

# 基于专利文献计量的生物饲料技术领域态势分析

王阳<sup>1,2</sup>, 郑春晓<sup>1</sup>, 李海英<sup>1</sup>, 吴昊<sup>1,2</sup>

1 中国科学院文献情报中心, 北京 100190

2 中国科学院大学 经济与管理学院 图书情报与档案管理系, 北京 100190

王阳, 郑春晓, 李海英, 等. 基于专利文献计量的生物饲料技术领域态势分析. 生物工程学报, 2020, 36(2): 241-249.

Wang Y, Zheng CX, Li HY, et al. Bibliometrics evaluation of biological feed based on patents. Chin J Biotech, 2020, 36(2): 241-249.

**摘 要:** 生物饲料是近年来新兴的饲料产业, 生物饲料既能有效利用现有农业资源, 又能为人类生活所必需的动物性食品提供坚实的物质基础和保障。文中选择文献计量法, 利用专利文献数据库, 客观地分析国内外生物饲料领域的发展动态。通过该领域的专利申请数量、专利申请地域分布、主要专利权和主题词的分析, 绘制可视化图谱, 揭示生物饲料技术领域的国家、机构、研究趋势以及研究热点, 以此帮助科研人员快速了解和把握本领域的研究概貌及发展脉络。

**关键词:** 生物饲料, 专利, 文献计量, 态势分析

## Bibliometrics evaluation of biological feed based on patents

Yang Wang<sup>1,2</sup>, Chunxiao Zheng<sup>1</sup>, Haiying Li<sup>1</sup>, and Hao Wu<sup>1,2</sup>

1 Discipline Consulting Service, National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2 Department of Library, Information and Archives Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract:** As one of the emerging industries, feed industry not only effectively utilizes existing agricultural resources but also provides a strong material foundation and protection for animal food. In this article, status and trends of biological feed in the world based on bibliometrics were analyzed. Issues including major institutions, international cooperation, status, trends and frontiers were analyzed. These co-countries map and keywords clustering analysis can reveal co-countries and hot spots in this field. These analyses can help the researchers get an overview of this field quickly and accurately.

**Keywords:** biological feed, patents, bibliometric analysis, development trends analysis

生物饲料是指以饲料和饲料添加剂为对象, 以基因工程、蛋白质工程、发酵工程等高新技术为手段, 利用微生物发酵工程开发的新型饲料资

源以及饲料添加剂, 主要包括饲料酶制剂、抗菌蛋白、天然植物提取物等<sup>[1-5]</sup>。使用生物饲料有利于节约粮食, 减缓人畜争粮的问题, 为饲料的开

**Received:** May 29, 2019; **Accepted:** August 5, 2019

**Supported by:** National Science and Technology Library (NSTL) Construction and Service of Key Area Information Portal (No. 2019XM33).

**Corresponding author:** Hao Wu. Tel: +86-10-82626379; Fax: +86-10-82629002; E-mail: wuh@mail.las.ac.cn

国家科技图书文献中心 (NSTL) 重点领域信息门户建设与服务 (No. 2019XM33) 资助。

源节流提供一种新的有效途径<sup>[6-11]</sup>。另外,应用生物饲料产品可降低畜禽粪便中氮和磷的排放量,从而大幅度减轻养殖业造成的环境污染<sup>[12-17]</sup>。近年来,在世界范围内的“禁抗(生素)”、“限抗(生素)”驱动下,生物饲料凭借环保、安全等有优势,成为未来饲料发展的主流方向之一<sup>[18-22]</sup>。

专利是技术的有效载体,每个国家都通过知识产权战略开展多领域的“专利战争”以垄断全球市场。本文制定检索规则精确检索生物饲料技术领域的专利文献,并采用文献计量法和统计学分析手段,对生物饲料领域的技术演变态势进行深入剖析,对研究热点进行揭示并预测研发前沿,以期生物饲料技术创新布局提供文献情报角度的理论参考。

## 1 研究方法与数据源

### 1.1 研究方法

本文基于文献计量法进行整体分析,并辅以文本挖掘软件 Derwent Data Analyzer (DDA)、文献计量分析软件 VOSviewer、社会网络分析软件 Ucinet 和 NetDraw 对源数据开展多维度深入挖掘和可视化全景呈现。

### 1.2 源数据

本文的分析数据以 Derwent Innovations Index 数据库为检索数据源,最终获得的有效检索结果为 16 559 条,检索策略如表 1 所示。

表 1 数据集检索策略

Table 1 Search strategy of the data set

Search strategy	TS=(biofeed or biological feed or biochemical feed or enzym* or microbial or protein peptide or amino acid or microelement or prebiotic* or ferment*) and MAN=(D03-G*) and IP=(A23K-001*)
Data base	Derwent Innovations Index
Time scope	1952–2019
Search time	22 <sup>nd</sup> June, 2019
Search results	16 559

