

引用格式: 韩冬梅, 汪刚, 田晓喻. 基于短板理论的中国畜禽养殖资源承载风险评估[J]. 资源科学, 2022, 44(10): 2074–2088.  
[Han D M, Wang G, Tian X Y. Resources carrying risk of livestock and poultry breeding in China based on the short board theory[J].  
Resources Science, 2022, 44(10): 2074–2088.] DOI: 10.18402/resci.2022.10.10

# 基于短板理论的中国畜禽养殖 资源承载风险评估

韩冬梅, 汪刚, 田晓喻

(河北大学经济学院, 保定 071002)

**摘要:** 畜禽养殖业作为中国农业产业中的重要组成部分, 当前面临着稳定产能和环保约束的双重挑战。在畜禽养殖格局不断调整的背景下, 须要关注由此带来的局部区域资源超载的风险。本文基于“短板理论”构建了畜禽养殖资源承载风险指数, 分析了2010—2019年中国29个省份的畜禽养殖资源承载风险及短板要素, 利用空间自相关方法分析了省域风险的集聚性。研究表明: ①耕地资源承载风险是中国大部分地区养殖业发展面临的主要问题, 且存在较高的风险集聚性, 整体来看风险呈下降趋势, 华南和西南地区风险高于其他区域; ②水资源约束是中国北方地区尤其是京津冀地区畜禽养殖资源承载风险的最大短板; ③养殖重点发展区域普遍资源承载风险较高, 存在资源要素短缺的风险。由此, 提出如下建议: 构建畜禽养殖资源承载风险长期评估和预警体系, 将最稀缺的“短板”要素作为最重要的警示要素, 在区域养殖规划中采取“以短定养”; 推进畜禽粪便资源化利用, 坚持种养结合是降低耕地资源承载风险的重要途径; 完善跨区域生态补偿机制与资源环境协作机制, 处理好整体和局部的关系, 尤其应关注风险较大的养殖重点地区。

**关键词:** 畜禽养殖; 养殖布局; 资源承载力; 资源环境风险; 风险评估方法; 短板理论; 中国

DOI: 10.18402/resci.2022.10.10

## 1 引言

保障粮食和重要农产品供给是“十四五”期间农业发展的重要目标。畜禽养殖业作为中国农业支柱产业之一, 在国民经济和社会发展中发挥着重要作用。根据《中国农村统计年鉴》, 2021年全国牧业产值为39910.83亿元, 占农林牧渔总产值的27.15%。但养殖业的持续发展过程中, “保障农产品稳定供给”与“资源环境风险增大”之间的矛盾也逐渐凸显。同时, 人们对于农产品消费需求层次不断提升, 粮食安全的内涵也已从口粮安全层次上升到整个食物系统安全与营养安全的新高度<sup>[1]</sup>。如何实现畜禽养殖业和资源环境的协调发展, 加快形成与社会需求相适应、与资源禀赋相匹配的现代畜禽养殖模式与布局, 是当前养殖业发展面临的重要

问题。

2000年以来, 中国出台了多项养殖业相关的政策。《畜禽规模养殖污染防治条例》(2014)首次明确要求划定禁养区, 并在国务院2015年发布的“水十条”中得以贯彻。2018年国务院发布的《乡村振兴战略规划》中再次明确将“推进畜牧业区域布局调整, 合理布局规模化养殖场”作为加快农业转型升级的重要任务之一。非洲猪瘟疫情后政策的关注点有所调整, 2019年《关于稳定生猪生产促进转型升级的意见》提出要求稳定生猪生产, 规范禁限养区划定。《“十四五”推进农业农村现代化规划》明确将“生猪产能稳固提升”作为主要目标之一。畜禽养殖业在未来一段时期的增长势必会在一定程度上增加潜在的资源环境风险。加之当前畜禽养殖

收稿日期: 2022-06-13; 修订日期: 2022-09-12

基金项目: 国家社会科学基金项目(18BGL166); 2022年度牧业经济研究基金项目(XMZZ042022055)。

作者简介: 韩冬梅, 女, 河北省饶阳人, 博士, 教授, 研究方向为农业农村环境政策与环境管理。E-mail: michelle\_meimei@126.com

2022年10月

格局不断调整,尤其要关注由此带来的区域资源和环境风险,避免导致局部区域资源环境要素退化,这对于合理规划养殖布局、保障养殖业稳定生产、推进中国农业绿色发展具有重要意义。

畜禽养殖属于资源环境高度依赖的产业,现有的畜禽养殖风险研究大多从资源和环境两个层面展开,且大多基于技术层面。主要包括通过畜禽养殖污染物的监测以及污染负荷估算来评估区域资源环境承载力,进而衡量资源环境风险等方面<sup>[2,3]</sup>,测算方法包括等标污染负荷法<sup>[4]</sup>、产排污系数法<sup>[5]</sup>等。随着养殖政策的不断调整,研究视角又逐渐拓展到畜禽养殖布局<sup>[6,7]</sup>以及畜禽废弃物的资源化利用<sup>[8,9]</sup>,如探究畜禽粪便替代化肥潜力<sup>[10]</sup>等方面。对于畜禽养殖区域的资源承载风险,现有研究大多以研究畜禽粪便的耕地承载风险为主,通过计算单位面积耕地上实际畜禽粪便负荷是否超过理论最大承载量来评估承载风险<sup>[5]</sup>。在空间范围上,大多以省级<sup>[11,12]</sup>,少数以市级<sup>[13]</sup>为单元,评价要素大多基于耕地,少数利用自然-经济技术-环境等综合指标体系或水体污染程度等单一评价元素<sup>[14,15]</sup>。

总体上,现有研究大多基于“资源环境容量”(上限值)而不是“资源环境红线”(下限值)评估区域畜禽养殖承载力,存在导致局部生态资源退化的风险。本文认为,制约一个地区的畜禽养殖业发展的关键往往不在于其多重要素的丰富度和完整性,而在于其最稀缺的要素。基于此,本文从资源承载力视角出发,基于“短板理论”构建了一个畜禽养殖资源承载风险指数体系,对中国各省份养殖资源承载力情况、主要短板因素、超载风险以及风险的时空分布和集聚性、差异性等变化进行了分析,旨在为中国养殖业在稳定产能的同时合理布局、防范资源退化风险提供参考依据。

## 2 理论依据和基本原则

### 2.1 畜禽养殖“资源承载力”及“资源承载风险”概念的界定

“承载力”概念最早源于定义牧场在可恢复限度内能容纳的牲畜数量,后逐渐用于表述区域环境系统所能承受的人类经济社会活动的阈值<sup>[16]</sup>。“资源承载力”属于“资源环境承载力”的一部分,“资源环

境承载力”是包含了“资源承载力”和“环境承载力”两方面的综合承载力。资源系统和环境系统往往交织在一起,并没有明显的界限。因此,涉及“资源环境承载力”的相关研究中也大多将两个系统综合在一起。本文主要聚焦在畜禽养殖业发展的资源要素系统方面,通过对资源要素供给和需求平衡的分析评估区域“资源承载力”<sup>①</sup>。畜禽养殖资源承载力可以理解为在综合考虑区域内土壤生态系统对畜禽粪污的消纳程度、资源系统对畜禽养殖一定规模的供给能力等多种条件下的支撑能力。资源承载风险是指如果资源要素的供给和需求基本相等(临界状态)即存在脆弱性风险,如果需求大于供给则存在短缺或超载风险,在长期会导致区域资源要素退化甚至耗竭的风险。

畜禽养殖业无论从前端投入还是末端排放来看都属于资源环境高依赖的产业。从养殖业资源要素的供给范围来看,中国70%以上的饲料粮都是产自于畜产品生产所在地<sup>[17]</sup>,畜禽粪便的运输和施用范围一般不超过30 km<sup>[18]</sup>。因此,畜禽养殖业发展在一定程度上较大依赖于本地资源禀赋,这也是养殖业布局调整政策的重要依据。如果某种必需的资源要素只能依靠外来输入,那么该地区理论上就不具备养殖优势,同时外来资源依赖也会带来较大的经济成本。所以,本文认为畜禽养殖资源承载力的界定应建立在本地资源禀赋上。

### 2.2 “短板理论”在生态环境领域的应用

“短板效应”是由美国管理学家劳伦斯·彼得提出的,其核心思想是木桶的容量取决于最短的板,这块最短的板是木桶盛水容量的限制因素。由于“承载力”概念与“短板效应”具有内在的一致性,因此,在涉及资源和环境承载力评价中经常用到短板效应思想<sup>[19]</sup>。木桶中的“水”量代表着资源环境系统对人类与社会经济的承载容量,“木板”则代表影响承载容量的诸多要素,“最短的板”也表征了最大的风险所在,而且这块“短板”往往是一个客观存在的缺陷,往往很难弥补,尤其需要关注和防范,避免出现“短板”更“短”的风险。中国目前城市空气质量管理中使用的空气质量指数(AQI)即可视作“短板理论”在环境风险管理领域的应用,它将常规监测

