

姜冰, 汤文洁, 崔力航, 等. 精准畜牧业研究脉络、主题演进与趋势展望 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (3): 132-143.

JIANG B, TANG W J, CUI L H, et al. Research on precision livestock farming: context, theme evolution and trend outlook [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (3): 132-143.

## 精准畜牧业研究脉络、主题演进与趋势展望

姜冰<sup>1,2</sup>, 汤文洁<sup>1</sup>, 崔力航<sup>1</sup>, 包军<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150030;

2. 东北农业大学现代农业发展研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 精准畜牧业应用信息技术实时监控和管理动物, 改善其健康、福利、生产力和环境影响, 促进畜牧业可持续发展, 已成为多学科关注的重要议题。为厘清精准畜牧业研究的知识演变和热点更替情况, 本研究基于 2003—2022 年 Web of Science 和 CNKI 数据库收录的相关文献数据, 利用 CiteSpace 工具提取国家、机构、作者、关键词等信息绘制图谱, 以可视化的方法展示精准畜牧业的研究进展, 探测其研究的主要特征、研究脉络及热点主题。结果表明: 国内外精准畜牧业研究发文数量呈增长趋势, 欧美发达国家发文数量较高且国际合作密切, 各国高校是研究的主要力量, Berckmans Daniel 是全球研究的领军者, 何东健是国内研究的有力推动者, 研究主要涉及动物科学、兽医学、计算机科学、农业工程等学科; 国外研究热点是智能系统和机器学习, 研究方向集中在计算机视觉、机器学习和动物福利, 研究前沿为动物形态; 国内研究热点是物联网和机器视觉, 研究方向集中在物联网、精准奶牛养殖和信息化, 研究前沿包括行为识别、深度学习和目标检测。未来精准畜牧业研究应加强机构、学者间的交流与合作、注重多学科与多方法结合研究, 并加强计算机视觉、机器学习、物联网、深度学习等技术的应用。

**关键词:** 精准畜牧业; 动物福利; 文献计量; CiteSpace

**中图分类号:** S811 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2024)03-0132-12

## Research on precision livestock farming: context, theme evolution and trend outlook

JIANG Bing<sup>1,2\*</sup>, TANG Wenjie<sup>1</sup>, CUI Lihang<sup>1</sup>, BAO Jun<sup>1</sup>

(1. College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. Research Center for Modern Agricultural Development, Northeastern Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Precision livestock farming (PLF) applies information technology to real-time monitoring and management of animals, which can improve the health, welfare, productivity and environmental impact of individuals. PLF can enhance the sustainability of animal husbandry and has become an important topic of multidisciplinary interest. In order to clarify the knowledge evolution and hotspot turnover of PLF research, this study uses CiteSpace to extract information concerning countries, institutions, authors, and keywords to draw graphs based on the PLF-related literature included in the Web of Science and the CNKI database from 2003 to 2022, to visualize the research progress in the field of PLF and to detect the main features, contexts and hot topics of research. The results show that the publications in PLF are increasing both domestically and internationally. Developed countries in Europe and America have a high number of publications and close international cooperation, and the universities in each country are the main force in this kind of research. Berckmans Daniel is the global leader in this research and He Dongjian is a significant driving force in domestic research. This research mainly focuses on animal science, veterinary medicine, computer science, and agricultural engineering. The research hotspots in foreign studies revolve around intelligent systems and machine learning. Key research areas focus on computer vision, machine learning, and animal welfare, with cutting-edge investigations centering on animal shape. Meanwhile, domestic research priorities include the Internet of Things (IoT) and machine vision. Domestic studies emphasize IoT, precision dairy farming, and information technology, with frontiers encompassing behavior recognition, deep learning, and target detection. Future research on PLF should strengthen communication and cooperation among institutions and researchers, focus on multi-disciplina-

收稿日期: 2023-05-29; 修回日期: 2023-12-25

基金项目: 黑龙江省哲学社会科学规划一般项目 (22JYB223)

第一作者: 姜冰, 女, 博士, 副教授, 研究方向: 畜牧经济理论与政策, E-mail: jiangbing2020@163.com。

ry and multi-method research, and promote application of computer vision, machine learning, IoT, and deep learning.

**Keywords:** precision livestock farming; animal welfare; bibliometrics; CiteSpace

随着动物源产品消费需求提高, 畜禽养殖规模不断扩大, 基于养殖户的观察、判断和经验的传统牧场管理决策难以满足现代规模化畜牧业发展要求<sup>[1]</sup>。因此, 以信息技术为支撑的精准养殖成为现代畜牧业发展的必然趋势。

精准畜牧业结合精准农业的技术思想, 通过各种传感器和执行装置, 提高养殖户对大规模畜禽养殖的管理能力, 是精准农业概念在畜牧业系统中的体现<sup>[2]</sup>。Berckmans Daniel 最早提出精准畜牧业的概念, 认为精准畜牧业指连续、直接、实时监测或观察动物状态, 使养殖者及时发现和控制与动物健康和福利相关的问题<sup>[3]</sup>。随着学者探究精准畜牧业逐渐深入, 对其概念界定也逐渐得到了更加统一的认知。精准畜牧业将过程工程原理和技术、信息技术应用于畜牧业, 是用于实时监测和控制动物健康、福利、生产、繁殖和环境影响的一系列技术<sup>[4-5]</sup>。它旨在向养殖户提供相关信息作为管理决策的依据, 以提高对大规模畜禽的管理能力, 实现经济、社会和环境可持续发展的养殖<sup>[2,4]</sup>。结合上述概念, 本研究认为精准畜牧业是以信息技术为支撑, 以实时数据收集和分析为基础, 以动物个体信息和行为的智能感知与分析为核心, 以提高动物生产效率, 改善动物福利为目标的一系列精细管理畜禽的方法。

源于信息技术、数据科学、人工智能技术集成应用和现代畜牧业创新发展的迫切需要, 我国畜牧业快步进入集成整合和融合创新的新阶段<sup>[6]</sup>。国家高度重视精准畜牧业技术发展, 2012年国务院印发的《关于加快推进农业科技创新持续增强农产品供给保障能力的若干意见》中提出, 要在精准农业技术方面取得重大突破; 2020年国务院办公厅印发的《关于促进畜牧业高质量发展的意见》中明确提出, 要加强大数据、人工智能、云计算、物联网、移动互联网等技术在畜牧业的应用, 提高圈舍环境调控、精准饲喂、动物疫病监测等智能化水平。在政策推动下, 畜牧业精准技术的研发与应用受到了广泛的关注。近年来我国精准畜牧业研究在动物呼吸频率检测、个体识别及行为分析等方面取得较大进展, 在动物体尺、体重的自动化检测方面做了大量改进与创新<sup>[7-8]</sup>, 并对禽畜舍内环境监控、预测的设备和算法等进行了优化<sup>[9-10]</sup>。

精准畜牧业是一个多学科命题, 主要从动物科学、兽医学、计算机科学、农业工程4个视角展开研究。动物科学视角下重点研究传感器和智能监测系统

对动物行为、生理状态和环境因素的实时监测和分析, 以优化动物的饲养与管理; 兽医学视角下关注动物疾病智能预防与诊断; 计算机科学视角下研究传感器网络、人工智能、计算机视觉等技术在动物数据监测、挖掘和收集方面的应用; 农业工程学视角下主要关注畜牧业机械化及其自动化技术的研发与利用, 以帮助养殖户更好地管理动物群体。现有研究主要从自然科学角度开展关于精准畜牧业技术层面的探索, 但对其基础知识演变和研究热点更替展开的探讨不足, 难以反映精准畜牧业研究动态、主题与未来趋向。鉴于此, 本研究利用可视化工具 CiteSpace, 以 2003—2022 年 Web of Science (WoS) 和 CNKI 数据库中的精准畜牧业相关文献为研究对象, 绘制研究国家分布、机构合作、作者合作以及关键词共现等知识图谱, 客观揭示国内外在精准畜牧业领域的研究动态、发展过程及演变趋势, 挖掘研究的前沿与热点, 为我国精准畜牧业未来的发展方向提供思路和国际视野。

