

# 面向乡镇尺度的畜禽养殖潜力评价与生态环境承载力分析

——以儋州市为例

谢居清<sup>1</sup>, 秦晶<sup>2,3</sup>, 赵志岚<sup>2,3</sup>

- (1. 儋州市环境监测站, 儋州 571700;
2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;
3. 北京中科创嘉人力资源咨询有限公司, 北京 100190)

**摘要:** 我国对畜禽养殖的污染治理非常重视, 基于土地、水资源、大气等方面的生态环境承载力评估是确定畜禽养殖业发展布局的关键, 目前面向小尺度畜禽养殖区的生态环境承载力分析方法和案例研究还不多见。建立乡镇尺度畜禽养殖潜力评价与生态环境承载力分析方法, 以海南省儋州市为例开展研究。结果如下: 基于土地承载力、自然生态、畜禽养殖、种植业等4个子系统及其耦合关系构建的畜禽养殖资源环境承载力分析方法, 可以有效评价乡镇重点区域的畜禽养殖规模上限; 海南省儋州市畜禽粪肥土地承载潜力以氮计约722.66万头猪当量, 其中雅星镇的土地承载潜力最高约222.53万头猪当量, 可作为全市畜禽养殖重点发展乡镇; 儋州市雅星镇畜禽重点养殖区在保证新鲜水资源供给、生产废水“零排放”、配建固相粪便生产有机肥设施等前提下, 畜禽养殖规模上限为126万头/年出栏量。

**关键词:** 畜禽养殖; 种养结合; 氮平衡; 土地承载潜力; 生态环境承载力

中图分类号: X713

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.202305015

## Livestock breeding potential and eco-environmental carrying capacity at the town-level

——A case study of Danzhou

XIE Juqing<sup>1</sup>, QIN Jing<sup>2,3</sup>, ZHAO Zhilan<sup>2,3</sup>

- (1. Environment Monitoring Station in Danzhou City, Hainan Province, Danzhou 571700, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Beijing Zhongke Chuangjia Human Resources Consulting Co., Ltd, Beijing 100190, China)

**Abstract:** China has paid more attention on pollution treatment of livestock breeding. The evaluation of the eco-environment carrying capacity which is based on land, water, and atmosphere was the key to determine the development distribution of livestock breeding. However, there were few methods and case studies for analyzing the eco-environment carrying capacity of small-scale livestock breeding areas. This article established an evaluating method for carrying capacity potential livestock breeding and the eco-environment carrying capacity at the town level. The results of a case study of Danzhou City, Hainan Province were as follows. Analysis method for eco-environmental carrying capacity of livestock breeding, which is based on four subsystems and their coupling relationships of land carrying capacity, natural ecology, livestock breeding, and planting industry, could effectively evaluate the upper limit of livestock breeding in the key areas of town level. The carrying potential of livestock breeding in Danzhou city was about 7.2266 million pigs' equivalent for nitrogen, with Yaxing Town having the highest about 2.2253 million pig equivalent which would be main development town for livestock breeding. Under the conditions of adequate freshwater resources, zero discharge of production wastewater, construction of solid manure production organic fertilizer facilities, the upper limit of livestock breeding was 1.26 million pigs' equivalent every year in the main breeding area in Yaxing town.

**Keywords:** livestock breeding; combination of planting and breeding; nitrogen balance; land carrying capacity potential; livestock breeding potential

CLC number: X713

收稿日期: 2023-05-09

录用日期: 2023-06-20

作者简介: 谢居清(1968—), 男, 博士、工程师。研究方向: 生态环境规划与管理。E-mail: xiejq@126.com

通信作者: 秦晶(1983—), 女, 博士、工程师。研究方向: 固废资源化利用。E-mail: 565589185@qq.com

引用格式: 谢居清, 秦晶, 赵志岚. 面向乡镇尺度的畜禽养殖潜力评价与生态环境承载力分析——以儋州市为例[J]. 环境保护科学, 2023, 49(5): 138-144.