① 例如,耕地承载力从环境对粪污消纳能力的角度看属于环境承载力的范畴,如果将耕地作为农业生产投入要素,也可被视为资源承载力。在本文中使用后一种表述,即将其视为资源承载力。

的6种空气污染物浓度简化成为单一的概念性指数值形式,将各项污染物空气质量分指数中的最大值作为当天的AQI值,并分级表征区域空气质量状况以及人群健康风险。本文中畜禽养殖资源承载风险指数(Breeding Resources Carrying Risk Index, BRCRI)的设计也是借鉴了AQI的思路。

生态红线制度是“短板理论”在资源环境保护和可持续发展实践领域的具体应用。生态红线用来描述系统内功能退化、发展停滞,甚至濒临崩溃的临界状态,红线即是维持生态环境安全的底线,也是人类资源利用的上限,包括生态功能保障基线、环境质量安全底线和自然资源利用上限<sup>[20]</sup>。超出红线即意味着不可持续的发展或者不可逆转的破坏,会使人类社会发展面临极大的风险。伴随着工业化发展,环境污染与资源消耗问题日益突出,国家出台了一系列以“红线”表述的生态保护政策与制度,如耕地红线、水资源开发利用红线等,这些都是保障国家和区域生态安全、实现经济社会可持续发展的重要举措。

本文将“短板理论”运用在区域畜禽养殖资源承载风险评估框架中,将区域内可承载的畜禽养殖当量比作木桶的容量,而长短不一的木板就是影响其资源承载能力的各种要素,其中最稀缺的要素即为最短的“板”,同时也是该地区发展的最大风险要素。现实中一个地区畜禽养殖的最大承载量往往受制于该地区最稀缺的资源要素水平。

### 2.3 畜禽养殖资源承载风险评估的基本原则

有别于以往的全要素风险评估方法追求风险评估的完整和准确性,本文基于“生态资源不退化”“生态红线不可破”的基本原则,遵循化繁为简、突出短板的研究思路,力求把复杂的问题简单化。因此,在评估中只保留与人类基本生存和养殖业发展最相关、最基础的资源要素,只关注资源环境要素的最基本用途,重点关注最稀缺的要素。根据马斯洛的人类需求层次理论,人类最根本的需求是生存需求,社会经济发展必须优先保障人类的生存需求。当前保障粮食安全已成为中国重要的战略目标之一,耕地和水资源是保障粮食生产的最重要资源。因此,耕地、水和粮食可以被视为是一个地区人类生存和发展的“红线”,必须优先满足。本文选取耕地、水和粮食3个维持人类生存的最基本的资

源要素、同时也是养殖业发展必须的3个基础资源要素作为风险评估要素。在构建养殖资源承载风险指标体系中主要遵循3个原则:

(1)在要素的供给上采用“底线思维”逻辑,优先满足人类的生存需要,然后再考虑养殖业,暂不考虑工业及其他活动对资源环境要素的需求。即除去人类生存必须的资源外,区域资源要素全部用于畜禽养殖,且采用最高效的资源利用方式,能够支持的最大养殖量,可以被视为是现有条件下养殖量的绝对上限值,超出即是在透支人类未来生存的基本条件,是不可持续的发展。

(2)在评估区域养殖资源承载风险时采用“红线原则”,3个基础资源要素中只要有一个存在超载情况,该区域在发展养殖业上即存在资源承载风险。

(3)区域规划养殖规模遵循“短板原则”,以最短缺的资源要素量决定该区域的最大养殖规模,而不管其他要素有多丰富。

## 3 指标、数据与研究方法

### 3.1 评估指标、数据来源及研究范围

根据选取的3个基本资源要素,设置耕地资源承载风险指数、水资源承载风险指数、粮食资源承载风险指数3个风险指数。在此基础上,构建区域畜禽养殖资源承载风险指数。

文中所有数据来源于中国统计年鉴和各省市统计局统计年鉴。研究范围为2010—2019年中国29个省份(因数据可得性与完整性原因,评估未包含港澳台地区;西藏和青海因种养结构与其他地区差异较大,也未包含在评估范围里)的畜禽养殖资源承载风险情况。各省份畜禽养殖数量不包括放养畜种。除分省份外,还按照七大地理区域进行分析,划分方法如表1。

表1 各省份地理区域划分

Table 1 Geographical division of provinces

区域	省份
东北地区	黑龙江、吉林、辽宁
华北地区	内蒙古、山西、北京、天津、河北
华中地区	河南、湖北、湖南
华东地区	安徽、浙江、上海、江西、江苏、山东、福建
华南地区	广东、广西、海南
西南地区	重庆、四川、贵州、云南
西北地区	甘肃、宁夏、陕西、新疆



2022年10月

### 3.2 畜禽养殖资源承载风险指数计算方法

#### 3.2.1 情景设定

(1)资源要素供给只考虑人类最基本需求,主要包括口粮、满足生活与粮食生产所需的土地和水资源量,不考虑工业及其他活动对资源要素的需求。

(2)依据《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》,将稻谷、小麦、玉米、谷子、大豆和马铃薯6种主要农作物作为畜禽粪便还田的主要吸收作物。同时也将其作为居民口粮的来源。

(3)基本用水需求包括城乡居民用水、农业灌溉用水和生态环境用水<sup>②</sup>。假设各地使用最高效节约的农业灌溉方式,因此,各地区农业灌溉用水使用当地最小用水定额。

(4)本文中的畜禽主要包括猪、牛、羊和家禽,根据不同评估指标的要求,将各类畜禽换算成猪当量,汇总为养殖当量,作为各风险指数计算的基础度量单位。根据全国农产品成本收益资料汇编,将其中各类畜禽的饲养周期规定为:生猪养殖平均饲养天数为127 d,奶牛为365 d,肉牛为185 d,肉羊为196 d,家禽为360 d。

#### 3.2.2 耕地资源承载风险指数

依据《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》,将畜禽养殖耕地资源承载力定义为:在一定区域耕地生态系统可持续运行的条件下,在满足区域主要农作物生长所需要的粪肥养分需求条件下,综合考虑畜禽粪便的排泄量、粪肥施用比例等折合的最大养殖量。

本文将猪、肉牛、奶牛、羊和家禽作为畜禽粪便的主要供给对象,将稻谷、小麦、玉米、谷子、大豆和马铃薯6种主要农作物作为粪肥养分需求对象。假定一个地区的所有畜禽粪便在农田中均匀分布,以区域内6种作物生长需要的养分为基础,折算其中来自粪肥的氮(磷)所需的猪当量,将区域内实际养殖的畜种按照氮(磷)排泄量系数统一折算成猪当量,汇总为实际养殖当量;在此基础上,计算耕地资源承载风险分指数。相关系数参考《畜禽污染土地承载力测算技术指南》(农办牧[2018]1号)。

②生态用水是指在特定时空范围内,维持各类生态系统正常发育与相对稳定所必须消耗的、不作为社会和经济用水的、现存的水资源,包括地表水、地下水和土壤水等。《中华人民共和国水法》第二十一条明确规定“开发、利用水资源,应当首先满足城乡居民生活用水,并兼顾农业、工业、生态环境用水以及航运等需要”,“在干旱和半干旱地区开发、利用水资源,应当充分考虑生态环境用水需要”。

$$D_1 = \sum_{i=1}^n N_i \times e_i \quad (1)$$

式中:  $D_1$  为区域内不同畜种按照氮(磷)排泄量系数折算的养殖当量;  $N_i$  为区域内第  $i$  种畜禽年存栏量;  $n$  为区域内养殖畜禽种类数;  $e_i$  为第  $i$  种畜禽猪当量转化系数,转换关系为100头猪相当于15头奶牛、30头肉牛、250只羊、2500只家禽。

$$\text{Max}D_1 = \frac{\sum_{r=1}^m V_r \times a_r \times P \times T}{\eta_j \times A_{1j}} \quad (2)$$

式中:  $\text{Max}D_1$  为区域养殖耕地资源承载力(以猪当量计);  $V_r$  为区域内第  $r$  种农作物总产量;  $m$  为区域内种植农作物种类数;  $a_r$  为第  $r$  种植物单位产量养分需求量,具体数值见表2;  $P$  为施肥供给养分占比,土壤养分为 I、II、III级水平时分别取值35%、45%、55%,本文假定施肥供给占比最低的情况,即可以最大化地利用畜禽粪便,故施肥供给养分占比取值35%;  $T$  为粪肥占施肥比例,取值为27%<sup>[21]</sup>;  $\eta_j$  为粪肥当季利用率;  $A_{1j}$  为单位猪当量粪肥养分供给量。  $\eta_j$  和  $A_{1j}$  取值如下:当  $j=1$  时,  $\eta_1$  代表氮素利用率,取值30%,  $A_{11}$  代表单位猪当量氮养分供给量,取值7.0 kg;当  $j=2$  时,  $\eta_2$  代表磷素利用率,取值35%,  $A_{12}$  代表单位猪当量磷养分供给量,取值1.2 kg<sup>[22]</sup>。