## 1 数据采集

在 WoS 数据库设置检索条件为: TS = (big data OR artificial intelligence OR cloud computing OR IOT OR Blockchain OR 5G OR machine vision OR machine learning OR robot) AND TS = (livestock); TS = (precision livestock farming), 检索时间为“2003-01-01—2022-12-31”, 引文索引限定为“SCI-EXPANDED”、“SSCI”, 删除 news、meeting abstract、letter 和其他不相关的记录, 去除重复文献后, 共获得 1 167 篇文献; 在 CNKI 数据库设置检索条件为: 主题 = (大数据 OR 人工智能 OR 云计算 OR 物联网 OR 区块链 OR 5G OR 机器视觉 OR 机器学习 OR 机器人 OR 智能 OR 精准 OR 自动 OR 精准畜牧业), 文献分类目录限定为“农业科技”下的“畜牧与动物医学”, 检索时间为“2003-01-01—2022-12-31”, 期刊来源类别限定为核心期刊、CSSCI、CSCD, 删除书评、新闻报道和其他不相关的记录, 共获得 524 篇文献。

## 2 数据统计分析方法

文献计量学用数学和统计学方法对文献信息进行定量分析, 广泛应用于文献量统计、作者、期刊等影响评价、学术热点跟踪等领域, 可以更客观地分析学术研究的进展<sup>[11]</sup>。CiteSpace 是由美国德雷塞尔大学陈超美教授基于 Java 语言开发的一项信息可视化工具

具,该软件基于共引分析理论、寻径网络算法和最小生成树算法等,可对特定文献数据进行计量分析,以探寻该领域演化的关键路径及其知识拐点,并通过绘制一系列可视化图谱来形成对学科演化潜在动力机制的分析和学科发展前沿的探测<sup>[12]</sup>。

本研究选用文献计量学中的科学知识图谱法和经验定律,借助可视化工具 CiteSpace (6.2.R2),对精准畜牧业研究进行可视化分析,包括发文数量、研究国家、研究机构、核心作者、核心期刊以及关键词共现、聚类 and 突现分析,通过绘制相关知识图谱与图表,梳理和总结精准畜牧业的研究现状、热点与动态前沿。

### 3 结果与分析

#### 3.1 主要特征

##### 3.1.1 发文数量时序分析

从总体趋势来看(图1),2003—2022年,精准畜牧业发文数量呈增加态势,说明该研究的关注度逐步上升,且国外发文数量增加态势明显高于国内。

根据发文数量的变化轨迹,国外精准畜牧业研究可划分为3个阶段,即平稳起步期(2003—2007年),波动增长期(2008—2016年)和快速发展期(2017—2022年)。在平稳起步阶段,受畜牧业发展水平以及信息技术认识水平限制,国外精准畜牧业的研究内容较少,主要讨论动物的个体识别、自动称重以及奶牛自动挤奶等技术<sup>[13]</sup>。在波动增长阶段,人们对动物健康和福利问题的关注增加,动物行为监测与分析成为研究重点<sup>[14]</sup>,机器学习系统在畜牧分类、模式识别、优化和前瞻性预测等方面的相关研究逐渐增多<sup>[15]</sup>。随着大数据、云计算等技术逐渐成熟,加之生产需求和动物数量的增加,人工管理动物难度加大<sup>[5]</sup>,国外精准畜牧业研究的发文数量呈现快速增长趋势。2017—2022年刊文量达955篇,占国外文献总量的81.83%,机器学习、计算机视觉等人工智能在畜牧业中的开发利用愈发受到学者关注,国外精准畜牧业研究进入快速发展阶段。

国内精准畜牧业研究可划分为缓慢增长期(2003—2009年)和波动增长期(2010—2022年)。在缓慢增长阶段,发文数量较少,畜禽舍环境监测<sup>[16]</sup>(温度、湿度、氨气浓度等)是主要研究方向,同时电子标识<sup>[17]</sup>、饲喂机器人<sup>[18]</sup>等也受到关注。在波动增长阶段,学者们在畜禽行为监测和识别<sup>[19]</sup>、畜禽疾病预防和健康监测<sup>[20]</sup>等方面的研究成果不断涌现,物联网、机器视觉和深度学习等先进技术为畜牧业智能化提供了重要支持,其应用逐渐广泛。

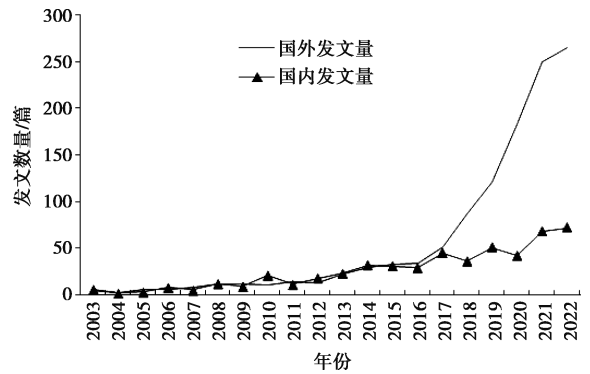


图1 2003—2022年精准畜牧业研究发文数量

##### 3.1.2 国家分布特征分析

将 WoS 文献数据导入 CiteSpace 软件中,功能选择区节点类型设置为 country,阈值设置为 21,得到国家共现网络。国家间联系整体呈现团簇状分布,共有 93 个节点,664 个连接,国家合作网络的密度为 0.155 2,说明该领域的国际合作较强。发文数量排名前 5 位的国家分别为美国(220)、中国(163)、英国(130)、意大利(112)和德国(101),均为畜牧生产大国,精准畜牧业研究主要集中在发达国家。其中,美国作为畜牧业发展现代化程度最高的国家,其精准畜牧业研究在世界上处于领先地位<sup>[21]</sup>。中国是世界第一大畜牧业生产国,其畜牧业正向规模化和现代化方向发展,对信息化和智能养殖技术的需求不断提高。2016 年以来,中国启动了畜禽养殖智能感知关键技术与装备、畜禽养殖智能装备与信息化技术研发等重点研发计划项目,相关企业和科研院校也围绕智慧畜牧业和无人牧场等开展了多层次的研发与实践。

节点的中心性可以量化其在网络中的重要性<sup>[22]</sup>。英国、美国、德国和意大利是精准畜牧业领域具有关键影响的前 4 个国家。其中,英国和美国的国际影响力尤为明显,中心性分别为 0.24 和 0.22;中国和巴西(90)发文数量虽高,但中心性分别为 0.07 和 0.01;相较之下,法国(73)、荷兰(69)和西班牙(67)发文数量虽不如中国和巴西,但其中心性均为 0.11。欧美发达国家精准畜牧业研究起步早,在相关技术开发与应用方面更具有经验,国家间的交流合作较为密切,发展中国家在精准畜牧业跨国合作方面有待进一步加强。

##### 3.1.3 研究机构特征分析

对研究机构的结构特征进行分析,可以识别该领域的核心机构并进一步了解机构间的合作情况<sup>[23]</sup>。在 CiteSpace 功能选择区中设置节点类型为 institution,得到精准畜牧业研究机构的共现网络。