## 2 结果与分析

### 2.1 专利申请趋势分析

从全球和中国的专利申请趋势(图 1)中可以明显看出,中国对于全球生物饲料专利布局产生了巨大的影响。

全球生物饲料技术的发展演变进程分为 3 个时期。首先是 1962–2004 年,本阶段的年度专利申请量多在 200–300 件/年的范围内波动,处于较低的产出水平,属于摸索研究的起步时期。第二阶段是 2005–2009 年的快速发展阶段,年均专利申请量增幅超过 10%,究其原因,2005 年前后,欧盟便开始全面禁止在饲料中添加以促生长为目的的抗生素,随后,韩国、日本也都出台了相关的抗生素禁用法规,美国对于饲料中抗生素的管理越来越严格<sup>[23]</sup>,这些“限/禁抗生素”的政策很大程度上促进了生物饲料的发展。第三阶段是自 2010 年以后的爆发式增长阶段,本时期的专利申请数量呈现直线上升的激增态势,这与中国加强在生物饲料领域的专利布局是密不可分的。2009 年,国务院办公厅《关于印发促进生物产业加快发展若干政策的通知》<sup>[24]</sup>,明确指出要在生物农业领域大力发展生物饲料及其添加剂;2011 年,农业农村部发布了《饲料工业发展第十二个五年规划》<sup>[25]</sup>,指明了生物饲料的发展道路<sup>[23]</sup>,助力了我国生物饲料的爆发式增长。

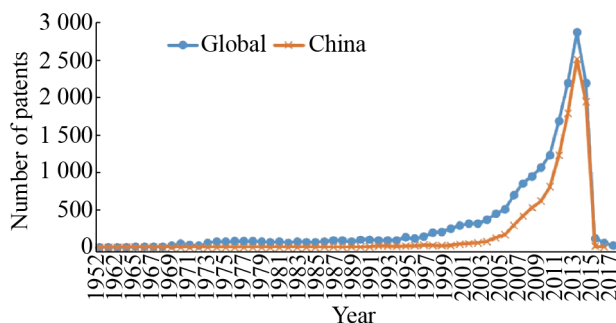


图 1 全球及中国生物饲料专利申请趋势

Fig. 1 Domestic and foreign patent application trends.

## 2.2 专利受理国家/地区分析

### 2.2.1 国家/地区分布情况

生物饲料技术的相关专利在全球布局较为广泛,涉及了 100 多个国家/地区。从图 2 可以看出,中国是生物饲料领域的主要布局国家,占到全球 62% 的份额,遥遥领先于紧随其后的日本(占 9% 份额)和美国(占 8% 份额)。韩国和加拿大也分别以 6% 和 3% 的份额进入了全球专利布局的前五位排名。

具体而言,我国生物饲料的专利布局较其他国家起步时间较晚,从 1984 年起才有零星申请的专利,但自 2005 年起便始终保持着强劲的发展势头,跃居全球首位。

日本和美国在全球生物饲料的发展初期便开展了专利市场布局。对于日本而言,虽然年均申请量没有破百,但日本自初始阶段起便保持着稳定增长的发展态势;而对于美国,其前期发展较日本而言略为缓慢,美国是进入 2000 年后,其专利申请量突破百件,并保持稳定的发展趋势。

值得注意的是,加拿大生物饲料的专利布局较晚,但近 5 年的专利申请数量增幅显著,发展后劲十足。

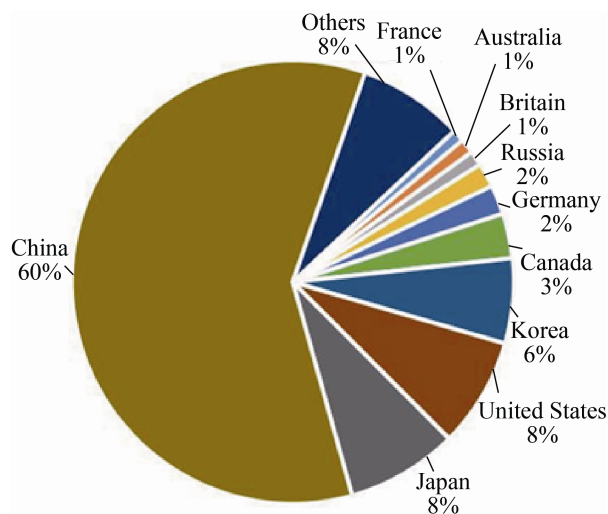


图 2 TOP10 国家专利申请情况

Fig. 2 Patent application of TOP 10 countries.

### 2.2.2 国家/地区的合作情况

网络关系图可以直观显示两个国家/地区共同合作申请专利的情况,若两个国家/地区合作申请了专利,则会用箭头线段相连;箭头越大、线段越粗则说明这两个国家/地区的合作程度越紧密<sup>[26]</sup>。

图 3 展示了专利申请量排名前 30 位的国家/地区合作申请专利情况,从图中可以看出,加拿大和澳大利亚是生物饲料领域开展合作申请专利活动最活跃的两个国家,它们均与美国合作申请了多项专利。其次,巴西和墨西哥的合作也较为频繁。

