

补铁剂在养殖业中的应用进展

黄茜, 黄金滢, 曹俊贤, 邓天鹏, 刘志挺, 周林* (广东药科大学, 广东广州 510006)

摘要 铁是动物机体需要量最多的微量元素, 动物缺乏铁元素或铁元素利用率低, 会导致饲料利用率低, 产生贫血、生长缓慢等症状。因而补铁剂在养殖业中作为饲料补铁添加剂、动物营养补充剂、兽用补铁药物的应用与开发受到重视。研究表明, 补铁剂对于母猪、仔猪、肉仔鸡、蛋鸡等动物有促生长作用, 可用于治疗缺铁性贫血、改善动物的生长性能、增强机体抗病能力。对补铁剂的产品类型、特点、发展和应用趋势进行综述, 为养殖业中补铁剂产品的开发提供参考。

关键词 缺铁性贫血; 兽用补铁剂; 有机铁; 多糖铁复合物

中图分类号 S816.72 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)10-0011-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.10.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application Progress of Iron Supplement in Aquaculture

HUANG Qian, HUANG Jin-ying, CAO Jun-xian et al (Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract Iron is the most needed trace element in animal body. Lack of iron element or poor consumption of iron element, will cause anemia, low feed utilization rate, and slow growth and other symptoms. Therefore, the application and development of iron supplements as feed iron supplement additive, animal nutrition supplements, and animal iron supplement have attracted widely attention in the breeding industry. The results show that iron supplement can promote the growth of sows, piglets, broilers, laying hens and other animals, and can be used to treat iron deficiency anemia, improve the growth performance of animals, and enhance the disease resistance of the body. In this paper, the product types, characteristics, development and application trends of iron supplement are summarized, which are supposed to benefit the development of iron supplements in the breeding industry.

Key words Iron deficiency anemia; Animal iron supplements; Organic iron; Polysaccharide-iron complex

铁是动物机体维持正常生命活动所必需的一种微量元素^[1], 参与动物体内多种细胞酶组分。铁在细胞的生物氧化代谢中发挥重要的作用, 参与动物体内血红蛋白和肌红蛋白的合成, 转运营养成分并维持氧的正常运输^[2], 人体能量供应、蛋白质代谢、抗氧化、肌体免疫等多种代谢活动, 对动物生长及生产活动有着重要的意义。缺铁性贫血是动物最为常见的营养缺乏症^[3], 铁元素的缺乏直接导致饲料转化效率下降和生长缓慢^[4], 对动物的免疫力有明显的不良影响^[5]。因此, 在动物生产过程中, 养殖场需要在饲料中补充额外的铁来保证其正常的生长和生产活动, 补铁剂在畜牧业上被用

于治疗缺铁性贫血、改善动物的生长性能、增强机体抗病能力。铁的过量使用也会影响动物的生长性能, 因此要在适当的剂量范围内补充铁^[6]。

补铁剂分为无机铁和有机铁 2 类, 经历了 4 个阶段发展: 第一代以无机亚铁盐类为主, 包括氯化亚铁、硫酸亚铁等; 第二代以小分子有机亚铁盐类为主, 包括富马酸亚铁、乳酸亚铁等; 第三代为氨基酸亚铁类, 包括甘氨酸亚铁、蛋氨酸亚铁等^[7]; 第四代是以血红素铁、多糖铁、蛋白铁为代表的新型补铁剂^[8]。该研究主要对动物补铁剂进行分析, 对补铁剂的种类、特点及代表性产品进行介绍(表 1)。

表 1 补铁剂的种类、特点及代表性产品

Table 1 Types, characteristics and representative products of iron supplements

分类 Classification	阶段 Stage	种类 Type	优点 Advantage	缺点 Shortcoming	代表性产品 Representative product
无机铁类 Inorganic iron	第一代	无机亚铁盐	成本低, 价格低, 含铁量高	铁腥味, 不稳定, 生物利用度低, 胃肠道毒副作用	硫酸亚铁
有机铁类 Organic iron	第二代	有机亚铁盐	成本低, 吸收率提高	铁腥味, 不稳定, 储存困难	富马酸亚铁
	第三代	氨基酸亚铁	吸收率好, 生物学价效率高, 绿色环保	成本高, 纯度低, 机制不明确	甘氨酸亚铁 蛋氨酸铁
	第四代	多糖铁 蛋白铁 血红素铁	胃肠道刺激小、毒副作用小, 性质稳定 化学稳定性, 生物利用度较高, 无毒副作用 生物铁, 生物利用度高, 无毒副作用, 性质稳定	成本高, 价格昂贵 成本高 成本高, 纯度差	铁血龙 蛋白铁补充剂 血红素铁

