

芦丁的生物活性功能及其在反刍动物生产中的应用

古今舜 钟小军 杨群 霍俊宏*

(江西省农业科学院畜牧兽医研究所,南昌 330200)

摘要: 芦丁又称维生素 P,是广泛存在于植物根、茎叶、花、果实和种子中的一种黄酮类化合物。芦丁的结构中含有丰富的官能团,能与金属离子螯合成稳定的结构,发挥稳定的生物活性作用,具有抗自由基、抗炎、抗病毒、抗癌和保护心脑血管、胃肠道黏膜等药理作用。本文综述了芦丁的提取方法、吸收和代谢、生理功能以及在反刍动物生产中的应用,为开发芦丁成为一种绿色饲料添加剂提供理论依据。

关键词: 芦丁;反刍动物;提取工艺;生物活性功能

中图分类号: S816.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)07-2952-06

当前,国内外已经开始施行全面禁止在动物养殖业中使用促生长及部分药用抗生素。因此,寻找可靠、有效、环保的抗生素替代物来维持动物健康,提高动物的生产性能和饲料利用效率迫在眉睫^[1]。

芦丁(rutin)又称芸香苷、维生素 P 等,化学名称为 5,7,3',4'-四羟基-3-芸香糖黄酮,是广泛存在于植物根、茎叶、花、果实和种子中的一种黄酮类化合物。芦丁是一种黄绿色或淡黄色针状晶体物质,其由槲皮素 C3 位上的羟基和芸香糖结合而形成的双糖苷。芦丁的结构中含有丰富的官能团,能与金属离子螯合成稳定的结构,发挥稳定的生物活性作用,具有抗自由基、抗炎、抗病毒、抗癌和保护心脑血管、胃肠道黏膜等药理作用^[2]。芦丁被广泛应用于临床医学上。已有研究发现,饲料中添加适量的芦丁能够提高反刍动物的生产性能^[3],说明芦丁可以作为一种绿色饲料添加剂应用于畜禽生产中。本文从芦丁的提取方法、芦丁的吸收和代谢、生物功能及其在反刍动物生产中的应用作一综述。

1 芦丁的提取方法

芦丁存在于多种植物中,为了从植物中提取芦丁,人们研究了多种提取方法。从传统的溶剂萃取发展到超临界流体萃取、加压液体萃取、微波辅助提取、固相微萃取和超声辅助提取等现代方法^[4]。这些提取方法都是分 2 个阶段,即植物的吸水和膨胀,植物中溶质通过扩散和渗透压向溶剂传质。然而,每种方法都有其优点和局限性。芦丁的主要提取方法如下:1) 热回流提取法。该方法包括加热、煮沸和回流 3 个阶段,提取温度和时间是该法提取芦丁的主要影响因素。在水提取体系下,提取温度过高时,提取时间越长,会导致芦丁降解。在液固提取的过程中,应选择与芦丁极性相似的乙醇、甲醇等溶剂,这样提取的效果较好。此方法需要的仪器比较简单,易于操作,但提取需要大量的溶剂,对环境污染较大^[5]。2) 机械化学辅助提取法。该法先通过粉碎破坏植物细胞,促使芦丁散开,然后利用固相化学物质与芦丁发生中和反应转化为盐的形式,然后酸化浓缩获得芦丁^[6]。机械化学提取效率与粉碎时间有关。

收稿日期:2018-12-24

基金项目:草畜一体化关键技术研究示范(JXXTCX201702-04);江西省牛羊产业技术体系(JXARS-13-肉羊岗位)