对于亚洲地区,日本、韩国与多个国家共同申请了专利。但我国与他国在生物饲料专利的合作申请方面表现较不活跃,没有显著体现。

## 2.3 重要专利权人分析

### 2.3.1 重要专利权人分布

图 4 展示了生物饲料专利申请量位于全球前 10 位的重要专利权人。我国的山东新希望六合集团申请的专利数量最多,为 179 件。这与其公司在饲料产业的重点布局密不可分,山东新希望六合集团在国内外建设了 200 多家现代化的饲料加工厂,年饲料生产能力超过 2 000 万 t,与此同时在专利布局方面也表现优异。美国的杜邦公司以 148 件专利位于第二位,杜邦公司是全球知名企业,以科研为基础的企业研发特点享誉世界,其在生物饲料领域的专利布局的主要贡献者是下属的子公司——杰能科公司(GENENCOR),杰能科公司在生物饲料领域的高性能蛋白质、酶制剂和生化试剂等方面开展了多项研究,并申请了大量专利。排名第三的是丹麦的诺维信公司,该公司主要是在酶制剂和微生物制剂领域进行专利布局。紧随其后的中国科学院位于第四位,这是由于它的学科分支广、下属研究单元多、研究资金雄厚等有利因素,其所属的中国科学院海洋研究所、过程工程研究所、亚热带农业生态研究所等在生物饲料领域的表现较为突出。此外,德国的巴斯夫、荷兰的皇家

帝斯曼集团、中国的大北农集团、中国水产科学研究院、瑞士的雀巢公司、日本的味之素株式会社均位于全球生物饲料专利申请前 10 位。

通过对全球重要的专利权人的比较分析后可发现, 全球的生物饲料领域市场化程度较高, 重要的专利均掌握在资金雄厚的跨国集团中, 它们

通过并购公司、技术投入等方式在生物饲料产业开展战略布局。

图 5 展示了我国生物饲料专利权人的前十位情况。其中, 包括了 4 家公司和 6 家科研院所/大学, 这说明我国生物饲料研究领域的产业化程度有待提高, 生物饲料市场仍需要进一步拓展。

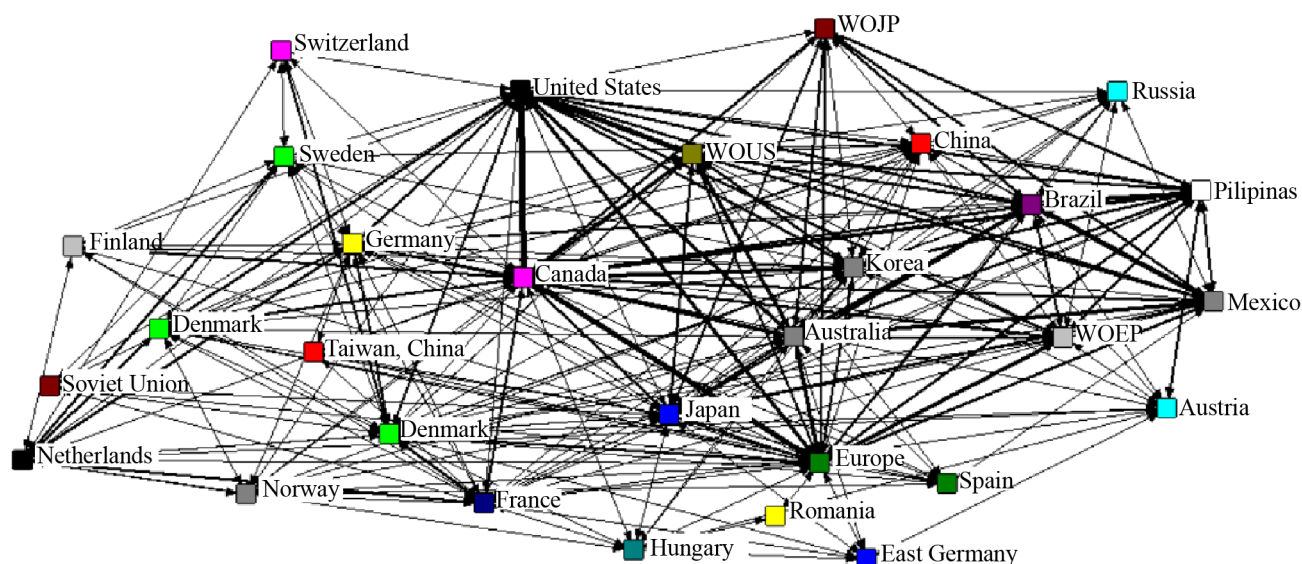


图 3 国家/地区专利申请合作网络关系图

Fig. 3 Cooperation network diagram of the countries/regions.