近年来,我国畜禽产业快速发展,畜禽粪污也随之增加,但畜禽粪污资源化利用难以实现跨区域流动,因此国内主要采用区域内种养结合模式消纳畜禽粪污<sup>[1-5]</sup>。国内学者们根据“以种定养”“以地定畜”等种养结合思想已在不同空间尺度开展探索性研究。基于全国尺度,甘林针等<sup>[6]</sup>以氮、磷为衡量元素分析各生猪优势产区畜禽粪污的土地承载现状并讨论生猪养殖区域规模的影响因素;王方浩等<sup>[7]</sup>、王奇等<sup>[8]</sup>和耿维等<sup>[9]</sup>通过分析耕地畜禽粪便和养分负荷量估算了全国范围的粪便总量以及各省单位面积农用地畜禽粪便负荷量。基于省市尺度,蔡美芳等<sup>[10]</sup>、郭珊珊等<sup>[11]</sup>以及王一如等<sup>[12]</sup>分别计算了广东省江门市、四川省和吉林省畜禽养殖环境承载力、耕地负荷预警值以及基于土地承载力畜禽养殖的理论规模及存量。

规模化畜禽养殖区建设已成为我国规范化管理畜禽粪污的关键,国家、省、城市等大尺度生态环境承载力研究往往忽视了实际运行层面的资源

和环境瓶颈。规模化畜禽养殖区往往落地在乡镇,但是目前面向乡镇尺度的畜禽养殖生态环境承载力研究还不多见。本文基于乡镇尺度,以土地承载力子系统为主线,整合自然生态子系统、畜禽养殖子系统和种植业子系统,构建了畜禽养殖生态环境承载力复合系统,以海南省儋州市为例开展研究,通过系统内物质流和信息流的相互作用,确定儋州市各乡镇畜禽养殖发展潜力,明确乡镇重点发展区域及其畜禽养殖承载力上限。

## 1 研究方法

### 1.1 总体方法学框架

本研究的重点为基于种养结合的畜禽养殖资源环境承载力,故以土地承载力子系统为主线,与自然生态子系统、畜禽养殖子系统和种植业子系统,共 4 个子系统,组成畜禽养殖资源环境承载力系统。各子系统之间通过物质、信息的输入输出相互联系,构成了模型的反馈结构,模型框架,见图 1。

