

• 专 论 •

基于药材生产与深加工过程非药用部位及副产物开发替代抗生素饲用产品的可行性分析与研究实践

郭 盛¹, 段金廛^{1*}, 赵 明¹, 刘爱玲², 宿树兰¹, 张 森¹, 魏丹丹¹, 王汉卿³, 钱大玮¹

1. 南京中医药大学 中药资源产业化与方剂创新药物国家地方联合工程研究中心/江苏省中药资源产业化过程协同创新中心/国家中医药管理局中药资源循环利用重点实验室, 江苏 南京 210023

2. 天津瑞普生物技术股份有限公司, 天津 300308

3. 宁夏医科大学药学院, 宁夏 银川 750004

摘 要: 中药资源是国家战略资源, 其不仅为人类健康做出重要贡献, 也是畜禽疾病防治的重要物质基础。随着我国畜禽饲用产品禁用抗生素政策的颁布实施, 开发可有效替代抗生素(替抗)的饲用产品已成为目前畜牧行业的研究热点。基于天然资源的中药类饲用产品开发是目前业界较为公认的实现饲用产品替抗的重要发展方向。中药材生产及深加工产业化过程中产生的大量非药用部位及副产物未得到有效利用, 既造成资源的巨大浪费, 又加剧了生态环境压力。现代研究发现, 这些未被利用的废弃物及副产物中多富含具有增强免疫力、抗菌消炎、助消化及具有营养功能的可饲用资源性物质, 且具有资源储量大、生产成本低、亟需消纳处置等资源特性。提出中药资源产业化过程中产生的非药用部位及副产物是开发替抗类饲用产品的潜在重要原料, 并就其开发功能性饲用产品实现饲用产品禁抗的可行性及已有研究实践进行分析总结, 对产业可持续发展提出相关建议, 以期对中药资源产业的提质增效和绿色发展提供支撑, 为饲用抗生素的有效替代提供途径。

关键词: 中药资源循环利用; 中药资源副产物; 中兽药; 饲料添加剂; 饲用产品禁抗生素

中图分类号: R282 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2020)11-2857-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.11.001

Feasibility analysis and research practice for development of alternative antibiotic feeding products based on non-medicinal parts and by-products in processing of Chinese medicinal materials

GUO Sheng¹, DUAN Jin-ao¹, ZHAO Ming¹, LIU Ai-ling², SU Shu-lan¹, ZHANG Sen¹, WEI Dan-dan¹, WANG Han-qing³, QIAN Da-wei¹

1. National and Local Collaborative Engineering Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization and Formulae Innovative Medicine, Jiangsu Collaborative Innovation Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization, Key Laboratory of Chinese Medicinal Resources Recycling Utilization of State Administration of Traditional Chinese Medicine, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China

2. Tianjin Ringpu Bio-technology Co., Ltd., Tianjin 300308, China

3. College of Pharmacy, Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, China

Abstract: Chinese medicine resources are national strategic resources, which not only make important contributions to human health, but also provide an important material basis for disease prevention and control of livestock and poultry. With the promulgation and implementation of the policy of banning antibiotics in livestock and poultry feeding products, the development of feeding products that can effectively replace antibiotics has become a research hotspot in the animal husbandry industry. Feeding products with traditional

收稿日期: 2019-09-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0501500); 国家自然科学基金资助项目(81873189); 宁夏重点研发计划(东西部合作项目 2017BY079); 江苏省科技计划项目(BE2019722); 2018 年中医药公共卫生服务补助专项“全国中药资源普查项目”(财社〔2018〕43 号)

作者简介: 郭 盛, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事中药资源化学与资源循环利用研究。E-mail: guosheng@njucm.edu.cn

***通信作者** 段金廛, 教授, 博士生导师, 主要从事中药资源化学与资源循环利用研究。E-mail: dja@njucm.edu.cn

Chinese medicine based on natural plant resources have been recognized as an important direction to realize the replacement of antibiotics in feeding products. In the process of production and industrialization of Chinese medicinal materials, a large number of non-medicinal parts and by-products have not been effectively utilized, which not only causes huge waste of resources, but also exacerbates the pressure of ecological environment. However, modern research has found that most of these unused wastes and by-products are rich in feedable resources with anti-bacterial, anti-inflammatory, digestive-promoting and nutritional functions. In addition, these wastes and by-products exhibit the resource characteristics such as huge reserves and low production costs, and are urgently needed to be disposed. Accordingly, this paper puts forward that non-medicinal parts and by-products produced in the production and industrialization of Chinese medicinal materials are the important raw materials for the development of antibiotic alternative feeding products. Then, the feasibility of this proposal was analyzed, the existing research practices were summarized, and some suggestions for industrial development were proposed, with view to providing support for the improvement of the utilization efficiency and green development of Chinese medicine resources industry, and providing an effective alternative to feeding antibiotics.