耕地资源承载风险指数( $PI_{1j}$ )的公式如下:

$$PI_{1j} = \frac{D_1}{\text{Max}D_1}, j=1, 2 \quad (3)$$

式中:  $j=1$  时,  $PI_{11}$  代表耕地氮元素承载风险指数;

表2 不同作物形成100 kg产量需要吸收氮磷量推荐值  
Table 2 Recommended values of nitrogen and phosphorus input for different crops of 100 kg production

作物种类	氮/kg	磷/kg
水稻	2.200	0.800
小麦	3.000	1.000
玉米	2.300	0.300
谷子	3.800	0.440
大豆	7.200	0.748
马铃薯	0.500	0.088

注:数据来源于《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》。



$j=2$  时,  $PI_{12}$  代表耕地磷元素承载风险指数。

### 3.2.3 水资源承载风险指数

水资源承载力一般是指在特定的时空范围内,在社会与生态系统可持续运转的条件下,水资源对人口数量、城市与工农业发展规模的最大承载能力,是衡量区域可持续发展程度的重要指标<sup>[23]</sup>。本文中畜禽养殖水资源承载力是将水资源优先满足居民生活用水、农业灌溉用水和生态用水后,剩余水资源量可用于畜禽养殖的最大养殖量。其中,水资源量的计算以地区水资源禀赋为依据。

$$D_2 = \sum_{i=1}^n N_i \times k_i \quad (4)$$

式中:  $D_2$  为用畜禽耗水量换算的区域内养殖当量;  $k_i$  为第  $i$  种畜禽猪当量转化系数,转换关系为 100 头猪相当于 12 头奶牛、35 只肉牛、130 只羊、1429 只家禽。以生猪的用水量为基础,按照各类畜禽饲养周期和用水定额<sup>③</sup>,统一将各类畜禽换算成猪当量进行估算,汇总为实际养殖当量  $D_2$ 。

$$\text{Max}D_2 = \frac{T_w - L_w - A_w - E_w}{A_2} \quad (5)$$

式中:  $\text{Max}D_2$  为区域养殖水资源承载力(以猪当量计);  $T_w$  为区域总水资源量;  $L_w$  为居民生活用水量;  $A_w$  为区域农田灌溉用水量;  $E_w$  为区域生态用水;  $A_2$  为单位养殖当量耗水量。

则水资源承载风险指数( $PI_2$ ):

$$PI_2 = \frac{D_2}{\text{Max}D_2} \quad (6)$$

### 3.2.4 粮食资源承载风险指数

粮食是立国之本,农业粮食自给率的保障是国家政治稳定、社会安定的基础。习近平总书记对粮食安全事业作出了“藏粮于地、藏粮于技”重要战略指示,必须长远考虑,防范风险。一个地区首先要有足够的能力满足该地区居民基本粮食消费需求,再考虑其他行业对于粮食的需求<sup>[24]</sup>。本地粮食自给能力是一个地区是否具有养殖潜在优势的体现,不仅包括满足居民口粮需求,也包括满足饲用粮需求的能力。因此,本文将区域内居民粮食消费量作为

粮食消耗的“底线”,在保障口粮供给的前提下,评价该地区的畜禽养殖粮食资源承载力。该指数是基于地区粮食自产水平计算得到,暂不考虑粮食从其他地区的调入和对其他地区的调出。

$$D_3 = \sum_{i=1}^n N_i \times u_i \quad (7)$$

式中:  $D_3$  为用畜禽耗粮量换算的区域内实际畜禽养殖当量;  $u_i$  为第  $i$  种畜禽猪当量转化系数,转化关系为 100 头猪相当于 7 头奶牛、33 头肉牛、519 只羊、637 只家禽。以生猪的耗粮量为基础,按照各类畜禽饲养周期和畜禽耗粮定额<sup>④</sup>,统一将各类畜禽换算成猪当量进行估算,汇总为实际养殖当量  $D_3$ 。

$$\text{Max}D_3 = \frac{T_g - L_g}{A_3} \quad (8)$$

式中:  $\text{Max}D_3$  为区域养殖粮食资源承载力(以猪当量计);  $T_g$  为区域粮食总产量;  $L_g$  为居民耗粮量,  $A_3$  为单位养殖当量耗粮量。

则粮食资源承载风险指数( $PI_3$ ):

$$PI_3 = \frac{D_3}{\text{Max}D_3} \quad (9)$$

### 3.2.5 畜禽养殖资源承载风险指数

采用畜禽养殖资源承载风险指数( $BRCRI$ )表征区域内养殖资源承载的综合风险水平。在计算中以前述 3 个风险分指数中最大的值作为该地区的  $BRCRI$  值,分指数风险值大于 1.00 的要素称为高风险要素,风险值最大的要素称为最大风险或“短板”要素。其不仅是该地区发展养殖业最大的潜在风险要素,同时也是该地区发展养殖业的最大约束性要素即“短板”,其水平决定着整个区域的最大养殖规模。用公式可表示为:

$$BRCRI = \text{Max}\{PI_{1b}, PI_2, PI_3\} \quad (10)$$

### 3.2.6 风险评价标准

根据各风险指数的计算方法,设定风险评价标准。

$PI_b < 1.00$  ( $b=1, 2, 3$ ), 区域内实际养殖当量小于区域内该资源要素所能支持的最大养殖当量,养殖资源承载风险较小。

③ 根据各地方行业用水定额,将各类畜禽的用水定额统一规定为:生猪用水定额 20 L/(头·天),奶牛用水定额 60 L/(头·天),肉牛用水定额 40 L/(头·天),羊用水定额 10 L/(头·天),家禽用水定额 0.5 L/(头·天)。

④ 根据全国农产品成本收益资料汇编,各类畜禽的耗粮定额统一规定为:生猪耗粮定额 184 kg/只,奶牛耗粮定额 2774 kg/只,肉牛耗粮定额 553 kg/只,羊耗粮定额 35 kg/只,家禽耗粮定额 29 kg/只。

2022年10月

$PI_b = 1.00$  ( $b=1, 2, 3$ ), 区域内实际养殖当量正好等于区域内该资源要素所能支持的最大养殖当量, 处于养殖资源承载风险临界状态。

若  $PI_b > 1.00$  ( $b=1, 2, 3$ ), 区域内实际养殖当量超过区域内该资源要素所能支持的最大养殖当量, 处于资源超载状态, 养殖资源承载风险较大。

$PI_b$  值越小说明养殖资源承载风险越小, 越大则说明风险越大, 超过3即被视为处在高风险级别。

### 3.3 区域养殖资源承载风险空间自相关分析方法

全局莫兰指数是用于评价全局数据空间自相关性的一个常见统计指标, 能够反映区域内各单位(省份)风险指数的空间关联关系, 局部莫兰指数主要分析系统内各组成部分的分布特征。本文采取全局空间自相关与局部空间自相关分析方法分析各省份畜禽养殖资源承载风险的空间相关关系。

全局莫兰指数计算公式为:

$$\text{Global Moran}' I = \frac{\sum_{c=1}^q \sum_{d=1}^q W_{cd} (x_c - \bar{x})(x_d - \bar{x})}{S^2 \sum_{c=1}^q \sum_{d=1}^q W_{cd}} \quad (11)$$

局部莫兰指数计算公式为:

$$\text{Local Moran}' I = \frac{(x_c - \bar{x}) \sum_{d=1}^q W_{cd} (x_d - \bar{x})}{S^2} \quad (12)$$

式中:  $q$  为所研究地区的数量, 在本文中  $q=29$ ;  $x_c$  代表  $c$  地区  $t$  期的观测值;  $x_d$  代表  $d$  地区  $t$  期的观测值;  $S^2$  为样本的方差;  $\bar{x}$  为所有省份样本平均数;

$W_{cd}$  为空间权重矩阵; Moran'  $I$  的取值均介于-1到1之间,  $I$  值越趋近于1, 表明研究区域的某属性值在空间分布上呈现出的集聚性越明显;  $I$  值越趋近于-1, 则表明趋异性越明显。

## 4 结果与分析

### 4.1 全国养殖当量时空变化

2010—2020年, 中国的畜禽养殖受到政策调整和疫情等多重因素的影响, 整体呈现出较大的波动性(图1)。区域空间分布差异性也较大(图2)。

整体来看, 中国畜禽养殖总体分布不均, 主要集中在华北和西南等区域。2010—2015年, 全国总养殖当量持续增加, 从2010年的107919万头增加到2015年的113814万头。从区域分布来看,