作者简介:古今舜(1985—),男,江西玉山人,助理研究员,博士,主要从事反刍动物营养。E-mail: zhanjinshun1985@163.com

* 通信作者:霍俊宏,副研究员,E-mail: hjh_0222@126.com

芦丁会因长时间强烈研磨发生氧化和形成团聚体而降低提取率^[7]。3) 超声波辅助提取法。超声波能够诱导植物中纤维素表面张力的变化,促使植物更容易破碎和破裂。利用此法提取芦丁,应选择甲醇、乙醇等溶剂来提取,其效果优于用水提取,是因为芦丁在冷水中微溶,且水中声波会导致羟基自由基的形成,促使芦丁降解,而在甲醇、乙醇中易溶^[8-9]。该法具有操作简单,缩短提取时间和提取效率高的优点,且为物理方法,提取过程中不会破坏有效成分^[10]。4) 微波辅助提取法。利用微波穿透植物细胞,使细胞内部温度迅速上升,水汽化将细胞涨破,芦丁进入溶剂并溶解得到分离的一种提取方法。离子液体具有很强的极性,溶解有机物和无机物的能力强,吸收微波能量的效果好,可作为一种良好的微波吸收介质和溶剂^[11]。因此,利用离子液体微波相结合会大大提高芦丁的提取率。该方法的优点是耗能低、操作简单、能缩短提取时间、减少提取溶剂用量、提取速度快、产率高^[12]。5) 其他。近年来,已证实可以利用红外辅助提取药用植物活性成分^[13]。该方法是利用红外能量加热提取试剂,促使芦丁溶于溶剂中而被解析出来。利用此方法需要了解芦丁的吸收特性,只有将红外加热器的波长与芦丁的吸收特性相匹配,才能达到较高的加热效率^[14]。用此方法提取芦丁,在提取率方面可能不如微波辅助提取,但该法更简单、更经济、无辐射。除此之外,还可以利用加压液体来提取芦丁^[15]。离子液体的独特性质扩大了加压液体提取法的使用,也提高了提取效率。此方法的优点是利用高压加快芦丁与惰性物质在色谱柱中的提取速度,而且还能够通过增加提取循环数、流动相梯度和溶剂类型来增加提取效率^[16]。

2 芦丁的吸收和代谢

芦丁的吸收和代谢是其发挥生物学活性的前提。通过试验研究发现,芦丁在体内和体外均能够被吸收。在模拟的胃液及小肠液中,芦丁能够稳定保持 2~4 h,这为肠道吸收芦丁提供了保证^[17]。通过给小鼠灌注芦丁,发现芦丁能够以自由和共轭的形式在小肠被吸收,但小肠吸收芦丁的速度较慢^[18-19]。Andlauer 等^[18]研究证实,芦丁在大鼠的小肠以苷的形式吸收。芦丁在胃肠道的不同部位吸收程度不同。芦丁能够被胃黏膜吸

收,其中胃窦吸收的能力比胃体强;以单位长度来计算,芦丁在结肠处吸收能力最大,而以单位面积来计算,则是空肠最大^[20]。在体外,以 Caco-2 细胞为模型,发现芦丁在细胞顶膜和肠腔侧的吸收存在差异,主要以被动扩散被小肠上皮细胞摄取,而 P 糖蛋白、多抗药性蛋白 1 和 2 在促进芦丁跨膜进入细胞内发挥重要作用^[21-22]。据报道,槲皮素双糖苷(芦丁)能够加快小肠钠离子依赖性葡萄糖转运载体介导的半乳糖溢出,提示芦丁可能通过葡萄糖转运途径吸收^[23]。芦丁在不同品种动物中的生物利用存在差异,芦丁在单胃动物中的生物利用率较低,在反刍动物中则相反^[24]。有研究表明,奶牛摄入芦丁 1 h 后,瘤胃液中芦丁含量达到峰值;摄入 6 h 后,十二指肠液中达到峰值;摄入 8 h 后,血液中达到峰值,提示芦丁能够在奶牛胃肠道吸收和代谢,进入血液发挥作用^[25]。另外,芦丁在反刍动物中的生物利用率还与年龄有关。研究发现,以槲皮素苷利用率作对比,出生 2 d 奶牛对芦丁的相对利用率高于出生 29 d 的奶牛^[26]。

