



陈理, 韩毅, 瞿云山, 杨广, 王泽宇, 赖有春, 陈帅宇, 郑永军, 周宇光. 基于专利分析的玉米秸秆创新利用态势研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(01): 1-20.
CHEN Li, HAN Yi, QU Yunshan, YANG Guang, WANG Zeyu, LAI Youchun, CHEN Shuaiyu, ZHENG Yongjun, ZHOU Yuguang. Research on innovative utilization trend of corn stover based on patent analysis[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(01): 1-20.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.01.01

基于专利分析的玉米秸秆创新利用态势研究

陈理^{1,2} 韩毅^{1,2} 瞿云山^{1,2} 杨广^{1,2} 王泽宇^{1,2} 赖有春^{1,2} 陈帅宇¹
郑永军¹ 周宇光^{1,2*}

(1. 中国农业大学 工学院, 北京 100083;

2. 农业农村部可再生能源清洁化利用技术重点实验室, 北京 100083)

摘要 为洞悉全球玉米秸秆利用的共性关键技术和发展态势, 利用Innography检索1854—2021年的全球玉米秸秆专利, 综合分析全球玉米秸秆专利的申请趋势、申请机构、综合实力和各国专利布局等信息, 并利用可视化工具分析专利技术聚类相关内容。以高专利强度的专利为代表讨论了减排固碳、绿色生态、现代装备、高值材料、智能信息和生物化学等领域专利对玉米秸秆综合利用方向的引领。结果表明, 我国玉米秸秆专利中存在着授权率低、研发领域发展不均衡、缺乏国际专利布局、创新利用方法专利较少和企业研发占比偏低等问题。2017—2021年的玉米秸秆创新利用专利技术中, 利用玉米秸秆进行固、液、气3种形式的碳储存技术可实现创新减排固碳技术; 利用玉米秸秆实现种植还田方法的特异化、肥料利用的创新、制备农产品的基质和绿色产品, 实现创新绿色生态技术; 利用现代信息技术优化玉米秸秆处理流程和方法, 提高资源利用效率; 利用创新现代装备技术对秸秆收储运、预处理和利用设备的优化, 可实现农业机械高效化; 从原料创新和高性能材料需求角度对玉米秸秆进行秸秆高值材料技术研发和创新; 利用生物化学技术包含发酵技术青贮、微生物菌剂技术和酶解技术等, 实现对玉米秸秆的创新利用。因此建议增加自身核心专利和高影响力专利的数量, 提高科技成果转化率和专利国际化布局比例, 高校和研究院提出的创新利用技术应加强与产业的融合。玉米秸秆高值材料产业是一个重要的突破方向, 通过开发高值产品和实现资源循环利用来实现秸秆的综合利用, 有望为农作物秸秆全产业链高值化利用提供新的机遇和发展路径。

关键词 玉米秸秆; 专利分析; 研究态势; 创新利用

中图分类号 S38; G255.53

文章编号 1007-4333(2024)01-0001-20

文献标志码 A

Research on innovative utilization trend of corn stover based on patent analysis

CHEN Li^{1,2}, HAN Yi^{1,2}, QU Yunshan^{1,2}, YANG Guang^{1,2}, WANG Zeyu^{1,2}, LAI Youchun^{1,2},
CHEN Shuaiyu¹, ZHENG Yongjun¹, ZHOU Yuguang^{1,2*}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Clean Production and Utilization of Renewable Energy, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100083, China)

Abstract To comprehensively understand the common key technologies and development trends in global corn stover utilization, this study utilized Innography to search and summarize the global corn stover patents published during 1854 and 2021, and focuses on the analysis of global corn stover patent filing trends,

收稿日期: 2023-06-20

基金项目: 科技部创新方法工作专项项目(2020IM020901)

第一作者: 陈理 (ORCID: 0009-0006-2529-1862), 副教授, 主要从事农业工程研究, E-mail: chenli329@cau.edu.cn

通讯作者: 周宇光 (ORCID: 0000-0002-5345-3746), 副教授, 主要从事农业工程研究, E-mail: zhouyg@cau.edu.cn

filing institutions and comprehensive strength, and patents distribution across countries, etc. Visualization tools were also used to analyze patent technology clustering, providing insights into research directions and key common technologies in these fields. Among the innovative corn stover utilization technologies, high patent intensity patents were selected as representatives to discuss the directional leadership of patent on comprehensive utilization technologies of corn stover in the areas such as emission reduction and carbon sequestration, green ecology, modern equipment, high-value materials, intelligent information and biochemistry. The analysis revealed that China's corn stover patents have a low authorization rate, and uneven development in R&D fields, a lack of international patent layout, relatively few patents on innovative utilization methods, and a low proportion of enterprise R&D. From 2017 to 2021, innovative utilization technologies for corn straw included carbon storage technologies in solid-liquid-gas states, which can achieve innovative carbon reduction and sequestration technologies; utilize corn stover can specialize the planting return method and the innovate of fertilizer utilization, increase crop yield, improve soil quality, and prepare substrate and green products for agricultural purposes, thereby achieving innovative green ecological technology; optimizing corn straw processes and methods using modern information technology can enhance resource utilization efficiency; optimizing straw collection, pre-treatment, and utilization equipment using innovative modern equipment technology can enhance agricultural machinery efficiency; developing high-value material technology for corn stover from the perspective of raw material innovation and high-performance material demand can achieve innovative utilization; utilizing biochemical technology, including fermentation technology, green fodder, microbial bacterium, and enzymatic technology, can be applied for innovative utilization of corn stover. Therefore, it is recommended to increase the number of own core patents or high-impact patents, improve the conversion rate of scientific and technological achievements and the proportion of international layout of patents, universities and research institutes. The integration of the industry should also be strengthened to expand the scope of innovative technology utilization. The corn stover high-value material industry represents an important breakthrough direction. By developing high value-added products and achieving resource recycling for comprehensive stover utilization, new opportunities and development paths for the entire corn stover high-value utilization industrial chain can be expected.

Keywords corn stover; patent analysis; research situation; innovative utilization

农作物秸秆是一种重要的生物质资源,动物饲 2021年全国秸秆产生量8.65亿t,其中玉米秸秆产生量达到3.21亿t,占比达37%。玉米秸秆与其他作物秸秆相比具有高碳氮比、硬度大、高纤维素、高热值等特点^[1-3]。玉米秸秆资源广泛分布于我国北方,可作为动物饲料、能源、肥料和原材料等,还可以降低环境污染和提高土壤质量。秸秆综合利用对于环境保护和可持续发展具有重要意义。农业农村部出台了多项措施鼓励秸秆综合利用,如建设秸秆资源化利用基地和推广秸秆还田等^[4]。同时农业循环经济和绿色发展需要开发新的利用方式,实现玉米秸秆的高效转化和高附加值应用,以降低温室气体排放,改善土壤肥力和增加农民收入^[5],因此探寻玉米秸秆综合创新利用技术对乡村振兴、农业经济和可持续发展具有重要的意义。

专利分析是对专利文献进行研究和分析,专利

中的前后引用、诉讼信息和分类号等数据可以作为分析的重要参考指标。前后引用可以衡量专利的重要性和影响力,诉讼信息有助于了解专利的法律风险,分类号可以帮助定位专利所属技术领域,综合分析这些数据可以帮助企业、研究机构等获取该产业的技术发展态势、产业分布格局以及市场走向等信息^[6-7]。王红彦等^[8]分析了全球秸秆利用专利的申请趋势,总结了我国核心专利少、专利转化水平低等问题,并提出提高企业的研发水平、增加自身核心专利或高影响力专利的数量、发挥中国在秸秆肥料与秸秆建筑材料等方面的研发优势等建议。已有研究中对秸秆的专利分析主要聚焦于各专利技术,叶嘉欣等^[9]分析了秸秆成型燃料技术,专利申请量在地域上的分布与秸秆资源量的分布大致匹配,另外成型原料的选择是该领域的主要改进方向,煤、污泥和木屑等有一定热值的废弃物资源是

最常用的搭配原料。刘起丽等^[10]以“秸秆腐熟类”和“秸秆还田”作为检索词对秸秆还田技术做专利分析,总体反映了秸秆还田技术的科技创新力、发展现状、生态条件三者之间的契合度,形成高效利用秸秆技术与多种生态链相结合。汪珽珽等^[11]从时间、空间、研究热点和研究主题等多维度分析棉花秸秆收获领域的发展态势:西北内陆棉区在棉秆收获方面侧重于打捆、除膜和粉碎技术的研究,机械化程度最高;长江中下游棉区研究较为均衡,且对手动工具研究较多;黄河中下游棉区在棉秆收获方面侧重于收获功能的研究。贾倩等^[12]从申请趋势、区域分布、技术分布和研发主体等方面开展国内外秸秆能源化利用技术发展差异研究发现我国秸秆能源化利用技术经过了以热解气化技术为主转向以固化成型技术和发酵产沼气技术为主到热解气化技术、直燃技术和液化技术并行发展的历程,而液化技术发展相对国外较缓慢,外国秸秆能源化利用技术经过了以固化成型技术和直燃技术为主转向以固化成型技术和液化技术为主的发展转变历程,液化技术逐渐成为其未来发展方向。李金丽等^[13]重点针对秸秆制备缓冲包装材料的原材料、发泡方式和成型方式进行分析,认为在国家环保政策越来越严格的现况下,具有环境友好特点的绿色生物质基材料、多种秸秆纤维复合型及功能型缓冲包装材料是未来的研发重点之一。

Innography是美国Innography公司推出的一款知识产权智能分析与检索软件,该软件具有强大完整的数据库,涵盖104个司法辖区的国家或地区专利数据和美国联邦法院电子备案系统的全部专利诉讼数据、专利发布时间、专利诉讼和被引用量等20多类信息^[14-15]。Innography还建立了独特的专利强度指标,可综合多方面指标评估每个专利的综合价值,便于筛选核心专利。Gephi是广泛应用于探索性数据分析、链接分析、社交网络分析和生物网络分析等领域,可进行各种布局和过滤操作,可以处理大规模的数据集合,对数据进行清洗和分类^[16]。

当前对秸秆利用的专利分析研究大多是依靠统计分析,而在秸秆创新利用技术领域深入分析其发展态势的研究鲜见报道。本研究利用Innography检索并筛选玉米秸秆利用领域的专利数据,运用Gephi图谱分析工具,并结合Excel软件对玉米秸秆

领域专利的变化趋势进行图表和网络等可视化呈现,旨在了解全球玉米秸秆利用的共性关键技术、发展态势以及创新前沿,以期为我国玉米秸秆创新利用技术提供参考。

1 数据来源与研究方法

以“玉米秸秆”为关键词,在Innography数据库中进行专利检索和分析,采用的检索式为@ (abstract, claims, title) (“corn stover” or “corn stalk” or “corn residue” or “corn cob” or “corn straw”)并设置maize为corn的同义词。本研究的研究对象为明确的玉米秸秆专利,因此在进行筛选时,只有在专利的摘要、声明和题目中明确提及了玉米秸秆的专利才会被纳入研究范围。对于未明确指出秸秆种类的专利,适用于所有农作物秸秆,而不具有针对性的玉米秸秆专项研究,这些专利将不包含在本研究的范围内。经过专利同族扩充和清洗后,最终共检索到1854—2021年的5214项该领域专利。鉴于专利申请到专利公开最长有18个月的滞后期,使得大量专利还处于未公开状态,因此2018—2021年的专利数量少于实际申请量,见表1。

专利强度是Innography独创的专利评价指标,其作用是帮助用户快速有效地寻找核心专利,追寻专利文献利用的前沿方向^[14]。该指标综合了专利诉讼情况、被引用次数、专利从申请到授权的时长、专利授权时间、权利要求数量和引用之前技术文献数量等多个专利价值相关指标计算而得。专利强度的区间为0~100,其越接近于100,表示专利创新性、技术水平、商业价值和法律保护程度等综合价值越高。以专利强度指标为主,评估玉米秸秆专利综合价值、申请机构对玉米秸秆专利布局、专利技术聚类情况和玉米秸秆利用专利创新技术研究。

2 全球玉米秸秆专利统计特征

2.1 申请趋势

由图1可知,1995—2021年的玉米秸秆专利申请大致可分为早期探索阶段(1995—2005年)、快速发展阶段(2005—2013年)以及稳定阶段(2013—2021年)。全球最早的玉米秸秆专利为1854年欧盟专利局授权的从甘蔗和玉米棒中提取烈酒或酒精的工艺^[17],中国的第一项玉米秸秆利用专利为1995年授予张俊峰^[18]的玉米杆粉酿醋新方法,该专利利用