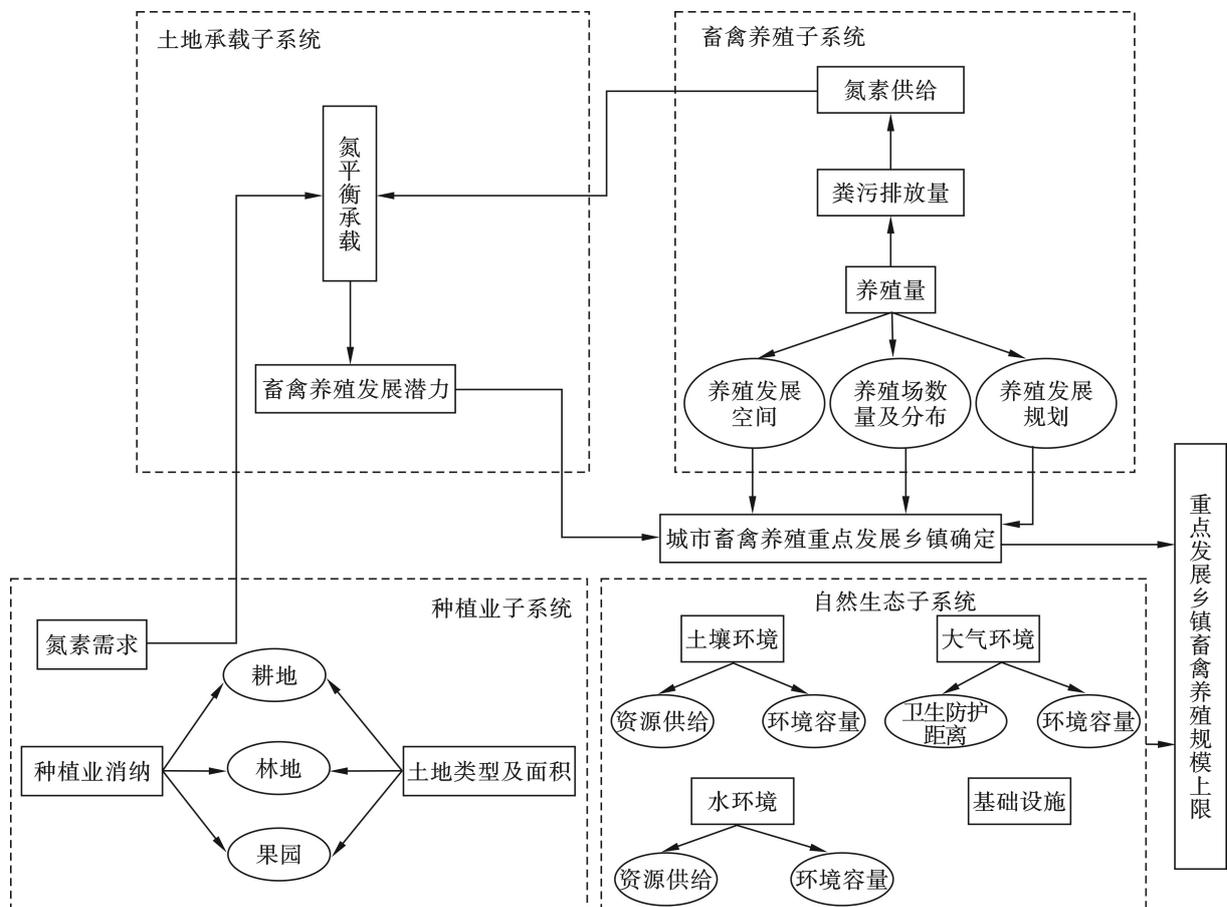


图 1 畜禽养殖生态环境承载力各子系统相互关系

Fig. 1 Relationship among subsystems of eco-environmental carrying-capacity of livestock breeding

针对本研究的内容与目标,模型主要考虑以下假设;(1)基于相关文献调研<sup>[13-15]</sup>,结合《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》<sup>[16]</sup>(以下简称《指南》)和儋州市当地情况,猪当量度量标准为:1头猪为1个猪当量,30只禽类换算成1个猪当量,1头牛换算成7个猪当量,3只羊换算成1个猪当量;(2)污染物排放指标作为衡量承载力的标量,通过相关的农业生态环境指标进行梳理,本文以总氮排放指标予以体现;(3)参考《全国生猪生产发展规划(2016—2020年)》<sup>[17]</sup>,采用出栏率(%)衡量生猪养殖的技术水平,出栏量/饲养量系数=0.68。根据土地承载力子系统、畜禽养殖子系统和种植业子系统之间物质流,确定城市畜禽养殖重点发展乡镇,进一步结合自然生态子系统,最终确定乡镇重点发展区域养殖规模上限。

## 1.2 基于种养结合的畜禽养殖潜力评价方法

1.2.1 畜禽粪肥养分供应量计算方法 本文选取儋州市16个镇猪、牛、羊和家禽为研究对象,依据畜禽年饲养量、饲养周期和日排泄系数,计算畜禽粪肥氮养分供给量,见式(1):

$$S = \lambda \times \sum_n (m_i \times T_i \times \delta_i \times \kappa) \quad (1)$$

式中: $S$ 为畜禽粪肥氮养分供给量,万吨/a; $m$ 为畜禽饲养量,万只(羽)/a; $T$ 为饲养周期,d; $\delta$ 为日排泄系数,kg/d; $\kappa$ 为单位换算系数; $\lambda$ 为粪肥中氮肥留存率; $i$ 为第几种畜禽; $n$ 为畜禽种类数量。

1.2.2 种植业消纳的粪肥养分计算方法 区域作物氮养分需求量,见式(2):

$$M = \sum_n (A_i \times \beta_i) \quad (2)$$

式中: $M$ 为区域作物氮养分需求量,t/a; $A$ 为某种作物的年产量,t/a; $\beta$ 为单位产量氮养分需求量,kg/100kg; $i$ 为第几种作物, $n$ 为作物种类数量。

区域作物粪肥氮养分需求量的公式,见式(3):

$$W = M \times \alpha \times \theta / \omega \times \kappa \quad (3)$$

式中: $W$ 为区域作物粪肥氮养分需求量,t/a; $M$ 为区域作物氮养分需求量,t/a; $\alpha$ 为施肥供给养分占比,%; $\theta$ 为粪肥占施肥比例,%; $\omega$ 为粪肥当季利用率,%; $\kappa$ 为单位换算系数。