基金项目 广东药科大学 2020 年度大学生创新创业训练计划(202010573085); 2020 年国家级大学生创新创业训练计划(202010573016S); 广东药科大学科研培养基金(No. 43755008)。

作者简介 黄茜(1996—), 女, 湖南常德人, 硕士研究生, 研究方向: 生物活性物质的制备及其功能。* 通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事生物活性物质的制备及其功能研究。

收稿日期 2021-07-06

1 无机亚铁盐类

以硫酸亚铁为代表的第二代无机亚铁盐饲料补铁剂, 它们具有较高的铁含量、良好的吸收性和明显的治疗作用^[9], 同时其价格低廉且易获得, 被广泛用于铁补充剂市场。在断奶仔猪的早期饲料中添加适量的硫酸亚铁合剂, 不仅可以有

效防止仔猪黄白痢及其他原因引起的腹泻,还能明显提高仔猪日增重并降低料肉比^[10]。但是硫酸亚铁很容易潮解结块且不稳定,易氧化为三价铁,不易被动物吸收利用,从而造成机体负担和资源浪费^[11],此外无机铁盐生物利用率低,有一定毒性和副作用,快速释放的铁离子可强烈刺激胃肠道,产生胃肠道等不良副作用^[12]。当其静脉注射时,会引起过敏反应、局部疼痛和皮肤染色^[13],体内亚铁离子的积累易促进内源性自由基的产生,从而导致细胞膜脂质过氧化造成细胞膜损伤^[14],所以无机盐亚铁制剂作为动物补铁剂效果并不理想。

2 有机亚铁盐类

以富马酸亚铁为代表的第二代有机亚铁盐饲料补铁剂,其铁腥味、吸收率和生物利用度均有改善,因此被逐渐应用^[15]。富马酸亚铁中的亚铁离子可通过母猪及胎盘输送给仔猪,以促进乳猪生长代谢,最大程度预防缺铁性贫血,提高断奶仔猪的成活率^[16]。在仔猪基础饲料中添加 120 mg/kg 富马酸亚铁可增加仔猪的体重,并有促生长作用^[17]。但是由于亚铁盐的不稳定性,这类有机铁补铁剂生产和储存有困难,容易产生异味^[8],且与之后发展的补铁剂相比存在效果不显著的缺点^[18]。

3 氨基酸亚铁类

以甘氨酸亚铁、蛋氨酸亚铁为代表的第三代氨基酸亚铁类饲料补铁剂接近动物体内铁的天然形态,不仅具有很高的生物效价、良好的吸收效率及绿色环保特性,还可以起到氨基酸、微量元素的双重补充作用,并且在吸收代谢和提高动物生产性能方面具有优势。微量元素氨基酸螯合铁的研究促进了断奶仔猪补铁的快速进展,是当前国内外研究的热点^[18]。这类补铁剂经过小肠氨基酸通道吸收,利用率明显提高,胃肠道刺激较小、稳定性好^[8]。甘氨酸亚铁和氨基酸螯合铁可以通过增加母乳中的铁含量来改善仔猪的生长,从而预防仔猪的缺铁性贫血^[19]。目前氨基酸铁螯合物的局限在于依赖胃酸释放铁,药物的个体生物利用度差异大,同时亚铁盐性质不稳定,其安全性和生物利用度都较低,另外还存在成本过高和纯度低等问题^[15]。