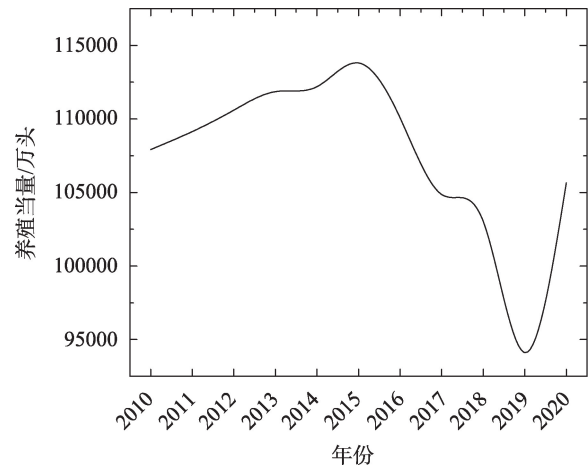


图1 2010—2020年中国实际养殖当量的变化

Figure 1 Actual annual breeding equivalents of China, 2010-2020  
注: 养殖当量按照《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》方法核算。

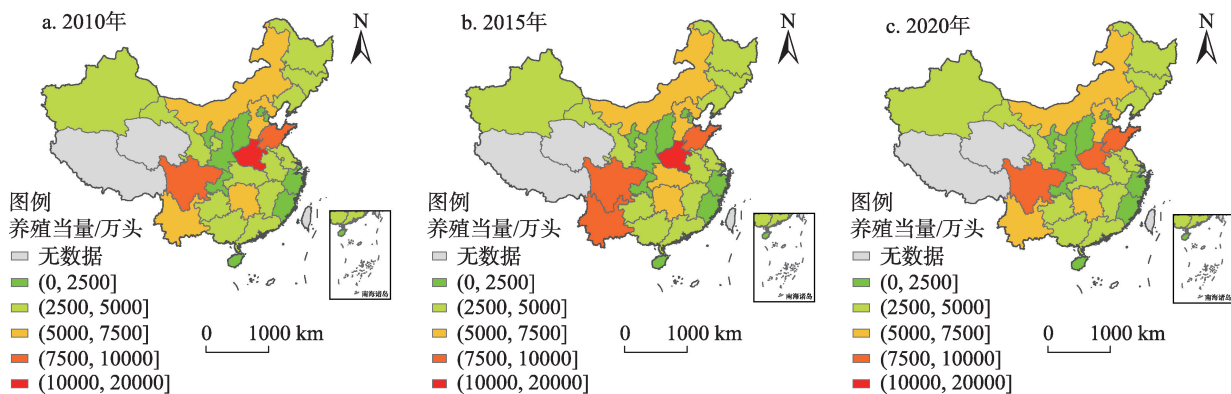


图2 2010—2020年各省份养殖当量空间分布

Figure 2 Spatial distribution of breeding equivalents at the provincial level in China, 2010-2020  
注: 基于自然资源部标准地图服务网站 GS(2020)4619 号的标准地图制作, 底图边界无修改。

养殖重点区域如河南省养殖当量居全国之首, 2010—2015年均超过10000万头;四川、山东两省维持在7500万头以上;云南从2010年的超过5000万头增加至2015年的超过7500万头。华中、华东等地区养殖量相对较少,如山西、陕西、浙江、福建等省份均少于2500万头。2015年之后各种禁限养政策出台,再加上2018年受非洲猪瘟等因素影响,各地区包括华中、西南等地区养殖当量显著下降,全国总养殖当量从2015年的113814万头下降到2019年的94109万头。2019年《关于稳定生猪生产促进转型升级的意见》等政策发布后,各地开始稳定生猪生产,2020年全国实际养殖当量已呈现明显回升。

## 4.2 区域养殖资源承载风险指数

采用本文第3章构建的评估指标框架和评估方法,对全国29个省市2010—2019年的养殖资源承载风险变化情况进行计算和分析<sup>⑤</sup>。

### 4.2.1 耕地资源承载风险

根据计算结果,2010年、2015年(养殖总量峰值年份)和2019年全国省市级耕地资源承载风险(分按氮计与按磷计)空间分布情况,如图3和图4。

整体来看,近10年除黑龙江、安徽和江苏,其他省份都存在氮、磷元素耕地承载超载的情况,且氮元素超载的程度要大于磷元素。

从空间分布来看,华南和西南地区整体风险高

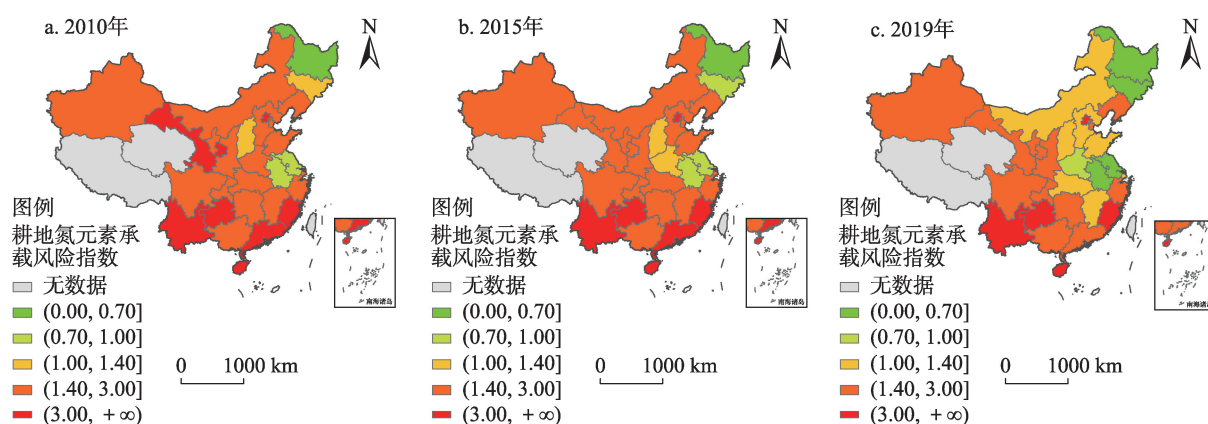


图3 2010—2019年各省份耕地氮元素承载风险空间分布

Figure 3 Spatial distribution of nitrogen carrying risk of cultivated land at the provincial level in China, 2010-2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号的标准地图制作,底图边界无修改。

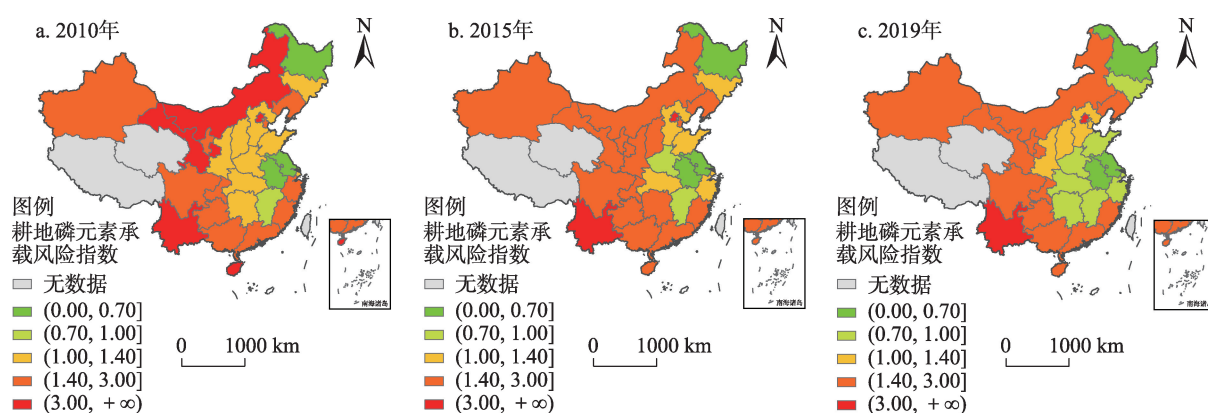


图4 2010—2019年各省份耕地磷元素承载风险空间分布

Figure 4 Spatial distribution of phosphorus carrying risk of cultivated land at the provincial level in China, 2010-2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号的标准地图制作,底图边界无修改。

⑤ 限于篇幅,3个分指数各省份2010—2019年的具体计算结果未在文中展示。



2022年10月

于其他区域。以影响相对较大的氮元素为例,东北地区整体风险较低,其中,黑龙江省近10年平均耕地资源承载风险指数在0.50左右,吉林省也在1.00以下,但辽宁省指数值较高,平均在2.00以上;黄河下游如河南,长江下游如安徽、江苏等省份耕地资源承载力风险指数平均在0.70~0.80左右,虽未超过1.00但已接近临界值,承载空间已经较小;华北和西北地区整体上也处于耕地超载水平,风险指数值均在2.00左右,其中,北京、宁夏、甘肃风险指数值在3.00左右,已严重超载;华南和西南地区耕地资源承载风险指数整体均在3.00左右,风险级别较高。