1.2.3 基于土地承载力的畜禽养殖发展潜力评价方法 畜禽粪肥土地承载力即区域理论最大养殖

量(以猪当量计),见式(4):

$$R = S / NS \quad (4)$$

式中: $R$ 为区域畜禽以作物粪肥需要为基础的最大养殖量,万头猪当量/a; $S$ 为区域作物粪肥需求量,t/a, $NS$ 为猪当量粪肥供给量,t/(万头猪当量·a)。

区域内畜禽粪便承载潜力,见式(5):

$$LC = R - A \quad (5)$$

式中: $LC$ 为区域畜禽以作物粪肥需要为基础的承载潜力,万头猪当量; $R$ 为区域内畜禽以作物粪肥需要为基础的最大养殖量,万头猪当量; $A$ 为区域内折算成猪当量的实际养殖量,万头猪当量。

## 1.3 研究区域与数据来源

儋州市地处北纬19°11'~19°52',东经108°56'~109°46'之间,位于海南省的西北部。儋州市下辖那大、和庆、南丰、大成、雅星、兰洋、光村、木棠、海头、峨蔓、王五、白马井、中和、排浦、东成、新州等16个镇和3个办事处。2000—2018年,牛饲养量所占比重逐年降低由42.9%降至13.4%,羊饲养量所占比重呈波动下降,2018年维持在13.4%。家禽饲养量占比呈现缓慢增长趋势,由2000年的7.1%增至2018年的20.5%。生猪饲养所占比例逐年升高,由2000年的19.9%升至2017年的47.3%,2018年稍有回落46.9%,逐步取代牛羊成为主导畜禽养殖类型。

本文采用的养殖业生产情况、土地利用类型及规模、主要农作物播种面积及产量来源于《儋州市统计年鉴》<sup>[18]</sup>;畜禽饲养周期参照王方浩等<sup>[7]</sup>及《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策》<sup>[19]</sup>;畜禽日排污系数参照《第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》,并进行了适当改进<sup>[9]</sup>;粪肥中氮养分留存率参考《指南》和杜红梅等<sup>[20]</sup>;儋州市土地利用类型数据来源于儋州市总体规划(空间类2015—2030);10类当地主要作物单位产量氮养分需求量参照《指南》以及陈永娴<sup>[21]</sup>和赵春梅等<sup>[22]</sup>;乡镇重点养殖区最大水资源供给量根据琼西北供水工程规划计算。

## 2 研究结果

### 2.1 乡镇尺度畜禽养殖发展潜力评价

儋州市不同乡镇区域土地承载潜力分析见表1。

表 1 儋州市不同乡镇区域土地承载潜力分析  
Table 1 Analysis of land carrying potential of different towns in Danzhou