对国外研究机构共现网络进行分析,法国国家农业食品与环境研究院(57)、鲁汶大学(42)、瓦赫宁根大学(39)、中国农业大学(28)和美国农业部(26)等机构发文数量较高,是精准畜牧业研究的代表性机构。其中,法国国家农业食品与环境研究院作为世界顶级的农业、食品和环境领域研究机构,在精准畜牧业研究中发挥重要作用。鲁汶大学作为欧洲顶尖高等学府,其机械工程学科排名位于世界前列,在畜牧业工程技术研发方面实力强劲。瓦赫宁根大学作为世界顶级的农业和环境科学研究机构,其农业科学、植物与动物科学和环境科学等学科在全球高校教育水平中均排名第一。中国农业大学作为中国农业最高学府,依托农业工程这国家重点一级学科和世界一流学科设有智慧农业系统集成研究重点实验室和农业信息获取技术重点实验室等。从机构属性来看,发文数量前20的机构中有9个高校,5个国家科研机构和4个政府部门,表明学术机构非常重视精准畜牧业研究,是研究的主要力量。从机构地域来看,主要发文机构在全球分布不均,主要集中在欧美发达国家。从机构合作来看,研究机构的合作网络密度为0.015 1,法国国家农业科学研究院和美国农业部在合作网络中具有重要的连接作用,但其他高校和科研院所之间的联系与合作程度依然较低,各领域研究较为独立。各核心机构引领下的组团发展,网络分割形态明显,各核心机构彼此间联系有待深化,精准畜牧业学术共同体尚未形成。

对国内研究机构共现网络进行分析,机构网络结构总体松散。网络中最大的节点为内蒙古农业大学机电工程学院(15),其次为中国农业大学信息与电气工程学院(14)、西北农林科技大学机械与电子工程学院(14)和东北农业大学电气与信息学院(12),这些学术机构在精准畜牧业领域发文数量较多,具有一定的优势。从机构的属性看,农业大学是该研究的主要力量。从机构合作来看,研究机构的合作网络密度为0.005,合作网络疏松,同一机构的下属机构和相近地区的不同机构间合作较为密切,但跨区域的不同机构间联系较为松散,有待进一步加强。

### 3.1.4 高产作者特征分析

对发文作者的结构特征进行分析,有助于识别该研究领域的核心作者并进一步反映出作者间的合作关系<sup>[24]</sup>。根据普莱斯定律:

$$TP_n \approx 0.749 \sqrt{N_{\max}} \quad (1)$$

式中  $TP_n$  表示核心作者发文数量的阈值,  $N_{\max}$  表示最高产作者的发文数量。

国外精准畜牧业研究核心作者发文数量应在4篇以上,共有15位研究人员被划定为核心作者,共发

文164篇,占文献总数的14.05%;国内精准畜牧业研究核心作者发文数量应在2篇以上,共有37位研究人员被划定为核心作者,共发文266篇,占文献总数的50.76%。稳定的合作网络中核心作者发文占文献总数需达到50%,国外精准畜牧业尚未形成稳定的核心作者群<sup>[25]</sup>。从作者的共现网络来看,精准畜牧业研究学者数量众多,但合作关系不强,呈现出“小集中、大分散”的特点。作者集中度较高,大部分学者形成了较为固定的合作群体。

对国外文献进行作者合作图谱分析,网络共有594个节点,911个连接,合作网络密度为0.005 2。该研究已初步形成了由 Berckmans Daniel (29) 和 Norton Tomas (22) 两位核心学者为主导的研究群体。不同学术团队、不同作者之间联系较弱,相关研究较为分散。从作者的研究方向看, Berckmans Daniel 是全球精准畜牧业研究的领军者,专注于开发实时算法,监测和改善个体人类和动物的生活。Norton Tomas 主要开发用于动物健康和福利监测与管理的 PLF 技术。Guarino Marcella (17) 主要研究动物疾病监测和生长状态预测等,并探究精准畜牧业对环境的影响。

对国内文献进行作者合作图谱分析,网络共有461个节点,508个连接,合作网络的密度为0.004 8。何东健(10)、沈明霞(9)和刘刚(9)是国内发文数量前3的学者。其中,何东健研究主要集中在奶牛个体及行为识别、体征检测等领域。沈明霞的研究主要围绕着畜禽养殖中的自动化技术、行为监测与识别以及健康管理等,研究畜种包括生猪、肉鸡。刘刚的研究涉及奶牛、生猪等多畜种,关注畜禽的健康管理、疾病检测、体尺测量、行为识别和活动监测等。

### 3.1.5 核心期刊特征分析

对相关期刊的结构特征进行分析,可以为该领域文献搜集和前期知识积累提供方向并在一定程度上反映研究领域的理论和实践价值<sup>[26]</sup>(表1)。国外精准畜牧业研究的1 167篇论文发表在376本期刊上,刊文量前5的期刊为《COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE》、《ANIMALS》、《SENSORS》、《ANIMAL》和《BIOSYSTEMS ENGINEERING》,其刊文总量约占样本的39.76%,平均影响因子为4.5 134,说明精准畜牧业研究已形成具有一定影响力的观点。综合JCR学科分类,这10本核心期刊学科类别主要包括动物科学、兽医学、计算机科学和农业工程,可知精准畜牧业是一个多学科交叉融合的研究领域,主要受到自然科学领域的关注。其中动物科学期刊数量最多,相关期刊发文数量约占

样本的 22.62%，表明精准畜牧业是动物科学研究的热点问题。

国内精准畜牧业研究的 524 篇论文发表在 86 本期刊上，刊文量前 5 的期刊为《黑龙江畜牧兽医》、《农业工程学报》、《农机化研究》、《中国家禽》和

《农业机械学报》。排名前 5 的期刊发文数量约占样本的 53.24%，平均影响因子为 2.272。刊文量前 10 个期刊主要是畜牧与动物医学方向和农业工程方向的期刊。相对于国外，国内学者的发文数量相对较少但来源期刊更集中。

表 1 刊文量前 10 的期刊

排名	国外期刊	刊文量	影响因子	国内期刊	刊文量	影响因子
1	COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE	173	6.757	黑龙江畜牧兽医	78	0.893
2	ANIMALS	122	3.231	农业工程学报	66	3.760
3	SENSORS	61	3.847	农机化研究	48	1.316
4	ANIMAL	55	3.730	中国家禽	44	1.066
5	BIOSYSTEMS ENGINEERING	53	5.002	农业机械学报	43	4.325
6	FRONTIERS IN VETERINARY SCIENCE	38	3.471	中国农机化学报	26	1.886
7	AGRICULTURE-BASEL	33	3.408	中国畜牧杂志	26	1.888
8	JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE	31	3.338	家畜生态学报	18	1.239
9	LIVESTOCK SCIENCE	31	1.929	江苏农业科学	13	1.518
10	JOURNAL OF DAIRY SCIENCE	25	4.225	饲料工业	13	1.519

### 3.2 研究脉络

#### 3.2.1 研究热点分析

关键词是对文章内容的高度概括<sup>[22]</sup>。关键词出现频率高表示该领域对该关键词的研究热度较高。在 CiteSpace 中设置节点类型为 keyword，得到关键词共现图谱。

国外文献共现频率最高的关键词是“precision livestock farming”，其次是“system”、“machine learning”等。精准畜牧业是现代畜牧业发展的必然要求，系统和机器学习属于精准畜牧业技术，相关研究包括智能决策支持系统<sup>[27]</sup>、电子鼻系统<sup>[28]</sup>、精准养猪系统<sup>[29]</sup>和深度学习<sup>[30]</sup>等。

国内文献共现频率最高的关键词是“物联网”，其次是“奶牛”、“机器视觉”等。物联网属于精准畜牧业技术，能实时采集畜禽养殖过程中的信息，实现畜禽环境监测、行为监控、健康监测以及数据传输等。规模化牧场对养殖的数字化和智能化水平提出了更高要求，通过精准畜牧业技术，可以对奶牛养殖环境进行准确感知、数据分析和预测预警，从而减少人为误差，提高养殖效益，并改善动物福利<sup>[31]</sup>。机器视觉属于精准畜牧业技术，可用于畜禽体尺、体重评估、行为监测与识别以及分娩检测等。

对国内外文献高频关键词进行整理分类，可以将其划分为 3 个维度：（1）精准畜牧业技术方法，包括“machine learning”、“物联网”等。精准畜牧业所用的技术方法需要依托系统化数据收集和分析，并