4 新型补铁剂

第四代补铁剂是以血红素铁、多糖铁、蛋白铁为代表的新型铁补充剂。传统的铁补充剂,包括硫酸亚铁、富马酸亚铁等,可引起胃肠道不良反应。相比之下,不同类型的生物大分子铁配合物因其稳定性好、生物利用度高、副作用较低而受到研究者的关注^[20],新型补铁剂是未来补铁剂市场的主要发展趋势^[21]。

4.1 多糖铁 多糖被认为是用于改善免疫系统和预防癌症的有效生物活性化合物,天然多糖因其生物活性,如抗菌、抗肿瘤、抗病毒,受到越来越多的关注^[22]。此外,多糖还具有其他功能,例如调节血糖、降低血压、促进血液循环等^[23]。多糖铁是通过以多糖作为配体与亚铁离子螯合而形成的络合物,具有良好的稳定性、水溶性和较少的副作用。多糖铁复合物作为一种新型补铁剂不仅具有多糖的生物活性,还具

有对胃肠道刺激和副作用小的优点。Powers 等^[24]报道多糖铁复合物对无机铁硫酸亚铁的吸收有促进作用。具有良好配位稳定性的多糖铁已成为人们关注的热点。

右旋糖酐铁注射剂是现在使用较多的多糖铁补铁剂,在仔猪等家畜生命早期提供补铁剂最常用的方法是肌肉注射 100 或 200 mg 右旋糖酐铁,但是也有研究认为这对于预防缺铁不够有效^[25],右旋糖酐铁还可能会因为蛋白质和重金属过多而引起过敏反应,因而限制了其在养猪业中的应用^[26]。Wu 等^[27]研究表明,在一定范围内的氧化剂浓度增加可以促进右旋糖酐与铁的螯合能力,用 NaClO₃/NaBr (DOB) 氧化右旋糖酐对铁具有良好的螯合能力,DOBIC-铁络合物有望成为一种良好的补铁剂或强化铁的食品添加剂。

目前,研究领域中存在多种多糖铁复合物,如黄芪多糖铁、当归多糖铁^[28]等。黄芪多糖铁由于资源丰富,副作用小而受到广泛关注。黄芪多糖铁可以改善缺铁性贫血小鼠的状况^[29]。安同伟等^[30]报道,适宜剂量的黄芪多糖铁具有促进造血功能和防止仔猪贫血的作用。在饲料中添加黄芪多糖铁调节铁含量可以得到高铁蛋,并且鸡蛋中铁的含量明显增加^[31],黄芪多糖铁可以作为畜牧业及临床应用的多功能补铁剂^[32]。此外,木耳多糖可以作为铁的配体促进其在消化系统中的吸收,黑木耳多糖铁复合物具有减少铁超载引起的副作用和氧化应激的优点,可以作为工业加工中补充铁的营养强化剂,并有助于治疗缺铁性贫血^[33]。另外桑多糖也可用于制备具有良好抗氧化活性的补铁剂桑葚多糖铁螯合物^[34]。Huang 等^[35]研究表明,半乳甘露聚糖具有抗癌和抗氧化活性,可以为治疗和预防缺铁性贫血开辟一条新的创新途径。灰树花多糖铁具有较高的免疫保护活性和补体固定活性,有望开发成为一种具有良好活性的新型综合补铁剂^[36]。

海洋植物藻类是目前国内外补铁剂研究的热点方向之一,比如从藻类中提取的硫酸多糖^[37]、肠豆多糖^[38]、乌尔万多糖^[39]等活性物质,具有免疫调节、抗肿瘤等多种药理活性,拥有开发为补铁剂的潜能。

尽管多糖赋予多糖铁多种生物活性功能,但是由于多糖的类型复杂且结构多样,这也不同程度地影响了多糖铁的结构及药效^[40],因此在未来的研究中,应注意多糖的类型、结构及多糖铁有效性和安全性等问题,提高体内多糖铁复合物的铁吸收率^[41]。目前,关于多糖铁的研究大多集中在基础理论上,规模化应用的研究报道不多。作为治疗缺铁性贫血的补铁剂,多糖铁复合物比传统补铁剂昂贵,因此应进行更多的研究以寻找成本低、安全高效的多糖铁复合物^[42]。