Key words: recycling utilization of Chinese medicine resources; by-products of Chinese medicine resources; Chinese veterinary medicine; feed additives; prohibition of antibiotics in feeding products

2019 年 7 月, 中华人民共和国农业农村部印发第 194 号公告, 规定“自 2020 年 1 月 1 日起, 退出除中药外的所有促生长类药物饲料添加剂品种; 自 2020 年 7 月 1 日起, 饲料生产企业停止生产含有促生长类药物饲料添加剂(中药类除外)的商品饲料”。上述政策的出台预示着具有促生长作用的抗生素类药物将禁止在饲料产品中添加。因此, 研发可有效替代抗生素在畜禽养殖中的促生长、疾病预防作用的替代技术及产品已成为目前畜牧行业的研究热点。为此, 国内外学者提出采用菌酶协同发酵饲料、精准营养供给、肠道健康调控等多途径解决因饲用抗生素禁用出现的畜禽养殖难题^[1-2]。其中, 基于天然资源的中药类饲用产品因其具有的免疫增强、抗微生物及助消化、促生长等作用, 成为饲用产品抗生素替代品研究的热点^[3-5]。

中药资源以其疗效确切、来源天然等特性用于禽畜疾病防治已有悠久的历史, 现已在中兽药、饲料添加剂等饲用产品中广泛应用, 成为支撑当前我国畜禽产业健康发展的重要组成部分^[6]。近年来, 随着国内外依赖中药和天然药物资源为原料的大健康产业迅猛发展, 药材生产及深加工产业化过程产生的非药用部位及药渣等废弃物及副产物的生物产量高达亿吨计, 其未能得到有效利用, 不仅造成资源的巨大浪费, 且导致生态环境的严重污染^[7]。因此, 在循环经济理论的指导下, 挖掘其应用于畜禽饲用及疾病防治的资源价值, 既可促进畜禽养殖产业发展, 减少抗生素的使用, 又能实现中药资源产业化过程中废弃物及副产物的有效利用, 促进产业链延伸^[8]。据此, 本文在分析中药类饲用产品发展现状的基础上, 探讨基于中药资源产业化过程废弃物及副产物开发畜禽饲用产品

及有效替代饲用抗生素的可行性, 以期中药资源产业的提质增效和绿色发展提供支撑, 为饲用抗生素的有效替代品研究提供思路。

1 中药类饲用产品发展现状及潜在问题分析

1.1 中药类饲用品产业发展现状及趋势

中药资源是国家战略资源, 其不仅是中医药事业传承和发展的物质基础, 也是支撑我国中兽药及饲料添加剂产业发展的重要保障。在中医学理论指导下的中兽药使用由来已久。早在 2 000 多年前, 汉简兽医方即记载中药用于马、牛疾病的治疗。《中华人民共和国兽药典》2015 年版收载有 751 项中兽药。中药资源除在中兽药中应用外, 还广泛应用于饲料添加剂等饲用产品。原中华人民共和国农业部第 1773 公告发布的《饲料原料目录》收录“其他可饲用天然植物”115 种, 多为药食同源的植物类中药资源, 且以补益类(如人参、黄芪、党参、白术、当归、女贞子等)、理气健胃消食类(如山楂、青皮、枳壳等)等药材较为多见。

以中医药传统理论为指导的中药饲料添加剂以其所具有的提升机体免疫力、促生长、提升畜禽产品品质、抗菌消炎、抗应激等作用, 近年来已成为饲用产品发展的重要方向。据不完全统计, 目前中国饲料工业年产值约为 5 400 亿元, 其中“药食同源中药”预混料产值近 1 000 亿元^[9]。据调查, 在国家实施饲用产品禁用抗生素政策的驱使下, 中药类饲用产品已成为禁抗、减抗的主力军, 在各种“替抗”添加剂中, 养殖户对于中药作为抗生素替代品的认同率高达 90%, 中药类饲用产品在肉禽养殖场中的使用普及率达到 95%^[3]。因此, 随着国家“禁抗、减抗、无抗”政策实施的深入, 中药类饲用产