表 1 玉米秸秆专利类型及 IPC 代号
Table 1 Corn stover patent types and IPC code

技术 Technical	IPC 代号及专利技术 IPC code and patented technology
收获及预处理 Harvesting and pre-treatment	秸秆清理 Straw cleaning (A01B), 收割机 Harvester (A01D), 脱粒 Threshing (A01F011、A01F012), 捆扎 Binding (A01F015), 储存 Storage (A01F025), 切割 Cutting (A01F029、B26D), 灭菌 Sterilization (A23B), 烘烤 Baking (A47J), 消毒灭菌 Sterilization (A61K), 机械分解 Mechanical decomposition (B02C), 除杂 Impurity removal (B07B), 分离 Separation (B27J), 压缩 Compression (B30B), 压块 Briquetting (B32B), 包装与拆包机器 Packing and unpacking machine (B65B), 运输 Transport (B65D), 送料 Feeding (B65G), 微生物降解 Microbial degradation (C12N001), 基因工程 Genetic engineering (C12N015、C12Q), 干燥 Drying (F26B), 测物化性质 Physical and chemical properties (G01N)
肥料化利用 Fertilizer utilization	还田器械 Returning equipment (A01C), 生长调节剂 Growth regulator (A01N), 有机肥 Organic fertilizer (C05F), 土壤改良剂 Soil improver (C09K)
燃料化利用 Fuel utilization	生物炭燃料 Biochar fuel (C10B053), 燃油 Fuel oil (C10G001), 成型燃料 Formed fuel (C10L), 酒精 Alcohol (C12G), 发酵反应器 Fermentation reactor (C12M), 发酵 Fermentation (C12P)
饲料化利 Feeding stuff utilization	动物饲料 Animal feed (A23K), 饲料处理机 Feed processing machine (A23N), 饲料造粒装置 Feed pelletizing device (B01J002)
原料化利用 Raw material utilization	吸附剂 Adsorbent (B01J020), 催化剂 Catalyst (B01J027), 染料 Dye (B27K), 制板材 Plate production (B27M、B27N), 活性炭生物炭 Activated carbon biochar (C01B), 水处理 Sewage treatment (C02F), 提升建筑材料性能 Improvement of building material performance (C04B), 制碳环化合物 Carbon ring production compound (C07C), 制多糖 Production of polysaccharides (C08B), 大分子化合物 Macromolecular compounds (C08L), 制染料、纤维素膜 Macromolecular compounds (C08L), 制染料、纤维素膜 Production of dyes and cellulose films (C09B), 食品 Food (A23L), 制酶及酶解产糖 Enzyme production and enzymatic sugar production (C12N009), 木糖 Xylose (C13K), 机械造纸 Mechanical papermaking (D21B), 提取纤维 Fiber extraction (D21C), 纸浆 Pulp (D21H)
基料化利用 Medium material utilization	微生物培养液 Microbial culture solution (A01H), 蘑菇培养基 Mushroom medium (A01G18), 其他菌类培养基 Other fungus medium (C05G)

注: A01F029 为田间切割工艺, 涉及拖拉机中的旋转和往复刀具及配套进料装置、装载机、鼓风机等装备, B26D 则为离田的切割工艺; 除杂 (B07B) 分两部分, B07B009 中为秸秆除尘过滤工艺, 其余为秸秆和玉米芯与籽粒分离工艺; 制备吸附剂 (B01J020) 中主要吸附的物质有 PM2.5、除草剂、重金属、抗生素和农用化学品等; 其他菌类培养基 (C05G) 包括黑木耳、灵芝、鸡腿菇和孢子菇等。

Note: A01F029 is field cutting process, involving rotary and reciprocating cutters in tractors and supporting feeding devices, loader blowers, equipment, and B26D is field cutting process. Impurity removal (B07B) is divided into two parts, and B07B009 is straw dust removal and filtration process, the rest is separation process of straw, corn cob, and grain. The main adsorbed substances in the preparation of adsorbent (B01J020) are PM2.5, herbicides, heavy metals, antibiotics, agricultural chemicals, etc., and other fungus culture medium (C05G) includes black fungus, reishi mushroom, cockle mushroom, spore mushroom, etc.

不霉变的玉米秸秆生产出优质的食品醋。

早期探索阶段(1995—2005年)始自中国(除香港、澳门地区和台湾省,下同)第一项玉米秸秆专利公开直至2005年,在此阶段的年度专利申请量不足50项,国别构成以美国、中国、德国、前苏联和法国为主,该阶段的专利主要涉及农作物的收割^[19-24]。

快速发展阶段(2005—2013年),中国共申请510项玉米秸秆专利,占全世界玉米秸秆专利的77.1%。此阶段仍是以农作物收割技术专利为主,同时出现高专利强度的玉米秸秆综合利用专利被授权,例如一种利用玉米芯生产丁二酸的方法^[25]、从玉米芯中提取烟用香料的方法及其用途^[26]、一种

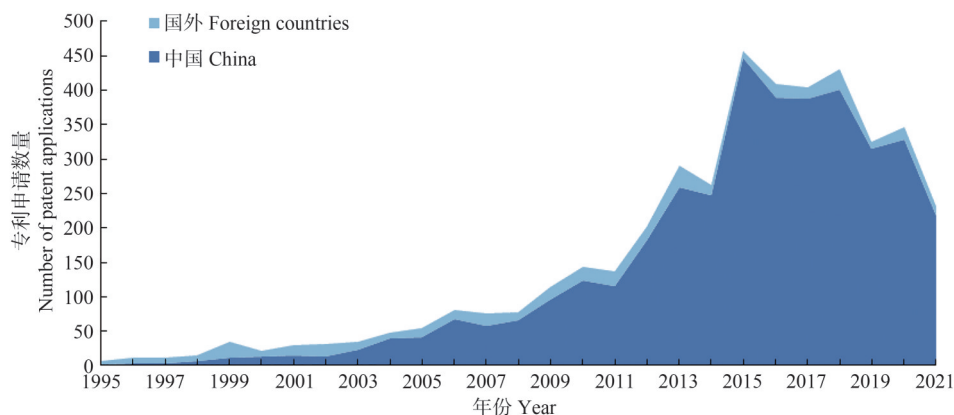


图 1 国内、外的玉米秸秆专利申请量

Fig. 1 Chinese and foreign countries corn stover patent applications

玉米秸秆制备的纸浆及其制成的纸制品^[27]、用玉米秆制取高白度化学浆及其纸产品的制造方法^[28]以及一种玉米秸秆青贮新方法^[29]。

稳定阶段(2013—2021年),每年申请超过200项的玉米秸秆专利。在玉米秸秆专利中以美国迪尔公司和奥地利 Poettinger Ohg Alois 等农机公司为主。中国主要申请机构以中国科学院、中国农业大学等科研机构为主,中国的农业机械公司例如哈尔滨市工艺美术有限责任公司、河北农哈哈机械有限公司等并行,逐步形成秸秆综合利用专利申请格局。

中国专利申请量在全世界占比较高的主要原因是中国是全球最大的玉米生产国之一^[30],每年会产生大量的玉米秸秆。中国一直致力于推动农业废弃物可持续发展和环保产业的发展,积极支持农作物秸秆资源的综合利用,通过出台一系列的政策和措施,包括财政补贴、税收减免和技术支持等,鼓励企业和个人在玉米秸秆利用领域进行创新和专利申请,例如《国务院办公厅关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》(2008年)^[31]、《关于全面做好秸秆综合利用工作的通知》(2023年)^[4]等,同时国内科研机构、大学和企业积极开展相关研究,推动玉米秸秆的高效利用技术创新^[32]。技术创新和研发资源投入的增加也促进了玉米秸秆利用相关专利申请量的增长。

按照技术主题分类的专利(表1),1995—2021年6种技术的申请数量呈增长趋势,其中秸秆收获及预处理方面专利数量在1995—2021年每年的数量均为最高,其次为秸秆原料化利用,其余4个技术主

题每年的申请数相差不大(图2)。2015—2016年秸秆原料化利用方面专利数量出现明显的峰值,其原因是哈尔滨市工艺美术有限责任公司申请了一批以玉米秸秆为原料制备多种颜色染料的专利^[33-34],然后逐渐下降至平缓,其余5个技术主题都在2005年左右开始发展,随之进入平稳阶段。

由表2可知,申请玉米秸秆技术专利的国家主要为中国、美国和德国,中国的申请量占全世界的75.6%,成为玉米秸秆专利申请大国,其次为美国,占6.3%,其余国家或地区占比较少,共占全球申请量的20%左右。中国的玉米秸秆专利授权率不足50%,相较于美国76.3%的专利授权率具有较大差距,因此中国玉米秸秆未来申请专利应兼顾数量和质量,需侧重于申请更有价值的高质量玉米秸秆专利,提高核心专利占比。

2.2 申请机构及综合实力

由图3可知,全球玉米秸秆专利强度呈现金字塔状分布,即强度较高的专利占比较低,反之占比较高,在玉米秸秆利用技术专利中专利强度高于60的总数为191项。申请机构分布同样如此,仅有15个机构或自然人申请超过20项专利,而有2653个机构或者自然人申请不超过5项专利。综合考虑机构布局专利的广度和深度,建立机构专利强度指标,并以该指标使用机构申请专利数量乘以该机构平均专利强度得出的机构专利强度。通过Innography平台检索到玉米秸秆利用技术专利申请前十的机构,全世界高专利强度玉米秸秆专利申请机构前十中有8个国内机构,其中7个是国内高校科研院,仅有1个商业公司(表3)。美国迪尔公司作

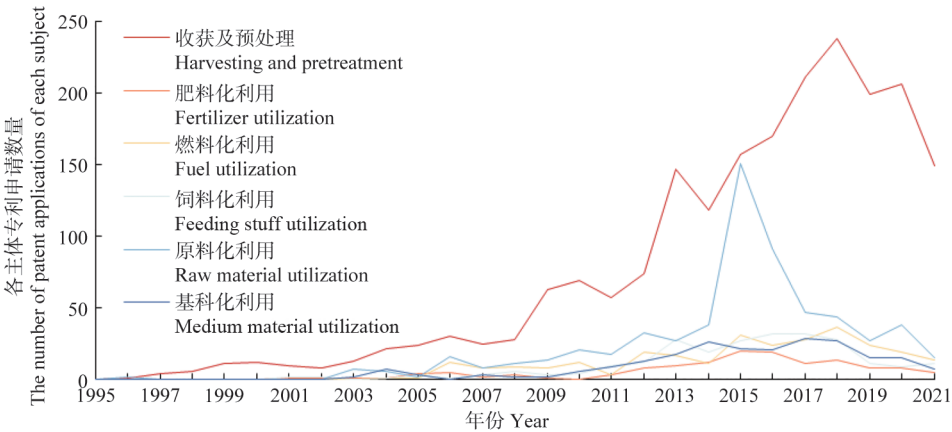


图2 中国玉米秸秆专利领域的增长趋势

Fig. 2 Growth trend of China's corn stover patents by field

表2 主要国家和全球的玉米秸秆专利申请量及授权量

Table 2 Number of corn stover patent applications and grants in major countries and global

国家 Country	申请数量 Number of applications	申请占比/% Percentage of applications	授权数量 Number of authorizations	授权率/% Authorization rate
中国 China	3 970	75.60	1 921	48.4
美国 United States	334	6.37	255	76.3
德国 Germany	143	2.73	72	50.3
全球 World	5 246	100.00	2 641	50.3

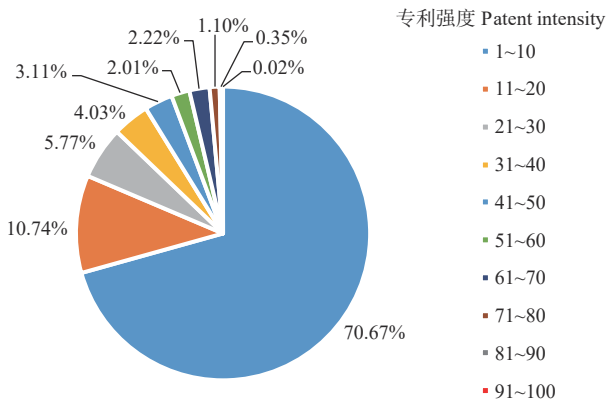


图3 全球玉米秸秆专利强度分布

Fig. 3 Global corn stover patent intensity distribution

为最早申请玉米秸秆专利的公司之一,在玉米收获装备领域处于世界龙头地位,该公司在设计玉米联合收割机后,又针对秸秆多项性质对联合收割机不

断改进,完成了玉米秸秆的集中机械化收获,为秸秆打捆运输后再利用提供了便利,进而降低了玉米秸秆的利用成本。在1928—2020年共申请38项专利,平均专利强度达到了34.8,但2017—2021年只申请了3项专利。美国科迪华公司在2017—2021年的专利申请数量达10项,数量高于其他企业。

在国内高校中,山东理工大学申请玉米秸秆专利数量最多,共计30项,但2017—2021年的申请量较少,仅有1项。平均专利强度较高的是中国科学院和东北农业大学,分别是26.9和25.9,两所机构申请专利数量均为29项,属于较高水平,这2个机构在玉米秸秆专利数量和质量均位于前列,在玉米秸秆专利布局中,中国农业大学是最早申请玉米秸秆专利的国内高校。在专利数量方面,哈尔滨市工艺美术有限责任公司申请了103项相关专利,但是