Manach 等^[27]研究发现,大鼠口服芦丁后必须先是在盲肠发生水解才能吸收,在血液中以槲皮素、葡萄糖醛酸、硫酸的结合物以及发生甲基化的异鼠李黄素(槲皮素-3'-O-甲基)及怪柳黄素(槲皮素-4'-O-甲基)的形式存在。研究发现,通过酵母发酵,芦丁能够转换成槲皮素;芽孢杆菌(*Bacillus* sp. 52)、拟杆菌(*Bacteroides* sp. 22 和 *Bacteroides* sp. 45)能够将芦丁代谢成槲皮素 3-O-葡萄糖苷、*Bacteroides* sp. 42、韦永氏球菌(*Veillonella* sp. 32)和 *Bacteroides* sp. 45 能够将芦丁代谢成无色花青素^[28-29]。以上结果说明,芦丁能够在肠道微生物的降解下生成槲皮素等代谢产物而被机体吸收利用。利用氘标记发现,人血液及尿液中的芦丁代谢产物主要为高香草酸、二羟基苯乙酸、邻羟基苯乙酸、二羟基甲苯^[30]。

3 芦丁的生理功能及其机制

3.1 抗氧化

自由基是机体内线粒体呼吸和过氧化物酶体催化多种化合物发生氧化还原反应而产生的,产生过多的自由基会和饱和脂肪酸发生反应,产生脂质过氧化,破坏线粒体膜结构、蛋白质和 DNA 的完整,促使细胞凋亡和组织损伤^[31]。芦丁具有非常强的抗氧化能力,这与它清除自由基能力强

有关。研究发现,芦丁清除自由基的能力高达90%,其发挥清除自由基的作用主要与它结构中含有酚环和游离的羟基有关,羟基能够与自由基结合形成稳定的结构,抑制自由基链式反应^[32]。除此之外,芦丁还能够通过提高超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化酶等抗氧化酶活性来抑制细胞的脂质过氧化;与金属离子相螯合,提高抗氧化能力,降低金属离子对机体产生的氧化损伤^[33-34]。

3.2 抗炎症

炎症是机体在创伤、感染和免疫应答等情况下产生的一个生理反应。在炎症发生的过程中会产生促炎介质,如类二十烷酸、活性氧和细胞因子。细胞因子由细胞释放,能够影响细胞间的相互作用,主要包括白细胞介素(IL)、淋巴因子、趋化因子和相关信号分子,如肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和干扰素- γ (INF- γ)。芦丁能够抑制脾脏CD4⁺细胞的激活,降低TNF- α 和INF- γ 基因的表达,进而降低TNF- α 和INF- γ 的分泌^[35]。环加氧酶(COX)包括COX-1和COX-2,是将花生四烯酸转化为前列腺素的催化剂。在炎症部位,花生四烯酸在COX-2催化下,导致前列腺素含量较高^[36]。另外,一氧化氮(NO)是炎症发生过程中一个重要的分子信号。研究发现,芦丁能够降低体内TNF- α 和IL-6含量以及p38丝裂原活化蛋白激酶(p38-MAPK)、核因子- κ B(NF- κ B)、诱导型一氧化氮合酶(i-NOS)和COX-2蛋白的表达,这提示芦丁能够通过调控MAPK和NF- κ B通路来抑制NO和COX-2的产生,进而发挥抗氧化应激和抗炎的作用^[37]。

3.3 抗病原微生物

芦丁含有酚羟基,可以与病原微生物细胞膜的磷脂质亲水区域相作用,改变脂质体流动,影响胞膜电子传递,促使细胞发生渗透,抑制核苷酸合成等,从而抑制病原体的生长^[38]。研究发现,芦丁能够抑制大肠杆菌、普氏变形杆菌、索尼氏志贺氏杆菌、克雷伯氏杆菌、绿脓杆菌和枯草芽孢杆菌的生长。另外,芦丁还能够与其他黄酮类化合物发挥协同作用来增强抗蜡样芽孢杆菌和肠沙门氏菌的作用^[39-40]。芦丁具有抗真菌作用,与两性霉素B联合用药可以增强抗真菌作用,且可降低两性霉素B的用量,降低副作用^[41]。在犬瘟热病毒的感染下,芦丁可以通过影响病毒的复制来抑制病

毒;芦丁能够与病毒包膜糖蛋白相互作用,阻断病毒进入和病毒细胞融合,进而发挥抗逆转录病毒的作用^[42-43]。除此之外,芦丁还具有抗分枝杆菌、疟疾等作用^[40]。