品的产业规模必将逐年增大,发展前景广阔。

1.2 中药类饲用品产业潜在问题分析

1.2.1 资源需求量大,在资源有限性的约束下存在与人类用药争夺资源的潜在趋势 随着消费者对绿色养殖产品需求的逐年增加,加之国家饲用产品禁抗政策的正式实施,以来源天然、效用确切、低药残特点的中药资源已成为首选的绿色功能性饲用产品原料。因饲料添加剂等饲用类产品多需长期使用,随着中药资源在饲用产品中占有率的增加,其对资源的需求量必将呈现爆发式增长。据统计,我国 2018 年生猪存栏量达 4.3 亿头,2019 年 4 月蛋鸡存栏量达 10.62 亿只,需求饲料总量超过 2 亿吨,饲料添加剂总量达 1 095 万吨^[10-11]。按此测算,在未来 5~10 年,饲用产品对中药资源的需求量将远超过目前人用量。且目前可用于饲用产品的中药资源多集中于黄芪、山楂、黄芩等具有补益、消食、抑菌作用的少数品种,呈现资源利用高度集中特点,随着中药类饲用产品产业规模的持续增长,未来必将出现资源趋紧、与人争药的发展趋势。

1.2.2 原材料成本高,产业整体经济性较差 中药类饲用品产业原料来源于农业,产品消费于农业,属于典型的两头涉农产业,产业整体利润率较低,对原料成本要求较高。而目前用于饲用产品的中药材,每公斤少则几十元,多则成百上千元,导致中药类饲用产品生产成本较高,经济性较差。此外,随着中药类饲用品预期产业规模的持续增长,资源需求量将逐年增加,预期原料成本将呈现上升态势,进一步降低产业综合效益,不利于中药类饲用品产业健康可持续发展。因此,筛选资源储量大、生产成本低的中药类饲用产品原料将成为未来实现产业可持续发展的重要方向。

据此,本文提出以药材生产过程产生的资源储量大、生产成本低非药用部位及深加工产业化过程产生的药渣等副产物作为饲用产品原料,应是今后中药类饲用品产业发展的重要方向。

2 基于中药资源产业化过程废弃物及副产物开发饲用产品的可行性分析

2.1 中药废弃物及副产物富含功能性可饲用资源性成分

近年来,随着对传统非药用部位资源性化学成分的深入研究,传统非药用部位的潜在资源价值逐渐显现并越来越引起人们的高度重视,部分非药用部位含有与其药用部位相似的化学组成。本团队前

期研究显示,丹参茎叶含有与根中组成及含量相近的具有活血化瘀作用的丹酚酸、迷迭香酸等酚酸类组分^[12];苦参种子中含有的生物碱类组分具有抗菌消炎作用,其质量分数可达 3%以上,高于药用部位根^[13];采收菊花过程产生的菊根含有超过 30%的多糖类组分,具有调节肠道菌群结构、增强免疫力及防治溃疡性结肠炎作用^[14-15];黄芪药材生产过程中产生的茎叶及花具有较高的营养成分,且表现出较强的抗氧化、抗应激作用^[16-17]。

中药材深加工过程产生的药渣,受加工目的、提取方法和工艺条件等因素的影响,对中药成分的提取不够完全或彻底,造成部分中药渣中残留多种活性成分和营养物质。有研究显示,采用乙醇提取黄芪中的黄酮和皂苷组分后所得药渣,可获得具有免疫增强作用的黄芪多糖,其得率可达 12.93%;黄芩药渣中具有抑菌消炎作用的黄芩苷的含量是黄芩药材黄芩苷总含量的 70.3%^[18]。此外,中药渣中含有丰富的粗纤维、粗蛋白、粗脂肪、矿物质等,既是饲用产品必需的重要营养物质,也是微生物发酵的理想基质,其与益生菌共发酵而成的饲料添加剂,除了可促进畜禽对营养成分的消化吸收,提高饲料转化率外,还可在调节动物肠道菌群结构、提高免疫力、增强抗菌抗病能力、提高畜牧产品品质等方面发挥重要作用。