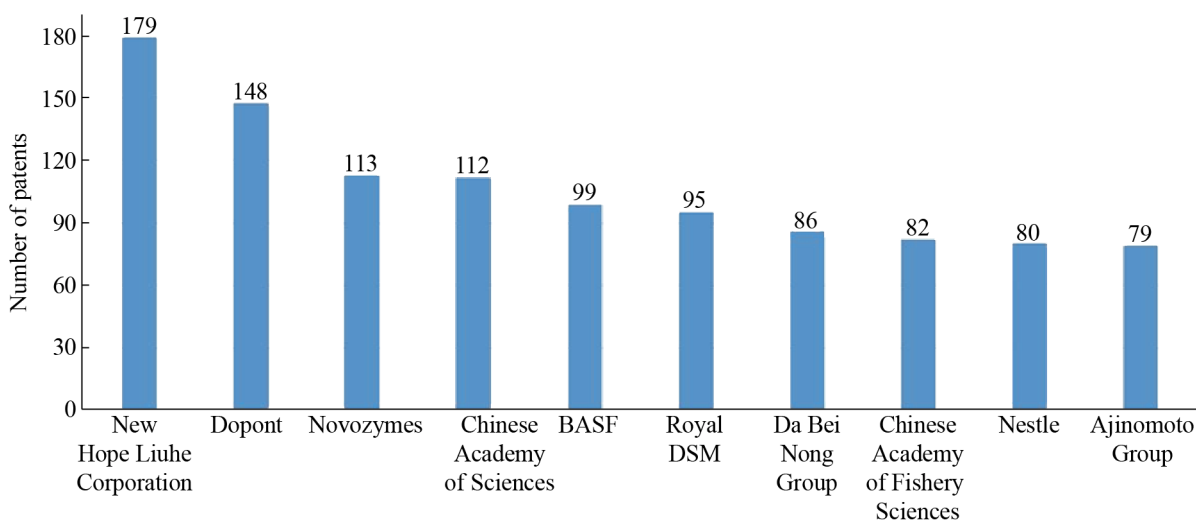


图 4 全球重要专利权人

Fig. 4 Global important patent applicants.

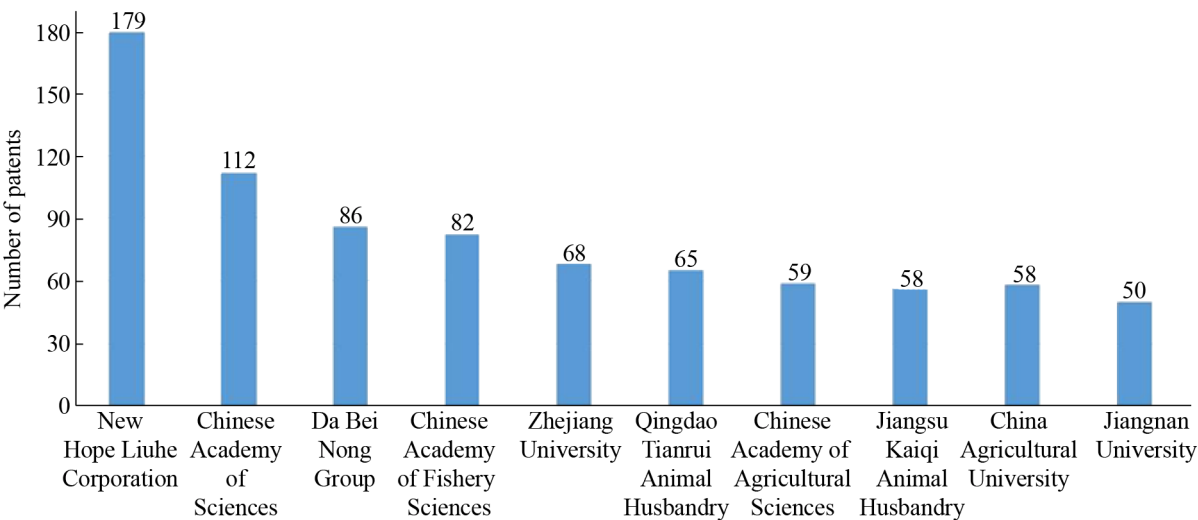


图 5 中国生物饲料专利权人分布  
Fig. 5 Important patent applicants in China.

2.3.2 专利权人的合作情况

图 6 是对排名前 50 的专利权人合作申请专利的情况进行了可视化展示。按照专利权人的合作密切程度，可以分为三大阵营，分别是美国的杜邦、保洁 (P&G)、爱慕思公司 (IAMS) 和丹麦的丹尼斯克公司 (DANISCO)，中国的大北农集团、水产科学研究院、通威集团、湖南农业大学，以及以荷兰皇家帝斯曼集团、德国巴斯夫 (BASF) 和诺维信公司为主的合作团簇。

其中，杜邦、保洁、爱慕思和丹尼斯克公司都是享誉世界的跨国集团，其合作的目的是强强联合、共同巩固各方的核心地位。

相比而言，中国的专利权人更多会选择与国内机构开展合作，一定程度上缺乏对外交流合作，所以在未来需要拓展海外的技术合作伙伴。

对荷兰皇家帝斯曼集团、巴斯夫和诺维信公司的合作伙伴进行调研，发现合作的机构均是酶制剂生产研发相关的公司，如高性能特种酶开发商 Verenium 公司等，其合作的目的主要是在酶制剂产业领域开展专利布局。

2.4 研究主题分析

2.4.1 研究领域分析

分析生物饲料专利的技术领域布局，结果如

图 7 所示，雷达图中显示了数量比例大于 1% (排名前 8 位) 的专利数量占总专利数量的百分比情况。依据 Web of Science 类别进行分类，生物饲料专利文献分布在 24 个研究领域。化学和食品科学领域专利申请数量最多，分别为 849 件和 848 件，均占总专利申请量 99% 以上；其次是生物技术/应用微生物学，专利申请量为 488 件，占总专利申请量的 53%；此外，药理学、农学、高分子科学、仪器/仪表学和工程学所占比例分别为 37%、34%、11%、9% 和 4%。