结合机器学习和深度学习等人工智能领域的技术，实现对畜禽的动态监测和管理。（2）精准畜牧业技术的应用对象，主要包括“cattle”、“奶牛”等。大多数精准畜牧业技术的应用是基于附着在动物身上（颈部、腿部和耳部）的监测设备来实施的，大型动物能为这些设备的使用提供更多空间；此外大型动物具有更高的经济价值。（3）精准畜牧业技术的用途，包括“animal welfare”、“行为识别”等。精准畜牧业技术可以实现畜牧业生产环境的智能感知、智能预警和智能分析，为畜牧业生产提供精准化养殖、可视化管理和智能化决策，能有效改善动物生活环境，提高动物福利水平。

#### 3.2.2 研究方向分析

关键词聚类分析突出了研究方向与关键词之间的关系，对关键词进行时间轴分析有利于进一步揭示集群与关键词集历史跨度之间的关系<sup>[24]</sup>。利用 CiteSpace 软件，得到精准畜牧业研究关键词网络的时间线图。为便于讨论，分别选择国内外规模最大的前 4 个集群进行分析。

国外精准畜牧业研究方向主要包括以下 4 个方面：

第一大集群是 computer vision，相关研究的时间跨度为 2004 年至今，文献数量 81 篇，涉及计算机视觉、深度学习、精准畜牧、福利、身体状况评分等热点词，反映出计算机视觉技术在动物精准养殖、福利提升和身体状况评分等方面应用广泛。Guzhva 等<sup>[32]</sup>

利用改进的图像分割和跟踪方法来检测奶牛的社会互动,采用两步模式来识别其行为,为奶牛社会互动检测提供了更为准确的方法。Cang 等<sup>[33]</sup>使用神经网络方法来估计猪的体重,输入俯视深度图像中猪的背部面积,输出猪体重的估计值,该方法为智能称重研究者提供了参考。Du 等<sup>[34]</sup>提出了 2D-3D 融合的身体测量方法,有效解决了以往非接触式身体测量方法仅使用三维数据来构建身体测量的几何特征,容易产生误差的问题。

第二大集群是 precision livestock farming,相关研究的时间跨度为 2003 年至今,文献数量 60 篇,涉及精准畜牧业、态度、机器学习、保护等热点词,探讨养殖户对精准畜牧技术的态度以及畜牧生产中各种信息技术的应用,包括传感器技术、机器学习技术、自动挤奶系统、可穿戴物联网等。为了更好地了解意大利奶农对精准畜牧业工具的使用情况,Abeni 等<sup>[35]</sup>对克雷蒙那 490 位奶农进行了调查,发现大多数奶农使用传感器来自动记录牛奶产量和检测发情,养殖规模较大的奶农更倾向于使用精准畜牧业工具。Seber 等<sup>[36]</sup>设计了能有效评估肉鸡啄食力和啄食量的智能饲喂装置原型。Qiao 等<sup>[37]</sup>对自动化技术在牛跛行检测和识别方面的应用进行了总结和分析,提出后续研究应致力于提高建模精度和商业可用性等。

第三大集群是 machine learning,相关研究的时间跨度为 2003 年至今,文献数量 55 篇,涉及机器学习、随机森林、信号处理、行为分类、人工神经网络等热点词,反映出机器学习技术主要应用于动物信息处理及其行为分类方面,其中,随机森林和人工神经网络等技术应用较为广泛。Liakos 等<sup>[38]</sup>分别从动物福利和畜牧生产两个角度对机器学习在畜牧业中的应用进行了回顾,包括基于机器学习的牛行为分类、自动识别和小牛咀嚼模式分类、数字图像猪脸识别等。由于现有自动识别系统无法追踪动物轮廓,使得大量信息丢失,Brunger 等<sup>[39]</sup>采用全景分割方法,实现了对单个猪像素的精确分割,有助于更好地提取动物相关信息。由于现有奶牛健康监测系统是为室内或牧场开发的,无法预测其他地点奶牛的行为,Schmeling 等<sup>[40]</sup>使用机器学习模型,实现了牧场和牛舍奶牛躺卧行为的自动预测,为开发牧场和牛舍的奶牛监控系统迈出了成功的第一步。

第四大集群是 animal welfare,相关研究的时间跨度为 2004 年至今,文献数量 52 篇,涉及动物福利、精准畜牧业、性能、虚拟围栏等热点词,主要探讨信息技术在动物情感状态识别、活动监测、发声分类、呼救自动识别等方面的应用,以提高动物健康状态和疫病防控能力。动物声音中包含了大量与健康和行为

有关的信息,针对当前多畜种发声分类算法的缺失,Bishop 等<sup>[41]</sup>利用特定的音频特征提取技术和机器学习模型,提出了多功能动物发声算法,为后续动物发声自动检测系统的开发奠定了基础。跛行是奶牛场的常见问题,由于连续监测奶牛跛行太过费时,Warner 等<sup>[42]</sup>使用基于决策树归纳的机器学习方法,检测了奶牛群的跛足风险水平。Mao 等<sup>[43]</sup>基于卷积神经网络模型开发了鸡呼救信号识别装置,有效避免了依靠人工识别效率不高的问题。

国内精准畜牧业研究方向主要包括以下 4 个方面:

第一大集群是物联网,相关研究的时间跨度为 2010 年至 2020 年,文献数量 41 篇,涉及物联网、大数据、云计算、奶牛、信息管理等热点词。物联网以感知为基础,是基于互联网、传统电信网络等的信息传输载体,能实现养殖场传感器、设备和装置之间的通信。结合大数据、云计算等其他信息技术,物联网能够实现对畜牧业的全面监测、智能决策和精细管理,推动畜牧业信息化、智能化发展。为解决现有孵化技术监测实时性不高、调控精准度不够的问题,海涛等<sup>[44]</sup>开发了一种基于 LoRa 和 NB-IoT 物联网技术的可视化监控系统,实现了对孵化环境参数的远程高精度监测。基于物联网技术,赵继政等<sup>[45]</sup>设计出可连续监测奶牛瘤胃 pH 值和温度的监测系统,能为奶牛健康监测和精准饲喂提供可靠依据。依托物联网技术,段续峰<sup>[46]</sup>设计了生猪精准投喂系统,具备生猪身份识别、称重、下料等功能,可有效提升饲喂效率。

第二大集群是奶牛,相关研究的时间跨度为 2005 年至今,文献数量 40 篇,涉及奶牛、机器学习、深度学习、决策树、繁殖性能等热点词。国内奶牛养殖规模的不断扩大,给养殖场管理带来了日益复杂的挑战,同时对劳动力的需求也逐渐增加,精准技术为优化养殖场管理、降低对劳动力的依赖提供了重要的解决途径。王彦超等<sup>[47]</sup>改进了 YOLO v3-tiny 算法,构建了奶牛关键部位检测模型,成功实现了对奶牛关键部位的精准定位,该方法可用于奶牛乳房炎检测。基于奶牛生物特征的无接触识别方法存在易受干扰等问题,张瑞红等<sup>[48]</sup>提出基于机器学习的奶牛颈环 ID 自动定位与识别方法并验证了该方法的能力。赵凯旋等<sup>[49]</sup>构建了基于点云凸包距离的三维结构特征图,作为 EfficientNet 深度学习网络的输入,提高了奶牛体况自动评分的准确率。

第三大集群是畜牧学,相关研究的时间跨度为 2003 年至 2021 年,文献数量 36 篇,涉及畜牧学、精准饲养、应用、温度控制、can 总线等热点词。畜

牧学是研究家畜饲养、管理、繁育及其制品利用的科学，为精准畜牧业提供了数据来源和科学依据，帮助精准畜牧业建立准确的数据模型和算法。冯彦坤等<sup>[50]</sup>基于生猪头部运动轨迹数据划分出最佳耳根测温区域，然后采用位置偏移算法检测最佳耳根测温区域中的头部姿态端正帧，为生猪头部和耳根区域精准定位提供准备工作。体温是衡量畜禽健康状况的重要指标，通过实时监测奶牛阴道温度，可以为其发情预测、疾病预防提供重要数据<sup>[51]</sup>。