2.2 中药废弃物及副产物资源储量大、生产成本低,可满足饲用产品原料需求量大、低成本的需求

据初步统计,2017 年我国依靠人工生产供给的中药材种植面积近 $4.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$,每年产生非药用部位及加工下脚料总量逾亿吨。以中药制药为代表的深加工产业化过程每年产生药渣等固体废弃物及副产物高达 5 500 余万吨,液态废弃物达数亿吨。如此巨量的废弃物及副产物除少量用作堆肥等低值应用外,大多未实现资源化利用而废弃^[19]。由此可见,以非药用部位及药渣为代表的中药废弃物及副产物整体呈现资源储量大、生产成本低等资源特性。自 2011 年,农业部印发了《全国节粮型畜牧业发展规划(2011—2020 年)》的通知,提出发展节粮型畜牧业是保障畜产品有效供给、缓解粮食供求矛盾、丰富居民膳食结构的重要途径。因此,以中药资源产业化过程产生的废弃物及副产物为原料发展饲用品产业,既可实现其资源化利用,也可满足近年来我国畜牧业集约化、工业化快速发展而出现的对饲用品需求量逐年增加的发展趋势。

2.3 中药废弃物及副产物现有处置方式易造成资源浪费、环境污染,用于饲用产品开发可在其资源化利用的基础上实现有效消纳

我国主要资源人均占有量远低于世界平均水平,加上增长方式仍较粗放,国内资源供给难以保障经济社会发展需要,可持续发展面临能源资源瓶颈约束的严峻挑战。因此,发展循环经济是我国的一项重大战略决策,是落实党的十九大提出的我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段战略部署的重大举措,是建设资源节约型、环境友好型社会,实现可持续发展的必然选择。《中华人民共和国循环经济促进法》已于 2009 年 1 月 1 日起正式施行。近年来,各地区、各部门大力推动循环经济发展,并取得显著成效。据不完全统计,农林行业秸秆综合利用率已达 75%以上,林业三剩物综合利用率达 95%以上,畜禽养殖废弃物处理率达 42%以上,大宗工业固体废物综合利用率达 48%,综合利用产值达 8 500 亿元。而纵观中药资源产业,仍处于大量生产、大量消耗、大量浪费的粗放式线性经济发展模式,中药资源产业循环经济滞后于国家整体布局。限于目前非药用部位及中药渣的回收处理成本较高,其处置方式仍以掩埋、焚烧等为主,对环境已造成较大影响,其妥善处置已成为大型中药生产企业面临的迫切问题。而以中兽药、饲料原料和饲料添加剂等为代表的饲用产品具有消耗量大、资源处置能力强,且生产技术易于普及等特点,因此以中药资源产业化过程产生的废弃物及副产物为原料发展饲用产品,不仅可实现其有效消纳处置,同时实现其资源化利用,将具有广阔的前景。

3 基于中药资源产业化过程废弃物及副产物的饲用产品研究实践

3.1 基于中药非药用部位的饲用产品研究实践

3.1.1 具有抑菌抗炎作用的非药用部位饲用产品研究 随着畜牧业的生产逐渐趋向现代化、集约化和规模化,预防细菌感染成为畜禽养殖过程中需要关注的重要问题。具有抑菌抗炎作用的中药因其不易产生耐药性、无有害残留及毒副作用小等优点,在畜禽养殖中发挥着重要的作用。

黄芩为常用清热解暑类中药,在中兽药中亦有广泛应用。随着近年来黄芩药材需求量的逐年增加,野生黄芩资源已不能满足社会需求,人工种植成为主要来源。在黄芩药材生产过程中,作为非药用部位的茎叶生物量是黄芩药材的 3 倍,除少部分用于

医药保健原料外,大部分废弃不用,造成极大的资源浪费和环境承载压力。本课题组前期研究显示,黄芩茎叶对金黄色葡萄球菌、痢疾杆菌具有较强的抑菌作用,最小抑菌浓度分别为 1、4 mg/mL,且对金黄色葡萄球菌致小鼠细菌性炎症的多脏器损伤、脂多糖致小鼠全身性炎症损伤、葡聚糖硫酸酯致小鼠炎症性肠病模型均具有较好的防治作用。黄芩茎叶与忍冬藤联合应用对金黄色葡萄球菌致乳腺炎小鼠具有抑菌抗炎、保护乳腺组织作用,且两药合作用大于单药应用^[20-21]。上述研究结果提示,黄芩药材生产过程产生的茎叶非药用部位具有确切的抑菌抗炎作用,有望作为具有预防菌群感染功能的饲用抗生素替代产品,用于畜禽养殖。

