

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.05.009

谷物中阿魏酸的分布及其生理活性的研究进展

王薇薇, 潘奕鸥, 王 丽, 周 航, 李爱科

(国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 阿魏酸是谷物中含量最丰富的酚酸之一, 且主要存在于麸皮和胚芽中, 主要以不溶性的结合态存在。阿魏酸有较强的抗氧化活性和细胞保护能力, 对过氧化氢、超氧自由基、羟自由基、过氧化亚硝基都有强烈的清除作用, 且能抑制产生自由基的酶, 增加清除自由基酶的活性。因此, 阿魏酸对心脑血管疾病、阿兹海默症、癌症、糖尿病、肥胖等疾病均有一定的预防和治疗效果。主要对谷物中阿魏酸理化特性、营养价值、生理活性及其对健康影响的研究进展进行综述, 旨在为相关研究者提供参考。

关键词: 阿魏酸; 谷物; 理化特性; 营养价值; 生理活性; 健康

中图分类号: TS213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2019)05-0043-06

Research advances on the distribution and physiological activity of ferulic acid in grain

WANG Wei-wei, Pan Yi-ou, WANG Li, ZHOU Hang, LI Ai-ke

(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037)

Abstract: Ferulic acid (FA) is one of the most abundant phenolic acids in grain, mainly existing in bran and cereal germ and existing as an insoluble combined state. FA has a strong antioxidant and cell-protection activity, and has a role in scavenging hydrogen peroxide, superoxide radical, hydroxyl radical and nitroso peroxide. In addition, FA can suppress the activity of enzymes producing free radical, and enhance the activity of enzymes scavenging free radical. Therefore, FA can be used to prevent or treat some diseases, such as cardiovascular diseases, alzheimer's disease, cancer, diabetes mellitus, obesity, etc. Physicochemical properties, nutritional values and physiological activities of FA in grain and its benefits for health have been reviewed in this paper in order to offer some references for related researchers.

Key words: ferulic acid; grain; physicochemical properties; nutritional values; physiological activities; health

植物化学素是一类结构多样的化合物, 主要分为酚类化合物, 如类黄酮、酚酸; 萜类, 如类胡萝卜素、皂苷; 甜菜素, 如甜菜红素、甜菜黄素; 硫化物等。植物化学素普遍有很强的抗氧化性, 从而对很多氧化应激引起的慢性疾病有一定

预防作用, 文献表明植物化学素对人心脑血管疾病、糖尿病、癌症、痴呆及认知障碍症都有一定的改善作用^[1]。大多数谷物的酚酸集中在麸皮和胚芽细胞中^[2], 常见的有咖啡酸、绿原酸、香草酸、丁香酸和阿魏酸(ferulic acid, FA)。其中, 阿魏酸是谷物中含量最丰富的酚酸之一^[3]。例如, 小麦中阿魏酸的含量约为 0.8~2 g/kg DM, 占总酚含量的 90%^[4]; 玉米粉中阿魏酸含量更是小麦粉中的三倍以上^[5]。随着酚酸对健康的有益作用越来越受重视, 近年来, 有关阿魏酸的健康功效也

收稿日期: 2019-01-21

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1604001); 公益性粮食行业专项(201513003-8)

作者简介: 王薇薇, 1984年出生, 女, 副研究员.

通讯作者: 李爱科, 1963年出生, 男, 研究员.

多有研究。本文主要对谷物中阿魏酸理化特性、营养价值、生理活性及其对健康影响的研究进展进行综述,旨在为相关研究者提供参考。

1 阿魏酸的理化特性

阿魏酸是肉桂酸的衍生物之一,化学名称为 4-羟基-3-甲氧基肉桂酸,相对分子质量 194.119,熔点 174℃,微溶于冷水,可溶于热水,易溶于乙醇、甲醇、丙酮,难溶于苯、石油醚,pH 稳定性好,是植物界中普遍存在的一种酚酸,广泛存在于谷物、蔬菜、水果和一些饮料,如咖啡和啤酒中^[6]。阿魏酸分为顺式和反式,顺式阿魏酸为黄色油状物,反式为白色或微黄色结晶物,一般指反式体^[7]。其分子结构如图 1,其中苯环上的 3-甲氧基和 4-羟基基团使苯氧基中间体保持稳定且可以终止自由基链反应;与不饱和碳碳双键相邻的羧基基团也有助于苯氧基中间体的进一步稳定且为自由基提供额外的攻击位点,从而防止自由基攻击细胞膜;另外,这个羧基基团也可作为阿魏酸结合于磷脂双分子层的结合位点,为防止脂质过氧化提供保护。这三个结构特点是阿魏酸可以有效清除氧自由基和活性氮基团的分子基础^[8]。