第四大集群是信息化，相关研究的时间跨度为2004年至今，文献数量33篇，涉及信息化、妊娠母猪、智能化、草牧业、控制等热点词。信息化技术在畜禽养殖中的应用，不断推动着畜牧业的信息化、智能化转型升级。通过物联网、传感器、大数据分析等先进技术，养殖场可以实时采集并监测畜禽的生长、健康、行为和环境等关键数据，从而实现精准管理和个体化养殖<sup>[45]</sup>。信息化技术有助于畜禽疾病的早期预警、监测和诊断等，以便及时发现异常情况并采取措施，减少疾病传播风险<sup>[52]</sup>。

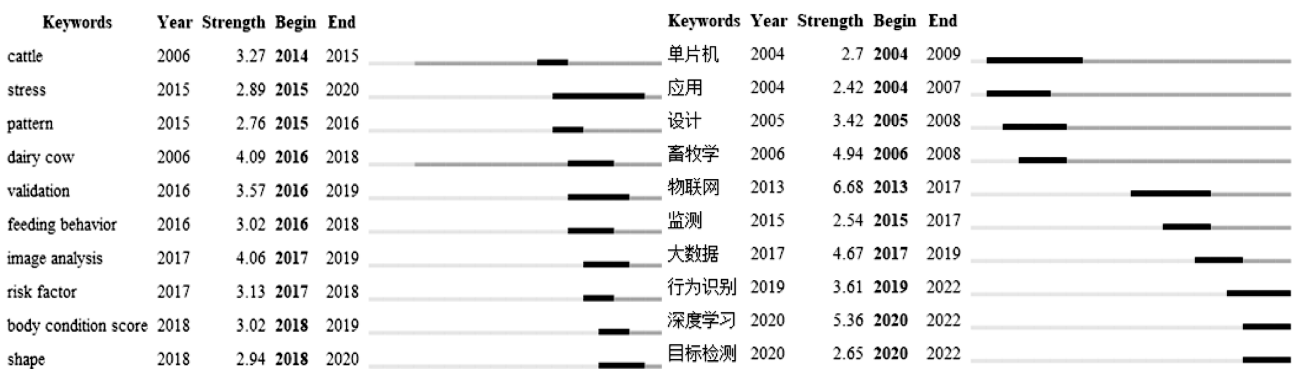
### 3.2.3 研究前沿分析

关键词突现是指关键词在较短时间内出现频次显著增加，进行关键词突现分析可以进一步显示不同时期研究热点的转移，判断潜在的发展趋势与前沿研究<sup>[53]</sup>。图2显示了引用突现前10的关键词。

国外精准畜牧业研究的关键词突现集中在2014年之后。从影响周期来看，“stress”突现持续时间最长，围绕动物应激等健康问题的研究一直受到学者们的关注，是精准畜牧业研究的热点问题。从突现强度来看，排在首位的突现词为“dairy cow”，奶牛由于

体型较大，其微小运动难以捕捉和分析，且关节多、运动形式多样、运动空间广并伴有与心理状态相关的高级行为，因此，奶牛相关信息的获取手段、分析方法更为困难，其养殖对智能化信息技术的需求程度更高，精准奶牛养殖成为精准畜牧业的研究重点。排在第二位的突现词为“image analysis”，图像分析技术能够监测与个体动物健康、福利和生产力有关的变量（即长度、宽度和背部面积），帮助农户设计更有效的养殖管理策略，受到学者的广泛关注<sup>[54]</sup>。新出现的突现词预示着未来研究的方向，最近突现的关键词是“shape”，形状是反映牲畜健康和价值的重要指标<sup>[55]</sup>，动物形态的相关研究可能成为国外精准畜牧业研究的前沿问题。

国内精准畜牧业研究的关键词突现最早出现在2004年，“单片机”是突现时间最早且突现持续时间最长的关键词，国内精准畜牧业早期研究关注畜禽舍环境监控，单片机多用来设计环境调控系统<sup>[56]</sup>。从突现强度来看，排在首位的突现词为“物联网”。在国内畜牧养殖从粗放经营向集约发展转变时期，物联网技术的应用为转变提供了桥梁，其在远程监控<sup>[57]</sup>、数据检测<sup>[58]</sup>等多方面发挥重要作用。排在第二位的突现词为“深度学习”，随着人工智能的兴起，深度学习技术在畜禽行为监测<sup>[59]</sup>、行为识别<sup>[60]</sup>、图像分割<sup>[61]</sup>等方面应用广泛。最近突现的关键词包括“行为识别”、“深度学习”和“目标检测”，畜禽行为识别和目标检测的方法创新以及深度学习技术在畜牧业中的进一步应用可能成为国内精准畜牧业接下来的研究前沿。



“Keywords”表示关键词，“Year”表示关键词首次出现的年份，“Strength”表示表示关键词的突现强度，“Begin”和“End”分别表示关键词突现开始和结束的时间，深灰色部分代表关键词出现的时间跨度，黑色部分代表关键词突现的时间跨度，浅灰色部分代表文章研究的时间跨度。

图2 2003—2022年国内文献(A)和国外文献(B)的突现强度前10个的关键词

### 3.3 热点主题

高被引文献是指某一研究领域里具有突出贡献且研究结论被广为接受的文章,分析高被引文献可以探究精准畜牧业研究知识基础,以及基于现有基础展开的热点研究主题。

#### 3.3.1 国外热点主题

截至2022年12月31日,WoS核心合集的ESI数据库直接界定的精准畜牧业领域的10篇高被引文

献(表2),代表了该领域最近10年来被引频次排在前1%的论文。可以看出,被引用频次最多的文献主要集中在2018—2022年,2021年的高被引文献最多。结合被引频率对高被引文献主题进行划分,近5年来,国外精准畜牧业研究的热点主题主要是畜牧业系统中机器学习的应用、传感器技术的应用以及精准畜牧业的环境影响等。

表2 WoS界定的被高度引用的前10篇文章

第一作者	文章名	期刊	年份	被引频率
LIAKOS K G	Machinelearning in agriculture: a review	SENSORS	2018	633
TULLO E	Review: environmental impact of livestock farming and precision livestock farming as a mitigation strategy	SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	2019	115
HALACHMI I	Smartanimal agriculture: application of real-time sensors to improve animal well-being and production	ANNUAL REVIEW OF ANIMAL BIOSCIENCES	2019	78
SHARMA A	Machinelearning applications for precision agriculture: a comprehensive review	SENSORS	2020	56
BENOS L	Machinelearning in agriculture: a comprehensive updated review	IEEE ACCESS	2021	56
VERDOUW C	Digital twins in smart farming	AGRICULTURAL SYSTEMS	2021	50
SONG J C	FPDP: flexible privacy-preserving data publishing scheme for smart agriculture	IEEE SENSORS JOURNAL	2021	35
STYGAR A H	Asystematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle	FRONTIERS IN VETERINARY SCIENCE	2021	25
VAINTRUB M O	Review: precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming	ANIMAL	2021	24
AQUILANI C	Review: precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems	ANIMAL	2022	8

机器学习(ML)是人工智能的1个分支,它使用数据和算法来模仿人类的学习方式,以逐渐提高在应用中的准确性<sup>[62]</sup>。ML已经成为现代畜牧业不可或缺的技术,被广泛地应用于动物福利改善和畜牧生产力提升中<sup>[62]</sup>。一方面,动物福利涉及动物的健康和福祉,与产品质量密切相关,其评价指标包括生理应激指标和行为指标,ML主要用于监测动物行为,以监测其健康状态,便于在早期发现疾病<sup>[63]</sup>。另一方面,畜牧生产系统中存在着诸多问题,ML方法主要应用于准确预测和估计相关参数以提升生产系统的经济效益<sup>[64]</sup>。