3.4 提高免疫力

机体免疫系统包括免疫器官、免疫细胞和免疫活性物质。芦丁能够促进机体的免疫器官发育,提高体液和细胞免疫,进而提高机体的免疫力。郭旭东等^[44]研究发现,芦丁能够提高青春期和泌乳期大鼠脾脏和胸腺指数,提示芦丁能够促进胸腺和脾脏的发育。Ganeshpurkar等^[45]研究发现,芦丁有助于清除小鼠血液外来颗粒和白细胞迁移,增加抗体反应,提高免疫球蛋白的含量,提示芦丁能够刺激体液和细胞免疫,增强免疫作用。Hsieh等^[46]研究发现,芦丁能够增加白对虾的先天非特异免疫的能力,可以抗溶藻弧菌的感染,进而提高存活率。除此之外,芦丁能够抑制IL-4的分泌以及促进T细胞核因子和GATA结合蛋白3(GATA3)转录因子的表达,提示芦丁能够通过调节Th2信号通路来调节免疫反应^[47]。

3.5 类雌激素作用

雌激素以雌二醇的生物效应最强,芦丁的结构与雌二醇的结构相似,符合植物雌激素的结构要求^[25]。由于结构与内源性雌激素类似,可以与体内的雌激素受体相结合发挥雌激素样作用。研究发现,给去卵巢的大鼠灌注芦丁能够提高血液雌二醇的含量,促进垂体分泌泌乳素和生长激素,上调乳腺组织的雌二醇、泌乳素和生长激素的受体表达^[48]。另外,切除卵巢大鼠在脑缺血灌注再损伤下,发现芦丁改善了感觉运动和识别记忆,降低梗死面积和神经元损失,增加雌二醇受体水平,芦丁的保护作用与17- β -雌二醇相当,且保护作用也能被雌二醇拮抗剂相拮抗而减弱^[49]。

4 芦丁在反刍动物生产中的应用

郭旭东^[25]研究发现,芦丁能够提高中国荷斯坦奶牛产奶性能和初乳中过氧化物酶、 γ -谷氨酰转氨酶活性,抑制 β -N-乙酰氨基葡萄糖苷酶活性,但不会影响乳成分;降低瘤胃pH、氨态氮和原虫蛋白含量,增加挥发性脂肪酸的总量、乙酸和丙酸以及菌体蛋白的含量;提高奶牛瘤胃内容物固相和液相中总脱氢酶、滤纸酶、 β -葡萄糖苷酶、梭甲基纤维素酶和微晶纤维素酶的活性,提示饲粮

中添加适量的芦丁能够通过调控瘤胃发酵,促进营养物质的消化和吸收,提高产奶量。Gohlke 等^[50]研究发现,通过十二指肠瘘管添加芦丁对德国荷斯坦奶牛的采食量和产奶量无显著影响。Stoldt 等^[51]研究发现,芦丁三水合物对德国荷斯坦奶牛产奶量、乳成分和甲烷产量无显著影响,但能够提高血清中葡萄糖、 β -羟丁酸和白蛋白含量,这提示芦丁能够影响能量代谢,但不影响生产性能。国内外研究结果存在差异可能与试验动物、芦丁剂量和形式以及给药方式不同有关。在体外培养绵羊次级卵母细胞,在培养基中添加单一的芦丁能够提高谷胱甘肽含量,维持卵母细胞的活性,可以取代转铁蛋白、硒和维生素 C^[52]。除此之外, Lins 等^[53]研究发现,芦丁能够加速牛肉变色,增加正铁肌红蛋白的积累和促进脂质过氧化,提示在特定的试验条件下,芦丁具有促氧化剂的作用。以上结果说明,芦丁可以作为一种潜在的绿色饲料添加剂在反刍动物生产中应用。