表 3 玉米秸秆专利高专利强度机构

Table 3 Corn stover patent high patent intensity institution

机构/组织 Affiliation/Organization	专利数 Number of patents	平均专利强度 Average patent intensity	机构专利强度 Institutional patent intensity	申请专利年份 Period of patent application	近 5 年专利数量 Number of patents in the last 5 years
迪尔公司 Deere &. Company	38	34. 8	1 322	1928—2020	3
中国科学院 Chinese Academy of Sciences	29	26. 9	780	2003—2021	11
东北农业大学 Northeast Agricultural University	29	25. 9	751	2009—2019	17
吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	27	23. 3	629	2015—2021	22
山东理工大学 Shandong University of Technology	30	19. 6	588	2006—2020	1
中国农业大学 China Agricultural University	27	21. 2	572	2002—2021	12
哈尔滨市工艺美术有限责任公司 Harbin Arts and Crafts Co. , Ltd.	103	5. 4	556	2012—2015	0
河南农业大学 Henan Agricultural University	23	20. 0	460	2006—2021	10
吉林农业大学 Jilin Agricultural University	23	17. 0	391	2006—2021	13
科迪华公司 Corteva , Inc.	21	16. 9	355	1990—2017	10

平均专利强度并不高,可以通过校企合作的方式提升秸秆专利利用的综合水平,吉林省农业科学院在 2017—2021 年申请专利数量最多,且平均专利强度仅次于中国科学院和东北农业大学,说明吉林省农业科学院近年在玉米秸秆利用技术创新方面加大了力度。

2.3 各国专利布局

由图 4 可知,各国研究针对玉米秸秆专利的关注点不尽相同,收获和预处理领域是大多数国家申请玉米秸秆专利的主要方向,而韩国、日本在秸秆的收获和预处理专利比占较低,不足 50%。在“秸秆五料化”利用中,玉米秸秆原料化利用在专利中占比最高,说明大部分国家在玉米秸秆原料化利用领域比较重视。

专利的申请地区是指专利权人申请专利保护的国家,对其进行分析能反映创新主体对专利申请地区市场重视程度。其中美国、德国申请国际性玉米秸秆专利涉及到的国家最多,美国涉及到 14 个国家或组织,德国涉及 11 个国家或组织,德国玉米秸秆专利国际化布局比例最高,达到 28.2%,而中国玉米秸秆专利国际布局比例仅为 0.4%,仅涉及到 8 个国家或组织(表 4),由此可见,中国玉米秸秆专利的国际化水平略弱于美国、德国。美国的科迪华农业科技公司的玉米秸秆专利布局在印度 3 项、匈牙利 4 项和巴西 4 项等。美国迪尔公司的玉米秸秆专利布局于欧洲专利局 1 项、德国 13 项和巴西 2 项,可见美国的玉米秸秆专利国际化布局主要是依靠以美国科迪华农业科技公司 and 美国迪尔公司为代表

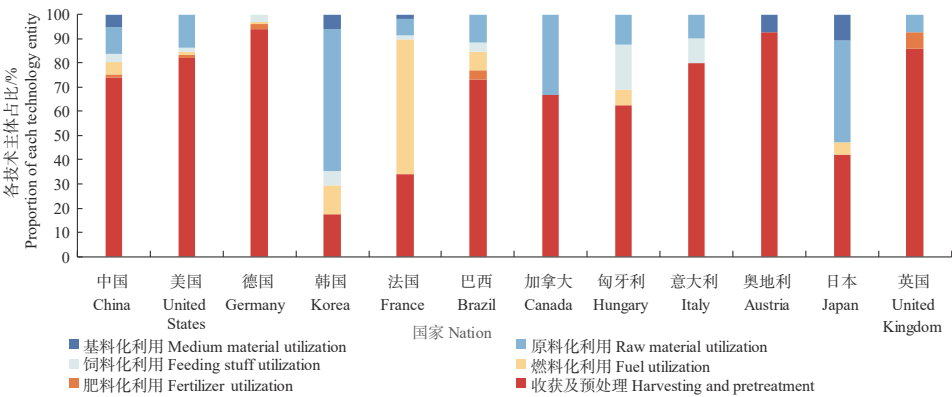


图4 各国玉米秸秆专利所属领域占比

Fig. 4 Tendency of innovation areas in regions where corn stover patents belong

表4 玉米秸秆专利国际布局

Table 4 International layout of corn stover patents

国家/组织 Country/Organization	中国 China	美国 United States	德国 Germany
中国 China	3 419	1	0
美国 United States	2	234	12
德国 Germany	2	6	89
法国 France	0	1	5
欧盟专利局 European Union Patent Office	2	0	9
巴西 Brazil	0	10	0
加拿大 Canada	0	10	0
世界知识产权组织 World Intellectual Property Organization	6	3	0
其他 Others	荷兰 Neterland(1)、卢森堡 Luxembourg(1)、赞比亚 Zamibia(1)	匈牙利 Hungary(3)、英国 United Kingdom(3)、阿根廷 Argentina(3)、意大利 Italy(1)、印度 India(1)、新西兰 New Zealand(1)、哥伦比亚 Columbia(1)	波兰 Poland(2)、英国 United Kingdom(2)、匈牙利 Hungary(1)、南斯拉夫 Yugoslavia(1)、比利时 Belgium(1)、赞比亚 Zambia(1)、瑞典 Sweden(1)
专利国际化布局比例/% Proportion of international layout of patents	0.4	15.8	28.2

的跨国农机公司。中国玉米秸秆专利可汲取其中经验,大力扶持相关秸秆利用公司,鼓励与玉米秸秆方面专利相对较少的农业国家开展合作。

2.4 专利技术聚类

玉米秸秆专利可被分为收获及预处理和“秸秆五料化”共六大类(表1)。由图5可知,玉米秸秆肥料化利用技术主要包括三类,分别为优化秸

秆还田器械类、堆肥并腐熟后还田方法类、改良土壤或提高产量的还田方法类。玉米秸秆燃料化利用技术有固态、气态和液态3种燃料形式,分别以生物炭和成型燃料、燃油和酒精、发酵产沼气为主,发酵技术作为占比较高的利用技术之一,包括对发酵罐等设备的创新和对发酵工艺的创新。玉米秸秆饲料化包括以青贮、微生物处理技术为主



Fig. 5 Cluster visualization of corn stalk patented technology

的制饲料技术和饲料处理、运输等机械装置技术。玉米秸秆原料化包括制板材和纸浆以及经过化学处理后制备纤维素膜、糖和大分子化合物等。玉米秸秆基料化主要是制作以生产蘑菇为主的真菌培养基。

秸秆收获和预处理的专利占比最高,该领域专利主要是以改进收割机为主的农用机械结构,在脱粒、捆扎和切割储存等处理中实现高效收获和机械处理^[37-39]。清理、收割和脱粒技术专利使得秸秆能够被有效地分离出来,捆扎、储存、切割和干燥技术专利方便后续的处理和利用,灭菌、烘烤和消毒等技术专利可以改善秸秆的性质和质量^[35-36],机械分解、除杂、分离和压缩技术专利可将秸秆转化为适合于其他应用的形式,包装与拆包机器、运输、送料技术专利可确保秸秆的高效运输和供给,微生物降解专利技术可进一步提高秸秆的可降解性和利用效率,物化性质分析专利技术可评估秸秆的质量和

利用可行性。秸秆收获专利推动农业机械高效化,可优化作业流程,降低作业能耗。

3 玉米秸秆利用专利创新技术研究

为选出重要性高和新颖性强的核心专利进行玉米秸秆利用专利创新技术研究,本研究设置筛选专利强度 ≥ 60 且授权年限在2017—2021年的专利,对筛选到的专利归纳提炼出创新减排固碳技术、创新绿色生态技术、创新智能信息技术、创新现代装备技术、创新高值材料技术和创新生物化学技术等类别,见图6。

3.1 创新减排固碳技术

玉米秸秆是一种富含碳元素的农业废弃物^[40],含碳量在40%以上,为实现环保减排,可通过创新减排固碳技术,利用玉米秸秆进行碳储存,将秸秆转化为生物质能源和生物炭,以替代传统化石能源,从而减少碳排放。

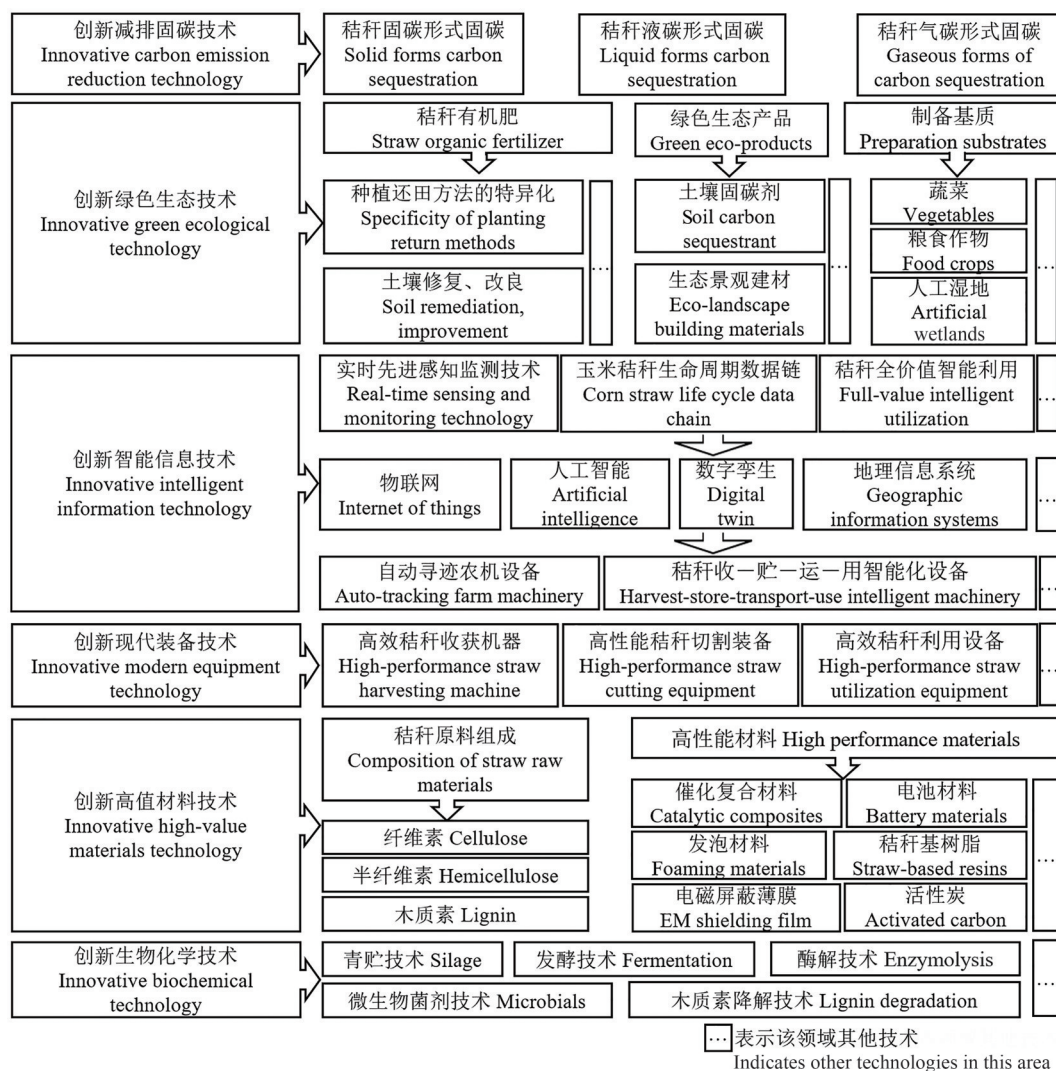


图6 玉米秸秆创新利用技术关系图

Fig. 6 Corn stover innovative utilization technology relationship map

将玉米秸秆固碳的碳源分为液态、固态、气态3种形式^[41]。液体碳源固碳是将秸秆转化为燃油、乙醇和乙二醇等。在秸秆固体碳源固碳中,CN110205176^[42]是一种基于玉米秸秆皮糠分离的固体成型燃料制备方法,专利强度62,对玉米秸秆的皮和糠进行分离,分别粉碎后再制成原料混合物,最终制得固体成型燃料。CN106318418^[43]是一种玉米秸秆低温炭化制备生物质炭燃料的方法,专利强度68,通过向炭化炉内通入 N_2 使炉内处于无氧或低氧环境,将玉米秸秆原料颗粒从炭化炉顶部进料,使玉米秸秆原料颗粒在炉内从上到下运动过程中依次实现干燥、预热解、热解和炭化阶段,可避免焦油的产生。

在秸秆气体碳源固碳中,玉米秸秆发酵产生沼气为主要方式,其他产生低碳能源的技术,包括利用处理过程中产生的蒸汽热量和水解后产电等,在专利中体现如下:CN105003920^[44]是管理和利用过量玉米残留物的系统和方法,专利强度67,包括收割和预处理玉米秸秆及其他残留物的方法,通过燃烧玉米秸秆等残留物以产生热量来生成可用的蒸汽和热能源。CN107623139^[45]是微生物连续发酵玉米秸秆水解液产电及制备电池的方法,专利强度69,首先将玉米秸秆水解后接种菌液获得培养液,在厌氧环境下反应并输出电能。

