11	0.35	25.84
益阳市 Yiyang	0.177	0.126	105.52	0.24	0.43	54.56
郴州市 Chenzhou	0.189	0.094	178.54	0.20	0.41	140.67
永州市 Yongzhou	0.183	0.094	208.37	0.17	0.45	140.20
怀化市 Huaihua	0.202	0.094	234.41	0.14	0.44	153.17
娄底市 Loudi	0.221	0.107	72.96	0.18	0.44	66.95
湘西州 Xiangxizhou	0.206	0.106	139.09	0.14	0.34	66.78

表 6 湖南省各市州畜禽环境承载力及承载力指数

Table 6 Environmental carrying capacity and carrying capacity index of livestock and poultry in cities in Hunan Province

市州 City	畜禽环境承载力 Environmental carrying capacity of livestock and poultry/万头	现状养殖猪当量 Pig equivalent/万头	承载力指数 Carrying capacity index	承载状态 Carrying capacity status
长沙市 Changsha	354.27	223.50	0.63	不超载
株洲市 Zhuzhou	456.13	185.49	0.41	不超载
湘潭市 Xiangtan	174.04	149.76	0.86	不超载
衡阳市 Hengyang	528.12	504.16	0.95	不超载
邵阳市 Shaoyang	744.61	451.33	0.61	不超载
岳阳市 Yueyang	102.75	319.34	3.11	超载
常德市 Changde	233.53	429.94	1.84	超载
张家界 Zhangjiajie	141.72	55.08	0.39	不超载
益阳市Yiyang	193.38	293.07	1.52	超载
郴州市 Chenzhou	807.83	334.13	0.41	不超载
永州市 Yongzhou	804.84	577.09	0.72	不超载
怀化市 Huaihua	848.74	272.91	0.32	不超载
娄底市 Loudi	381.33	364.02	0.95	不超载
湘西州 Xiangxizhou	341.86	105.60	0.31	不超载
湖南省 Hunan Province	6 113.16	4 265.43	0.70	不超载

殖量或提高污染治理水平。中部丘陵区包括衡阳、娄底、邵阳、湘潭、长沙、永州等市,该区域现状畜禽养殖较发达,畜禽环境承载力指数较高,但总体上未超过环境承载力,主要原因是该地区属于典型丘陵山区,低矮山丘多,种植强度较低,自然消纳能力相对较强;该区域应优化畜禽养殖布局、提高养殖污染治理水

平、谨慎扩大养殖规模。西南山区包括湘西、张家界、郴州、怀化等地市,该区域现状畜禽养殖量较少,畜禽环境承载力远大于现状养殖量,发展空间大,主要是该区域山林面积广阔,种植强度低,自然消纳能力强;该区域可在合理规划、规范建设的基础上,适当增加畜禽养殖规模。

776 农业环境科学学报 第42卷第4期

(2)与相关研究报道的比较

按本方法计算出湖南省畜禽承载力指数为0.70, 与王奇等四基于耕地面积估算出以总磷为基准的承 载力指数(0.61)较接近。肖琴等[17]对长江中下游地 区畜禽承载力进行评估,其结果表明湖南省畜禽养殖 环境以氮、磷为基准的承载力指数均处于0.5~1.0之 间,畜牧业具有发展潜力,这也与本研究结果相似。 王洋[18]通过2013年养殖数据估算永州市粪污排放 量,参照欧盟畜禽环境承载力核算方法,计算出永州 市承载力指数为0.75,与本研究(0.72)接近:计算出 永州市畜禽承载力为674.31万头,与本研究的804.84 万头存在一定差距,其原因主要是由于近年来永州市 大力开展畜禽养殖污染治理,养殖污染治理水平提 升、去除效率提高,单位畜禽需要配套的消纳土地减 少,导致相应承载量增大。林毅青四采用养分平衡法 计算湖南省畜禽承载力为19188.67万头猪当量,是 以出栏量作为承载力单位,折算成存栏当量生猪约为 9500万头,高于本方法核算的6113.16万头存栏当 量生猪,原因主要是养分平衡法核算只考虑土地作物 养分需求,没有综合考虑水环境质量目标需求,且其 核算过程中将林地纳入消纳土地范畴,而实际生产中 畜禽粪污几乎不用于林地施肥,因此导致核算出的承 载力偏高。