2.4.2 研究热点分析

利用专利分析平台 Derwent Innovation 对生物饲料领域的专利数据开展分析，结果表明，生物饲料专利数据呈现出 4 个较为明显的技术热点区域，下面通过解读具体专利的内容对研究热点进行深入探讨。

(1) 微生态制剂

微生态制剂是整个专利地图中所占比重最大的研究区域，主要包括乳酸菌、芽孢菌、酵母菌制剂以及活菌与益生性寡糖的复合物等。其中，乳酸菌、益生元、益生菌是专利布局的核心高频词。全球生物饲料的专利布局的热点聚集在此的原因主要是抗生素风波。长期以来，抗生素一直作为促进



动物生产和防治动物腹泻的重要手段,随着抗生素在全球范围内的禁用活动,微生态制剂作为抗生物体的替代物<sup>[27-28]</sup>成为各国争相研究的高地。

## (2) 生物饲料原料/饲料添加剂

生物饲料原料/添加剂的技术研究热点主要集中在蛋白饲料、抗菌肽方面。由于饲料中的核

苷酸主要存在于富含蛋白质的饲料中,所以核苷酸渣蛋白饲料逐渐成为一种新型的生物饲料原料受到各国研发人员的追捧。抗菌肽具有较好的热稳定性和水溶性,其分子量较小,对细菌、真菌、病毒等会起到抑制和灭杀的效果<sup>[29-31]</sup>,具有广阔的发展前景。

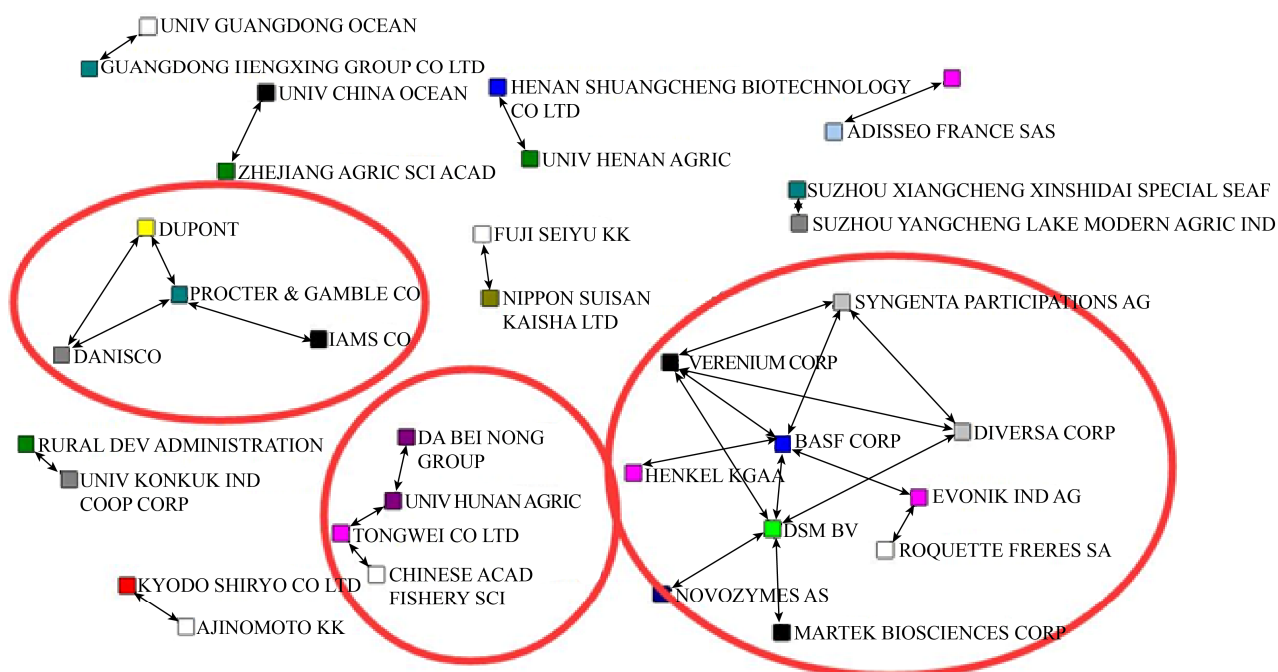


图 6 TOP50 专利权人合作网络关系图

Fig. 6 Cooperation network diagram of the TOP50 patent applicants.