5 小 结

随着人们对食品安全的要求越来越高,必然会全面禁止使用饲用抗生素,寻找绿色、健康的抗生素替代品迫在眉睫。芦丁作为一种黄酮类化合物,具有抗氧化、抗炎症、提高免疫等功能,而且能够提高动物生产性能,因此可以作为一种潜在的绿色饲料添加剂在动物生产中进行应用。芦丁具有类雌激素的作用,能与雌激素受体相结合,发挥双向调节作用。当体内雌激素水平较高时,会竞争性跟雌激素受体结合,阻碍内源性雌激素与受体的结合,进而减弱了雌激素对靶细胞的应答,产生拮抗雌激素的作用。因此,在实际生产过程中需要注意芦丁的使用量。芦丁广泛存在于植物中,且芦丁工业化提取技术比较成熟,随着人们对芦丁不断深入的研究,芦丁在反刍动物生产中的应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 靳纯霞,叶耿坪,唐新仁.反刍动物饲用抗生素替代物研究进展[J].中国畜牧兽医,2018,45(1):77-85.
- [2] GHORBANI A. Mechanisms of antidiabetic effects of flavonoid rutin [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2017, 96: 305-312.
- [3] CUI K, GUO X D, TU Y, et al. Effect of dietary supplementation of rutin on lactation performance, ruminal fermentation and metabolism in dairy cows [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2015, 99(6): 1065-1073.
- [4] CHUA L S. A review on plant-based rutin extraction methods and its pharmacological activities [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2013, 150(3): 805-817.
- [5] CHUA L S, RUZLAN N N, SARMIDI M R. Recovery of rutin from *Labisia pumila* extract using solid phase extraction [J]. Acta Chimica Slovenica, 2017, 64(4): 888-894.
- [6] PIETTA P G. Flavonoids as antioxidants [J]. Journal of Natural Products, 2000, 63(7): 1035-1042.
- [7] XIE J, SHI L X, ZHU X Y, et al. Mechanochemical-assisted efficient extraction of rutin from *Hibiscus mutabilis* L. [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(2): 146-152.
- [8] 何晶,钱斐莹,邹培,等.不同提取方法对桑叶中芦丁含量的影响研究[J].广东化工,2016,43(17):18-19.
- [9] YANG Y, ZHANG F. Ultrasound-assisted extraction of rutin and quercetin from *Euonymus alatus* (Thunb.) Sieb [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2008, 15(4): 308-313.
- [10] 廉琪,郑学芳,彭友舜,等.超声波辅助提取芦笋老茎中芦丁工艺的优化[J].南方农业学报,2012,43(6):839-842.
- [11] 李丽,李羚,李德光.离子液体微波辅助在天然植物成分提取中的应用[J].云南化工,2013,40(4):46-51.
- [12] 陈曦.微波提取技术在中药有效成分提取中的应用[J].安徽医药,2018,22(12):2460-2463.
- [13] CHEN Y L, DUAN G L, XIE M F, et al. Infrared-assisted extraction coupled with high-performance liquid chromatography for simultaneous determination of eight active compounds in *Radix Salviae miltiorrhizae* [J]. Journal of Separation Science, 2010, 33(17/18): 2888-2897.
- [14] DUAN H T, CHEN Y, CHEN G. Far infrared-assisted extraction followed by capillary electrophoresis for the determination of bioactive constituents in the leaves of *Lycium barbarum* Linn [J]. Journal of Chromatography A, 2010, 1217(27): 4511-4516.
- [15] WU H W, CHEN M L, FAN Y C, et al. Determination of rutin and quercetin in Chinese herbal medicine by ionic liquid-based pressurized liquid extraction-liquid