作物类 型/乡镇	大田作物/ $t \cdot a^{-1}$			蔬菜/ $t \cdot a^{-1}$		水果/ $t \cdot a^{-1}$			经济作物/ $t \cdot a^{-1}$		橡胶面积/ $hm^2$	植物氮 素需求 量/ $kg \cdot a^{-1}$	植物粪肥 氮素需求 量/ $kg \cdot a^{-1}$	土地承载 力/万头猪 当量	现有养殖 量/万头猪 当量	土地承载 潜力/万头 猪当量	折算成出 栏量/万头 猪当量
	水稻	番薯	大豆	其他 水果	香蕉	柑橙	甘蔗	油料	甘薯								
那大镇	15 282	1 915	46	43 433	3 500	90	5 907	0	964	22 525.20	24 504.88	18 378.66	235.13	65.57	169.56	115.31	
和庆镇	8 319	1 075	0	15 981	253	16	1 164	0	416	9 209.48	10 046.89	7 535.16	96.41	23.90	72.51	49.31	
南丰镇	7 193	600	0	14 561	0	3 548	2 056	121	136	5 444.62	6 026.61	4 519.96	57.83	11.23	46.60	31.69	
大成镇	25 335	2 548	1	16 463	9 374	1 908	6 800	85 022	803	13 281.54	15 018.74	11 264.06	144.11	16.52	127.59	86.76	
雅星镇	5 496	1 528	0	35 561	18 363	0	27 021	108 175	0	22 591.66	24 615.53	18 461.65	236.19	13.66	222.53	151.32	
兰洋镇	3 335	834	42	16 068	1 708	50	5 629	10 985	1 414	8 600.58	9 409.47	7 057.11	90.29	24.17	66.12	44.96	
光村镇	6 867	1 553	0	20 414	6 742	60	795	24 553	725	3 421.42	4 012.44	3 009.33	38.5	13.69	24.81	16.87	
木棠镇	7 234	3 005	0	84 604	4 658	0	850	29 626	549	0	640.54	480.41	6.15	16.22	-10.07	-6.85	
海头镇	3 246	3 743	158	37 193	6 000	0	56	45 755	381	2 128.38	2 657.65	1 993.24	25.5	21.01	4.49	3.05	
峨蔓镇	116	712	14	2 019	240	0	34	58 592	86	0	128.62	96.47	1.23	6.37	-5.14	-3.49	
王五镇	6 950	1 271	31	40 057	1 725	0	284	15 631	698	535.39	980.32	735.24	9.41	11.90	-2.49	-1.69	
白马井镇	5 704	3 079	16	5 910	1 280	0	29	22 431	2 386	103.85	496.70	372.52	4.77	9.94	-5.17	-3.52	
中和镇	6 835	1 653	4	17 726	59	0	26	5 749	1 627	0	357.64	268.24	3.43	7.05	-3.62	-2.46	
排浦镇	1 265	1 268	0	4 461	0	0	60	3 688	402	1 599.62	1 782.86	1 337.14	17.11	10.57	6.54	4.44	
东成镇	10 103	2 726	334	30 529	5 235	0	5 384	4 156	1 902	2 398.80	3 121.10	2 340.83	29.95	18.64	11.31	7.69	
新州镇	1 308	1 990	38	6 191	0	0	0	1 780	3 985	0	355.95	266.96	3.42	6.32	-2.90	-1.97	

儋州市 2017 年的种植业规模最多可消纳 999.43 万头猪当量,实际养殖量以氮计约为 276.77 万头猪当量,占承载力的 27.69%,说明土地消纳畜禽粪污的潜力较大<sup>[20,23-24]</sup>,种植业能全部消纳区域内的畜禽粪肥,意味着儋州市畜禽养殖规模还有较大的发展空间。但是各乡镇畜禽粪肥氮养分承载潜力空间差异较大。峨蔓、木棠、白马井、中和、新州和王五这 6 个镇畜禽实际养殖量均超过其承载力,实际养殖量总计约 57.79 万头猪当量,超过该地区土地承载力 29.38 万头猪当量,约 1.51 倍,极易造成当地土壤和水体氮污染。这 6 个镇均位于儋州市西北部环新英湾地区,该区域养殖业历史发展悠久,但随着儋州洋浦一体化发展,可消纳畜禽粪污的土地相对不足,造成该区域局部出现粪肥氮养分超载现象。西北部环新英湾 6 个镇应控制畜牧养殖的规模,并逐步降低养殖数量,强化畜禽粪污综合利用,进行污染转移消纳,避免出现畜禽粪污氮养分局部超载现象。儋州市粪肥氮养分土地承载潜力最高为雅星镇约 222.53 万头猪当量,占全市畜禽承载潜力的 30.79%;其次为那大镇约 169.56 万头猪当量,占全市畜禽承载潜力的 23.46%,说明上述 2 个镇土地消纳畜禽粪污的潜力较大。那大镇是儋州市政府驻地,属人口密集地区和旅游经济发展的重点区域,大规模的畜禽养殖业发展和当地社会经济发展定位存在一定冲突。而雅星镇为儋州市农业生产适宜区域,可以适度扩大养殖规模,增加畜禽养殖数量,不仅能满足种植业对养分的需求,有效改良土壤质量,还能最大限度降低儋州市畜禽规模养殖带来的环境压力。

## 2.2 乡镇重点养殖区的生态环境承载力分析

根据当地交通、生态红线等约束因子,将雅星镇西北片区(大讲村、乐满村、乐贺村、富克村)畜禽养殖作为规模化畜禽养殖发展的重点区域,进一步分析其土地资源、水资源、土地环境和大气环境等资源环境承载力。