3.1.2 基于药食两用中药资源非药用部位饲用产品研究 部分药食两用中药资源,其生产过程中产生的非药用部位含有丰富的营养物质,以其为主要原料可制作具有一定保健功能的饲用产品。酸枣仁为临床常用养心安神中药,产地调研表明,在酸枣仁生产加工过程中,每 30 千克酸枣鲜果仅能产出 1 kg 枣仁,每年有近 4 万吨的酸枣果肉副产物因缺少有效利用途径而废弃,其随意排放已造成严重环境污染。研究显示,酸枣果肉中含有超过 50%的葡萄糖、果糖、蔗糖等单/寡糖营养组分,近 5%的多糖类组分,以及少量具有抗菌消炎、增强免疫作用的三萜酸类组分,且酸枣果肉中含有丰富的小分子有机酸类成分,是天然酸化剂,具有助消化、促生长作用^[22],以其为原料与益生菌发酵可制备形成营养丰富、适口性好且具有肠道菌群调节及免疫增强作用的功能性饲料。

3.2 中药渣饲用产品开发研究实践

3.2.1 基于中药渣固态发酵的饲用产品研究 目前中药渣用于饲用产品主要采用物理加工直接添加或经过生物发酵后再添加到饲料中饲喂畜禽,实际生产中也可与诱食剂及饲料风味剂配伍应用,以提高其适口性^[3]。其中,生物发酵手段可以发挥微生物对中药渣中粗纤维等物质的生物降解和再合成作用,促进中药渣生物活性成分的进一步释放,且可产生低聚寡糖等功能性代谢产物,是中药渣精细高值化利用的重要途径^[23]。

本课题组前期比较了五味子药渣固态发酵前后总蛋白、还原糖以及淀粉含量,结果显示通过热带假丝酵母菌 *Candida tropicalis* 固态发酵后,发酵培养物中的总蛋白质量分数比初始五味子残渣中提高

76.84%，还原糖质量分数提高 84.33%，淀粉质量分数提高 84.44%，提示以热带假丝酵母菌发酵五味子药渣制备饲料添加剂具有较好的开发潜力^[24]。有研究显示，以棘孢木霉发酵黄芪药渣可产生以 β -葡聚糖酶、木聚糖酶和果胶酶为主的丰富酶系，且与发酵前相比黄芪甲苷在发酵液中的释放量增加了 4 倍；发酵产物对变形杆菌、沙门氏杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌等细菌有较强的抑制作用^[25]。有研究以熟地、山楂、陈皮、麦芽、甘草等药渣组合发酵产物饲喂仔猪，结果显示发酵中药渣组各养分消化率均高于其他各组，发酵中药渣组空肠绒毛长度/隐窝深度最小，绒毛宽度最大，提示饲料中添加发酵中药渣可在一定程度上提高断奶仔猪的生长性能和养分消化率^[26]。

3.2.2 基于中药渣活性组分提取制备的饲用产品研究 采用现代分离纯化技术，对残留于部分中药渣中且具有较高饲用价值的活性组分进行分离制备，进而开发形成功能性饲用产品，是实现中药渣资源化利用与替抗饲用产品开发的重要方向。

近年来，以丹酚酸类组分为利用目标的丹参类制剂产业规模已突破百亿，其生产过程主要采用水提取乙醇沉淀工艺，致使丹参酮类脂溶性成分残留在药渣中，且其醇沉沉淀中含有约 50% 的水苏糖组分，未得到充分利用导致丹参资源性化学物质的浪费，同时造成环境污染。现代研究表明，丹参酮类化合物对革兰阳性球菌，特别对金黄色葡萄球菌具有较强的抑菌抗作用，且其色泽红艳，为重要的天然色素^[27]；水苏糖为重要的益生元，可促进肠道益生菌繁殖，增强免疫功能。因此，以丹参药材水提醇沉过程产生的药渣及醇沉沉淀用于饲用产品开发不仅可起到抑菌抗炎、增强免疫、防治疾病的作用，同时可有效提高畜禽产品品质。为此，本团队采用酶解处理耦合膜分离技术创新性地从丹参提取药渣中富集制备得到丹参酮原料^[28]，利用色谱分离-超滤/纳滤串联技术从丹参提取物醇沉沉淀中分离制备出高品质水苏糖，用于饲用产品开发既延伸了资源产业链，实现了丹参药材深加工过程的提质增效与绿色发展，同时也为饲用替抗产品开发提供了支撑。