- chromatography-chemiluminescence detection [J]. *Talanta*, 2012, 88: 222–229.
- [16] HOFF R B, PIZZOLATO T M. Combining extraction and purification steps in sample preparation for environmental matrices: a review of matrix solid phase dispersion (MSPD) and pressurized liquid extraction (PLE) applications [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2018, 109: 83–96.
- [17] NOTEBORN H P J M, JANSEN E, BENITO S, et al. Oral absorption and metabolism of quercetin and sugar-conjugated derivatives in specific transport systems [J]. *Cancer Letters*, 1997, 114(1/2): 175–177.
- [18] ANDLAUER W, STUMPF C, FÜRST P. Intestinal absorption of rutin in free and conjugated forms [J]. *Biochemical Pharmacology*, 2001, 62(3): 369–374.
- [19] CARONARO M, GRANT G. Absorption of quercetin and rutin in rat small intestine [J]. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 2005, 49(3): 178–182.
- [20] JAGANATH I B, MULLEN W, EDWARDS C A, et al. The relative contribution of the small and large intestine to the absorption and metabolism of rutin in man [J]. *Free Radical Research Communications*, 2006, 40(10): 1035–1046.
- [21] 王海玲, 刘宁, 刘志强, 等. 利用 Caco-2 细胞模型模拟槲皮素和芦丁在小肠的吸收 [J]. *吉林大学学报: 医学版*, 2007, 33(1): 33–36.
- [22] ZHANG X F, SONG J H, SHI X P, et al. Absorption and metabolism characteristics of rutin in Caco-2 cells [J]. *The Scientific World Journal*, 2013, 2013: 382350.
- [23] HOLLMAN P C H. Absorption, bioavailability, and metabolism of flavonoids [J]. *Pharmaceutical Biology*, 2004, 42 Suppl: 74–83.
- [24] BERGER L M, WEIN S, BLANK R, et al. Bioavailability of the flavonol quercetin in cows after intraruminal application of quercetin aglycone and rutin [J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(9): 5047–5055.
- [25] 郭旭东. 芦丁对奶牛泌乳性能、瘤胃消化代谢和对大鼠乳腺发育的影响 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [26] MACIEJ J, SCHÄFF C T, KANITZ E, et al. Bioavailability of the flavonol quercetin in neonatal calves after oral administration of quercetin aglycone or rutin [J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(6): 3906–3917.
- [27] MANACH C, MORAND C, DEMIGNÉ C, et al. Bioavailability of rutin and quercetin in rats [J]. *FEBS Letters*, 1997, 409(1): 12–16.
- [28] LUKŠI Ć L, BONAFACCIA G, TIMORACKA M, et al. Rutin and quercetin transformation during preparation of buckwheat sourdough bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 69: 71–76.
- [29] YANG J, QIAN D W, JIANG S, et al. Identification of rutin deglycosylated metabolites produced by human intestinal bacteria using UPLC-Q-TOF/MS [J]. *Journal of Chromatography B*, 2012, 898: 95–100.
- [30] 韩忠. 槲皮素类的药动学研究 [J]. *云南中医中药杂志*, 2007, 28(2): 45–46.
- [31] MONTERO J, MARI M, COLELL A, et al. Cholesterol and peroxidized cardiolipin in mitochondrial membrane properties, permeabilization and cell death [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA): Bioenergetics*, 2010, 1797(6/7): 1217–1224.
- [32] YANG J X, GUO J, YUAN J F. *In vitro* antioxidant properties of rutin [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(6): 1060–1066.
- [33] MAGALINGAM K B, RADHAKRISHNAN A, HALEAGRAHARA N. Rutin, a bioflavonoid antioxidant protects rat pheochromocytoma (PC-12) cells against 6-hydroxydopamine (6-OHDA)-induced neurotoxicity [J]. *International Journal of Molecular Medicine*, 2013, 32(1): 235–240.
- [34] PANHWAR Q K, MEMON S. Synthesis, characterisation, and antioxidant study of Cr(III)-rutin complex [J]. *Chemical Papers*, 2014, 68(5): 614–623.
- [35] MASCARAQUE C, ARANDA C, OCÓN B, et al. Rutin has intestinal antiinflammatory effects in the CD4⁺CD62L⁺ T cell transfer model of colitis [J]. *Pharmacological Research*, 2014, 90: 48–57.
- [36] SHEN S C, LEE W R, LIN H Y, et al. *In vitro* and *in vivo* inhibitory activities of rutin, wogonin, and quercetin on lipopolysaccharide-induced nitric oxide and prostaglandin E₂ production [J]. *European Journal of Pharmacology*, 2002, 446(1/2/3): 187–194.
- [37] NAFEES S, RASHID S, ALI N, et al. Rutin ameliorates cyclophosphamide induced oxidative stress and inflammation in wistar rats: role of NFκB/MAPK pathway [J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2015, 231: 98–107.
- [38] 占今舜, 刘明美, 赵国琦. 黄酮的作用及其在反刍动物上的应用 [J]. *中国饲料*, 2014(23): 13–15.
- [39] ARIMA H, ASHIDA H, DANNO G I. Rutin-enhanced antibacterial activities of flavonoids against *Bacillus cereus* and *Salmonella enteritidis* [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2002, 66(5): 1009–1014.
- [40] GANESH PURKAR A, SALUJA A K. The pharmacological potential of rutin [J]. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 2017, 25(2): 149–164.
- [41] OLIVEIRA V M, CARRARO E, AULER M E, et al. Quercetin and rutin as potential agents antifungal against *Cryptococcus* spp. [J]. *Brazilian Journal of Biology*, 2016, 76(4): 1029–1034.
- [42] CARVALHO O V, BOTELHO C V, FERREIRA C G T, et al. *In vitro* inhibition of canine distemper virus by