### 2.2.1 土地资源和水资源承载力

乡镇重点养殖区的土地资源主要考虑以下 3 个方面:(1)在畜禽养殖适养区范围以内;(2)暂不考虑占用基本农田;(3)将高速路 1 km 的缓冲区排除在可用土地范围之外。雅星镇重点区域适宜发展畜禽养殖的土地资源主要集中在乐贺村、大讲村、富克村、乐满村等区域,该区域可用于畜禽养殖的土地面积约 1 944.01 hm<sup>2</sup>,

按照 20 万头/座养殖场规模作为计算基础,“能源生态”粪污综合利用模式下每处生猪养殖场的占地面积为 93.40 hm<sup>2</sup>,“楼房养猪”土地集约模式下每处生猪养殖场的占地面积为 35.18 hm<sup>2</sup>,分别测算得到雅星镇畜禽重点区域的土地资源环境承载力 196 万头猪当量和 362 万头猪当量。雅星镇生猪养殖无法确保完全“上楼”,另外土地资源供给还要考虑到现有基础设施、道路、厂家选址意愿等多方面的限制,若养殖场周边没有足够的土地资源用于消纳畜禽粪便,则畜禽粪便中氮养分得不到充分利用,将对环境造成污染,因此取低值 196 万头猪当量。

雅星镇畜禽养殖水资源承载力的瓶颈取决于松涛水库调水的分配指标。最小的新鲜水资源消耗为 613.1 万 t/a(90 万头出栏量,冲洗采用中水);最大的新鲜水资源消耗为 1 505.69 万 t/a(170 万头出栏量,冲洗采用新鲜水)。假设松涛水库调水计划的 5%(1 570 万 t/a)用于雅星镇规模化养殖业发展,水资源最小可承载生猪养殖 177 万头(冲洗采用新鲜水),最大可承载 230 万头(冲洗采用中水)。目前现有养殖场粪污经厌氧发酵后,沼液就近回田利用,不考虑外排。故水资源畜禽养殖承载力建议取低值约 177 万头猪当量。

### 2.2.2 土壤环境和大气环境承载力

土壤环境承载力考虑儋州市内与雅星镇毗邻乡镇的承载潜力作为雅星镇承载潜力,测算雅星、大成、海头、王五、排浦 5 个乡镇的承载潜力约 244 万头猪当量。根据《海南省畜禽养殖污染减排技术导则》<sup>[25]</sup>和《海南省规模化畜禽养殖场污染防治和废弃物资源化综合利用技术指南》,当采用能源生态模式时,沼液回田利用的合理运距宜控制在 5 km 范围以内。以雅星镇畜禽养殖重点区域为中心,划定周边 5 km 的缓冲区,测算 5 km 缓冲区内的采用能源生态粪污处理模式出栏量约 121 万头;采用能源环保粪污处理模式出栏量约 151 万头。根据《指南》和雅星镇土壤环境实测结果,雅星镇重点养殖区以及外围 5 km 畜禽粪污土地承载力为 126 万头猪当量。126 万头的限值计算依据雅星镇土壤质量实测和模型测算,误差较少,因此雅星镇重点区域土壤环境承载力取该值。

大气环境承载力主要考虑猪舍恶臭影响分析,构建 90、130 和 170 万头出栏猪当量/a 3 种计算情

景,利用《环境影响评价技术导则 大气环境: HJ2.2—2018》附录 A 推荐模型中估算模型(AERSCREEN)分别计算项目污染源的最大环境影响。其中170万头生猪养殖场(小区)无组织排放的氨气、硫化氢最大落地浓度在其下风向2086 m处,在该范围内应无环境敏感点。雅星镇重点养殖区域内空

气质量优良,且设施选址要求远离城镇居民点和交通干道,环境空气质量不构成限制性因素。

2.2.3 生态环境承载力综合评价结果 雅星镇重点区域的各限制性因素及承载力汇总分析,见表2。

表2 雅星镇重点区域的畜禽养殖业各限制性因素及承载力分析汇总

Table 2 Analysis of restrictive factors and carrying capacity of livestock breeding in different main areas