4.2 蛋白铁 蛋白肽螯合铁是国内外迅速发展的新型补铁剂,它通过铁离子与小分子肽或短肽物质的配位反应形成。由于其中的铁元素接近于天然形态,因此具有化学稳定性好、生物学效价高、易消化吸收的优点,是一种理想的新型饲料补铁剂^[4]。马晓明等^[43]研究表明,鲑鱼排蛋白肽螯合铁可以改善大鼠的缺铁症状,有望成为补铁的新来源。因此,开发一类具有高吸收利用率、稳定性好、低副作用的蛋白肽螯合铁将具有积极的意义。

4.3 血红素铁 血红素铁是动物血液中的一种生物态铁,可以被人体肠黏膜吸收,具有生物利用度高等优点,其吸收率为无机铁制剂的3倍^[44]。饲料添加血红素铁可增加断奶仔猪的生长速度,降低料肉比,改善仔猪腹泻次数和皮毛外观^[45],且血红素铁能够提高蛋黄的铁含量、蛋鸡的生产性能、抗体水平等^[46]。Churio等^[47]研究表明,仔猪体内的血红素铁比非血红素具有更大的生物利用度,血红素铁可以增强仔猪对非血红素铁的肠道吸收。目前,制备的血红素铁纯度相对较低,要提升纯化工艺。

5 展望

补铁剂在畜牧业中的研究和应用已得到长足的发展,但是各种补铁剂在应用中仍然存在一些问题。针对补铁剂的吸收率等基本问题,可以采用各种方法控制肠部位中铁离子最大释放,避免药物在胃中产生剧烈刺激,从而降低副作用并提高生物利用度。如胶囊技术可以改善口服补铁剂的口感问题,包封技术可以提高铁的生物利用度,微囊化技术可防止补铁剂的氧化。大多数的新型补铁剂,例如大分子铁螯合物和纳米铁补充剂,都以分子形式直接被吸收,不仅可以避免胃肠道上游离铁离子的刺激,还可以提高铁的生物利用度,作为补铁剂具有广阔的应用前景。新型补铁剂的开发和补铁剂吸收率的提高可能是未来研究的重点之一,通过加强补铁剂生产工艺的改进,可生产出经济、高效、安全的产品,更好地满足畜牧业发展的需求。

参考文献

[1] 江国托,刘艳,单春乔,等.提高母猪及仔猪生产性能的肽螯合铁复合制剂:CN201810465160.1[P].2018-10-16.

[2] 李致宝,韦少平,许朝芳,等.补铁剂在畜牧业上的应用研究进展[J].安徽农业科学,2014,42(12):3583-3584.

[3] TANG M M, WANG D F, HOU Y F, et al. Preparation, characterization, bio-availability *in vitro* and *in vivo* of tea polysaccharides-iron complex[J]. European food research and technology, 2013, 236(2): 341-350.

[4] 陈石良.一种适合反刍动物的蛋白肽铁螯合物的制备方法:CN201811225654.9[P].2020-04-28.

[5] SVOBODA M, DRABEK J, KREJCI J, et al. Impairment of the peripheral lymphoid compartment in iron-deficient piglets[J]. Journal of veterinary medicine: Series B, 2004, 51(5): 231-237.

[6] 方升林.过量铁对机体损伤效应及其诱导细胞死亡的机制研究[D].杭州:浙江大学,2018.

[7] CLARK G H, CLARK M A. Amino acid chelate for the effective supplementation of calcium, magnesium and potassium in the human diet: US20000660048[P].2003-06-24.

[8] 胡乔迁.酶解芝麻蛋白肽及其亚铁螯合物的制备与特性[D].扬州:扬州大学,2019.

[9] 陈辉.血红素铁在食品工业和畜牧业中的应用[J].当代畜牧,2013(9): 37-38.

[10] 张烨,薛梦霞,周鹏,等.铁在畜禽养殖中的应用研究进展[J].饲料与畜牧(新饲料),2015(2):56-57.

[11] 罗鹏.以先进标准《饲料添加剂 富马酸亚铁》引领产品质量提升[C]// 市场践行标准化——第十一届中国标准化论坛论文集.北京:中国标准化协会,2014.