3.2 创新绿色生态技术

随着“绿水青山就是金山银山”的发展理念深

入人心,玉米秸秆资源循环高效利用与提升农业发展的生态功能愈发重要。创新绿色生态技术包含利用玉米秸秆实现种植还田方法的特异化、肥料利用的创新、制备作物的基质和绿色产品四个方面:1)秸秆有机肥的创新利用中,合理规划玉米秸秆在不同地区和轮作环境下的还田和种植方法^[46];2)玉米秸秆通过生物降解或微生物发酵等转变成有机肥料用于大田生产和土壤修复改良^[47];3)玉米秸秆中含有丰富的木质素和半纤维素等生物高分子化合物,可以转化为绿色生态化学品,如生物基聚合物、生物基材料以及如无污染板材和水净化材料等绿色产品^[48];4)制备用于作物栽培和人工湿地的基质^[49]。

在玉米秸秆还田利用制作有机肥的专利中,对种植方法进行创新的有:CN104584814^[50]是小麦/玉米一年两熟秸秆全量还田下平衡施肥方法,专利强度66,将小麦和玉米作为一个施肥单元,采用全量还田平衡施肥方法,在冬小麦季,将玉米秸秆和根茬粉碎深耕还田并施用底肥,在拔节期追肥;夏玉米季,在小麦成熟收割的同时粉碎麦秸,将麦秸覆盖田地,点播玉米后在玉米苗期进行小麦灭茬和追肥。CN105145003^[51]是玉米烤烟轮作制中秸秆就地还田耕作方法,专利强度66,该发明创新点在于通过将秸秆直接还田,并撒施微生物肥和基肥来改良土壤。CN105706702^[52]是一种高海拔山区玉米秸秆全还田条件下马铃薯机械化种植方法,专利强度71,将机械化种植技术应用于高海拔山区马铃薯种植,并结合玉米自身的生长特性采用机械化种植,并通过调节播种时间、种植方式、秸秆还田等技术条件提高土壤利用率。

玉米秸秆制备肥料再还田的专利分为修复增肥土壤和大田生产两种目的的创新技术路线。CN110283023^[53]是一种用于修复土壤镉污染的多效能玉米秸秆生物炭复合肥料制备方法,专利强度67,通过对玉米秸秆、重过磷酸钙和硅藻土进行混合热解制备出复合生物炭材料,再与尿素混合制备成复合肥料,有效地吸附镉离子用于污染土壤改良。CN106045626^[54]是利用氨基酸发酵废液和玉米秸秆生产生物菌肥的方法,专利强度70,将发酵废液应用于肥料制备中,生产生物菌肥。CN107805615^[55]是一种玉米秸秆腐熟剂制备方法,专利强度73,提供了不含真菌的玉米秸秆腐熟剂制备方法,该复合菌剂

中的多种菌株具有促进玉米秸秆腐熟的能力,达到防治病害的效果。

秸秆生产的绿色产品中,CN104999538^[56]是一种玉米秸秆制备零甲醛刨花板的方法,专利强度62,将秸秆作为原料,采用绿萝汁浸泡并添加纤维素酶和淀粉酶,最终制得无甲醛的刨花板。CN105080511^[57]是一种玉米秸秆纤维素黄原酸盐的制备方法及应用,专利强度67,可用于去除水体中的重金属离子,处理成本低。CN105016874^[58]是秸秆液化包膜液及其制备方法与应用,专利强度74,是将秸秆液化作为制备包膜控释肥的包膜液。CN108149504^[59]是玉米秸秆和麦草混合原料的半化学浆清洁制浆工艺,专利强度68,采用生物酶辅助超声波预处理、化学催化剂及加热自催化处理等技术,在提高制浆过程的质量和效率的同时减少废水的排放。

利用玉米秸秆还可以制备用于农作物和人工湿地的基质,CN106258878^[60]是一种玉米秸秆复合基质及其制备方法,专利强度68,最大的创新点是使用玉米秸秆和河沙制备出符合蔬菜生长要求的复合基质,达到无土栽培基质标准,成本比常规基质降低60%~80%。CN108569768^[61]是一种玉米秸秆制备人工湿地基质的方法,专利强度73,将玉米秸秆制备成人工湿地基质,用于净化生活污水,同时还可用于制备有机肥料。CN106495912^[62]是一种以腐熟玉米秸秆为原料制备机插水稻育秧基质的方法,专利强度80,利用玉米秸秆废弃物和干牛粪通过多种有益微生物的发酵,制备出用于水稻育秧的基质。

3.3 创新智能信息技术

创新智能信息技术涉及玉米秸秆利用中的收集、运输、处理和转化环节,提高资源利用效率,可行的方式包含:1)智能信息技术可实现对玉米秸秆收储运过程中的数据处理和利用,包括秸秆种类、数量、产地、生长情况和收割时间等建立起完整的玉米秸秆生命周期数据链^[63];2)利用传感器、图像处理等感知监测和技术实时监测处理设备处理过程的参数^[64];3)通过物联网技术上传数据至云平台,利用大数据分析技术优化处理流程和方法,提高资源利用效率^[65];4)采用人工智能技术分析海量数据并提供决策支持,建立处理设备和处理过程的数字孪生模型,进行虚拟演示即后续优化,提高设计和处理方案

的效率和精度^[66]。整合机器学习、建模与仿真、图像识别、神经网络和地理信息系统等技术手段,实现秸秆的全价值利用。

在自动寻迹方面创新的智能化秸秆收割农机设备专利有CN107980337^[67]是一种玉米秸秆自动收割破碎装置,专利强度62,该发明通过自动寻迹和多组收割装置等设计实现了对玉米秸秆的自动收割和破碎,降低了人力成本,提高了秸秆收集的效率。

玉米秸秆收获和回收处理中智能化设备专利有:CN209897694^[68]是玉米秸秆粉碎喂料装置,专利强度62,解决了现有的玉米秸秆工作时入料繁琐且物料中小石块清除不易的问题,实现了玉米秸秆的智能化粉碎喂料。CN109511388^[69]是一种玉米秸秆回收处理车,专利强度70,可长时间高效粉碎、切割秸秆和叶片,无需人工清理,通过控制器控制车辆的工作,提高回收处理车的智能高效化。CN211406872^[70]是穗茎兼收智能玉米收获机,专利强度65,对玉米茎进行收获、铡断、收集和穗茎分流,实现穗茎兼收作业。CN108617268^[71]是玉米秸秆处理装置及配套处理的方法,专利强度74,在农田中对收集的玉米秸秆经过切割、筛选、粉碎、还田和压块处理后,对玉米秸秆同时进行还田或打包,使得秸秆的处理过程智能化。

3.4 创新现代装备技术

玉米秸秆利用的创新现代装备技术指秸秆收储运和利用流程中的农机设备,需要针对玉米秸秆特点,研究精准作业装备技术。利用创新现代装备技术进行秸秆收集、预处理和利用三阶段设备的优化,可实现农业机械高效化:1)秸秆收获农业机械高效化,简化切割收割打捆流程^[72];2)针对玉米秸秆硬质特点进行切割装备的创新方向,包括玉米收割机上切割设备和独立的秸秆切割设备^[73];3)秸秆收获后的利用装备的现代化创新包括秸秆饲料加工、生物质燃烧炉等设备,可以提高生产效率、降低能源消耗和环境影响^[74]。

玉米秸秆收获中农业机械高效化是现代装备的主要研究方向^[75]。CN109168572^[76]是一种玉米秸秆收割打捆一体机的喂料机构,专利强度71,在喂料机构中添加了一种冗余装置,保证了收割机和打捆机的供料稳定连续,解决了因收割机故障或停止收割时打捆机喂料不稳定的问题,提高了玉米秸秆收割打捆的效率。CN110050589^[77]是一种玉米

秸秆整形打包机,专利强度73,通过机械设计和优化,将杂乱的玉米秸秆整形为有封闭口的中空板,通过改变玉米秸秆的运动方向使得玉米秸秆更适用于后续打包和运输等环节。CN111802088^[78]是一种连续包装式玉米秸秆收割打捆机,专利强度63,采用压缩箱体作为秸秆储存压缩舱以提高秸秆的压缩效率和密度,设计伸缩输料筒以保证压缩速率与喂料速率的一致性,实现了玉米秸秆的高效收集。CN109362332^[79]是站立玉米秸秆前置式粉碎还田机,专利强度71,设计了左、右两组螺旋夹持辊,通过左螺旋夹持辊的横向往复运动提高对站立玉米秸秆的夹持输送效果,并避免秸秆对夹持辊的缠绕和堵塞,从而实现高效稳定地粉碎和还田。

由于玉米秸秆质地较硬,为便于后续运输储存和利用,秸秆粉碎装备专利技术包括:CN109315132^[80]是玉米茎粉碎装置,专利强度67,通过使用曲柄连杆机构和分度块等组件,实现对玉米茎秆的粉碎,结合收割装置和打包装置的设计,便于运输和存储。CN212087085^[81]是一种农牧玉米秸秆粉碎处理装置,专利强度65,通过将玉米秸秆粉碎为粉末,避免设备内被秸秆卡住,减少收割机设备的损坏。CN108925256^[82]是一种玉米秸秆粉碎锤捣装置,专利强度73,将秸秆进行粉碎处理后,可以作为肥料使用。同时该发明通过添加运输组件,实现了对粉碎后秸秆的收集和运输。CN110521394^[83]是一种玉米秸秆还田装置,专利强度68,能够保证秸秆还田时滚动车轮与地面有充足的摩擦力,通过滚动车轮和齿轮加速器的作用可使秸秆充分的粉碎,有效提升了秸秆的粉碎效果,使秸秆能够快速地进行分解。

秸秆收获后利用装备的创新专利有:CN107996134^[84]是大田玉米秸秆原位青贮饲料定量块加工制作装置,专利强度68,利用归拢爪和切割机将秸秆切割,收秆杆将玉米秸秆推送到吞秆口,并在粉碎处理机中处理形成块状混合料块,利用乳酸菌的发酵可制成青贮饲料块,达到即时处理即时加工的目的。CN109005928^[85]是玉米秸秆田间捡拾粉碎均布还田专用机,专利强度72,可以捡拾粉碎和全方位铺放的秸秆,实现高效还田作业。

3.5 创新高值材料技术

玉米秸秆中含有丰富的纤维素、半纤维素和木

质素等可用作高值产品的原料。从原料创新和高性能材料需求角度对玉米秸秆进行高值材料研发,实现创新利用,在高专利强度专利中的体现包括:1)玉米秸秆纳米纤维素技术^[86]:利用纳米技术将玉米秸秆中的纤维素分子进行纳米化处理^[87],制备出纤维素功能材料^[88]、再生纤维素纤维^[89],该材料具有高比表面积、高强度等优异性能,可用于制造涂料、复合材料等高性能材料^[88];2)制备碳材料:将秸秆转化为碳材料,可制备成高性能电池电极材料^[90]、超级电容器^[91]等;3)通过生物技术加工制造生物质能源和生物材料产品,以生物材料聚乳酸(PLA)替代普通塑料(PE、PP、PVC)和普通化纤(PET、PBT、PTT等),以生物基聚氨酯(Bio-PU)、生物基聚碳酸酯(Bio-PC)、生物基聚酰胺尼龙(Bio-PA)替代传统化学工程材料(PU、PC、PA等)^[92]。

玉米秸秆原料创新利用技术包括对半纤维素和纤维素的利用。半纤维素利用的典型专利技术有:CN106748750^[93]是一种由玉米秸秆中半纤维素制备乳酸的方法,专利强度64,通过化学催化法制备获得高收率的乳酸产品,该技术同时具有绿色环保,无二次污染和生产成本低等优点。纤维素利用的典型专利技术有:CN105568744^[94]是一种玉米秆纳米纤维素晶须及其制备方法与应用,专利强度66,可节约预处理过程的化学药品用量,降低了预处理过程废液的处理难度,还能降低后续酸水解纤维素的酸浓度。CN106087089^[95]是一种微生物共培养预处理玉米秸秆制备粘胶纤维的系统,专利强度70,将生物质降解的瘤胃微生物和降解物或代谢产物通过与微生物共培养,降解秸秆皮中半纤维素和不稳定纤维素,进而将剩余的高结晶木质纤维素制备为粘胶纤维。CN104004207^[96]是离子液体制备玉米芯纤维素材料或共混纤维材料的方法,专利强度73,中离子液体相比传统的有机溶剂,具有溶解性能好、低毒性、高稳定性和可回收性等优点。

玉米秸秆制备活性炭的典型专利技术有:CN105384171^[97]利用木糖醇制备工艺后的玉米秸秆废渣制备活性炭的方法,专利强度64,用于从玉米秸秆原料中提取半纤维素制备低聚木糖时的脱色脱毒。CN106117610^[98]是玉米全秆再生纤维素-纳米活性炭复合凝胶膜的制备方法,专利强度64,采用了玉米秸秆作为原料,通过特定的处理方法得