限制因素	低值/万头	高值/万头	建议值/万头	说明	
资源因素	土地资源	196	362	196	在实际应用中,雅星镇生猪养殖无法确保完全“上楼”,另外土地资源供给还要考虑到现有基础设施、道路、厂家选址意愿等多方面的限制,因此建议取低值196万头。
	水资源	177	230	177	按松涛水库配水比例5%测算(1570万t·a <sup>-1</sup> ),其中实现230万头限值需所有养殖场使用中水冲洗,根据儋州实际情况实现难度较大。另外,松涛水库每年3.14亿方调水涉及全省西部地区的供水安全,配水比例需要省市协调,5%的配水具有一定的不确定性,建议取低值177万头。
环境因素	土壤环境	121	244	126	(1)雅星镇重点养殖区域周边5个乡镇土地消纳的理论承载总量244万头;(2)重点区域5 km范围内消纳,能源生态模式121万头,能源环保模式151万头;(3)基于土壤质量实测的土壤消纳能力126万头。实现121~206万头理论消纳量,均需对沼液进行精确配送,实际应稍低于理论值,因此不建议取上述计算的高值。126万头的限值计算依据为雅星镇土壤质量实测和模型测算,误差较少,建议取该值。
	大气环境	-	-	>170	区域内空气质量优良,且设施选址要求远离城镇居民点和交通干道,不构成限制性因素。
建议值	121	362	126	最主要限制性因素是消纳沼液的土壤环境。	

表2可知,雅星镇重点养殖区最主要限制性因素是消纳沼液的土壤环境,在实现126万头/年的生产能力下,需要以下基础保障:1)松涛水库年调水量应达到923万m<sup>3</sup>(每年调水计划的2.8%);2)生产企业污水严格“零排放”或新建污水处理设施;3)应配套建设病死家禽处理设施、自来水厂,建议配建集中式固相粪便生产有机肥设施。

### 2.3 基于生态环境承载力的畜禽养殖可持续发展对策

2.3.1 构建畜禽粪污沼液配送工程 借鉴国内外先进畜禽养殖业沼液配送体系的建设经验,以畜禽粪污沼液配送工程为重点,打造“农牧结合”示范区,实现畜禽养殖沼液的全收集、全处理、全利用,避免违规、超标回用沼液。

2.3.2 建立微循环畜禽养殖生态工程 制定《生态型循环型畜禽养殖技术指导手册》,依托“农业科技110服务站”,鼓励现有养殖大户率先构建微循环养殖示范工程,达到“可看、可学、可复制”的目标。

2.3.3 建设养殖废水集中深度治理工程和畜禽固废综合处理工程 配套建设集中式污水处理厂和大型人工湿地工程,深度处理暂时无法经土地消纳的沼液,吸收消纳处理后畜禽养殖废水中的有机质和氮磷元素。逐步建设乡镇重点养殖区病死畜禽无害化处理中心和有机肥料生产厂。

2.3.4 先试先行畜禽粪便生物精炼工程 政府牵线搭桥,引进科技资源,同乡镇重点养殖区内养殖大户合作,以生猪养殖粪污治理为重点,打造示范工程,推广应用生物精炼技术,提升粪污治理行业的附加值。

## 3 讨论

(1)土地利用类型、作物类型、种植模式以及施肥习惯等多种因素都会影响土地对畜禽粪肥养分的消纳能力,因此种养结合的土地承载潜力需要系统、完备算法体系和精细的数据才能得到更为科学的结果,进而为畜禽养殖区域规划提供科学支撑。

(2) 畜禽粪便氮养分含量受畜禽种类、饲料成分和粪便处理水平等多种因素的影响,故畜禽粪便氮养分产排量参数取值的准确性有待提高。鼓励畜禽粪污加工成有机肥,突破其资源化利用行政界限,以期能更真实地反映畜禽养殖场周边的土地畜禽粪便承载潜力。

#### 4 结论

(1) 儋州市畜禽养殖粪肥土地承载潜力以氮计约 722.66 万头猪当量,从全市畜禽养殖布局看,畜禽粪肥土地承载潜力有较大的发展空间。土地承载潜力最高的雅星镇约 222.53 万头猪当量,占全市畜禽承载潜力的 30.79%,可作为全市畜禽养殖重点发展乡镇。