[12] 毛宇,陈博,顾宁.口服补铁剂的研发现状与发展趋势[J].药学研究,2017,36(11):621-626.

[13] WANG K P, CHEN Z X, ZHANG Y, et al. Molecular weight and proposed structure of the *Angelica sinensis* polysaccharide-iron complex[J]. Chinese journal of chemistry, 2008, 26(6): 1068-1074.

[14] WANG P P, ZHANG Y, DAI L Q, et al. Effect of *Angelica sinensis* polysaccharide-iron complex on iron deficiency anemia in rats[J]. Chinese journal of integrative medicine, 2007, 13(4): 297-300.

[15] 王方海,赵维,陈建芳,等.补铁剂研究进展[J].药学进展,2016,40(9): 680-688.

[16] 李华慧.三种补铁剂对哺乳仔猪的生长性能和血液生化指标影响的研究[D].南宁:广西大学,2011.

[17] 邓菲,孙晓蒙,徐帆,等.不同铁源对断奶仔猪生长性能及血液指标的影响[J].中国动物保健,2020,22(1):45-46.

[18] 张文飞,廖志超,管武太,等.甘氨酸亚铁对断奶仔猪生长性能、铁表观消化率及血清铁相关指标的影响[J].动物营养学报,2017,29(6): 2071-2077.

[19] 赵冬琴,王梁,郝金鹏,等.饲喂母猪不同类型和水平的有机铁对仔猪生长和贫血状态的影响[J].中国饲料,2019(5):58-61.

[20] CHI Y Z, LI Y P, ZHANG G L, et al. Effect of extraction techniques on properties of polysaccharides from *Enteromorpha prolifera* and their applicability in iron chelation[J]. Carbohydrate polymers, 2018, 181: 616-623.

[21] 林羽,舒绪刚,付志欢.浅析食品及饲料中各类补铁剂[J].粮食与饲料工业,2018(7):49-53.

[22] GAO X, QU H, GAO Z L, et al. Protective effects of *Ulva pertusa* polysaccharide and polysaccharide iron (III) complex on cyclophosphamide induced immunosuppression in mice[J]. International journal of biological macromolecules, 2019, 133: 911-919.

[23] ZHANG Z S, WANG X M, HAN Z P, et al. Physicochemical properties and inhibition effect on iron deficiency anemia of a novel polysaccharide-iron complex (LPPC)[J]. Bioorganic & medicinal chemistry letters, 2012, 22(1): 489-492.

[24] POWERS J M, BUCHANAN G R, ADIX L, et al. Effect of low-dose ferrous sulfate vs iron polysaccharide complex on hemoglobin concentration in young children with nutritional iron-deficiency anemia: A randomized clinical trial[J]. Journal of the American medical association, 2017, 317(22): 2297-2304.

[25] MACDOUGALL I C, GEISSER P. Use of intravenous iron supplementation in chronic kidney disease: An update[J]. Iranian journal of kidney diseases, 2013, 7(1): 9-22.

[26] FAICH G, STROBOS J. Sodium ferric gluconate complex in sucrose: Safer intravenous iron therapy than iron dextrans[J]. American journal of kidney diseases, 1999, 33(3): 464-470.

[27] WU H, SHANG-GUAN D C, LU Q M, et al. Oxidation of dextran using H₂O₂ and NaClO/NaBr and their applicability in iron chelation[J]. International journal of biological macromolecules, 2020, 144: 615-623.

[28] JIN L M, GUO F N, JIANG A L, et al. Preparation and antioxidant activity of *Lycium barbarum* polysaccharide iron complex[C]// Proceedings of the 3rd international conference on advances in energy and environmental science 2015. Paris, France: Atlantis Press, 2015: 946-949.

[29] 陈庆忠,安同伟,曹桂敏,等.黄芪多糖铁对小白鼠缺铁性贫血的药效学研究[J].中国兽药杂志,2011,45(2):6-8,22.

[30] 安同伟,陈庆忠,程乃尚,等.黄芪多糖铁对仔猪生长性能和贫血症影响的研究[J].上海畜牧兽医通讯,2011(3):8-9.

[31] 周贞兵,何春玫,陆福燕,等.日粮中添加黄芪多糖铁络合物对蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J].广东农业科学,2012,39(18):141-143.