到玉米秆纤维素和纳米活性炭,并将两者混合制成复合凝胶膜,该膜具有较高的重金属离子吸附能力。

利用玉米秸秆制备出高性能材料的创新技术有:CN109456451^[99]是一种玉米秸秆基超吸水树脂及其制备方法,专利强度63,是将玉米秸秆作为原料,制备出一种具有超吸水性能的树脂。CN107337205^[100]是一种利用废弃玉米秸秆转变为钠离子电池电极材料的方法,专利强度62,通过超声清洗、高温碳化、化学活化和空气活化等步骤,将玉米秸秆转变为多孔的碳材料,并且该材料制成的钠离子电池表现出很好的循环稳定性、较高的倍率性能和储钠容量。CN107376993^[101]是玉米秸糠固载钨催化复合材料的制备方法及应用,专利强度63,制备的复合材料具有优异的脱色降解能力,可应用于有机染料的降解。CN105110758^[102]是一种利用玉米秸秆和氯氧镁水泥复合制备建筑保温材料的方法,专利强度64,该材料兼顾了保温隔热、防火、防水和防腐等功能。CN110684311^[103]是一种改性玉米秸秆阻燃可降解发泡材料制备方法,专利强度67,通过对玉米秸秆进行酯化接枝改性解决了目前玉米秸秆生产发泡材料易燃的问题,并且具有良好的抗压性能和高回弹率。CN108250473^[104]是一种石墨烯改性玉米秸秆芯复合电磁屏蔽薄膜制备方法,专利强度72,利用生物质材料制备电磁屏蔽材料,将玉米秸秆芯与石墨烯相结合,形成了三层复合电磁屏蔽薄膜,具有较大的比表面积和良好的三维网络状结构,可提高对电磁波的多次反射和吸收能力。

3.6 创新生物化学技术

生物化学技术是通过发酵技术、微生物菌剂技术和酶工程技术等将玉米秸秆转化为生物质资源,如生物乙醇等。生物化学技术在高专利强度的专利中的体现在:1)木质素降解技术将玉米秸秆中的木质素分解为单体,可用于生产生物柴油、化学品和材料等^[91];2)酶解技术将多糖类物质转化为单糖,可用于生产生物乙醇、有机酸等^[105];3)发酵技术将玉米秸秆转化为乳酸、酵母蛋白等生物制品,用于食品、饲料和化妆品等领域^[106];4)微生物菌剂技术可将玉米秸秆转化为高蛋白饲料、有机肥料等,提高其降解效率和利用价值^[54]。生物化学技术专利有利于推进玉米秸秆综合利用的可持续发展。

目前微生物预处理的专利有:CN108865927^[106]是低温酵解玉米秸秆的细菌菌株及其发酵培养的方法,专利强度75,提供了一种新的短小芽胞杆菌菌株及其发酵培养方法,可以高效酵解玉米秸秆。CN105255953^[107]是物理-化学-生物预处理玉米秸秆的方法,专利强度69,将玉米秸秆经过稀碱处理和混菌发酵等预处理后,可以利用微生物生产乙醇或接入饲料酵母生产蛋白饲料。CN106182250^[108]是一种玉米秸秆的防霉改性处理方法,专利强度64,针对玉米秸秆进行了防霉改性处理,可提高秸秆防霉防虫时长、降低吸水率、提高耐火温度使用稳定性等。有关秸秆青贮技术专利包括:CN106834167^[109]是一种玉米秸秆青贮用复合菌剂,专利强度76,是多种活性乳酸菌组成的复合菌剂,能够显著提高乙酸产量、有氧稳定性,抑制二次发酵,减少干物质损失,提高了玉米秸秆青贮料的发酵品质。

CN106480101^[110]是厌氧消化技术包括N、P、K复合营养型预处理可提高玉米秸秆厌氧消化产气性能的方法,专利强度70,利用氨水、KOH和磷酸对木质纤维素不同组分的选择性,有针对性地对原料中木质素,纤维素和半纤维进行破坏,同时为预处理及厌氧全过程提供丰富的营养;CN105420282^[111]是一种通过生化预处理玉米秸秆提高秸秆与粪便混合厌氧消化产气性能的技术,专利强度72,可明显缩短预处理时间和厌氧发酵周期,提高甲烷产量。

3.7 玉米秸秆综合利用发展趋势预测

高专利强度的专利反映出玉米秸秆综合利用的发展方向主要集中在玉米秸秆全产业链利用,表明未来的发展重点在于将玉米秸秆利用延伸至玉米秸秆加工全产业链,通过开发高值产品和实现资源循环利用来实现玉米秸秆的综合利用。在这个发展方向中,创新高值材料技术可作为重要的突破方向。创新高值材料技术可以帮助玉米秸秆转化为具有经济价值的材料,还有助于提高玉米秸秆综合利用的经济效益和可持续性,同时推动农业废弃物的资源化利用。通过不断创新和改进,可以开发出更多新型材料和产品,满足不同行业的需求,并拓宽了应用领域,环境友好的高值材料技术能够降低对不可再生资源的依赖,还可以减少农业废弃物的焚烧和填埋,降低环境污染的风险,促进绿色生态建设;碳中

和高属性的高值材料可利用玉米秸秆进行碳储存,将秸秆转化为生物质能源和生物炭,以替代传统化石能源,从而减少碳排放。玉米秸秆创新高值材料技术与减排固碳、绿色生态、现代装备、智能信息和生物化学同样密切相关。它通过转化废弃物为高值产品可实现减少碳排放、高效利用资源和环境保护的目标。同时,现代装备和智能信息技术的运用提高了生产效率和资源利用效率,而生物化学方法的应用则将玉米秸秆中的纤维素、半纤维素等成分提取和转化为高性能材料,推动可持续发展。

玉米秸秆创新高值材料技术的发展为农村经济的发展提供动力。其次,玉米秸秆高值材料产业的发展将创造更多的就业机会,促进就业增长和人才培养,为就业市场提供稳定支撑。此外,该技术的推广和应用也能促进技术转化和国际合作,不同国家之间可以共享技术经验和知识,加强合作关系,推动技术进步和创新,为产业的可持续发展提供更广阔的前景。因此,未来在玉米秸秆综合利用领域,创新高值材料技术可作为一个重要的突破方向,有望为农作物秸秆全产业链高值化利用提供新的发展路径。这样的创新技术将促进资源的可持续利用,减少环境污染,同时推动相关产业的发展,并提升竞争力。

4 结论与展望

本研究使用Innography检索筛选出全球的玉米秸秆专利,利用可视化工具Gephi和Excel对玉米秸秆利用专利的发展态势进行展示。结果表明中国在玉米秸秆利用专利领域的申请虽然起步晚,但对秸秆综合处理技术的研发活跃,只是高强度专利数量仍较少;在专利授权率方面中国玉米秸秆专利授权率不及发达国家,科技成果转化率低^[8];在专利国际布局中,应加强与其他农业国家的合作,提高专利国际化布局比例;在专利利用技术方面,玉米秸秆由于其自身物理和化学性质,主要的专利聚焦于玉米秸秆收储运及预处理过程;在申请机构方面,中国玉米秸秆专利申请机构以高校和研究院为主,企业参与度较低,创新利用技术专利需在产业中发挥实效。

本研究在玉米秸秆利用专利态势分析中,从高专利强度专利的视角下总结了6个玉米秸秆综合利用的态势:1)通过创新减排固碳技术利用玉米秸秆

进行碳储存,达到减少温室气体排放的目的。现有专利包含固、液、气3种形式的固碳形式,以及生物质能源、生物炭和发酵玉米秸秆水解液产电等创新技术;2)创新绿色生态技术通过生物降解和微生物发酵转变为有机肥料,还可以制备用于作物和人工湿地的基质,对种植方法的创新可以促进秸秆综合利用,发展循环农业。另外,玉米秸秆中还含有丰富的木质素和半纤维素等生物大分子化合物,可以转化为绿色生态产品,如生物基聚合物、生物基材料和生物医药品等;3)创新现代信息技术可通过建立玉米秸秆生命周期数据链、创新玉米秸秆回收处理流程设备的智能化,以降低人力成本、提高秸秆收集的效率。具体包括数字孪生、物联网技术、大数据分析、人工智能技术和地理信息系统等高新技术手段的综合应用,以促进秸秆的全价值利用发展;4)创新现代装备技术包含秸秆的收、储、运和利用流程中的设备设计,包括针对玉米秸秆硬质特点进行粉碎装备的创新设计,玉米秸秆收获和利用过程中农业机械高效化的创新装备设计等,以降低劳动力和时间成本,提高生产效率;5)创新高值材料技术中,利用玉米秸秆中的纤维素、半纤维素和木质素等可转化为高值产品的原料。其中半纤维素可以制备乳酸,而纤维素可以制备纳米纤维素晶须和粘胶纤维等;从获得高性能材料的角度,创新技术包含将玉米秸秆转化为碳材料,制备成高性能电池电极材料和超级电容器等;6)在创新生物化学技术中包括将玉米秸秆转化为生物质能源、高价值化合物、生物炭和生物制品等方面的应用,这些生物化学技术不仅可以提高利用效率,而且更环保、节能,有利于推进玉米秸秆的创新利用。

参考文献 References

- [1] 牛文娟. 主要农作物秸秆组成成分和能源利用潜力[D]. 北京: 中国农业大学, 2015
Niu W J. Physicochemical composition and energy potential of main crop straw and stalk [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015 (in Chinese)
- [2] 代文才, 高明, 兰木羚, 黄容, 王金柱, 王子芳, 韩晓飞. 不同作物秸秆在旱地和水田中的腐解特性及养分释放规律[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 188-199
Dai W C, Gao M, Lan M L, Huang R, Wang J Z, Wang Z F, Han X F. Nutrient release patterns and decomposition characteristics of different crop straws in drylands and paddy fields [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(2): 188-199 (in Chinese)
- [3] 吕开宇, 仇焕广, 白军飞, 徐志刚. 中国玉米秸秆直接还田的现状与发
- 展[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(3): 171-176
Lv K Y, Qiu H G, Bai J F, Xu Z G. Development of direct return of corn stalk to soil: current status, driving forces and constraints [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(3): 171-176 (in Chinese)
- [4] 农业农村部. 农业农村部办公厅关于做好2023年农作物秸秆综合利用工作的通知[EB/OL]. (2023-05-23) [2023-08-25]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202306/content_6885403.html
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Ministry of Agriculture and Rural Affairs about to do a good job of comprehensive utilization of crop straw, 2023 notice [EB/OL]. (2023-05-23) [2023-08-25]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202306/content_6885403.html (in Chinese)
- [5] 农业农村部. 关于印发《“十四五”全国农业绿色发展规划》的通知[EB/OL]. (2021-12-07) [2023-08-25]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2021/202109/202112/t20211207_6384020.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs on printing and distributing the “14th five-year plan” national agricultural green development plan [EB/OL]. (2021-12-07) [2023-08-25]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2021/202109/202112/t20211207_6384020.htm (in Chinese)
- [6] 吴红, 冀方燕. 基于专利申请及审查制度的专利引文评价效能实证研究[J]. 图书情报工作, 2017, 61(19): 89-95
Wu H, Ji F Y. Empirical research on the evaluation effectiveness of patent citation based on patent application and patent censorship [J]. *Library and Information Service*, 2017, 61(19): 89-95 (in Chinese)
- [7] 范贝贝, 彭宇涛, 张冉, 高宝林, 陈清. 基于专利文献计量来看我国土壤调理剂发展趋势[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(6): 141-149
Fan B B, Peng Y T, Zhang R, Gao B L, Chen Q. Trend of soil conditioner in China based on bibliometric analysis on patents [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(6): 141-149 (in Chinese)
- [8] 王红彦, 王亚静, 毕于运, 高春雨. 基于专利的全球秸秆利用技术发展态势分析[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(11): 69-76
Wang H Y, Wang Y J, Bi Y Y, Gao C Y. Analysis on the development trend of global straw utilization technology based on patents [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(11): 69-76 (in Chinese)
- [9] 叶嘉欣, 林中君. 秸秆成型燃料的中国专利分析[J]. 应用化工, 2019, 48(S1): 141-144
Ye J X, Lin Z J. Patent analysis of straw briquette fuel in China [J]. *Applied Chemical Industry*, 2019, 48(S1): 141-144 (in Chinese)
- [10] 刘起丽, 张德奇, 刘树勇. 基于专利视角分析的我国秸秆还田技术现状[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(3): 355-359
Liu Q L, Zhang D Q, Liu S Y. Analysis of present situation on straw counters-field technology based on perspective of patent in China [J]. *Resource Development & Market*, 2017, 33(03): 355-359 (in Chinese)
- [11] 汪珏珏, 杨程, 张佳喜. 基于专利分析的我国棉秆收获技术的态势研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(9): 19-25
Wang T J, Yang C, Zhang J X. Research status of cotton stalk harvesting technique based on patent analysis [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2017, 38(9): 19-25 (in Chinese)
- [12] 贾倩, 郑怀国, 赵静娟, 串丽敏, 李凌云. 基于专利视角的国内外秸秆能源化利用技术发展差异研究[J]. 世界科技研究与发展, 2022, 44(6): 825-836
Jia Q, Zheng H G, Zhao J J, Chuan L M, Li L Y. Study on the development difference of straw energy utilization technology between China and foreign countries based on patent perspective [J]. *World Sci-Tech R & D*, 2022, 44(6): 825-836 (in Chinese)
- [13] 李金丽, 张荣荣, 舒忠. 基于专利分析的我国农作物秸秆制备缓冲包装材料