- flavonoids and phenolic acids: implications of structural differences for antiviral design [J]. *Research in Veterinary Science*, 2013, 95(2): 717–724.
- [43] TAO J, HU Q X, YANG J, et al. *In vitro* anti-HIV and-HSV activity and safety of sodium rutin sulfate as a microbicide candidate [J]. *Antiviral Research*, 2007, 75(3): 227–233.
- [44] 郭旭东, 刁其玉, 郭宇廷, 等. 芦丁对大鼠免疫器官指数的影响 [J]. *动物医学进展*, 2011, 32(11): 70–72.
- [45] GANESHPURKAR A, SALUJA A K. Protective effect of rutin on humoral and cell mediated immunity in rat model [J]. *Chemico-Biological Interactions*, 2017, 273: 154–159.
- [46] HSIEH T J, WANG J C, HU C Y, et al. Effects of Rutin from *Toona sinensis* on the immune and physiological responses of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under *Vibrio alginolyticus* challenge [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2008, 25(5): 581–588.
- [47] SHEN S R, HSU W H, LEE C C, et al. Buckwheat extracts (*Fagopyrum tataricum*) and rutin attenuate Th2 cytokines production and cellular allergic effects *in vitro* and *in vivo* [J]. *Journal of Functional Foods*, 2012, 4(4): 793–799.
- [48] GUO X D, DIAO Q Y, WANG Y Y, et al. The effect of administration of rutin on plasma levels of estrogen, prolactin, growth hormone and gene expression of their receptors in mammary glands in ovariectomized rats [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11(10): 1700–1706.
- [49] LIU H, ZHONG L L, ZHANG Y W, et al. Rutin attenuates cerebral ischemia-reperfusion injury in ovariectomized rats via estrogen-receptor-mediated BDNF-TrkB and NGF-TrkA signaling [J]. *Biochemistry and Cell Biology*, 2018, 96(5): 672–681.
- [50] GOHLKE A, INGELMANN C J, NÜRNBERG G, et al. Bioavailability of quercetin from its aglycone and its glucorhamnoside rutin in lactating dairy cows after intraduodenal administration [J]. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(4): 2303–2313.
- [51] STOLDT A K, DERNO M, DAS G, et al. Effects of rutin and buckwheat seeds on energy metabolism and methane production in dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(3): 2161–2168.
- [52] BEKHIT A E D, GEESINK G H, ILIAN M A, et al. Pro-oxidant activities of carnosine, rutin and quercetin in a beef model system and their effects on the metmyoglobin-reducing activity [J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 218(6): 507–514.
- [53] LINS T L B G, CAVALCANTE A Y P, SANTOS J M S, et al. Rutin can replace the use of three other antioxidants in the culture medium, maintaining the viability of sheep isolated secondary follicles [J]. *Theriogenology*, 2017, 89: 263–270.

Bio-Active Functions of Rutin and Its Application in Ruminant Production

ZHAN Jinshun ZHONG Xiaojun YANG Qun HUO Junhong*

(*Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang 330200, China*)

Abstract: Rutin, also known as vitamin P, is a flavonoid compound widely found in plant roots, stems, leaves, flowers, fruits and seeds. Rutin has a rich functional group in its structure, which can chelate with metal ions to synthesize a stable structure and play a stable biological activity. It has bio-active functions of anti-free radical, anti-inflammatory, antiviral, anti-cancer and protecting cardiovascular and cerebrovascular, gastrointestinal mucosa, etc. To provide a theoretical basis for developing rutin as a green feed additive, the extraction method, absorption and metabolism, bio-active functions of rutin and its application in ruminant production were reviewed in this paper. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(7): 2952-2957]

Key words: rutin; ruminant; extraction process; bio-active functions