[32] JIA N, QIAO H R, ZHU W, et al. Antioxidant, immunomodulatory, oxidative stress inhibitory and iron supplementation effect of *Astragalus membranaceus* polysaccharide-iron (III) complex on iron-deficiency anemia mouse model[J]. International journal of biological macromolecules, 2019, 132: 213-221.

[33] LIU T, LIU T T, LIU H C, et al. Preparation and characterization of a novel polysaccharide-iron(III) complex in *Auricularia auricula* potentially used as an iron supplement[J]. Biomed research international, 2019, 2019: 1-14.

[34] ZHANG J Q, CHEN C, FU X. *Fructus mori* L. Polysaccharide-iron chelates formed by self-embedding with iron(III) as the core exhibit good antioxidant activity[J]. Food & function, 2019, 10(6): 3150-3160.

[35] HUANG C X, TAO Y H, LI M, et al. Synthesis and characterization of an antioxidative galactomannan-iron(III) complex from *Sesbania* seed[J]. Polymers, 2018, 11(1): 1-13.

[36] XU L, MENG Y B, LIU Y, et al. A novel iron supplements preparation from *Grifola frondosa* polysaccharide and assessment of antioxidant, lymphocyte proliferation and complement fixing activities[J]. International journal of biological macromolecules, 2018, 108: 1148-1157.

[37] XIAN H, WANG P, JING H, et al. Comparative study of components and anti-oxidative effects between sulfated polysaccharide and its iron complex[J]. International journal of biological macromolecules, 2018, 118(PIA): 1303-1309.