传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并按一定规律将其转换成电信号或其他形式的信息输出,具有微型化、数字化、智能化等特点,是实现自动检测和自动控制的基础。动物个体信息和行为的智能感知与分析是精准畜牧业的核心,传感器技术使得人们可以实时监测单个动物,已广泛应用于精准畜牧业中<sup>[65]</sup>。单个传感器,如照相机、机器人等主要针对体型较小、价值较低动物,如小型反刍动物

绵羊和山羊等,用于身体状况评分、体重估计、早期疾病检测等。大型动物如肉牛、奶牛等能提供更多位置悬挂传感器且具有较高的经济价值,对其监测主要基于可穿戴传感器。可穿戴传感器多佩戴于动物耳、颈、腿、背、尾部,能准确采集动物个体数据,通过实时传输、分析、统计和对对比相关数据,能实现动物健康监测和异常检测。该技术被广泛应用于动物日常行为识别,如进食、反刍、饮水、运动和休息等,以及日常行为特征检测,如发情、产犊、跛足和疾病等<sup>[66]</sup>。目前,可穿戴传感器占据市场主导地位,未来新的传感器技术将更多地基于图像系统<sup>[66]</sup>。在动物价值较低的系统中,如羊、猪、家禽等,在集中饲养时为每个畜群部署1个传感器,即单个传感器的应用将会更加常见。

畜牧业养殖规模不断扩大,在增加畜产品供给的同时对环境产生了诸多负面影响,主要表现为污染水质和空气。畜牧业需要在保证高生产水平的基础上找到能够有效缓解环境风险的方法。精准畜牧业旨在持续实时监测动物健康和福利,减少畜牧业对环境的污

染并不是其主要目标,但它为减少畜牧业对环境的影响提供了宝贵的工具。精准畜牧业不是通过使用专门的技术来减少环境污染,而是采用精准技术来优化管理,从而缓解对环境的负面影响。精准饲喂系统可以优化饲料配比,能更准确地满足个体动物的营养需求,减少因吸收不良而排出的营养物质,减少污染<sup>[67]</sup>。动物遭遇健康和应激问题时可能会出现不必要的气体排放,通过精准畜牧业技术及时识别动物健康情况,有助于减少畜牧业对环境的污染。此外,高水平的畜禽生育率可减少 20% 以上的温室气体排放<sup>[68]</sup>。一些学者研发了传感器、算法、智能设备等,可以检测出动物合适的受精时间,提高受孕率,从而缓解温室效应<sup>[69]</sup>。

### 3.3.2 国内热点主题

从 CNKI 数据库精准畜牧业研究排名前十的高被引文章(表 3)可以看出,国内精准畜牧业研究更关注精准技术的研发和应用,热点主题主要包括畜禽信息的智能感知与分析以及物联网技术的应用。

精准畜牧业的核心是畜禽信息的智能感知与分

析。畜禽信息主要涵盖养殖环境信息、动物行为信息和健康指标信息<sup>[70]</sup>。养殖环境主要包括畜禽舍温度和湿度、空气质量以及光照,这些因素影响畜禽健康和生产力<sup>[3]</sup>。利用精准技术准确高效地采集养殖环境参数,智能调控养殖环境,有助于充分发挥畜禽生产潜能<sup>[71]</sup>。畜禽行为是其生理健康状况的外在表现,如饮水、运动等能反映出动物生长过程的不同状态,利用精准技术准确识别、分析行为有助于监控畜禽生长过程,提高养殖管理效率<sup>[72]</sup>。

物联网是基于互联网、传统电信网络等的信息载体,可以实现养殖场传感器和设备之间的通信,物联网技术已广泛应用于畜牧业智能管理中。借助物联网,可以将传感器和无线通信技术嵌入可穿戴设备中,用于收集海量的动物数据,实现畜禽数据的实时捕获、收集和传输,优化养殖场动物管理<sup>[73]</sup>。物联网监测系统能实时采集养殖场温度、湿度、光照、空气质量等环境参数,并通过数据分析,获得智能控制环境设备的依据,实现对生猪养殖环境实时监测与优化<sup>[44]</sup>。

表 3 CNKI 中被高度引用的前 10 篇文章

第一作者	文章名	期刊	年份	被引频率
何东健	精准畜牧业中动物信息智能感知与行为检测研究进展	农业机械学报	2016	185
熊本海	中国畜牧业物联网技术应用研究进展	农业工程学报	2015	139
朱伟兴	基于物联网的保育猪舍环境监控系统	农业工程学报	2012	134
杨艳	基于计算机视觉技术估算种猪体重的应用研究	农业工程学报	2006	79
杨秋妹	猪只饮水行为机器视觉自动识别	农业机械学报	2018	76
刘龙申	基于机器视觉的母猪分娩检测方法研究	农业机械学报	2013	72
陆明洲	畜牧信息智能监测研究进展	中国农业科学	2012	65
杨飞云	畜禽养殖环境调控与智能养殖装备技术研究进展	中国科学院院刊	2019	61
顾静秋	基于融合图像与运动量的奶牛行为识别方法	农业机械学报	2017	61
何东健	基于改进 YOLO v3 模型的挤奶奶牛个体识别方法	农业机械学报	2020	60

## 4 结论

本研究借助 CiteSpace 软件,对 2003—2022 年 WoS 和 CNKI 数据库中有关精准畜牧业研究的文献进行计量学分析,通过梳理精准畜牧业相关研究的主要特征、研究核心与热点主题,得出以下结论:

从发文特征来看,国内外精准畜牧业研究发文数量呈现增长趋势,欧美发达国家发文数量较多且国家间合作密切,研究机构主要为高校,国外 Berckmans Daniel 发文最多,国内何东健学者发文最多,国内外学者间合作关系都有待加强,该研究属于多学科交叉融合领域,主要包括动物科学、兽医学、计算机科

学及农业工程等。

从研究核心来看,国外精准畜牧业研究热点集中在智能系统和机器学习,研究方向主要集中在计算机视觉、机器学习和动物福利,2018 年以来学者对动物形态相关研究的关注度提高;国内精准畜牧业热点主要研究物联网和机器视觉,研究方向主要集中在物联网、奶牛精准养殖和畜牧业信息化,研究前沿包括行为识别、深度学习和目标检测。

从热点主题来看,国外精准畜牧业研究关注机器学习、传感器技术和精准畜牧业的环境影响。国内精准畜牧业更关注畜禽信息的智能感知与分析以及物联网在畜牧业的应用。

本研究也存在一些不足：一是本研究仅以 WoS 和 CNKI 数据库收录的相关论文作为研究对象，无法完全代表精准畜牧业领域的研究成果，后期进一步研究可以增加其他学术检索数据库的相关文献；二是本研究在搜索检索式的设定上重点关注精准畜牧业所使用的信息技术，不可避免地会遗漏一些文献，但本研究的研究结果仍具有重要代表意义，今后可以在检索式的设定上继续完善。

## 5 展望

精准畜牧业通过对信息获取、处理、理解与应用，建立起科学管理系统和决策支持系统，能够促使日趋规模化的畜牧业低成本、高效率和安全发展，实现畜牧业现代化。未来精准畜牧业研究可以从以下 3 个方面深入：

加强精准畜牧业研究的交流与合作。国际上，在精准畜牧业领域具有突出贡献的高校，如鲁汶大学、米兰大学等，应积极举办学术交流会议或交换生项目，其他机构应积极参与，建立友好交流关系，开展相关项目合作。学者们应积极参加国际交流会和论坛，与各国学者探讨和学习精准畜牧业的研究经验和最新成果。国内机构应加强跨区域间的合作交流，开展联合研究项目，促进精准畜牧业的创新与发展。