4 发展建议

4.1 强化政策保障与引导

21 世纪是环保世纪，面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势，走绿色发展、

循环发展、低碳发展之路已上升为国家战略。由于中药资源产业化过程产生的非药用部位及药渣等副产物及废弃物开发功能性饲用产品尚处于发展阶段，部分政策法规对其产业化尚存在约束性，研究成果多限于实验室阶段。因此，建议政府在充分论证的前提下，打破政策壁垒，在行政许可、财税政策等方面进行有效激励与引导，加强成果转化，促使非药用部位、中药渣等副产物由污染环境的废弃物转换为可循环利用的资源，推动其向畜禽饲用产品转化，在实现中药资源产业提质增效与绿色发展的同时形成功能性饲用产品，为我国畜牧产业的“替抗、减抗”提供支撑。

4.2 汇聚多方力量，加强基础研究与转化应用

近年来，以中药非药用部位及中药渣研发功能性饲用产品已有较多报道，并初步证实了其在促生长、增强免疫功能、抗菌抗炎、抗应激等方面的诸多功能，但其发挥作用的物质基础及其作用机制较少涉及。现有制备工艺也多为经过简单的物理再加工或经过生物发酵后添加到饲料中饲喂畜禽，工艺尚较粗浅，剂型相对单一，且少见基于其活性组分的精深加工制品。因此，应在国家政策的引导下，汇聚中药资源、中兽医药、畜牧产业相关力量，构建“政-产-学-研-用”合作机制，加强中药资源废弃物及副产物用于畜禽饲用产品基础研究，明晰其活性物质基础、作用机制、适用畜禽种类以及潜在毒副反应等，在此基础上创新制备工艺，丰富饲用途径，转化形成资源性产品，以实现产业的良性可持续发展。

4.3 制订可饲用品种目录，建立生产规范

目前，实现栽培种植的中药材资源达 300 余种，药材生产过程产生的非药用部位类型多样，部分非药用部位尚具有一定的毒性或影响适口性；中药渣大多是多味中药复方加工过后的副产物，其来源和组成成分复杂，营养成分差距较大，部分中药深加工过程尚需应用有毒有害试剂，易在药渣中残留。因此，应在充分研究的基础上，在现有饲料原料及饲料添加剂目录中尽快明确可饲用非药用部位及中药渣等副产物的种类及适用畜禽范围。对非药用部位应限定其种植过程投入品的使用种类，对中药渣应规定其形成条件及类型、提取方法及溶媒种类等，同时对其有害物残留进行限定。对于中药渣发酵制备饲用产品应对其发酵菌种、发酵方法及条件应建立规范，以确保饲用产品的安全及稳定可控。