参考文献

- [1] 景海漪,史辑,贾天柱.巴戟天的炮制历史沿革[J].中国药房,2013,24(27):2575-2577.
- [2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:2020年版一部[S].北京:中国医药科技出版社,2020.
- [3] 陶弘景.本草经集注[M].上海:群联出版社,1949.
- [4] 苏敬等.新修本草[M].合肥:安徽科学技术出版社,1981.
- [5] 孙思邈.备急千金要方[M].北京:中国医药科技出版社,2011.
- [6] 张存惠.证类本草[M].北京:人民卫生出版社,1957.
- [7] 张璐.本经逢原[M].北京:中国中医药出版社,1996.
- [8] 严洁,施雯,洪炜.得配本草[M].北京:中国中医药出版社,1997.
- [9] 史辑,景海漪,黄玉秋,等.巴戟天净制工艺的优化[J].中医药导报,2016,22(23):51-54.
- [10] 秦春,胡翔军.中药材净制去心的作用分析与探讨[J].世界最新医学信息文摘,2016,16(22):224-225.
- [11] 李挺.医学入门[M].北京:人民卫生出版社,2006.
- [12] 傅山.傅青主女科歌括[M].北京:人民卫生出版社,2006.
- [13] 彭逊之.竹泉生女科集要[M].上海:艺海出版社,1931.
- [14] 王泰林.王旭高临证医案[M].2版.北京:中国医药科技出版社,2019.
- [15] 王肯堂.证治准绳[M].北京:人民卫生出版社,2014.
- [16] 中华人民共和国药政管理局.全国中药炮制规范[S].北京:人民卫生出版社,1988:26-27.
- [17] 江苏省药品监督管理局.江苏省中药饮片炮制规范:2002年版[S].南京:江苏科学技术出版社,2002:32.
- [18] 江西省食品药品监督管理局.江西省中药饮片炮制规范:2008年版[S].上海:上海科学技术出版社,2008:42.
- [19] 河南省食品药品监督管理局.河南省中药饮片炮制规范:2005年版[S].郑州:河南人民出版社,2005:30.
- [20] 天津市市场和质量管理委员会.天津市中药饮片炮制规范:2018年版[S].天津:天津市食品药品监督管理局,2018:12.
- [21] 上海市药品监督管理局.上海市中药饮片炮制规范:2018年版[S].上海:上海科学技术出版社,2018:38.
- [22] 广西壮族自治区食品药品监督管理局.广西壮族自治区中药饮片炮制规范:2007年版[S].南宁:广西科学技术出版社,2007:77.
- [23] 浙江省食品药品监督管理局.浙江省中药炮制规范:2015年版[S].北京:中国医药科技出版社,2015:21.
- [24] 湖南省食品药品监督管理局.湖南省中药饮片炮制规范:2010年版[S].长沙:湖南科学技术出版社,2010:2.
- [25] 福建省食品药品监督管理局.福建省中药饮片炮制规范:2012年版[S].福州:福建科学技术出版社,2012:39.
- [26] 重庆市食品药品监督管理局.重庆市中药饮片炮制规范:2006年版[S].重庆:重庆市食品药品监督管理局,2006:7.
- [27] 吉林省卫生厅.吉林省中药饮片炮制规范:1986年版[S].长春:吉林科学技术出版社,1987:11.
- [28] 贵州省食品药品监督管理局.贵州省中药饮片炮制规范:2005年版[S].贵阳:贵州科技出版社,2005:58.
- [29] 广东食品药品监督管理局.广东省中药饮片炮制规范:2011年版[S].广州:广东科技出版社,2011:48.
- [30] 张洁.仁术便笈[M].北京:中国中医药出版社,2015.
- [31] 张景岳.景岳全书[M].北京:中国医药科技出版社,2011.
- [32] 缪希雍.先醒斋医学广笔记[M].2版.北京:中国医药科技出版社,2019.
- [33] 宋立人.中华本草[M].上海:上海科学技术出版社,1999.
- [34] 苗明三,孙玉信,王晓田.中药大辞典[M].太原:山西科学技术出版社,2017.
- [35] 黄清杰,闵云山.巴戟天炮制制品的合理应用[J].西部中医药,2013,26(1):12-13.
- [36] 伍淳操,吴文辉,刘霞,等.巴戟天酒制炮制方法研究[J].中华中医药杂志,2018,33(1):97-99.
- [37] 雷敦.雷公炮炙论[M].南京:江苏科学技术出版社,1985.
- [38] 王衮.博济方[M].上海:上海科学技术出版社,2003.
- [39] 赵学敏.本草纲目拾遗[M].北京:中医古籍出版社,2017.
- [40] 史辑,崔妮,景海漪,等.炮制对巴戟天中西草素型蒽醌类成分的影响[J].中成药,2015,37(6):1294-1297.
- [41] 景海漪,崔妮,史辑,等.巴戟天及不同炮制品蒽醌含量比较研究[J].亚太传统医药,2014,10(1):21-23.
- [42] 陈敏,陈红,杨成梓.不同炮制方法对巴戟天中总蒽醌含量的影响[J].亚太传统医药,2013,9(1):38-39.
- [43] 李倩,朱水娣,刘硕,等.炮制对巴戟天中蒽醌类成分的影响[J].中成药,2015,37(6):1284-1288.
- [44] 陈娥,周灿,廖莎,等.不同炮制去心法对巴戟天游离蒽醌含量的影响[J].中国药师,2015,18(11):1985-1986.
- [45] 沈佳雯,金冠钦,王梦超.巴戟天属植物中环烯醚萜类化合物研究进展[J].中国药师,2020,23(6):1160-1165.
- [46] 宋开蓉,高建德,刘雄,等.巴戟天中水晶兰苷酶辅助提取工艺的研究[J].解放军药学学报,2018,34(1):6-10.
- [47] 李正磊,杨楠,蒋思怡,等.不同产地巴戟天及不同炮制品中总环烯醚萜的含量测定[J].湖北中医药大学学报,2019,21(5):38-41.
- [48] 杨楠,李正磊,孙志猛,等.不同炮制品及不同产地巴戟天中4种环烯醚萜类成分的含量测定[J].中药材,2018,41(7):1668-1671.
- [49] 陈红,裴占柱,程再兴,等.盐巴戟天与生巴戟天中水晶兰苷含量对比研究[J].中医学报,2013,28(10):1504-1505.
- [50] 王锋,孙君社,胡绍峰,等.巴戟天炮制工艺的优化及有效成分变化分析[J].中国酿造,2015,34(8):101-105.
- [51] 徐吉银,梁英娇,丁平.炮制方法对巴戟天有效成分水晶兰苷含量的影响[J].中药材,2007,30(1):20-22.
- [52] 周灿,杨粹懿,许李,等.不同炮制去心法对巴戟天多糖含量的影响[J].湖南中医药大学学报,2011,31(1):49-51.
- [53] 陈娥,周灿,廖莎,等.不同炮制去心法对巴戟天耐蔗糖含量的影响[J].湖南中医药大学学报,2016,36(4):31-33.
- [54] 郭健.探究不同炮制去心法对巴戟天耐蔗糖含量的影响[J].中国医药指南,2019,17(18):31-32.
- [55] 阙海峰.巴戟天盐制工艺优选及盐制前后健脑作用比较研究[D].广州:广州中医药大学,2019.
- [56] 徐彦纯.本草发挥[M].北京:中国中医药出版社,2015.
- [57] 陈嘉谟.本草蒙筌[M].北京:中医古籍出版社,2009.
- [58] 崔妮,史辑,贾天柱.巴戟天不同炮制品补肾壮阳作用的比较研究[J].中国中药杂志,2013,38(22):3898-3901.
- [59] 翟旭峰,黄玉秋,史辑,等.盐巴戟对肾虚大鼠下丘脑-垂体-甲状腺轴的调节作用[J].中成药,2017,39(2):233-237.
- [60] 史辑,黄玉秋,范亚楠,等.巴戟天不同炮制品抗氧化作用比较研究[J].医学研究杂志,2017,46(1):42-45.
- [61] 郭重仪,黄萍,区海燕,等.不同炮制方法的巴戟天对小鼠抗氧化及细胞免疫功能的影响[J].中国现代药物应用,2009,3(20):40-42.
- [62] 魏晓峰,王佳,任晓航,等.巴戟天生、制品对免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J].中药材,2019,42(3):545-548.
- [63] 史辑,崔妮,贾天柱.巴戟天不同炮制品及提取部位抗大鼠佐剂性关节炎的比较研究[J].中药材,2015,38(8):1626-1629.
- [64] 史辑,景海漪,黄玉秋,等.巴戟天及其不同炮制品对脾胃虚模型大鼠的改善作用比较[J].中国药房,2016,27(13):1756-1758.