注重多学科与多方法结合研究。在研究内容上需要动物科学、兽医学、计算机科学和农业工程等多学科、多领域介入；在研究方法上应将大数据分析、模型分析等多种方法有机结合，促进精准畜牧业方法创新，推动精准畜牧业研究发展。

加强计算机视觉、机器学习、物联网和深度学习等技术的应用。优化养殖环境调控系统和畜禽行为识别方法，充分发挥数据的决策支撑作用，实现根据动物健康、体况等信息的分群精细管理。

## 参考文献：

- 任秋鸿, 彭华, 董晓霞. 基于文献计量学的精准奶业研究现状及其热点分析 [J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58 (9): 325-332.
- VAINTRUB M O, LEVIT H, CHINCARINI M, et al. Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming [J]. *Animal*, 2021, 15 (3): 100143.
- 杨飞云, 曾雅琼, 冯泽猛, 等. 畜禽养殖环境调控与智能养殖装备技术研究进展 [J]. 中国科学院院刊, 2019, 34 (2): 163-173.
- VRANKEN E, BERCKMANS D. Precision livestock farming for pigs [J]. *Anim Front*, 2017, 7 (1): 32-37.
- TEKIN K, YURDAKOK DIKMEN B, KANCA H, et al. Precision livestock farming technologies: novel direction of information flow [J]. *Ank Univ Vet Fak Derg*, 2021, 68 (2): 193-212.
- 李建军, 白鹏飞. 我国智慧农业创新实践的现实挑战与应对策略 [J]. 科学管理研究, 2023, 41 (2): 127-134.
- 郭蓓佳, 籍颖, 锡建中, 等. 基于图像处理的蛋鸡体重估测方法研究 [J]. 中国家禽, 2021, 43 (11): 68-73.
- 初梦苑, 司永胜, 李前, 等. 家畜体尺自动测量技术研究进展 [J]. 农业工程学报, 2022, 38 (13): 228-240.
- 杨东轩, 吴叶兰, 张刚刚, 等. 基于低功耗 WiFi 的低成本禽舍环境监测器设计 [J]. 国外电子测量技术, 2021, 40 (12): 135-143.
- 尹航, 吕佳威, 陈耀聪, 等. 基于 LightGBM-SSA-ELM 的新疆羊舍 CO<sub>2</sub> 浓度预测 [J]. 农业机械学报, 2022, 53 (1): 261-270.
- WEI J, LIANG G, ALEX J, et al. Research progress of energy utilization of agricultural waste in China: bibliometric analysis by CiteSpace [J]. *Sustainability*, 2020, 12 (3): 812.
- 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能 [J]. 科学学研究, 2015, 33 (2): 242-253.
- 李保明, 王朝元, 杨柳. 从欧洲精准畜牧业研讨会看蛋鸡精准养殖技术的研究进展 [J]. 中国家禽, 2016, 38 (3): 1-4.
- BERCKMANS D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems [J]. *Rev Sci Tech*, 2014, 33 (1): 189-196.
- DONGRE V B, GANDHI R S. Applications of artificial neural networks for enhanced livestock productivity: a review [J]. *Indian J Anim Sci*, 2016, 86 (11): 1232-1237.
- 王京仁, 李淑红, 王文虎. 自动控温系统在简易水热式孵化机中的应用 [J]. 中国畜牧杂志, 2004 (5): 61-62.
- 刘佩红, 陆承平, 张苏华, 等. 电子标识在奶牛现代化饲养管理及防疫中的应用 [J]. 畜牧与兽医, 2005 (5): 32-34.
- 方建军. 饲喂机器人的研究与开发 [J]. 农机化研究, 2005 (1): 158-160.
- 王俊, 张海洋, 赵凯旋, 等. 基于最优二叉决策树分类模型的奶牛运动行为识别 [J]. 农业工程学报, 2018, 34 (18): 202-210.
- 蒋瑞祥, 余礼根, 丁露雨, 等. 畜禽疫病智能防控技术发展现状与展望 [J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56 (10): 23-28.
- 胡伟斌, 黄祖辉. 畜牧业三次产业融合: 基于美国典型案例的研究及启示 [J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54 (10): 125-129.
- WANG W, LU C. Visualization analysis of big data research based on CiteSpace [J]. *Soft Comput*, 2020, 24 (11): 8173-8186.
- ZHANG Y, ZHAO D, LIU H, et al. Research hotspots and frontiers in agricultural multispectral technology: bibliometrics and scientometrics analysis of the web of science [J]. *Front Plant Sci*, 2022, 13: 955340.
- SHAO H, KIM G, LI Q, et al. Web of science-based green infrastructure: a bibliometric analysis in Citespace [J]. *Land*, 2021, 10 (7): 711.
- 张亚如, 张俊彪, 张昭. 中国农业技术研究进展: 基于 CiteSpace 的文献计量分析 [J]. 中国科技论坛, 2018 (9): 113-120.
- 孙威, 毛凌潇. 基于 CiteSpace 方法的京津冀协同发展研究演化 [J]. 地理学报, 2018, 73 (12): 2378-2391.
- MOHAMED E S, BELAL A A, ABD-ELMABOD S K, et al. Smart farming for improving agricultural management [J]. *Egypt J*