- 料技术研究[J]. 绿色包装, 2017, (10): 59-61
- Li J L, Zhang R R, Shu Z. Study on preparation of buffer packaging material from crop straw in China based on patent analysis [J]. *Green Packaging*, 2017, (10): 59-61 (in Chinese)
- [14] 郑美玉. 基于Innography的农林类高校专利竞争力研究[J]. 图书情报工作, 2018, 62(1): 117-124
- Zheng M Y. Research on patent competitiveness of agricultural and forestry universities based on innography [J]. *Library and Information Service*, 2018, 62(1): 117-124 (in Chinese)
- [15] 万小丽, 冯柄豪, 张亚宏, 余佳琦. 英国专利开放许可制度实施效果的验证与启示: 基于专利数量和质量的分析[J]. 图书情报工作, 2020, 64(23): 86-95
- Wan X L, Feng B H, Zhang Y H, Yu J Q. Verification of the implementation effect of the UK's LOR system and its enlightenment-based on the analysis of patent quantity and quality [J]. *Library and Information Service*, 2020, 64(23): 86-95 (in Chinese)
- [16] 关迎晖, 向勇, 陈康. 基于Gephi的可视分析方法研究与应用[J]. 电信科学, 2013, 29(S1): 112-119
- Guan Y H, Xiang Y, Chen K. Research and application of visual analysis method based on gephi [J]. *Telecommunications Science*, 2013, 29(S1): 112-119 (in Chinese)
- [17] Sanz Y R I. Procedure for the extraction of the spirit or alcohol from the cana and corn panochas. Spain, ES1213H1[P]. 1854-12-25
- [18] 张俊峰, 栗从祥, 赵保禄. 玉米籽粒醋醋新方法. 中国, CN1029790C[P]. 1995-09-20
- Zhang J F, Li C X, Zhao B L. New method for brewing vinegar using corn stalk powder. China, CN1029790C[P]. 1995-09-20 (in Chinese)
- [19] Dipling B A, Norbret W, Manfred S. Machine for mowing and chopping corn and similar stalk crops. USA, EP0099527B1[P]. 1998-09-07
- [20] Wuebbel R, Wolters N. Machine for mowing and chopping corn and similar stalk-like harvested crops independently of the row. USA, US0572225A[P]. 1998-03-03.
- [21] Flamme V L. Corn cob collecting apparatus for use with a combine. USA, US05941768A[P]. 1999-08-24
- [22] Willelm J. Device for chopping the stalks after the ears of corn have been cut off in a combine harvester. Germany, EP143887B1[P]. 1999-07-27
- [23] 张万河, 赵际洲. 一种新型玉米秸秆切碎灭茬机. 山东省, CN2333149[P]. 1999-08-18
- Zhang W H, Zhao J Z. A new type of corn stalk shredding machine. Shandong province, CN2333149[P]. 1999-08-18 (in Chinese)
- [24] 牛权子. 玉米秸秆还田机. 河北省, CN2247933[P]. 1997-02-26
- Niu Q Z. Corn straw returning machine. Hebei province, CN2247933[P]. 1997-02-26 (in Chinese)
- [25] 李荣杰, 欧阳平凯, 薛培培, 姜岷, 尚海涛. 一种利用玉米芯生产丁二酸的方法. 安徽省, CN101608192B[P]. 2012-04-04
- Li R J, Ouyang P K, Xue P J, Jiang M, Shang H T. A method for producing succinic acid using corn cobs. Anhui province, CN101608192B[P]. 2012-04-04 (in Chinese)
- [26] 王娜, 熊国玺, 黄龙, 司辉, 潘婷婷, 朱巍, 李丹. 一种利用玉米芯中提取烟用香料的方法及其用途. 湖北省, CN101538509B[P]. 2011-08-03
- Wang N, Xiong G X, Huang L, Si H, Pan T T, Zhu W, Li D. A method for extracting tobacco flavorings from corn cobs and its applications. Hubei province, CN101538509B[P]. 2011-08-03 (in Chinese)
- [27] 李洪发, 宋明信, 陈松涛, 杨吉慧, 毕衍金. 一种玉米秸秆制备的纸浆其制备方法及其制成的纸制品. 山东省, CN102154906B[P]. 2012-08-15
- Li H F, Song M. X, Chen S T, Yang J H, Bi Y J. A method for preparing pulp from corn stalks, its preparation method, and resulting paper products. Shandong province, CN102154906B[P]. 2012-08-15 (in Chinese)
- [28] 马志军, 胡惠仁, 徐立新, 王立群, 张宏旭. 用玉米秆制取高白度化学浆及其纸产品的制造方法. 天津市, CN101225620B[P]. 2010-12-01
- Ma Z J, Hu H R, Xu L X, Wang L Q, Zhang H X. Method for producing high-brightness chemical pulp and paper products from corn stalks. Tianjin, CN101225620B[P]. 2010-12-01 (in Chinese)
- [29] 申凤英. 一种玉米秸秆青贮新方法. 山东省, CN101433279[P]. 2009-05-20
- Shen F Y. A new method for ensiling corn stalks. Shandong province, CN101433279[P]. 2009-05-20 (in Chinese)
- [30] FAOSTAT F. FAOSTAT statistics database [J]. *Rome Italy* 2022, 2022
- [31] 国务院办公厅关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见 [EB/OL]. (2008-07-27) [2023-08-25]. http://www.gov.cn/govweb/gzdt/2009-02/27//content_1244974.htm
- The General Office of the State Council. Opinions of The General Office of the State Council on accelerating the comprehensive utilization of crop straw [EB/OL]. (2008-07-27) [2023-08-25]. http://www.gov.cn/govweb/gzdt/2009-02/27//content_1244974.htm (in Chinese)
- [32] 张小玲, 乔玉辉, 李花粉. 玉米秸秆生物炭对溶液体系中不同重金属离子的吸附特性[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(5): 15-21
- Zhang X L, Qiao Y H, Li H F. Adsorption of different heavy metal ions in solution system by corn stalk-based biochar [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(5): 15-21 (in Chinese)
- [33] 马文侠. 一种抹茶色玉米秸秆染料及其生产方法. 黑龙江省, CN106398292A[P]. 2017-02-15
- Ma W X. Matcha-color corn stalk dye and production method. Heilongjiang province, CN106398292A[P]. 2017-02-15 (in Chinese)
- [34] 马文侠. 一种椰褐色玉米秸秆染料及其生产方法. 黑龙江省, CN106398296A[P]. 2017-02-15
- Ma W X. Coconut-brown corn stalk dye and production method. Heilongjiang province, CN106398292A[P]. 2017-02-15 (in Chinese)
- [35] 刘丽丽, 韩翔. 玉米秸秆处理装置及玉米秸秆处理的方法. 江苏省, CN108617268B[P]. 2020-12-01
- Liu L L, Han X. Corn stover treatment device and method of corn stover treatment. Jiangsu province, CN108617268B[P]. 2020-12-01 (in Chinese)
- [36] 赵宗保, 刘波, 华艳艳. 一种以玉米秸秆为原料制备微生物油脂的方法. 辽宁省, CN101343644B[P]. 2013-05-22
- Zhao Z B, Liu B, Hua Y Y. A method of preparing microbial oil and grease from corn stover. Liaoning province, CN101343644B[P]. 2013-05-22 (in Chinese)
- [37] Woliers N, Steppat M, Bretling A. Machine for harvesting and chopping of maize or similar stalk-type harvests. USA, US04594842A[P]. 1986-06-17
- [38] Rickerrs J E. Corn cob conveyor system with positive de-husking capability. USA, US20100291980 [P]. 2013-08-16
- [39] Rempe S A, Dunham L J, Core M D. Corn stalk baling method and apparatus. USA, US2008271428A1[P]. 2010-10-26
- [40] 薛俊杰, 蔡伟, 马中青, 张文标, 卢如飞. 气化温度和当量比对玉米秸秆气化多联产物特性的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(S1): 265-272
- Xue J J, Cai W, Ma Z Q, Zhang W B, Lu R F. Effects of gasification temperature and equivalent ratio on the properties of products from maize stover gasification polygeneration [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(S1): 265-272 (in Chinese)
- [41] 王芳, 刘晓风, 陈伦刚, 雷廷宙, 易维明. 生物质资源能源化与高值利用研究现状及发展前景[J]. 农业工程学报, 2021, 37(18): 219-231
- Wang F, Liu X F, Chen L G, Lei T Z, Yi W M. Research status and development prospect of energy and high value utilization of biomass