(上接第13页)

- [38] CUI J F, LI Y P, YU P, et al. A novel low molecular weight *Enteromorpha* polysaccharide-iron (III) complex and its effect on rats with iron deficiency anemia (IDA) [J]. International journal of biological macromolecules, 2018, 108:412-418.
- [39] SHI J M, CHENG C L, ZHAO H T, et al. *In vivo* anti-radiation activities of the *Ulva pertusa* polysaccharides and polysaccharide-iron (III) complex [J]. International journal of biological macromolecules, 2013, 60:341-346.
- [40] 刘鹏程.一种治疗缺铁性贫血药物的合成研究[D].青岛:青岛科技大学,2017.
- [41] 景永帅,张瑞娟,吴兰芳,等.多糖铁复合物的结构特征和生理活性研究进展[J].食品研究与开发,2019,40(22):203-208.
- [42] 董亚茹,陈贵堂.多糖铁复合物研究进展[J].食品安全质量检测学报,2015,6(8):2890-2895.
- [43] 马晓明,刘楚怡,宋文山,等.鳕鱼排蛋白肽螯合铁改善大鼠铁营养状况的效果评价[C]//中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集.北京:中国食品科学技术学会,2018.
- [44] 朱媛媛,庄红,张婷,等.血红素铁研究进展[J].肉类研究,2010,24(5):18-23.
- [45] 高冬余,王留香,于伟,等.血红素铁对断奶仔猪生长性能和血液指标的影响[J].饲料工业,2012,33(13):24-26.
- [46] 江国永,于伟,潘勇,等.血红素铁对仔猪生长性能和血液指标的影响[J].饲料与畜牧,2012(6):42-44.
- [47] CHURIO O, DURÁN E, GUZMÁN-PINO S A, et al. Use of encapsulation technology to improve the efficiency of an iron oral supplement to prevent anemia in suckling pigs [J]. Animals, 2019, 9:1-9.