从时间趋势来看,由于近年来国家大力推进农业绿色发展,实行化肥农药零增长行动,大部分省份2019年的耕地资源承载风险指数值与2010年相比都显著下降。以氮元素为例,东北地区的吉林省耕地资源承载风险指数从2010年的1.09下降到2019年的0.69,辽宁省则从2010年的2.47下降到2019年的1.59。西北地区的甘肃省耕地资源承载风险指数从2010年的3.20下降到2019年的2.66。部分地区的耕地资源承载风险指数值呈现波动增加,如中部地区的山西省和陕西省,在2015年达到峰值后虽有所下降,但至2019年仍显著高于2010年。西部地区的贵州、宁夏等省份耕地资源承载风险指数则一直处于上升趋势,如宁夏从2010年的1.97上升到2019年的2.72。

#### 4.2.2 水资源承载风险

根据计算结果,2010年、2015年和2019年全国

省市级水资源承载风险(按水资源禀赋计算)空间分布情况,如图5所示。

河北、北京、天津、上海、山东地区在部分年份出现了水资源极度短缺的高风险级别状况,不仅无养殖可用水,甚至无法满足居民生活用水、农业灌溉用水和生态用水这些最基本水需求量。宁夏回族自治区因全区属温带大陆性干旱、半干旱气候,在统计的所有年份中都处于高风险级别。在水资源承载风险较大的区域中,北京、天津、上海和宁夏并不是养殖重点区域,养殖业事实上对其水资源短缺的贡献不大。而河北和山东是中国养殖重点省份,由养殖业发展带来的水资源短缺的风险较大。考虑经济发展对于水的强依赖性,外来水补给已成为相当一部分地区的重要用水来源,因此,本文尝试采用实际供水量替代本地水资源量。此时,所有地区的风险指数都位于临界值1.00之下,即使是河北、北京、天津、上海、山东和宁夏的水资源短缺风险也不复存在,说明外来水的补充在实际中缓解了自有水资源的不足。除满足基本需求外,还可以满足养殖用水和其他行业用水需求,但同时也表明这些地区对于外来供水的依赖性极大。

#### 4.2.3 粮食资源承载风险

根据计算结果,2010年、2015年和2019年粮食资源承载风险空间分布情况,如图6所示。

2010年有14个省份出现粮食自给不足的情况,2015年有12个省份,2019年仍有11个省份粮食不能满足自给。内蒙古、黑龙江、吉林、山西、安徽、江

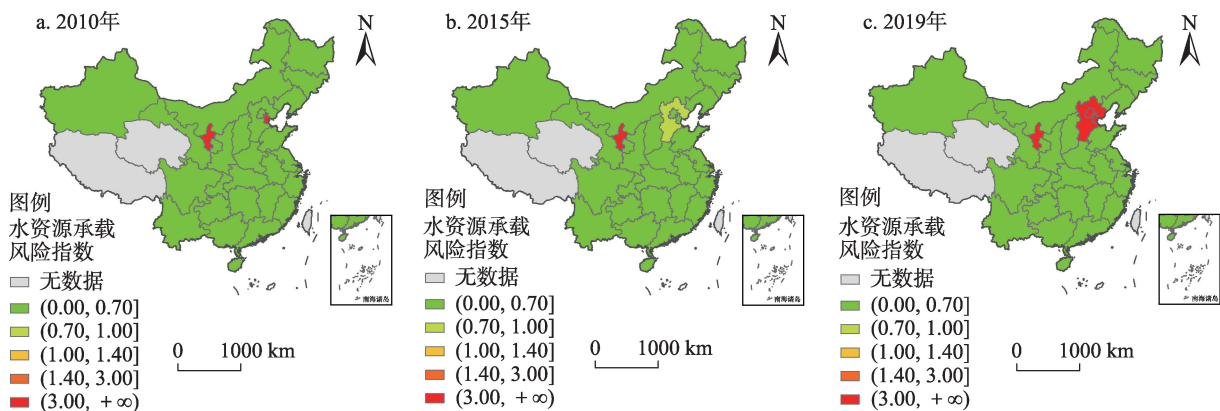


图5 2010—2019年各省份水资源承载风险空间分布

Figure 5 Spatial distribution of water resources carrying risk at the provincial level in China, 2010-2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号的标准地图制作,底图边界无修改。

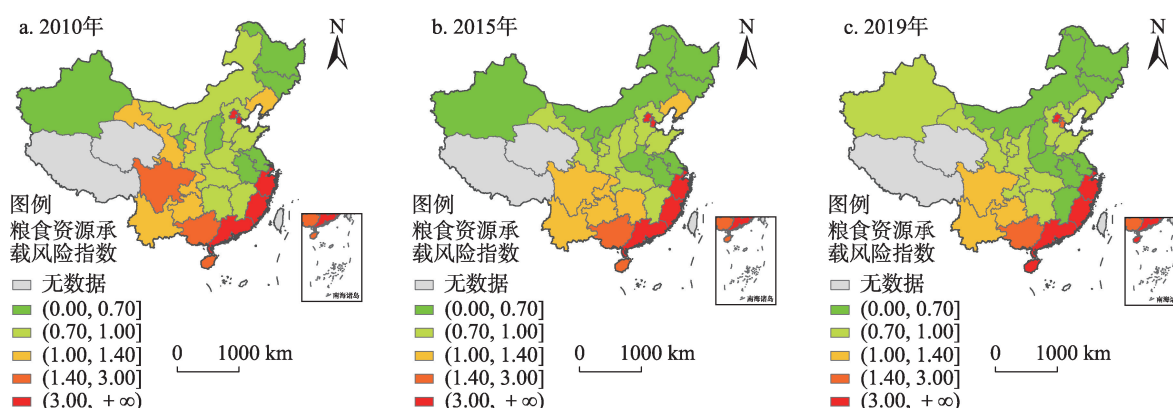


图6 2010—2019年各省份粮食资源承载风险空间分布

Figure 6 Spatial distribution of grain resources carrying risk at the provincial level in China, 2010-2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号的标准地图制作,底图边界无修改。

苏、江西和河南,粮食资源承载风险指数在研究年份中基本在0.50~0.60左右,说明当地自产粮除了能够满足居民口粮外,还有余粮满足畜禽养殖需求,养殖空间较大。河北、湖北、山东粮食资源承载风险指数均位于0.80左右,湖南粮食资源承载风险分指数位于0.99左右,这些省份粮食资源承载风险基本上处于临界水平,仅够满足基本粮食需求,养殖可用粮空间较小。部分养殖重点区域,如云南、四川粮食资源承载风险指数都大于1.00,超过了临界值,说明当地自产粮在满足居民口粮后已无剩余粮食用于养殖,需要从外地调入。北京、天津、上海、广东和浙江等地经济发展水平相对较高,人口相对密集,自产粮食尚无法满足居民口粮需求,需要大量外来粮食补给,养殖业发展不具备粮食资源优势。

#### 4.2.4 畜禽养殖资源承载风险指数(BRCRI)

比较前述3类风险分指数,选择其中最高的风险值作为该地区的畜禽养殖资源承载风险(BRCRI)指数(表3),和高风险要素或“短板”要素(表4)。由于采用供水量计算水资源承载风险相当于掩盖了部分地区的水资源风险,因此,仍然使用以当地水资源禀赋计算出的分指数值。2010年、2015年和2019年的BRCRI值空间分布情况,如图7所示。

从表3、图7可以看出,与2010年相比,2019年全国畜禽养殖资源超载的地区已经有所减少,但整体养殖资源承载风险仍然较大,只有黑龙江、吉林、安徽、江苏和河南5个省份的BRCRI值小于1.00,畜禽养殖的承载空间相对较大。其余大部分

地区仍然处于超载情况,其中耕地资源承载力近10年一直是中国大部分地区养殖业发展的短板(表4)。浙江、福建等省份面临着粮食资源短缺风险,河北和宁夏等省份面临着水资源短缺风险。同时,部分养殖重点省份面临着多重资源短缺的风险,如四川和云南同时面临着耕地资源承载风险和粮食资源承载风险,不但要面临现有耕地不能完全消纳畜禽粪污的问题,还需应对当地粮食资源不足以满足实际畜禽养殖需求的问题。河北作为农业大省,同时面临着耕地资源承载力不足和水资源严重短缺的风险。

#### 4.3 区域养殖资源承载风险空间自相关性

现有研究对于养殖业的空间分析大多关注养殖量的空间分布和集聚特征,少有从养殖资源承载风险的角度对区域风险分布的不平衡性与时空演变进行分析。本文通过对前述3个风险分指数的分析发现,耕地资源承载风险相对较为突出。因此,以下将对全国耕地资源承载风险指数进行空间相关分析。

如表5所示,耕地氮元素承载风险分指数全局莫兰指数 $P$ 值均小于0.010,且 $Z$ 值都大于2.580,说明计算结果在1%的显著水平下显著;耕地磷元素承载风险分指数全局莫兰指数 $P$ 值在1%、5%和10%的显著性水平下显著。同时,耕地氮、磷元素承载风险分指数的莫兰指数全都为正,说明在全国范围内的省份耕地资源承载风险分指数具有很强的集聚性。且风险值高的省份集聚,风险值较小的省份集聚。另外,耕地氮元素承载风险值莫兰指数在