(2) 雅星镇重点养殖区的土地资源和水资源限制畜禽养殖规模为 177 万头/年出栏量,土壤环境和大气环境限制畜禽养殖规模 126 万头/年出栏量。综合研判儋州市雅星镇重点养殖区的土地资源、水资源、土壤环境和大气环境的畜禽养殖资源环境承载力,在保证新鲜水资源供给总量为 923 万  $\text{m}^3$ /年,配建集中式固相粪便生产有机肥设施,畜禽养殖规模上限为 126 万头/年出栏量。

(3) 本文构建的土地承载子系统、自然生态系统、畜禽养殖子系统、种植业子系统耦合畜禽养殖资源环境承载力方法,通过海南省儋州市的案例研究检验,可以客观反映畜禽粪污土地承载潜力和乡镇重点养殖区资源环境承载力上限,可为乡镇尺度畜禽养殖区规划布局提供科学方法支撑。

#### 参考文献

[1] 仇焕广,廖绍攀,井月,等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2766 - 2774.

[2] LI Z, QING W Z, AI P Z, et al. Spatiotemporal characteristics of the bearing capacity of cropland based on manure nitrogen and phosphorus load in mainland China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 233: 601 - 610.

[3] 常维娜,周慧平,高燕. 种养平衡-农业污染减排模式探讨[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(11): 2118 - 2124.

[4] 王军霞,周同,董广霞,等. 缓解规模化畜禽养殖污染治理压力方略探讨[J]. 环境保护, 2013(19): 44 - 45.

[5] 黄显雷,赵俊伟,方琳琳,等. 基于种养结合的畜禽养殖环境承载力研究-以舒兰市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(4): 34 - 42.

[6] 甘林针,王欢,张立中. 畜禽粪污土地承载力下的生猪养殖区域规模调整研究[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(5): 660 - 666.

[7] 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.

[8] 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, 2010, 27(3): 279 - 284.

[9] 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.

[10] 蔡美芳,刘晓伟,吴孝情,等. 基于土壤养分平衡的畜禽养殖承载力研究[J]. 土壤学报, 2018, 55(6): 1431 - 1439.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 杨飞,杨世琦,褚云强,等. 中国近 30 年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 1 - 11.

[14] 邱乐丰,龙文莉,方豪,等. 基于种养平衡的杭州市畜禽养殖环境承载力研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1410 - 1419.

[15] 褚明辉,王大娟,石雪,等. 基于氮平衡的江华瑶族自治县畜禽养殖承载力及饱和度研究[J]. 湖南农业科学, 2017(8): 445 - 447.

[16] 农业农村部. 畜禽粪污土地承载力测算技术指南[EB/OL]. [2018-02-20]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2018/201802/201805/t20180515\\_6142139.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2018/201802/201805/t20180515_6142139.htm).

[17] 农业农村部. 全国生猪生产发展规划(2016-2020年)[EB/OL]. [2017-11-27]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2016/diwuqi/201711/t20171127\\_5920859.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2016/diwuqi/201711/t20171127_5920859.htm).

[18] 儋州市统计局,国家统计局儋州调查队. 儋州统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

[19] 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: 77 - 78.

[20] 杜红梅,陈思畅. 基于种养平衡的湖南省畜禽养殖土地承载力分析[J]. 家畜生态学报, 2022, 43(11): 59 - 66.

[21] 陈永娟. 橡胶 RRIM600 养分循环模型及计算机系统的构建[D]. 湖北: 华中农业大学, 2014.

[22] 赵春梅,蒋菊生,曹建华. 橡胶林氮素研究进展[J]. 热带农业科学, 2009, 29(3): 44 - 50.

[23] MARTINEZ J, PATRICK D, SUZELLE B, et al. Livestock Waste Treatment Systems for Environmental Quality, Food Safety, and Sustainability[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(22): 5527 - 5536.

[24] PENG L H, YU B. Numerical study of regional environmental carrying capacity for livestock and poultry farming based on planting breeding balance[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25(9): 1882 - 1889.

[25] 海南省国土环境资源厅. 海南省畜禽养殖污染减排技术导则[EB/OL]. [2014-11-12]. [http://agri.hainan.gov.cn/hnsnyt/xxgk/0200/0202/201901/t20190124\\_2267574.html](http://agri.hainan.gov.cn/hnsnyt/xxgk/0200/0202/201901/t20190124_2267574.html).