- resources [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(18): 219-231 (in Chinese)
- [42] 崔旭阳, 杨俊红, 关淑雅, 岳泰安, 史鑫钰. 一种基于皮糠分离的玉米秸秆固体成型燃料制备方法. 天津市, CN110205176B[P]. 2021-02-26
- Cui X Y, Yang J H, Guan S Y, Yue T A, Shi X Y. Method for preparing solid formed fuel from corn stalks based on cob separation. Tianjin, CN110205176B[P]. 2021-02-26 (in Chinese)
- [43] 张利亚, 王留成, 王孟晴, 马直辰, 翟国建, 赵文生, 王全义, 陈春生, 石绍利, 李伊光, 秦云峰, 师豪, 张晏铭, 赵怡. 一种玉米秸秆低温炭化制备生物质炭燃料的方法. 河南省, CN106318418B[P]. 2019-03-15
- Zhang L Y, Wang L C, Wang M Q, Ma Z C, Zhai G J, Zhao W S, Wang Q Y, Chen C S, Shi S L, Li Y G, Qin Y F, Shi H, Zhang Y M, Zhao Y. Method for preparing biomass charcoal fuel from corn stalks through low-temperature carbonization. Henan province, CN106318418B[P]. 2019-03-15 (in Chinese)
- [44] 特鲁曼·K·霍姆, 菲利普·E·托尔夫森, 威廉·F·菲雷尔. 管理和利用过量的玉米残留物的系统和方法. 美国, CN105003920B[P]. 2021-02-26
- Truman K H, Philip E T, William F F. System and method for managing and utilizing excess corn residue. USA, CN105003920B[P]. 2021-02-26 (in Chinese)
- [45] 杨雪薇, 李思婷. 微生物连续发酵玉米秸秆水解液产电方法及电池. 广东省, CN107623139B[P]. 2020-04-10
- Yang X W, Li S T. Method for microbial continuous fermentation of corn stalk hydrolysate for electricity generation and battery. Guangdong province, CN107623139B[P]. 2020-04-10 (in Chinese)
- [46] 潘高峰. 玉—稻轮作系统晚稻育秧栽插方式及玉米秸秆还田效应研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017
- Pan G F. Research on the effects of late rice seedlings nursing methods and maize straw return in the maize-rice rotation system [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [47] 赵小文, 赵贵宾, 朱永永. 粉碎秸秆覆盖量对垄作马铃薯产量的影响研究[J]. 农业科技与信息, 2021(7): 30-33.
- Zhao X W, Zhao G B, Zhu Y Y. Study on the effect of crushed straw mulching on the yield of ridge-planted potatoes [J]. *Agricultural Science-technology and Informatio*, 2021(7): 30-33 (in Chinese)
- [48] 王英翠, 孟妍, 王路瑶, 张瑶, 钱相宇. 秸秆生物质炭对重金属Cd吸附效果的研究[J]. 山东化工, 2023, 52(11): 258-260.
- Wang Y C, Meng Y, Wang L Y, Zhang Y, Qian X Y. Study on the adsorption effect of straw biochar on heavy metal Cd [J]. *Shandong Chemical Industry*, 2023, 52(11): 258-260 (in Chinese)
- [49] 孙守如, 杨秋生, 董晓宇, 王吉庆. 玉米秸有机栽培基质矿质营养及理化性质分析[J]. 农业工程学报, 2008(6): 41-44.
- Sun S R, Yang Q S, Dong X Y, Wang J Q. Analysis of mineral element contents and physical and chemical properties of corn stalk substrate [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008(6): 41-44. (in Chinese)
- [50] 裴雪霞, 党建友, 谢咸升, 董娟兰, 张晶, 王敏, 段学艳, 肖俊红, 甄胜虎, 程麦凤, 郭亮虎, 卫玲. 小麦/玉米一年两熟秸秆全量还田下平衡施肥方法. 山西省, CN104584814B[P]. 2017-06-23.
- Pei X X, Dang J Y, Xie X S, Dong J L, Zhang J, Wang M, Duan X Y, Xiao J H, Zhen S H, Cheng M F, Guo L H, Wei L. A method for balanced fertilization of wheat/corn dual-cropping straw under full-return to field. Shanxi province, CN104584814B[P]. 2017-06-23 (in Chinese)
- [51] 邓小华, 齐永杰, 邹凯, 周米良, 田峰, 石楠, 肖志君, 张明发. 玉米烤烟轮作制中秸秆就地还田耕作法. 湖南省, CN105145003B[P]. 2017-11-07
- Deng X H, Qi Y J, Zou K, Zhou M L, Tian F, Shi N, Xiao Z J, Zhang M F. Method of in situ return of straw to the field for plowing in corn roasted tobacco rotation system. Hunan province, CN105145003B[P]. 2017-11-07 (in Chinese)
- [52] 李燕山, 隋启君, 杨琼芬, 颜炜清, 梁淑敏, 李山云, 白建明, 李先平, 姚春光, 普红梅. 一种高海拔山区玉米秸秆全还田条件下马铃薯机械化种植方法. 云南省, CN105706702B[P]. 2019-01-04
- Li Y S, Sui Q J, Yang Q F, Jie W Q, Liang S M, Li S Y, Bai J M, Li X P, Yao C G, Pu H M. Method for mechanized planting of potatoes using corn straw full-return conditions in high-altitude mountainous areas. Yunnan province, CN105706702B[P]. 2019-01-04 (in Chinese)
- [53] 陈志凡, 魏张东, 裴锦程, 徐薇, 化艳旭. 一种用于修复土壤镉污染的多效能玉米秸秆生物炭复合肥料及其制备方法. 河南省, CN110283023B[P]. 2021-10-22
- Chen Z F, Wei Z D, Pei J C, Xu W, Hua Y X. Multifunctional corn stalk biochar compound fertilizer for soil cadmium pollution remediation and its preparation method. Henan province, CN110283023B[P]. 2021-10-22 (in Chinese)
- [54] 赵凤良, 杨雪, 翟德亮, 董力青. 利用氨基酸发酵废液和玉米秸秆生产生物菌肥的方法. 内蒙古, CN106045626B[P]. 2019-12-24
- Zhao F L, Yang X, Zhai D L, Dong L Q. Method for producing bioorganic microbial fertilizer using amino acid fermentation waste liquid and corn stalks. Inner Mongolia, CN106045626B[P]. 2019-12-24 (in Chinese)
- [55] 江旻, 马正驰. 一种玉米秸秆腐熟剂及其制备方法. 上海市, CN107805615B[P]. 2021-06-08
- Jiang Y, Ma Z C. A corn straw ripening agent and its preparation method. Shanghai, CN107805615B[P]. 2021-06-08 (in Chinese)
- [56] 刘志伟. 一种玉米秸秆制备零甲醛刨花板的方法. 福建省, CN104999538B[P]. 2017-04-12
- Liu Z W. Method for preparing zero formaldehyde particleboard from corn stalks. Fujian province, CN104999538B [P]. 2017-04-12 (in Chinese)
- [57] 廖晓勇, 阎秀兰, 李武楠, 李尤, 龚雪刚. 一种玉米秸秆纤维素黄原酸镁盐的制备方法及应用. 北京市, CN105080511B[P]. 2018-04-24
- Liao X Y, Yan X L, Li W N, Li Y, Gong X G. Method for preparing magnesium salt of cellulose xanthate from corn stalks and its application. Beijing, CN105080511B[P]. 2018-04-24 (in Chinese)
- [58] 李丽霞, 王军卓, 曹兵, 李鸿雁, 肖强, 倪小会, 杨宜斌, 衣文平, 刘宝存, 邹国元, 徐秋明. 一种秸秆液化包膜液及其制备方法与应用. 北京市, CN105016874B[P]. 2018-03-02
- Li L X, Wang J Z, Cao B, Li H Y, Xiao Q, Ni X H, Yang Y B, Yi W P, Liu B C, Zou G Y, Xu Q M. Liquefied straw coating solution and its preparation method and application [P]. Beijing, CN105016874B, 2018-03-02 (in Chinese)
- [59] 孔凡功, 赵鑫, 王守娟, 吴芹, 夏南南, 陈嘉川, 刘玉. 玉米秸秆和麦草混合原料的半化学浆清洁制浆工艺. 山东省, CN108149504B[P]. 2020-10-13
- Kong F G, Zhao X, Wang S J, Wu Q, Xia N N, Chen J C, Liu Y. Clean pulping process for semi-chemical pulp of corn stalk and wheat straw mixed raw materials. Shandong province, CN108149504B[P]. 2020-10-13 (in Chinese)
- [60] 王晋华, 赵肖斌, 米国全, 程志芳, 韩永平, 史艳艳, 李晓慧, 牛屹立. 一种玉米秸秆复合基质及其制备方法. 河南省, CN106258878A[P]. 2017-01-04
- Wang J H, Zhao X B, Mi G Q, Cheng Z F, Han Y P, Shi Y Y, Li X H, Niu Y L. Composite matrix of corn stalk and its preparation method. Henan province, CN106258878A[P]. 2017-01-04 (in Chinese)
- [61] 徐建玲, 王汉席, 刘学军, 盛连喜. 一种玉米秸秆制备人工湿地基质的方

- 法. 吉林省, CN108569768B[P]. 2021-06-18
- Xu J L, Wang H X, Liu X J, Sheng L X. Method for preparing artificial wetland matrix from corn stalks. Jilin province: CN108569768B [P]. 2021-06-18 (in Chinese)
- [62] 孙旭, 赵志强, 蔡金傍, 赵克强, 张龙江, 苏良湖, 陈玉东, 刘臣玮, 陈梅. 一种以腐熟玉米秸秆为原料制备机插水稻育秧基质的方法. 江苏省, CN106495912B[P]. 2020-02-07
- Sun X, Zhao Z Q, Cai J B, Zhao K Q, Zhang L J, Su L H, Chen Y D, Liu C W, Chen M. Method for preparing machine-transplanted rice seedling matrix using rotted corn stalks as raw material. Jiangsu province, CN106495912B[P]. 2020-02-07 (in Chinese)
- [63] 刘正伟, 田霞, 李士军, 李卓识. 带有时窗的秸秆回收路径模型及其算法研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(8): 178-184
- Liu Z W, Tian X, Li S J, Li Z S. Research on model and algorithm of straw recovery path with time window [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(8): 178-184 (in Chinese)
- [64] 王春雷, 李洪文, 何进, 王庆杰, 卢彩云, 陈立平. 自动导航与测控技术在保护性耕作中的应用现状和展望[J]. 智慧农业, 2020, 2(4): 41-55
- Wang C L, Li H W, He J, Wang Q J, Lu C Y, Chen L P. State-of-the-Art and Prospect of Automatic Navigation and Measurement Techniques Application in Conservation Tillage[J]. *Smart Agriculture*, 2020, 2(4): 41-55 (in Chinese)
- [65] 周南. 大数据战略背景下苏州智慧农业发展策略研究[J]. 农村实用技术, 2020(11): 39-40.
- Zhou N. Research on the development strategy of Suzhou smart agriculture under the background of big data strategy[J]. *Rural Practical Technology*, 2020(11): 39-40 (in Chinese)
- [66] 王跃勇, 崔舒然, 刘媛媛, 何铭, 王鹏宇, 王景立. 秸秆集行模式下精准喷药装置搭建与试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(11): 12-20
- Wang Y Y, Cui S R, Liu Y Y, He M, Wang P Y, Wang J L. Construction and test of the precise spraying device for the stalk set-row planting mode [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(11): 12-20 (in Chinese)
- [67] 杨雪锋. 一种玉米秸秆自动收割破碎装置. 宁夏回族自治区, CN107980337B[P]. 2020-03-17
- Yang X F. Automatic harvesting and crushing device for corn stalks. Ningxia Hui autonomous region: CN107980337B[P]. 2020-03-17 (in Chinese)
- [68] 李新慧, 李继壮. 玉米秸秆粉碎用粉碎喂料装置. 河南省, CN209897694U[P]. 2020-01-07
- Li X H, Li J Z. Crushing feeding device for corn stalk pulverization. Henan province: CN209897694U[P]. 2020-01-07 (in Chinese)
- [69] 不公告发明人. 一种玉米秸秆回收处理车. 安徽省, CN109511388B[P]. 2021-06-25.
- Unannounced Inventor. Corn stalk recycling and processing vehicle. Anhui province: CN109511388B[P]. 2021-06-25 (in Chinese)
- [70] 霍德义, 赵岐伟, 张瑞, 何晓宁, 王树军. 穗茎兼收智能玉米收获机. 山东省, CN211406872U[P]. 2020-09-04
- Huo D Y, Zhao Q W, Zhang R, He X N, Wang S J. Intelligent corn harvester for ear and stem harvesting. Shandong province: CN211406872U[P]. 2020-09-04 (in Chinese)
- [71] 刘丽丽, 韩翔. 玉米秸秆处理装置及玉米秸秆处理的方法. 江苏省, CN108617268B[P]. 2020-12-01
- Liu L L, Han X. Corn stalk processing device and method for corn stalk processing. Jiangsu province: CN108617268B[P]. 2020-12-01 (in Chinese)
- [72] 王菲. 黑龙江省秸秆收储运机械化系统构建与分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020
- Wang F. Construction and analysis of straw collection-storage-transportation mechanization system in Heilongjiang province [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2020 (in Chinese)
- [73] 李斯琴高娃. 玉米秸秆切割性能试验研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021
- Li S Q G W. Experimental study on cutting performance of corn stalk[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021 (in Chinese)
- [74] 肖子卿, 田海清, 张涛, 王迪, 盛越. 玉米秸秆饲料除尘筛出物离散元数值模拟参数标定[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(7): 172-183
- Xiao Z Q, Tian H Q, Zang T, Wang D, Sheng Y. Parameter calibration of discrete element numerical simulation for the dedusting sieve of corn straw feed [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(7): 172-183 (in Chinese)
- [75] 杜岳峰, 傅生辉, 毛恩荣, 朱忠祥, 李臻. 农业机械智能化设计技术发展现状与展望[J]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 1-17
- Du Y F, Fu S H, Mao E R, Zhu Z X, Li Z. Development situation and prospects of intelligent design for agricultural machinery [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(9): 1-17 (in Chinese)
- [76] 邵磊, 靳怀卫, 刘杰, 于永涛, 张晋. 一种玉米秸秆收割打捆一体机的喂料机构. 安徽省, CN109168572B[P]. 2021-05-04
- Shao L, Jin H W, Liu J, Yu Y T, Zhang J. Feeding mechanism of a corn stalk harvesting and baling integrated machine. Anhui province: CN109168572B[P]. 2021-05-04 (in Chinese)
- [77] 张东升. 一种玉米秸秆整形打包机. 贵州省, CN110050589B[P]. 2022-02-25
- Zhang D S. Corn stalk shaping baler. Guizhou province: CN110050589B[P]. 2022-02-25 (in Chinese)
- [78] 陈辉, 邵磊, 刘杰, 靳怀卫. 一种连续包装式玉米秸秆收割打捆机. 安徽省, CN111802088B[P]. 2021-06-29
- Chen H, Shao L, Liu J, Jin H W. Continuous packaging corn stalk harvesting and baling machine. Anhui province: CN111802088B [P]. 2021-06-29 (in Chinese)
- [79] 王立军, 马杨, 于泳涛, 刘天华, 冯鑫, 万元宝. 站立玉米秸秆前置式粉碎还田机. 黑龙江省, CN109362332B[P]. 2021-04-16
- Wang L J, Ma Y, Yu Y T, Liu T H, Feng X, Wan Y B. Standing corn stalk pre-shredding and returning machine. Heilongjiang province: CN109362332B[P]. 2021-04-16 (in Chinese)
- [80] 梅四卫, 朱涵珍, 梅望玲, 赵双锁, 贾宝艳, 梅星星, 袁水霞, 王凤藏, 贾利敏, 张菊红, 关丽云, 高岭魏, 程星, 赵石磊, 王文娟, 马海州, 朱百志, 武社梅, 王瑞芳, 陈改玲, 万慧敏, 张改强, 王如俊. 一种玉米秸秆处理机. 山东省, CN109817719B[P]. 2021-04-13
- Mei S W, Zhu H Z, Mei W L, Zhao S S, Jia B Y, Mei X X, Yuan S X, Wang F Z, Jia L M, Zhang J H, Guan L Y, Gao L W, Cheng X, Zhao S L, Wang W J, Ma H Z, Zhu B Z, Wu S M, Wang R F, Chen G L, Wan H M, Zhang G Q, Wang R J. Corn stalk processing machine. Shandong province: CN109817719B [P]. 2021-04-13 (in Chinese)
- [81] 李端, 马翠云, 王广松, 李燕, 宋东高, 常璞, 牛智英, 张东钊, 李红晓, 司国春, 郑中华, 徐毅, 刘珍. 一种农牧玉米秸秆粉碎处理装置. 河南省, CN212087085U[P]. 2020-12-08
- Li D, Ma C Y, Wang G S, Li Y, Song D G, Chang P, Niu Z Y, Zhang D Z, Li H X, Si G C, Zheng Z H, Xu Y, Liu Z. A kind of agro-pastoral corn straw crushing and processing device. Henan province: CN212087085U [P]. 2020-12-08 (in Chinese)
- [82] 靳怀卫, 刘杰, 于永涛, 邵磊, 张晋. 一种玉米秸秆粉碎锤捣装置. 安徽省, CN108925256B[P]. 2022-01-25