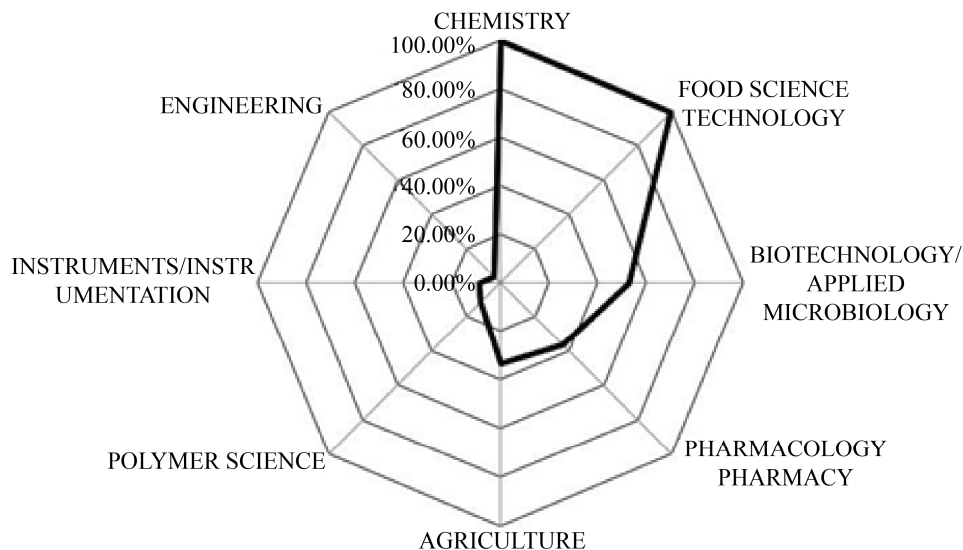


图 7 主要学科分布情况

Fig. 7 Major research areas of patents.

### (3) 发酵饲料

生物饲料中的发酵饲料近几年成为了研究热点,技术点主要集中在原料(生物质秸秆、固体组分)、酶(纤维素酶、半纤维素酶)、反应过程(预处理、水解、发酵浓度)和发酵产物四个方面。

对于发酵饲料的发展,我国近几年的关注度极高,这是由于我国非常规饲料资源种类多,如杂粕、糟渣的资源十分丰富,存在巨大的开发空间。其中,发酵豆粕的产量最大、技术也最成熟。研究表明,发酵后的菜籽粕、棉籽粕和玉米胚芽粕等能够部分替代豆粕,对动物无不良影响<sup>[32-34]</sup>。此外,混合型的发酵饲料应用最多,可以直接添加饲喂,所以发酵饲料是较为符合我国国情的一种生物饲料,研发热度逐年增高。

### (4) 酶制剂

酶制剂可以提高畜禽消化道内原酶活性,破坏植物细胞壁以提高饲料的利用效率,消除饲料中的抗营养因子以促进营养物质的消化吸收<sup>[35]</sup>,从而提高免疫功能。关于酶制剂的研究热点集中在高比活性、耐热性、扩大催化 pH 范围、耐蛋白酶等方面。此外,与基因工程技术相关的专利布局也占了较大比例,利用基因工程技术,对所选择的 DNA 编码氨基酸、改变酶对底物的作用模式、提高酶的催化效率、增加酶的热稳定性、拓宽酶作用的 pH 范围<sup>[36-37]</sup>等,这一新技术的融入也吸引了研发人员的关注。

## 3 结论与建议

### 3.1 中国是全球生物饲料技术的发展主力军

全球生物饲料技术专利申请在 2004 年前是以美国和日本为主,带领全球生物饲料领域专利量的稳步增长;在 2005 年之后,尤其自 2010 年,中国生物饲料技术的异军突起,成为全球生物饲料技术专利申请量增长的主要贡献者。

### 3.2 中国需加强与国际上的技术合作

从全球范围内的国家/地区以及专利权人的合作情况上看,中国的合作活跃度较低,没有体现出显著的合作效果。而美国、加拿大、澳大利亚等国家,积极通过申请专利来开展技术合作,这种强强联合和技术互补可以有效提升国家的科技竞争力。我国应从宏观层面考虑,围绕核心专利权人,建立生物饲料专利联盟,形成高质量的专利池;此外,要与如美国、加拿大、澳大利亚等生物饲料专利强国开展合作,最终达到互利共赢的目的。

### 3.3 重视发展“产-研结合”路线

从全球专利的申请情况上看,我国生物饲料虽有一定的市场布局,但较大比例的技术尚处在高校及科研院所的实验室研发阶段。相比而言,国外的生物饲料企业在尖端技术的研发有较为突出的表现。我国从事生物饲料的企业可以模仿国外领军企业,收购研发型公司或者与科研机构开展长期稳定的技术合作,将科研和产业无缝结合是未来生物饲料企业蓬勃发展的有效途径。

### 3.4 精细化生物饲料是未来发展的重心

国际上对生物饲料的研发重点是着眼于酶制剂、微生态制剂方面。我国生物饲料的研发主要在发酵饲料领域布局,但在实际生产实践过程中,存在整体研发水平不高、粗放生产等问题,比如生产制备中的菌种、原料、工艺的质量和安全性,产品质量指标稳定性,规模化生产工程技术人员缺乏<sup>[26]</sup>等问题普遍存在。在未来,利用基因工程等新兴技术将饲料精细化的趋势会日趋明朗,我国需在宏观层面加强酶制剂、微生态制剂的研发支持。

目前,我国已经制定一系列的措施,如发布生物饲料系列团体标准、建立农业部生物安全防控和生物饲料评价体系<sup>[26]</sup>等积极推动生物饲料的健康发展,未来我国的生物饲料技术的发展之路会越来越光明。