参考文献

- [1] 姚蒙蒙, 李仲玄, 王晓冰, 等. 常用饲用抗生素替代物研究进展 [J]. 饲料工业, 2019, 40(8): 61-64.
- [2] Gong J, Yin F, Hou Y, *et al.* Review: Chinese herbs as alternatives to antibiotics in feed for swine and poultry production: Potential and challenges in application [J]. *Can J Anim Sci*, 2014, 94(2): 223-241.
- [3] 许剑琴. 中兽医药——减抗替抗主力军 [J]. 北方牧业, 2018(20): 15-16.
- [4] 印遇龙. 中国生猪产业与饲料行业发展建议 [J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(12): 1337-1341.
- [5] 丁宏标, 陶正国, 崔海滨, 等. 植物提取物饲料添加剂的活性成分和功能 [J]. 饲料工业, 2019, 40(13): 1-5.
- [6] 刘浩民, 孙恩江, 南慧静. 中药饲料添加剂应用现状和发展前景 [J]. 广东畜牧兽医科技, 2018, 43(3): 16-18.
- [7] 段金廛, 张伯礼, 宿树兰, 等. 基于循环经济理论的中药资源循环利用策略与模式探讨 [J]. 中草药, 2015, 46(12): 1715-1722.
- [8] 赵明, 段金廛, 张森, 等. 基于中药资源产业化过程副产物开发禽畜用药及饲料添加剂的策略与路径 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42(18): 3628-3632.
- [9] 侯久飞. 浅析中兽药产业现状及发展前景 [J]. 中国猪业, 2012, 7(12): 13-14.
- [10] 叶元土. 动物食品全产业链中的饲料企业: 生存危机与发展机遇 [J]. 饲料工业, 2019, 40(8): 1-8.
- [11] 刘杰. 2018年饲料添加剂产业概况 [J]. 中国饲料, 2019(12): 1-3.
- [12] 曾慧婷, 沙秀秀, 朱邵晴, 等. 丹参及丹参茎叶水提物 UPLC 指纹图谱研究与丹酚酸类成分定量分析 [J]. 药物分析杂志, 2017, 37(4): 602-609.
- [13] Weng Z B, Guo S, Qian D W, *et al.* *Sophora flavescens* seed as a promising high potential by-product: Phytochemical characterization and bioactivity evaluation [J]. *Ind Crop Prod*, 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.08.005.
- [14] Tao J H, Duan J A, Jiang S, *et al.* Polysaccharides from *Chrysanthemum morifolium* Ramat ameliorate colitis rats by modulating the intestinal microbiota community [J]. *Oncotarget*, 2017, doi: 10.18632/oncotarget.20477.
- [15] 魏丹丹, 段金廛, 宿树兰, 等. 菊茎叶提取物改善肠功能失调的代谢组学研究 [J]. 中草药, 2019, 50(13): 3084-3093.
- [16] Li Y, Guo S, Zhu Y, *et al.* Flowers of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* as a novel high potential by-product: Phytochemical characterization and antioxidant activity [J]. *Molecules*, 2019, doi: 10.3390/molecules24030434.
- [17] Li Y, Guo S, Zhu Y, *et al.* Comparative analysis of twenty-five compounds in different parts of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* and *Astragalus membranaceus* by UPLC-MS/MS [J]. *J Pharm Anal*, 2019, doi: 10.1016/j.jpha.2019.06.002.
- [18] 张相鑫, 陈进超, 孙佳静. 中药药渣作为畜禽饲料或饲料添加剂的研究进展 [J]. 饲料工业, 2017, 38(22): 57-60.
- [19] 段金廛, 郭盛, 唐志书, 等. 中药资源循环利用模式构建及产业化示范 [J]. 江苏中医药, 2019, 51(3): 1-5.
- [20] 张琳, 宿晓蓉, 徐园, 等. 黄芩茎叶和藤茶抑菌作用及其联合应用研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(3): 380-386.
- [21] 张琳. 黄芩茎叶抑菌抗炎活性及抗小鼠乳腺炎作用的研究 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2019.
- [22] 郭盛, 严辉, 钱大玮, 等. 枣属药用植物资源产业化过程副产物及废弃物的资源价值发现与循环利用策略构建 [J]. 南京中医药大学学报, 2019, 35(5): 579-584.
- [23] 胡栋, 曹景盛, 胡佳川, 等. 现代发酵技术在中草药饲料添加剂中的应用 [J]. 饲料博览, 2019(2): 16-19.
- [24] 陶小芳, 沈飞, 宿树兰, 等. 生脉注射液生产过程五味子药渣中资源性物质的分析与循环利用途径探讨 [J]. 中草药, 2015, 46(18): 2712-2719.
- [25] 竺利红, 焦巧芳, 尹小良, 等. 发酵法制备黄芪药渣饲料添加剂活性物质 [J]. 浙江农业科学, 2015, 56(10): 1651-1653.
- [26] 苏家宜, 李华伟, 黎智华, 等. 发酵中药渣对断奶仔猪生长性能和肠黏膜形态结构的影响 [J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(9): 1454-1459.
- [27] 戴新新, 宿树兰, 郭盛, 等. 丹参酮类成分的生物活性与应用开发研究进展 [J]. 中草药, 2017, 48(7): 1442-1448.
- [28] 戴新新, 沈飞, 宿树兰, 等. 丹参药渣中丹参酮类化学成分提取富集研究及其利用途径分析 [J]. 中国现代中药, 2016, 18(12): 1578-1582.