- Jin H W, Liu J, Yu Y T, Shao L, Zhang J. A kind of corn straw crushing hammer pounding device. Anhui province, CN108925256B[P]. 2022-01-25 (in Chinese)
- [83] 侯云鹏, 孔丽丽, 刘志全, 尹彩侠, 赵胤凯, 王蒙, 秦裕波, 李前, 孙博. 一种玉米秸秆还田装置. 吉林省, CN110521394B[P]. 2021-11-09
- Hou Y P, Kong L L, Liu Z Q, Yin C X, Zhao Y K, Wang M, Qin Y B, Li Q, Sun B. Corn stalk returning device. Jilin province: CN110521394B[P]. 2021-11-09 (in Chinese)
- [84] 陈丽娟, 张云华, 郭玉敏, 陶伟, 张正友, 董东, 谢桂林. 大田玉米秸秆原位青贮饲料定量块加工制作装置. 安徽省, CN107996134B[P]. 2021-02-09
- Chen L J, Zhang Y H, Guo Y M, Tao W, Zhang Z Y, Dong D, Xie G L. Field corn stalk in-situ silage feed quantitative block processing device. Anhui province, CN107996134B[P]. 2021-02-09 (in Chinese)
- [85] 王立军, 刘天华, 于泳涛, 冯鑫, 郑招辉. 玉米秸秆田间捡拾粉碎均布还田专用机. 黑龙江省, CN109005928B[P]. 2021-04-30
- Wang L J, Liu T H, Yu Y T, Feng X, Zheng Z H. Special machine for picking, shredding, and uniform distribution of corn stalks in the field for returning to the field. Heilongjiang province, CN109005928B[P]. 2021-04-30 (in Chinese)
- [86] 李海瑞, 李智芳, 纪帅, 杨长龙. 玉米秸秆纳米纤维素的制备及应用研究进展[J]. 化工新型材料, 2020, 48(4): 43-47, 53
- Li H R, Li Z F, Ji S, Yang C L. Progress in preparation and application of nanocellulose from corn straw [J]. *New Chemical Materials*, 2020, 48(4): 43-47, 53 (in Chinese)
- [87] 宋亭, 张丽媛, 于润众. 玉米秸秆纳米纤维素制备的工艺优化[J]. 现代食品科技, 2022, 38(1): 264-270
- Song T, Zhang L Y, Yu R Z. Optimization of preparation process of corn stalk nanofibrillated cellulose [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(1): 264-270 (in Chinese)
- [88] 宋亭, 张丽媛, 于润众. 基于玉米秸秆纳米纤维素复合膜的研制及性能研究[J/OL]. 食品与发酵工业: (2023-05-18) [2023-08-25]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030849
- Song T, Zhang L Y, Yu R Z. Preparation and properties of corn straw nano-cellulose composite membrane [J/OL]. *Food and Fermentation Industries*, (2023-05-18) [2023-08-25]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030849 (in Chinese)
- [89] 孙茜. 玉米秸秆再生的微纳米纤维素及其增强组织工程水凝胶的制备和性能研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2019
- Sun Q. Preparation and properties of micro-nano corn stalk cellulose reinforced tissue engineering hydrogel [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2019 (in Chinese)
- [90] 袁航. 采用玉米秸秆制备锂离子电池硅负极材料的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021
- Yuan H. Preparation of silicon anode materials for lithiumion batteries from corn straw[D]. Changchun: Jilin University, 2021 (in Chinese)
- [91] 李嘉明. 玉米秸秆基多孔炭的制备及其在超级电容器中的应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019
- Li J M. Their application in supercapacitors fabrication of cornstalk based porous carbons and their application in supercapacitors [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019 (in Chinese)
- [92] 王圆圆, 韩秀丽, 阎振丽, 杜朝军, 陈玉洁, 常春. 秸秆类生物质预处理技术的研究进展[J]. 河南农业科学, 2022, 51(11): 1-10
- Wang Y Y, Han X L, Yan Z L, Du C J, Chen Y J, Chang C. Research progress on pretreatment technology of straw biomass [J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2022, 51(11): 1-10 (in Chinese)
- [93] 胡常伟, 张全, 李建梅, 何婷. 一种由玉米秸秆中半纤维素制备乳酸的方
- 法. 北京市, CN106748750B[P]. 2020-05-19
- Hu C W, Zhang Q, Li J M, He T. Method for preparing lactic acid from hemicellulose in corn stalks. Beijing, CN106748750B[P]. 2020-05-19 (in Chinese)
- [94] 杨仁党, 李金鹏, 王斌. 一种玉米秆纳米纤维素晶须及其制备方法与应用. 广东省, CN105568744B[P]. 2017-08-25
- Yang R D, Li J P, Wang B. Corn straw nanocellulose whiskers and preparation method and application. Guangdong province: CN105568744 B[P]. 2017-08-25 (in Chinese)
- [95] 侯哲生, 郑勇, 王文刚, 佟金, 石敏, 马云海, 连建伟, 王九刚, 刘发现, 梁嗣超, 张金翠, 王德林, 陈胜, 任露泉, 殷敬华. 一种微生物共培养预处理玉米秸秆制备粘胶纤维的系统. 吉林省, CN106087089B[P]. 2019-06-07
- Hou Z S, Zheng Y, Wang W G, Tong J, Shi M, Ma Y H, Lian J W, Wang J G, Liu F X, Liang S C, Zhang J C, Wang D L, Chen S, Ren L Q, Yin J H. System for microbial co-cultivation pretreatment of corn stalks to prepare viscous fiber. Jilin province: CN106087089B[P]. 2019-06-07 (in Chinese)
- [96] 张香平, 聂毅, 张锁江, 高红帅, 白璐, 曾少娟. 离子液体制备玉米芯纤维素材料或共混纤维材料的方法. 北京市, CN104004207B[P]. 2018-01-02
- Zhang X P, Nie Y, Zhang S J, Gao H S, Bai L, Zeng S J. Method for preparing corn core cellulose material or blended fiber material using ionic liquid. Beijing, CN104004207B[P]. 2018-01-02 (in Chinese)
- [97] 吉兴香, 马浩, 陈嘉川, 田中建, 杨桂花, 刘珊珊. 利用木糖醇制备工艺后的玉米秸秆废渣制备活性炭的方法. 山东省, CN105384171B[P]. 2017-08-29
- Ji X X, Ma H, Chen J C, Tian Z J, Yang G H, Liu S S. Method for preparing activated carbon from corn stalk waste residue after xylooligosaccharide preparation. Shandong province, CN105384171B[P]. 2017-08-29 (in Chinese)
- [98] 高欣, 张恒, 陈克利. 玉米全秆再生纤维素-纳米活性炭复合凝胶膜的制备方法. 云南省, CN106117610B[P]. 2018-06-15
- Gao X, Zhang H, Chen K L. Method for preparing corn stalk regenerated cellulose-nano activated carbon composite gel film. Yunnan province, CN106117610B[P]. 2018-06-15 (in Chinese)
- [99] 张明月, 赵铭钦, 聂王丽, 席高磊. 一种玉米秸秆基超吸水树脂及其制备方法. 河南省, CN109456451B[P]. 2020-07-03
- Zhang M Y, Zhao M Q, Nie W L, Xi G L. Corn stalk-based superabsorbent resin and preparation method. Henan province: CN109456451B[P]. 2020-07-03 (in Chinese)
- [100] 王迎, 赖超, 王庆红, 王彤. 一种利用废弃玉米秸秆转变为钠离子电池电极材料的方法. 江苏省, CN107337205B[P]. 2020-05-05
- Wang Y, Lai C, Wang Q H, Wang T. Method for transforming waste corn stalks into sodium-ion battery electrode materials. Jiangsu province, CN107337205B[P]. 2020-05-05 (in Chinese)
- [101] 高欣, 韩全清, 张恒. 玉米秸秆固载钯催化复合材料的制备方法及应用. 云南省, CN107376993B[P]. 2019-11-08
- Gao X, Han Q Q, Zhang H. Preparation method and application of corn stalk-supported palladium catalytic composite material. Yunnan province, CN107376993B[P]. 2019-11-08 (in Chinese)
- [102] 田英良, 王建恒, 李思齐, 刘军, 徐长伟, 孙诗兵. 一种利用玉米秸秆和氯氧镁水泥复合制备建筑保温材料的方法. 辽宁省, CN105110758B[P]. 2017-08-2
- Tian Y L, Wang J H, Li S Q, Liu J, Xu C W, Sun S B. Method for preparing building insulation material using corn stalks and magnesia cement composite. Liaoning province, CN105110758B[P]. 2017-08-25 (in Chinese)
- [103] 苏琼, 王彦斌, 梁双, 王鸿灵, 庞少峰, 孙初锋, 吴尚, 魏亚军, 贺丰洋, 孙希阳, 袁苗苗. 一种改性玉米秸秆阻燃可降解发泡材料及其制备方法.

- 甘肃省, CN110684311B[P]. 2022-02-11
- Su Q, Wang Y B, Liang S, Wang H L, Pang S F, Sun C F, Wu S, Wei Y J, He F Y, Sun X Y, Yuan M M. Flame-retardant and degradable foamed material based on modified corn stalks and preparation method. Gansu province, CN110684311B[P]. 2022-02-11 (in Chinese)
- [104] 陈娟, 刘志芳, 葛易一. 一种石墨烯改性玉米秸秆芯复合电磁屏蔽薄膜及其制备方法. 山东省, CN108250473B[P]. 2020-07-28
- Chen J, Liu Z F, Ge H Y. Graphene-modified corn stalk core composite electromagnetic shielding film and preparation method. Shandong province, CN108250473B[P]. 2020-07-28 (in Chinese)
- [105] 张全国, 孙堂磊, 荆艳艳, 王毅, 张洋. 玉米秸秆酶解上清液厌氧发酵产氢工艺优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 233-238
- Zhang Q G, Sun T L, Jin Y Y, Wang Y, Zhang Y. Process optimization of bio-hydrogen production by anaerobic fermentation of enzymatic hydrolysate supernatants of corn stalk [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(5): 233-238 (in Chinese)
- [106] 李凤兰, 徐媛媛, 徐永清, 冯艳忠, 杨秀梅, 袁强, 王丽娟. 低温酵解玉米秸秆的细菌菌株及其发酵培养方法和应用. 黑龙江省, CN108865927B[P]. 2021-09-03
- Li F L, Xu Y Y, Xu Y Q, Feng Y Z, Yang X M, Yuan Q, Wang L J. Bacterial strain for low-temperature fermentation of corn stalks and fermentation culture method and application. Heilongjiang province, CN108865927B [P]. 2021-09-03 (in Chinese)
- [107] 方芳, 赵玉萍. 物理-化学-生物预处理玉米秸秆的方法. 江苏省, CN105255953B[P]. 2018-12-25
- Fang F, Zhao Y P. Method for physical-chemical-biological pretreatment of corn stalks. Jiangsu province, CN105255953B[P]. 2018-12-25 (in Chinese)
- [108] 李明, 李东猛. 一种玉米秸秆的防霉改性处理方法. 安徽省, CN106182250B[P]. 2018-07-10
- Li M, Li D M. Method for antifungal modification of corn stalks. Anhui province, CN106182250B[P]. 2018-07-10 (in Chinese)
- [109] 崔宗均, 张环, 王小芬, 袁旭峰, 朱万斌. 一种玉米秸秆青贮用复合菌剂. 北京市, CN106834167B[P]. 2020-11-13
- Cui Z J, Zhang H, Wang X F, Yuan X F, Zhu W B. Composite bacterial agent for corn stalk silage. Beijing, CN106834167B [P]. 2020-11-13 (in Chinese)
- [110] 李秀金, 朱嘉琳, 袁海荣, 兰艳艳, 刘研萍, 邹德勋, 管若琳. N、P、K复合营养型预处理提高玉米秸秆厌氧消化产气性能的方法. 北京市, CN106480101B[P]. 2019-12-24
- Li X J, Zhu J L, Yuan H R, Lan Y Y, Liu Y P, Zou D X, Guan R L. Method for improving the anaerobic digestion and gas production performance of corn stalks by N, P, K compound nutrition pretreatment. Beijing, CN106480101B[P]. 2019-12-24 (in Chinese)
- [111] 李秀金, 魏域芳, 袁海荣, 彭翔. 一种通过生化预处理玉米秸秆提高秸秆与粪便混合厌氧消化产气性能的方法. 北京市, CN105420282B[P]. 2019-12-24
- Li X J, Wei Y F, Yuan H R, Peng X. Method for improving the anaerobic digestion and gas production performance of corn stalks mixed with feces by biochemical pretreatment. Beijing, CN105420282B [P]. 2019-12-24 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 陈理, 现任中国农业大学工学院生物能源环境科学与技术(BEST)研究室副教授, 硕士生导师, 研究方向: 农业工程研究。先后共参加科技支撑和省市专项等21项, 发表论文40篇(包括SCI、EI收录12篇), 参编专著2部。



通讯作者简介: 周宇光, 现任中国农业大学工学院生物能源环境科学与技术(BEST)研究室副教授、博士生导师, 担任农业农村部可再生能源清洁化利用技术重点实验室、科技部生物质能科学与技术国际联合研究中心骨干, 主持国家级、省部级和国际科技合作项目(课题)30余项, 近5年以第一或通讯作者发表论文30余篇。