## REFERENCES

- [1] Cai HY, Liu SJ, Deng XJ, et al. Biofeed group standards open a new era of healthy development of industries. *Chin J Anim Sci*, 2018, 54(9): 138–141 (in Chinese).  
蔡辉益, 刘世杰, 邓雪娟, 等. 生物饲料团体标准开启产业健康发展新时代. *中国畜牧杂志*, 2018, 54(9): 138–141.
- [2] Bao X. Production and application prospects of biological feed. *North Anim Husb*, 2012, (9): 13 (in Chinese).  
鲍霞. 生物饲料的生产情况与应用前景. *北方牧业*, 2012, (9): 13.
- [3] Hu ZS. Biological feed is an important part of the livestock industry. *Agric Knowl*, 2012, (11): 42–43 (in Chinese).  
胡智胜. 生物饲料撑起畜牧业一片天. *农业知识*, 2012, (11): 42–43.
- [4] Li MH, Meng XM, Xu SL, et al. Application mechanism of microorganisms in feed production. *Feed and Anim Husb*, 2013, (3): 33–35 (in Chinese).  
李明华, 孟秀梅, 徐生林, 等. 微生物在饲料生产中的应用机理. *饲料与畜牧*, 2013, (3): 33–35.
- [5] Wand T, Wand JJ, LI WP, et al. Analysis of the effect of biological feed on different types of beef meat. *Chin Cattle Sci*, 2019, 45(1): 25–27 (in Chinese).  
王桃, 王建军, 李旺平, 等. 生物饲料对不同品种肉牛肉质的影响分析. *中国牛业科学*, 2019, 45(1): 25–27.
- [6] Yi CF, Deng ZK, Yi BH, et al. Application of biological feed in animal husbandry industry. *Feed Rev*, 2018, (7): 90 (in Chinese).  
易春锋, 邓孜阔, 易斌辉, 等. 畜牧养殖产业应用生物饲料实践. *饲料博览*, 2018, (7): 90.
- [7] Huang XY, Feng KR, Zou YX, et al. Effect of active microbial fermented feed on performance of meat pigeons. *Chin Poult*, 2016, 38(12): 59–60 (in Chinese).  
黄笑筠, 冯开容, 邹永新, 等. 活性微生物发酵饲料对肉鸽生产性能的影响观察. *中国家禽*, 2016, 38(12): 59–60.
- [8] Hao B, Wang H. Prospects for biological feed in the 21st century. *Anim Sci Abroad*, 2000, (4): 23 (in Chinese).  
郝波, 王辉. 生物饲料在 21 世纪的前景. *国外畜牧科技*, 2000, (4): 23.
- [9] Liu YX, Liu ZY, Ni HJ, et al. The research progress and prospect of microbial fermentation feed. *Feed Rev*, 2017, (2): 15–22 (in Chinese).  
刘艳新, 刘占英, 倪慧娟, 等. 微生物发酵饲料的研究进展与前景展望. *饲料博览*, 2017, (2): 15–22.
- [10] Cai HY, Liu GH, Chang WH, et al. The progress in production and application technology of broiler biological feed additives. *Chin Poult*, 2015, 37(4): 37–39 (in Chinese).  
蔡辉益, 刘国华, 常文环, 等. 肉鸡生物饲料添加剂生产与应用技术新进展. *中国家禽*, 2015, 37(4): 37–39.
- [11] Li XL, Wu CD, Li JT, et al. Research and application of microbial fermented feed. *Feed Rev*, 2010, (2): 27–29 (in Chinese).  
李旋亮, 吴长德, 李建涛, 等. 微生物发酵饲料的研究与应用. *饲料博览*, 2010, (2): 27–29.
- [12] Anonymous. Annual growth rate of biological feed exceeds 20%. *Jiangxi Feed*, 2013, (5): 52–53 (in Chinese).  
匿名. 生物饲料年均增速超 20%. *江西饲料*, 2013, (5): 52–53.
- [13] Cai HY. Biological feed will become the future development trend. *Chin Anim Ind*, 2014, (2): 29 (in Chinese).  
蔡辉益. 生物饲料将成为未来发展趋势. *中国畜牧业*, 2014, (2): 29.
- [14] Cai HY. Cai HY: Biological feed will become the future development trend. *Gansu Anim Husb Vet*, 2017, 47(3): 23 (in Chinese).  
蔡辉益. 蔡辉益: 生物饲料将成为未来发展趋势. *甘肃畜牧兽医*, 2017, 47(3): 23.
- [15] Jin HJ, Yao JJ. Research industry developments from 2012 National Animal Husbandry Exhibition. *Today Anim Husb Vet Med*, 2012, (6): 1–18 (in Chinese).  
靳慧杰, 姚俊杰. 走进 2012 全国畜牧展 观聆行业发展动态. *今日畜牧兽医*, 2012, (6): 1–18.
- [16] Chen LH. China's bio-feed development has broad prospects. *Chin Anim Health*, 2015, 17(3): 11–12 (in Chinese).  
陈来华. 中国生物饲料发展前景广阔. *中国动物保健*, 2015, 17(3): 11–12.
- [17] Qi XY. Application research of biological feed in aquaculture. *Feed Chin*, 2016, (5): 49–51 (in Chinese).  
齐秀晔. 生物饲料在养殖业中的应用研究. *饲料广角*, 2016, (5): 49–51.
- [18] Dong PX. Effect of feed pollution on animal production. *Feed Rev*, 2018(07): 12–15 (in Chinese).