3 结论

- (1)在畜禽土地承载力核算方法的基础上,综合考虑水环境容量、经济社会发展等因素,构建基于作物养分需求及水土环境多要素的畜禽环境承载力核算模型,形成的畜禽环境承载力核算方法能与水环境质量需求、环境容量相衔接,更切合环境管理需求,有利于畜牧业与环境保护的协调发展。
- (2)利用构建的核算方法对湖南省畜禽环境承载力进行核算,湖南省畜禽环境承载力为6113.16万头存栏当量生猪,承载力指数为0.70。从全省整体来看,湖南省畜禽养殖还有一定的发展空间,但存在区域分布不均的情况:临近洞庭湖的岳阳、益阳、常德现状畜禽养殖量超过环境承载力,需减少养殖量或提高污染治理水平;中部丘陵地区现状畜禽养殖产业较发达,环境承载力指数较高,应优化区域畜禽养殖布局、提高养殖污染治理水平、谨慎扩大养殖规模;湘西南山区畜禽环境承载力远大于现状养殖量,可在合理规划、规范建设的基础上,适当增加畜禽养殖规模。

参考文献:

- [1] 王一如, 周妍宏, 梁馨月, 等. 基于种养平衡的吉林省畜禽养殖环境 承载力研究[J]. 中国饲料, 2022(7):140-145. WANG Y R, ZHOU Y H, LIANG X Y, et al. Research on the environmental carrying capacity of livestock and poultry breeding in Jilin Province based on the balance of planting and feeding[J]. *China Feed*, 2022(7):140-145.
- [2] 耿维, 胡林, 崔建宇, 等. 中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1):171-179. GENG W, HU L, CUI J Y, et al. Biogas energy potential for livestock manure and gross control of animal feeding in region level of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(1):171-179.
- [3] 吴根义, 廖新俤, 贺德春, 等. 我国畜禽养殖污染防治现状及对策 [J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(7):1261-1264. WU G Y, LIAO X D, HE D C, et al. Current situation and countermeasures of livestock industry pollution control in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2014, 33(7):1261-1264.
- [4] 第二次全国污染源普查公报[J]. 环境保护, 2020, 48(18):8-10. The second national pollution source census bulletin[J]. *Environmental Protection*, 2020, 48(18):8-10.
- [5] 陈蕊, 高怀友, 傅学起, 等. 畜禽养殖废水处理技术的研究与应用 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 374-377. CHEN R, GAO H Y, FU X Q, et al. Study and application of treatment technology on wastewater from livestock farm[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(Suppl): 374-377.
- [6] 陈广银, 曹海南, 丁同刚, 等. 基于氮磷农田利用的黄淮海地区畜禽 粪尿土地承载力研究[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(6):714-723. CHEN G Y, CAO H N, DING T G, et al. Bearing capacity of livestock and poultry manure in Huang-Huai-Hai region based on nitrogen and phosphorus farmland utilization[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(6):714-723.
- [7] 郭珊珊, 张涵, 杨汝馨. 基于耕地承载力的畜禽养殖污染负荷及环境风险研究——以四川省为例[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 226-232. GUO S S, ZHANG H, YANG R X. Pollutant loads and environmental risks of livestock production based on arable land carrying capacity: A case study in Sichuan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1):226-232.
- [8] 王筱娇. 吉林省松辽流域典型区规模化畜禽养殖污染的空间分布特征及环境承载力研究[D]. 长春:吉林大学, 2016. WANG X J. Spatial distribution characteristics and environmental carrying capacity of large-scale livestock and poultry breeding in the typical area of Songliao River Basin in Jilin Province[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [9] 龙雯琪, 吴根义, 林毅青. 农业种植对畜禽养殖废弃物承纳能力核算方法研究与应用[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(3):446-450. LONG W Q, WU G Y, LIN Y Q. Research and application of accounting method in carrying capacity of livestock and poultry waste in agricultural cultivation[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33 (3):446-450.
- [10] 宋江燕, 吴根义, 苏文幸, 等. 惠州市畜禽养殖污染耕地承载负荷估算及风险评价[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2):191-197.