2022年10月

表3 2010—2019年各省份畜禽养殖资源承载风险指数(BRCRI)

Table 3 Livestock and poultry breeding resources carrying risk index (BRCRI) the provincial level in China, 2010-2019

区域	省份	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年
华北地区	内蒙古	3.23	2.93	2.73	2.42	2.49	2.45	2.31	2.22	1.95	1.89
	河北	1.54	1.49	1.48	1.43	1.46	1.43	1.39	1.29	1.26	水
	北京	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮
	天津	水	粮	粮	粮	水	粮	粮	粮	粮	粮
	山西	1.15	1.04	1.07	1.15	1.19	1.32	1.21	1.18	1.14	1.16
东北地区	黑龙江	0.68	0.63	0.62	0.58	0.55	0.55	0.54	0.51	0.48	0.46
	辽宁	2.70	2.38	2.32	2.20	2.68	2.43	2.33	2.02	2.10	1.87
	吉林	1.27	1.09	1.14	1.04	0.75	1.03	0.94	0.81	0.89	0.83
华东地区	安徽	0.84	0.85	0.85	0.87	0.83	0.71	0.79	0.59	0.58	0.56
	江苏	0.94	0.95	0.95	0.89	0.87	0.83	0.83	0.80	0.72	0.50
	上海	粮	水	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮
	浙江	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮
	山东	1.51	1.58	1.63	1.63	1.61	1.57	1.40	1.31	1.30	1.18
	福建	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮
	江西	1.69	1.69	1.73	1.75	1.74	1.75	1.62	1.40	1.43	1.28
	广东	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮	粮
	广西	2.88	2.97	3.27	2.91	2.83	2.84	2.77	2.99	3.02	2.52
华南地区	海南	6.02	4.93	4.80	5.08	5.21	5.25	6.30	6.25	5.73	4.19
	河南	1.51	1.52	1.50	1.45	1.38	1.32	1.26	1.09	1.07	0.95
	湖北	1.87	1.84	1.89	1.87	1.90	1.82	1.87	1.54	1.54	1.33
华中地区	湖南	2.30	2.28	2.34	2.39	2.40	2.41	2.39	2.18	2.18	1.92
	重庆	2.53	2.62	2.67	2.68	2.73	2.74	2.70	2.44	2.41	2.17
	四川	2.76	2.67	2.62	2.51	2.58	2.53	2.40	2.54	2.48	2.14
西南地区	贵州	3.09	4.19	3.27	3.62	3.28	3.51	3.07	3.18	3.98	3.78
	云南	4.79	4.59	4.78	4.75	4.87	4.96	3.83	3.83	3.86	3.44
	陕西	1.51	1.48	1.45	1.54	1.62	1.79	1.70	1.61	1.56	1.53
	甘肃	3.20	3.26	2.90	3.06	2.99	2.46	2.76	2.74	2.70	2.70
西北地区	宁夏	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
	新疆	1.82	1.84	1.93	1.78	1.91	1.83	2.20	2.33	2.32	2.39

注:表中没有数据的表示相应资源要素在该年份的养殖可用量为0,要素极度短缺。

表4 2010年和2019年各省份畜禽养殖资源承载高风险(短板)要素

Table 4 High risk factors of breeding resources carrying at the provincial level in China, 2010-2019

短板要素	2010年	2019年
耕地资源承载力	内蒙古、河北、北京、天津、山西、辽宁、吉林、上海、浙江、山东、福建、江西、广东、广西、海南、河南、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州、陕西、甘肃、宁夏、新疆	内蒙古、河北、北京、天津、山西、辽宁、上海、浙江、山东、福建、江西、广东、广西、海南、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州、陕西、甘肃、宁夏、新疆
水资源承载力	宁夏、天津	宁夏、河北、北京、天津
粮食资源承载力	北京、天津、辽宁、上海、浙江、福建、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南	北京、天津、上海、浙江、福建、广东、广西、海南、四川、贵州、云南

2010—2019年虽呈现波动状态,但整体呈增加趋势,说明风险值空间集聚程度在一直增强。

鉴于耕地氮元素承载风险分指数相关性较强,

均通过1%的显著性检验,因此,计算各年份耕地氮元素承载风险分指数的局部莫兰指数分析其内部省份的集聚特征,如图8所示。结合局部莫兰指数



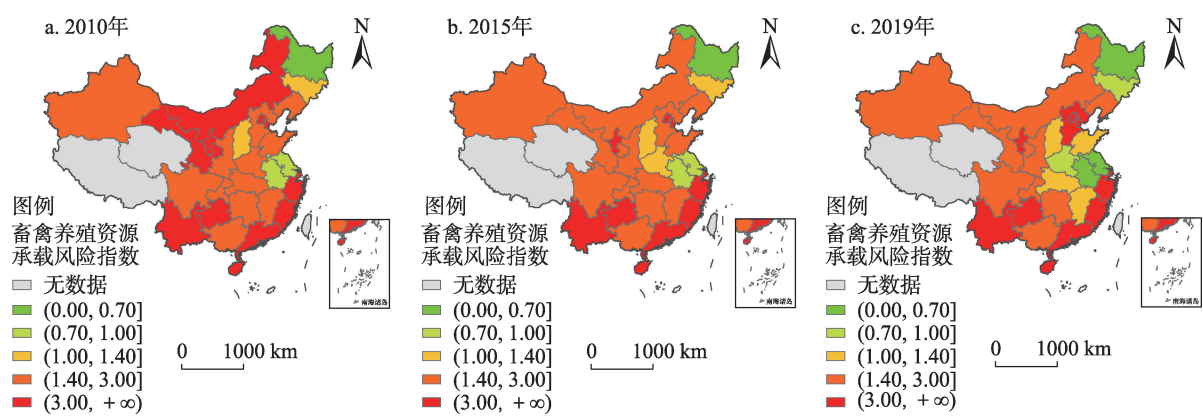


图7 2010—2019年各省份畜禽养殖资源承载风险指数(BRCRI)空间分布

Figure 7 Spatial distribution of breeding resources carrying risk index(BRCRI) the provincial level in China, 2010-2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号的标准地图制作,底图边界无修改。

表5 2010—2019年中国耕地资源承载风险指数的全局莫兰指数

Table 5 Global Moran's *I* index of China's cultivated land carrying risk index, 2010-2019

年份	耕地氮元素承载风险指数			耕地磷元素承载风险指数		
	Moran's <i>I</i>	<i>P</i> 值	<i>Z</i> 值	Moran's <i>I</i>	<i>P</i> 值	<i>Z</i> 值
2010	0.303	0.001***	3.017	0.217	0.014**	2.190
2011	0.384	0.000***	3.620	0.266	0.005***	2.605
2012	0.395	0.000***	3.726	0.294	0.002***	2.892
2013	0.362	0.000***	3.436	0.215	0.013**	2.225
2014	0.272	0.003***	2.715	0.152	0.035*	1.818
2015	0.317	0.001***	3.083	0.173	0.023*	1.997
2016	0.261	0.004***	2.657	0.144	0.035*	1.814
2017	0.312	0.001***	3.094	0.178	0.018**	2.087
2018	0.430	0.000***	4.081	0.300	0.002***	2.964
2019	0.433	0.000***	3.999	0.332	0.001***	3.166

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%,5%,10%显著性水平下显著。

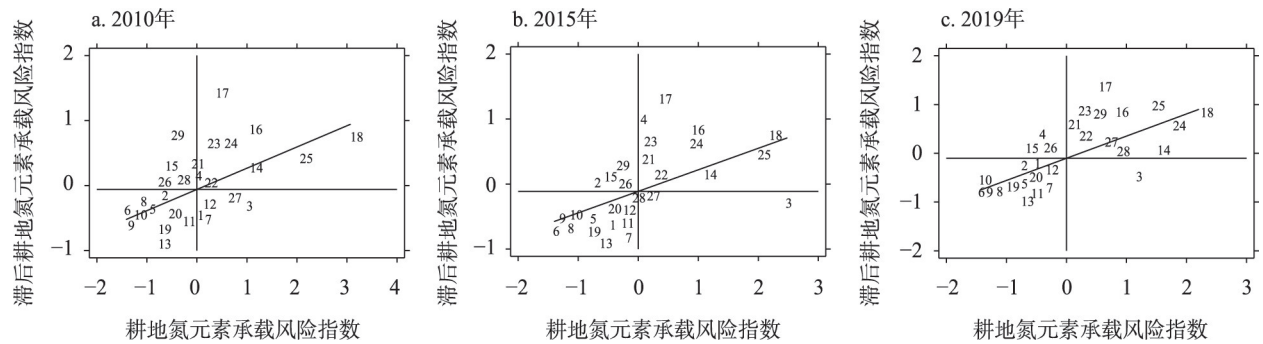


图8 2010—2019年耕地氮元素承载风险局部莫兰指数图

Figure 8 Local Moran's *I* diagram of nitrogen carrying risk of cultivated land, 2010-2019