- 董平祥. 饲料污染对动物生产的影响. 饲料博览, 2018, (7): 12–15.
- [19] Jin CJ, Ye GP, Tang XR. Research advances on alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. Chin Anim Husb Vet Med, 2018, 45(1): 77–85 (in Chinese).  
靳纯嘏, 叶耿坪, 唐新仁. 反刍动物饲用抗生素替代物研究进展. 中国畜牧兽医, 2018, 45(1): 77–85.
- [20] Li YX, Shu DP, Zhang XJ, et al. Fermented feed to replace antibiotic application in weaned piglets diet. Feed Rev, 2018, (1): 17–20, 24 (in Chinese).  
李玉侠, 舒丹平, 张晓杰, 等. 发酵饲料替代抗生素在断奶仔猪日粮中的应用. 饲料博览, 2018, (1): 17–20, 24.
- [21] Wang HY, Chen J, Song YZ. Research advances on alternatives of antibiotics in poultry production. Chin Poul, 2018, 40(3): 39–43 (in Chinese).  
王红玉, 陈杰, 宋益贞, 等. 家禽生产中抗生素替代品研究进展. 中国家禽, 2018, 40(3): 39–43.
- [22] Yi R. Annual growth rate of biological feed exceeds 20%. Chin Anim Husb Vet Med, 2013-09-08 (in Chinese).  
伊然. 生物饲料年均增速超 20%. 中国畜牧兽医报, 2013-09-08.
- [23] Wang Y, Zheng XC, Li HY, et al. Development Report of Biological Feed Industry. High-Tech Com, 2019, (1): 37–49 (in Chinese).  
王阳, 郑春晓, 李海英, 等. 生物饲料产业发展报告. 高科技与产业化, 2019, (1): 37–49.
- [24] 关于印发促进生物产业加快发展若干政策的通知 [EB/OL]. [2019-04-15]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2009/content\\_1336362.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2009/content_1336362.htm).
- [25] 首届先进生物燃料论坛在京召开取得 5 项重要成果 [EB/OL]. [2010-07-15]. [http://www.gov.cn/gzdt/2010-06/16/content\\_1628515.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2010-06/16/content_1628515.htm).
- [26] Wang Y. Bibliometrics evaluation on anaerobic digestion technology of straw. J Agric Sci Technol, 2017, 19(4): 1–9 (in Chinese).  
王阳. 秸秆厌氧消化领域发展态势分析. 中国农业科技导报, 2017, 19(4): 1–9.
- [27] Wan XW, Cui ZX, Li HM, et al. Prevention of *Escherichia coli*-induced diarrhea with microecological complex preparation in swine. Biomed Res, 2014, 25(1): 79–83.
- [28] Dlamini ZC, Langa RL, Aiyegoro OA, et al. Safety evaluation and colonisation abilities of four lactic acid bacteria as future probiotics. Probiot Antimicrob Prot, 2019, 11(2): 397–402.
- [29] Witkowska Z, Chojnacka K. Production of new biological feed additives with Cr (III) by biosorption in a semi-batch mode. Przemysl Chem, 2013, 92(7): 1308–1310.
- [30] Nakajima Y, Van Naters-Yasui AVDG, Taylor D, et al. Antibacterial peptide defensin is involved in midgut immunity of the soft tick, *Ornithodoros moubata*. Insect Mol Biol, 2002, 11(6): 611–618.
- [31] Wang JH, Wu CC, Feng J. Effect of dietary antibacterial peptide and zinc-methionine on performance and serum biochemical parameters in piglets. Czech J Anim Sci, 2011, 56(1): 30–36.
- [32] Plaipetch P, Yakupitiyage A. Effect of replacing soybean meal with yeast-fermented canola meal on growth and nutrient retention of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). Aquac Res, 2014, 45(11): 1744–1753.
- [33] Witkowska Z, Chojnacka K, Korczyński M, et al. Soybean meal enriched with microelements by biosorption-A new biological feed supplement for laying hens. Part I. Performance and egg traits. Food Chem, 2014, 151: 86–92.
- [34] Jazi V, Boldaji F, Dastar B, et al. Effects of fermented cottonseed meal on the growth performance, gastrointestinal microflora population and small intestinal morphology in broiler chickens. Br Poult Sci, 2017, 58(4): 402–408.
- [35] Zhang XY, Wang Y, Wu YB, et al. Research progress on nutrition and feeding technology in reducing odour in large-scale pig farms. J Domestic Anim Ecol, 2017, 38(4): 1–7, 14 (in Chinese).  
张信宜, 王燕, 吴银宝, 等. 规模化猪场臭气减排的营养和饲养技术研究进展. 家畜生态学报, 2017, 38(4): 1–7, 14.
- [36] El Sherif K, Gerendai D, Gippert T. Complete substitution of sunflower meal for soybean meal with or without enzyme supplementation in broiler rations. Archiv Fur Geflugelkunde, 1997, 61(1): 8–14.
- [37] Baas TC, Thacker PA. Impact of gastric pH on dietary enzyme activity and survivability in swine fed  $\beta$ -glucanase supplemented diets. Canadian J Anim Sci, 1996, 76(2): 245–252.

(本文责编 陈宏宇)