- SONG J Y, WU G Y, SU W X, et al. Carrying load estimation and risk assessment of cultivated land contaminated by livestock and poultry breeding in Huizhou[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(2):191–197.
- [11] 张大牛, 王黎明, 丁京涛, 等. 畜禽养殖环境承载力研究方法的研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(8): 47-53. ZHANG D N, WANG L M, DING J T, et al. Research progress on methods for environmental carrying capacity of livestock and poultry breeding[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2021, 57(8): 47-53.
- [12] 王甜甜, 程波, 冯雪莲, 等. 华北地区典型区域畜禽养殖环境承载力综合评价研究——以滨州市为例[J]. 农业环境与发展, 2012, 29 (3):37-41. WANG T T, CHENG B, FENG X L, et al. Study on the comprehensive evaluation of livestock and poultry breeding environmental carrying capacity in typical areas of north China: A case study of Binzhou City[J]. Agro-Environment & Development, 2012, 29(3): 37-41.
- [13] 刘梓函, 年福华, 施赞红. 苏州市畜禽养殖业空间布局适宜性评价 [J]. 苏州科技大学学报(自然科学版), 2018, 35(2):55-60. LIU Z H, NIAN F H, SHI Z H. Suitability evaluation of spatial distribution of livestock and poultry breeding industry in Suzhou[J]. Journal of Suzhou University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2018, 35(2):55-60.
- [14] 豆志杰, 钟明艳, 孟飒. 区域畜禽养殖环境承载力评价及预警研究 [J]. 中国农机化学报, 2021, 42(12):214-221. DOU Z J, ZHONG M Y, MENG S. Evaluation and early warning of environmental carrying capacity of regional livestock and poultry breeding[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(12):214-221.

- [15] 李冰阳, 韩龙喜, 陈丽娜. 基于丰水、枯水期点源、面源水污染特征的水环境容量计算方法——以太湖流域某水系为例[J]. 环境保护科学, 2021, 47(3):100-105. LIBY, HANLX, CHENLN. A calculation method of water environmental capacity based on water pollution characteristics of point and non-point sources in abundant and dry season: A case study of a river system in Taihu basin[J]. Environmental Protection Science, 2021, 47(3):100-105.
- [16] 王奇, 陈海丹, 王会. 基于土地氮磷承载力的区域畜禽养殖总量控制研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 279-284. WANG Q, CHEN H D, WANG H. A study on the total quantity control of regional livestock rising: Based on the N/P capacity of land[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(3): 279-284.
- [17] 肖琴, 周振亚, 罗其友. 长江中下游地区畜禽承载力评估与预警分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2050-2058. XIAO Q, ZHOU Z Y, LUO Q Y. Bearing capacity assessment and forewarning analysis of livestock and poultry breeding in the middle and lower reaches of Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(9): 2050-2058.
- [18] 王洋. 基于土地氮磷承载力的永州市畜禽养殖规模研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2016. WANG Y. Research on livestock farming scale based on land bearing capacity of nitrogen and phosphorus in Yongzhou[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016.
- [19] 林毅青. 基于种养平衡下的湖南省畜禽养殖承载能力研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2013. LIN Y Q. The research of livestock carrying capacity of Hunan Province based on crop-animal mixed farming system[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.