注:图中第一象限表示“高-高”型集聚,第二象限表示“高-低”型集聚,第三象限表示“低-高”型集聚,第四象限表示“低-低”型集聚。数字表示的含义为:1内蒙古,2河北,3北京,4天津,5山西,6黑龙江,7辽宁,8吉林,9安徽,10江苏,11上海,12浙江,13山东,14福建,15江西,16广东,17广西,18海南,19河南,20湖北,21湖南,22重庆,23四川,24贵州,25云南,26陕西,27甘肃,28宁夏,29新疆。

2022年10月

可知,西北、西南、华南等地区大多省份具有“高-高”型耕地氮元素承载风险集聚特征,即省份与周围邻近省份耕地氮元素承载风险均较高;相较于以上地区,东北,华东,华北等地区大多省份具有“低-低”型集聚特征,省份与周围邻近省份耕地氮元素承载风险均较低,具有典型的空間集聚特征。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

本文基于“短板理论”构建了畜禽养殖资源承载风险指数,从畜禽养殖耕地资源承载风险、水资源承载风险和粮食自给风险3个维度评估了全国各省市的畜禽养殖资源承载风险,得出如下结论:

(1)耕地资源承载风险是中国大部分地区养殖业发展面临的主要问题,且存在较高的风险集聚性。整体来看风险呈下降趋势,华南和西南地区风险高于其他区域。东北地区作为养殖业的鼓励发展区虽然整体风险较小,但仍有风险较大的辽宁和处于临界状态的吉林;华中、华南、西南和华北地区仍然处在超载水平,但整体风险水平呈下降趋势;西北地区风险水平没有明显的降低,陕西、宁夏和新疆地区风险水平甚至有显著增加。同时,耕地资源承载风险在全国范围内具有较强的空间相关性,且空间集聚分布特征较为稳定。“高-高”集聚区主要集中在西北、西南及华南地区,“低-低”集聚区主要分布在东北、华东及华北等地。另外,近几年耕地资源承载风险集聚程度在一直增强,这种空间异质性的增加也反映出中国南北地区耕地资源承载风险差异扩大的趋势。

(2)水资源约束是中国北方地区畜禽养殖资源承载风险的最大短板。水资源要素在华中、华南、西南等地区相对比较充裕,在评估年份中没有出现风险值大于1的地区。但对于华北和西北尤其是华北地区,水资源就成为了相对较突出的稀缺要素。北方地区作为中国主要粮食生产基地和养殖重点地区,在评估中显示出不同程度的缺水风险。京津冀、山东和甘肃在多个年份出现了水资源甚至不能满足基本用水需求的情况,已经存在过度利用的问题,如果继续扩大养殖规模将进一步加大水资源短缺,尤其是给地下水资源安全带来更大的风险。虽然外来供水可以在一定程度上缓解水资源短缺,但过度依靠外来水本身也是极大的风险。

(3)养殖重点发展区域普遍资源承载风险较高,存在资源要素短缺的风险。中国的养殖布局经过近年来的调整,目前仍然显著集中在河南、山东、四川等中西部省份。养殖当量排名前五的河南、山东、四川、云南和湖南,始终占到养殖总量的37%左右,这些地区作为养殖重点发展区域,虽然有相对充裕的资源要素,但也有“短板”要素,他们的BRCRI值近年来基本都在1.00以上。畜禽养殖主要调出地区如浙江、江苏等省份,养殖当量在2015年后显著下降,养殖资源承载风险也在持续下降。从历史和现实的角度来看,由于畜牧业产值相对较低,往往意味着畜牧大省在长期中牺牲了部分经济发展的机会,存在较大的机会成本,同时还承担了更多的资源环境成本。区域养殖发展的不平衡以及由此带来的生产和消费的不对等虽然是整体布局调整的必然结果,但无论从经济成本还是资源环境成本来看,仍不可忽略其导致了一定程度的区域不公平性。

### 5.2 政策建议

基于上述结论,提出如下政策建议:

(1)建立养殖资源承载风险动态评估体系,包括养殖安全标准或标杆制度,尤其应关注最稀缺的“短板”要素,并将其作为最重要的风险警示要素,基于此构建分层次、分类别、分地区的资源承载风险预警体系及风险响应机制。本文中部分地区承载风险呈现波动状况,如未能及时识别和防范,长期内易导致风险集聚或扩大甚至局部资源退化。因此,通过养殖资源承载风险长期评估和预警体系,有助于减少潜在风险发生。同时,应将“短板理论”作为底线原则应用在区域养殖业规划中。综合考虑资源、环境、社会和经济等多要素系统的优势和劣势,尤其要将最稀缺要素而不是最丰富要素作为确定区域养殖上限的依据,即并不仅仅是“以地定养”“以水定养”或“以粮定养”,而应是“以短定养”。

(2)推进畜禽粪便资源化利用,坚持种养结合是降低耕地资源承载风险的重要途径。当前稳定农业产出以及持续提高生态资源有效利用和保护水平的多重目标下,需要不断改进农业生产模式。《全国农业现代化规划》(2016)、《“十四五”全国农业绿色发展规划》等文件均明确提出“发展种养结

合循环农业”。将种植业和养殖业有机结合,不仅可以实现消纳养殖粪污、减少种植化学品投入、改善土壤质量的多重目标,同时也是促进农业减排固碳的重要途径,是农业实现绿色发展最基本也是最有效的形式。当前应积极推进不同区域和多层面主体尺度上的种养结合,根据地方特点探索有效的种养模式。

(3)完善跨区域生态补偿机制与资源环境协作机制,处理好整体和局部的关系。对于资源承载风险仍然较高的地区,一方面,应客观评价并科学规划,防范本地养殖风险,同时不断探索农业绿色发展道路,寻求保增长和保资源环境双重目标的实现;另一方面,保产量作为中国当前农业安全的最重要目标,强调区域统筹规划,有些养殖风险较大的地区出于整体考虑仍需维持一定的生产规模,未来甚至还会有所增长,进而面临更高的潜在风险,这种情况下进行跨区域补偿无论是出于公平性还是农业生产保障来说都非常有必要。在中国当前实施的区域重大战略如京津冀协同发展战略、长江经济带发展战略的背景下,跨地区生态补偿也是促进生态共建共治共享的有效措施。同时,本文中养殖资源承载风险呈现出很强的空间集聚特征,这种集聚性具有双重效应,既可能放大风险也有利于推进实现区域内更有效率的发展规划。因此,积极推进中央政府主导、地方参与的资源环境协作机制建设,对于在更大区域范围内降低养殖业潜在风险具有更高的成本有效性。

### 5.3 讨论

首先,本文基于“短板理论”,只选取最基础的3项资源要素,只考虑最基本的资源需求,试图以最简单的思路说明“底线原则”的重要性,因此,并没有将所有的资源环境要素纳入评估范围,没有涉及更高级的社会经济发展目标,也没有涉及工业、服务业等其他行业的资源消耗,但即使在这样宽松的假设下,仍然得出部分地区发展养殖业面临着资源超载风险的结论,如果将更多行业的资源消耗考虑进去,养殖业将会面临更大的风险,因此本文最大的价值在于逻辑思路而不是具体的风险分析结果。其次,本文作风险评估的目的主要是起到风险警示的作用,评估结论并不意味着风险较低的省份可以无限制养,风险较高的省份就绝对不能养。潜

在风险并不意味着风险必然发生,无论是风险较高还是较低的地区,在进行区域养殖规划时都应高度重视短板要素,采取措施防范由此带来的风险。最后,本文虽然仅从养殖资源承载风险出发,但本文构建的评估方法和底线思维逻辑可以应用在更广泛的领域。在实际中,具体的行业发展规划以及区域综合发展规划的制定尤其需要遵循这种“底线思维”和“短板原则”。

### 参考文献(References):

- [1] 辛翔飞,刘锐,王济民.破除自给率越高粮食越安全的迷思[J].农业经济问题,2020,(10):19-31.[Xin X F, Liu R, Wang J M. Development and enlightenment of new China's grain security in the past 70 years: Based on the evolution of the relationship between grain self-sufficiency rate and grain security[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020, (10): 19-31.]
- [2] 金书秦,韩冬梅,吴娜伟.中国畜禽养殖污染防治政策评估[J].农业经济问题,2018,(3):119-126.[Jin S Q, Han D M, Wu N W. Evaluation on prevention policies for livestock and poultry pollution in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2018, (3): 119-126.]
- [3] 周芳,琼达,金书秦.西藏畜禽养殖污染现状与环境风险预测[J].干旱区资源与环境,2021,35(9):82-88.[Zhou F, Qiong D, Jin S Q. Pollution status and environmental risk prediction of livestock breeding in Tibet[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(9): 82-88.]
- [4] 龚世飞,丁武汉,居学海,等.典型农业小流域面源污染源解析与控制策略:以丹江口水源涵养区为例[J].中国农业科学,2021,54(18):3919-3931.[Gong S F, Ding W H, Ju X H, et al. Source analysis and control strategies of non-point source pollution in typical agricultural small watershed: A case study of Danjiangkou Water Conservation Area[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(18): 3919-3931.]
- [5] 张藤丽,焉莉,韦大明.基于全国耕地消纳的畜禽粪便特征分布与环境承载力预警分析[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(5):745-755.[Zhang T L, Yan L, Wei D M. Characteristic distribution of livestock manure and warning analysis of environmental carrying capacity based on the consumption of cultivated land in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(5): 745-755.]
- [6] 王如如,房艳刚,刘建志.中国市域生猪生产时空演变特征及影响因素[J].农业现代化研究,2020,41(5):852-862.[Wang R R, Fang Y G, Liu J Z. The spatio-temporal evolution characteristics and the influencing factors of China's hog industry[J]. Research of Agricultural Modernization, 2020, 41(5): 852-862.]