- Remote Sens Space Sci, 2021, 24 (3): 971-981.
- [28] PAN L, YANG S X. A new intelligent electronic nose system for measuring and analysing livestock and poultry farm odours [J]. Environ Monit Assess, 2007, 135 (1): 399-408.
- [29] WANG S, JIANG H, QIAO Y, et al. The research progress of vision-based artificial intelligence in smart pig farming [J]. Sensors, 2022, 22 (17): 6541.
- [30] YOUSEFI D B M, RAFIE A S M, AL-HADDAD S A R, et al. A systematic literature review on the use of deep learning in precision livestock detection and localization using unmanned aerial vehicles [J]. IEEE Access, 2022, 10: 80071-80091.
- [31] 彭翔翔, 杨振标, 闫奎友, 等. 从人工到智能: 牛个体识别技术研究进展 [J]. 中国畜牧兽医, 2023, 50 (5): 1855-1866.
- [32] GUZHVA O, ARDÖ H, HERLIN A, et al. Feasibility study for the implementation of an automatic system for the detection of social interactions in the waiting area of automatic milking stations by using a video surveillance system [J]. Comput Electron Agric, 2016, 127: 506-509.
- [33] CANG Y, HE H, QIAO Y. An intelligent pig weights estimate method based on deep learning in sow stall environments [J]. IEEE Access, 2019, 7: 164867-164875.
- [34] DU A, GUO H, LU J, et al. Automatic livestock body measurement based on keypoint detection with multiple depth cameras [J]. Comput Electron Agric, 2022, 198: 107059.
- [35] ABENI F, PETRERA F, GALLI A. A survey of Italian dairy farmers' propensity for precision livestock farming tools [J]. Animals, 2019, 9 (5): 202.
- [36] SEBER R T, MOURA D J, LIMA N D S, et al. Smart feeding unit for measuring the pecking force in farmed broilers [J]. Animals, 2021, 11 (3): 864.
- [37] QIAO Y, KONG H, CLARK C, et al. Intelligent perception-based cattle lameness detection and behaviour recognition: a review [J]. Animals, 2021, 11 (11): 3033.
- [38] LIAKOS K G, BUSATO P, MOSHOU D, et al. Machine learning in agriculture: a review [J]. Sensors, 2018, 18 (8): 2674.
- [39] BRÜNGER J, GENTZ M, TRAUENSEN I, et al. Panoptic segmentation of individual pigs for posture recognition [J]. Sensors, 2020, 20 (13): 3710.
- [40] SCHMELING L, ELMAMOOZ G, HOANG P T, et al. Training and validating a machine learning model for the sensor-based monitoring of lying behavior in dairy cows on pasture and in the barn [J]. Animals, 2021, 11 (9): 2660.
- [41] BISHOP J C, FALZON G, TROTTER M, et al. Livestock vocalisation classification in farm soundscapes [J]. Comput Electron Agric, 2019, 162: 531-542.
- [42] WARNER D, VASSEUR E, LEFEBVRE D M, et al. A machine learning based decision aid for lameness in dairy herds using farm-based records [J]. Comput Electron Agric, 2020, 169: 105193.
- [43] MAO A, GIRAUDET C S E, LIU K, et al. Automated identification of chicken distress vocalizations using deep learning models [J]. J R Soc Interface, 2022, 19 (191): 20210921.
- [44] 海涛, 陈娟, 周文杰, 等. 基于 LoRa 和 NB-IoT 物联网技术的孵化监控系统 [J]. 中国农机化学报, 2021, 42 (5): 159-165.
- [45] 赵继政, 庄蒲宁, 石富磊, 等. 基于物联网技术的奶牛瘤胃 pH 值和温度监测系统研究 [J]. 农业机械学报, 2022, 53 (2): 291-298.
- [46] 段续峰. 基于物联网技术的生猪精准投饲系统设计与应用 [J]. 饲料研究, 2022, 45 (5): 123-127.
- [47] 王彦超, 康熙, 李孟飞, 等. 基于改进 YOLO v3-tiny 的奶牛乳房炎自动检测方法 [J]. 农业机械学报, 2021, 52 (S1): 276-283.
- [48] 张瑞红, 赵凯旋, 姬江涛, 等. 基于机器学习的奶牛颈环 ID 自动定位与识别方法 [J]. 南京农业大学学报, 2021, 44 (3): 586-595.
- [49] 赵凯旋, 刘晓航, 姬江涛. 基于 EfficientNet 与点云凸包特征的奶牛体况自动评分 [J]. 农业机械学报, 2021, 52 (5): 192-201.
- [50] 冯彦坤, 康熙, 王彦超, 等. 基于热红外视频的生猪耳根温度检测方法 [J]. 农业机械学报, 2021, 52 (S1): 284-290.
- [51] 谢秋菊, 刘学飞, 郑萍, 等. 畜禽体温自动监测技术及应用研究进展 [J]. 农业工程学报, 2022, 38 (15): 212-225.
- [52] 李奇峰, 李嘉位, 马为红, 等. 畜禽养殖疾病诊断智能传感技术研究进展 [J]. 中国农业科学, 2021, 54 (11): 2445-2463.
- [53] 陈定芳, 吴月峰, 李海英, 等. 基于 CiteSpace 文献计量法的中西医结合治疗痉挛型脑瘫文献可视化图谱分析 [J]. 中草药, 2021, 52 (14): 4318-4326.
- [54] QIAO Y, TRUMAN M, SUKKARIEH S. Cattle segmentation and contour extraction based on Mask R-CNN for precision livestock farming [J]. Comput Electron Agric, 2019, 165: 104958.
- [55] GUO H, LI Z B, MA Q, et al. A bilateral symmetry based pose normalization framework applied to livestock body measurement in point clouds [J]. Comput Electron Agric, 2019, 160: 59-70.
- [56] 唐俊英, 刘京中. 肉鸡饲养鸡舍通风调节系统的研究 [J]. 农机化研究, 2006 (11): 120-122.
- [57] 陈桂鹏, 秦文婧, 丁建, 等. 基于物联网技术的生猪存亡远程监测系统设计与验证 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (5): 942-950.
- [58] 段青玲, 肖晓琰, 刘怡然, 等. 基于 SW-SVR 的畜禽养殖物联网异常数据实时检测方法 [J]. 农业机械学报, 2017, 48 (8): 159-165.
- [59] 李娜, 任吴宇, 任振辉. 基于深度学习的群养鸡只行为监测方法研究 [J]. 河北农业大学学报, 2021, 44 (2): 117-121.
- [60] 季照潼, 李东明, 王娟, 等. 基于深度学习 YOLO v4 的舍养育肥猪行为识别 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021, 626 (14): 39-42.
- [61] 高云, 郭继亮, 黎焯, 等. 基于深度学习的群猪图像实例分割方法 [J]. 农业机械学报, 2019, 50 (4): 179-187.
- [62] BENOS L, TAGARAKIS A C, DOLIAS G, et al. Machine learning in agriculture: a comprehensive updated review [J]. Sensors, 2021, 21 (11): 3758.
- [63] RAO Y, JIANG M, WANG W, et al. On-farm welfare monitoring system for goats based on internet of things and machine learning [J]. Int J Distrib Sens Netw, 2020, 16 (7): 1-17.
- [64] HANSEN M F, SMITH M L, SMITH L N, et al. Towards on-farm pig face recognition using convolutional neural networks [J]. Comput Ind, 2018, 98: 145-152.
- [65] 何东健, 刘冬, 赵凯旋. 精准畜牧业中动物信息智能感知与行为检测研究进展 [J]. 农业机械学报, 2016, 47 (5):

231-244.

- [66] HALACHMI I, GUARINO M, BEWLEY J, et al. Smart animal agriculture: application of real-time sensors to improve animal well-being and production [J]. Annu Rev Anim Biosci, 2019, 7: 403-425.
- [67] MONTEIRO A, BERTOL T M, DE OLIVEIRA P A V, et al. The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts [J]. Livest Sci, 2017, 198: 162-169.
- [68] WILKINSON J M, GARNSWORTHY P C. Impact of diet and fertility on greenhouse gas emissions and nitrogen efficiency of milk production [J]. Livestock, 2017, 22 (3): 140-144.
- [69] ARCIDIACONO C, PORTO S M C, MANCINO M, et al. A software tool for the automatic and real-time analysis of cow velocity data in free-stall barns: the case study of oestrus detection from Ultra-Wide-Band data [J]. Biosyst Eng, 2018, 173: 157-165.
- [70] 陆明洲, 沈明霞, 丁永前, 等. 畜牧信息智能监测研究进展 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (14): 2939-2947.
- [71] 韩国鑫, 谢秋菊, 许译丹, 等. 猪舍环境监控技术及方法研究进展 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57 (3): 18-25.
- [72] 杨秋妹, 肖德琴, 张根兴. 猪只饮水行为机器视觉自动识别 [J]. 农业机械学报, 2018, 49 (6): 232-238.
- [73] 潘芷欣, 陈荟慧, 钟委钊. 基于可穿戴设备的母猪产后行为识别 [J]. 农业工程学报, 2022, 38 (S1): 209-217.



北京大学图书馆  
PEKING UNIVERSITY LIBRARY

## 《中文核心期刊要目总览》2023年版入编通知

《畜牧与兽医》主编先生/女士:

我们谨此郑重通知: 依据文献计量学的原理和方法, 经研究人员对相关文献的检索、统计和分析, 以及学科专家评审, 贵刊《畜牧与兽医》入编《中文核心期刊要目总览》2023年版(即第10版)之畜牧、动物医学、狩猎、蚕、蜂(除草地学、草原学)类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2023年版从2021年10月开始研究, 研究工作由北京大学图书馆主持, 共32个单位的148位专家和工作人员参加了本项研究工作, 全国各地9473位学科专家参加了核心期刊表的评审工作。经过定量筛选和专家定性评审, 从我国正在出版的中文期刊中评选出1987种核心期刊。

评选核心期刊的工作是运用科学方法对各种刊物在一定时期内所刊载论文的学术水平和学术影响力进行综合评价的一种科研活动。该研究成果只是一种参考工具书, 主要是为图书情报界、出版界等需要对期刊进行评价的用户提供参考, 例如为各图书情报部门的中文期刊采购和读者导读服务提供参考帮助等, 不应作为评价标准。谨此说明。

顺颂

撰安

编号: 2023-J2688

《中文核心期刊要目总览》

2023年版编委会

图书馆

101081804941