2022年10月

- [7] 侯麟科, 仇焕广, 崔永伟, 等. 环境污染与畜牧业空间布局研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(12): 65–69. [Hou L K, Qiu H G, Cui Y W, et al. Research on environmental pollution and spatial layout of livestock sector[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(12): 65–69.]
- [8] 侯春香, 张越杰. 基于Logit-ISM模型的肉牛养殖户粪污资源化利用行为及影响因素分析: 以蒙、黑、吉三省为例[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(1): 33–40. [Hou C X, Zhang Y J. Analysis of manure resource utilization behavior of beef cattle farmers based on Logit-ISM model[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(1): 33–40.]
- [9] 孙翔, 王玢, 董战峰, 等. 基于粪污资源化利用的农田养殖最大承载量估算: 以九洲江流域为例[J]. 生态经济, 2021, 37(10): 123–128. [Sun X, Wang B, Dong Z F, et al. Estimation of the maximum carrying capacity of farmland based on the utilization of excrements of livestock: A case study of Jiuzhou River Basin[J]. Ecological Economy, 2021, 37(10): 123–128.]
- [10] 石晓晓, 郑国砥, 高定, 等. 中国畜禽粪便养分资源总量及替代化肥潜力[J]. 资源科学, 2021, 43(2): 403–411. [Shi X X, Zheng G D, Gao D, et al. Quantity of available nutrient in livestock manure and its potential of replacing chemical fertilizers in China[J]. Resources Science, 2021, 43(2): 403–411.]
- [11] 吴荣康, 潘芳慧, 常佳悦, 等. 河南省畜禽粪便的耕地污染及其未来风险预测[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(2): 233–242. [Wu R K, Pan F H, Chang J Y, et al. Livestock and poultry manure pollution and its future risk forecasting on farmland in Henan Province[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2021, 47(2): 233–242.]
- [12] 付强, 尹佳文, 杨红新, 等. 种养平衡理念下中国区域农田畜禽承载风险情景分析[J]. 经济地理, 2020, 40(1): 164–172. [Fu Q, Yin J W, Yang H X, et al. The senario analysis of China's regional livestock carrying capacity risk of farmland under the principle of planting–breeding balancing[J]. Economic Geography, 2020, 40(1): 164–172.]
- [13] 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.]
- [14] 王忙生, 张双奇, 杨继元, 等. 丹江上游商洛市畜禽粪便排放量与耕地污染负荷分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(12): 1898–1907. [Wang M S, Zhang S Q, Yang J Y, et al. Livestock manure emission and cultivated land pollution load in the midst upstream of Danjiang River in Shangluo City[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(12): 1898–1907.]
- [15] 冷碧滨, 吉雪强, 涂国平, 等. 中国生猪大规模养殖环境承载力评价研究[J]. 统计与信息论坛, 2018, 33(5): 67–72. [Leng B B, Ji X Q, Tu G P, et al. Evaluation of environmental carrying capacity of pig breeding in China[J]. Journal of Statistics and Information, 2018, 33(5): 67–72.]
- [16] 王兆峰, 周颖. 长江经济带生态环境承载状态分析及其影响因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(6): 1293–1301. [Wang Z F, Zhou Y. Analysis on carrying state of ecological environment of Yangtze River Economic Belt and its influencing factors[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(6): 1293–1301.]
- [17] 梁书民. 精饲料流通最优化研究: 基于空间均衡模型和GIS网络分析[J]. 农业技术经济, 2010, (1): 80–87. [Liang S M. Study on optimization of concentrated feed circulation: Based on spatial equilibrium model and GIS network analysis[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2010, (1): 80–87.]
- [18] 胡钰, 张斌, 谷保静, 等. 推进种养结合的制约因素及政策建议[J]. 中国乳业, 2021, (11): 149–154. [Hu Y, Zhang B, Gu B J, et al. Constraints and policy recommendations on promoting combination of planting and breeding[J]. China Dairy, 2021, (11): 149–154.]
- [19] 杨正先, 索安宁, 张振冬, 等. “短板效应”理论在资源环境承载能力评价中的应用及优化研究[J]. 海洋环境科学, 2018, 37(4): 602–607. [Yang Z X, Suo A N, Zhang Z D, et al. Application and development countermeasures of “buckets effect” in the assessment of resources and environment carrying capacity[J]. Marine Environmental Science, 2018, 37(4): 602–607.]
- [20] 熊跃辉. 发挥环保标准在生态保护红线中的支撑作用[J]. 环境保护, 2014, 42(1): 22–25. [Xiong Y H. Give play to the supporting role of environmental protection standards in the ecological protection red line[J]. Environmental Protection, 2014, 42(1): 22–25.]
- [21] Bai Z H, Ma L, Jin S Q, et al. Nitrogen, phosphorus, and potassium flows through the manure management chain in China[J]. Environmental Science & Technology, 2016, 50(24): 13409–13418.
- [22] 胡钰, 金书秦, 吴娜伟, 等. 畜禽养殖业布局调整政策环境风险评估: 以黑龙江省为例[J]. 环境保护, 2019, 47(6): 61–64. [Hu Y, Jin S Q, Wu N W, et al. Environmental risk assessment of livestock breeding layout adjustment policy: Taking Heilongjiang Province as an example[J]. Environmental Protection, 2019, 47(6): 61–64.]
- [23] 余灏哲, 李丽娟, 李九一. 基于量–质–域–流的京津冀水资源承载力综合评价[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 358–371. [Yu H Z, Li L J, Li J Y. Evaluation of water resources carrying capacity in the Beijing–Tianjin–Hebei region based on quantity–quality–water bodies–flow[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 358–371.]
- [24] 张翔宇. 中国粮食安全观的发展趋势: 评《中国粮食安全: 战略与对策》[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(11): 165. [Zhang X Y. The development trend of China's food security concept: Comment on China's food security: Strategy and countermeasures[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(11): 165.]

## Resources carrying risk of livestock and poultry breeding in China based on the short board theory

HAN Dongmei, WANG Gang, TIAN Xiaoyu

(School of Economics, Hebei University, Baoding 071002, China)

**Abstract:** As an important part of China's agricultural industry, livestock and poultry breeding industry is currently facing the dual challenges of stable production capacity and environmental protection constraints. Under the background of continuous adjustment of livestock and poultry breeding industry layout, the resulting risk of local and regional resources overload must be paid more attention to. In this study, we constructed a breeding resources carrying risk index (BRCRI) based on the short board theory, examined the breeding resources carrying risk and the factors of "short board" in all regions of China from 2010 to 2019, and analyzed the agglomeration of regional risk values using the spatial autocorrelation method. The following conclusions were drawn: (1) The cultivated land resources carrying risk was the main problem in most areas of China for the development of breeding industry, and there are a high risk concentration. The overall risk was declining, while the risk in South China and Southwest China was higher than that in other regions; (2) Water resource was the most significant short board factor of breeding resources carrying capacity in northern China, especially in Beijing-Tianjin-Hebei region; (3) The risk of resources carrying was generally higher in those key areas for breeding development, and there is always a risk of resources shortage in these regions. The following recommendations were put forward. First, a long-term risk assessment and early warning system for the regional breeding resources carrying capacity should be established and the scarcest resource element should be the most important warning elements. The principle of breeding scale determined by the scarcest resources should be adopted in the regional breeding planning; Secondly, promoting the resource utilization of livestock and poultry manure and adhering to the combination of planting and breeding are the most important ways to reduce the cultivated land resources carrying risk; Finally, the cross-regional ecological compensation and resource-environmental cooperation mechanism should be improved in order to better coordinate the relationship between the whole and the part. In this process, the breeding key areas with high breeding resources carrying risk should be paid special attention to.

**Key words:** livestock and poultry breeding; breeding industry layout; resources carrying capacity; resource and environmental risk; risk assessment method; short board theory; China