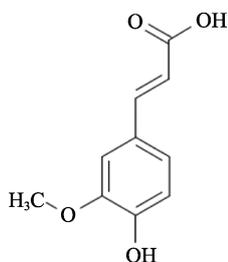


图 1 反式阿魏酸分子结构图

2 谷物中阿魏酸的营养价值

2.1 阿魏酸在谷物中的含量

谷物中的阿魏酸以三种状态存在:游离态(亦称水溶态)、可溶性结合态(亦称脂溶态)和不可溶性结合态(亦称束缚态)。游离态阿魏酸存在于谷物的果皮中,可以用有机溶液直接提取;游离态阿魏酸与一些小分子(单糖、二糖、多胺等)结合呈水溶态,最后被代谢成苯丙酸、肉桂酰、甘氨酸等化合物^[9]。可溶性结合态是指阿魏酸与一些脂溶性物质(甾醇等)结合,如谷维素,主

要存在于植物表面的蜡质层中。不可溶性结合态是指阿魏酸以酯或醚的形式与植物细胞壁物质(多糖、蛋白质和木质素)结合。在谷物中,不溶性结合态的阿魏酸含量显著高于游离态阿魏酸和可溶性结合态阿魏酸,且游离态、可溶性结合态和不溶性结合态的阿魏酸比例是 0.1 : 1 : 100^[10]。大部分阿魏酸以不溶性结合态存在于谷物的麸皮和胚芽细胞的细胞壁中。阿魏酸在不同谷物中的含量(以干物质计)见表 1^[3,11-17]。

表 1 不同谷物中阿魏酸的含量 mg/100 g

谷物		含量
大米	糙米	25.5-36.2
	红糙米	7.7
	黑糙米	18.5-25.3
	大米麸皮	131.5-179.3
	红米麸皮	68.0-111.5
	黑米麸皮	106.0-116.4
小麦	小麦麸皮	63.0-44.5
	全麦粉	45.2-125.2
玉米	玉米粉	231.7
	玉米麸皮	197.0-2510.0
燕麦	燕麦麸皮	16.9-44.8
荞麦	荞麦麸皮	79.4
	荞麦粉	44.8
糜子	糜子	14.7-24.2

2.2 谷物中阿魏酸的提取

目前,从谷物中提取阿魏酸的方法主要有碱法、酶法和组织培养法。

由 2.1 可知,谷物中的阿魏酸多是通过酯键与多糖、蛋白质和木质素等物质交联、自身酯化或醚化形成二阿魏酸。一般采用碱或酶打断酯键以释放阿魏酸,再采用合适的溶剂进行提取。米糠中的醇提物含有多种阿魏酸酯,其中最典型的是 γ -谷维素,占米糠油的 1.5%~2.8%。目前生产高纯度反式阿魏酸的工业化方法就是将谷维素在 90~100℃ 用氢氧化钠或氢氧化钾水解 8 h,再用硫酸将 pH 值调至酸性以沉淀出阿魏酸^[18]。

阿魏酸酯酶(EC 3.1.1.1)又称为肉桂酸酯酶,能够水解阿魏酸等酚酸与半纤维素、木质素、多糖等相互作用的酯键,释放出阿魏酸^[19]。真菌、细菌和酵母都能分泌阿魏酸酯,但由于野生菌株的合成能力有限,目前还未能将野生菌株直接用

于规模化生产。然而,利用分子生物学手段构建基因工程菌株,可获得稳定性及产量较高的菌株,用于规模化生产,因此成为阿魏酸酯酶生物合成的研究热点。国际上已有专利技术可在生物精炼过程中使用阿魏酸酯酶与其他水解酶结合生产阿魏酸^[20]。

植物组织培养法是通过培养基对植物部分器官或组织进行诱导再生的过程,也是制备阿魏酸的一个主要方法。例如,对玉米进行细胞悬浮液培养,能获得水溶性的阿魏酸葡萄糖酯、阿魏酸蔗糖酯等,含量高者可达 20.0 $\mu\text{mol/g}$ 干重^[21]。

2.3 谷物中阿魏酸的消化吸收

Rondini L 等^[22]比较小鼠摄入小麦麸皮和麸皮阿魏酸含量相同的纯品阿魏酸(4.04 mg/kg 小鼠体重)后,血液中阿魏酸在 24 h 内的代谢率。结果显示,摄入纯品阿魏酸 1 h 后,血液中阿魏酸含量瞬时达到摄入量的 2%,但在短时间内快速下降,4 h 后浓度变为零。而摄入小麦麸皮的小鼠血液中只检测到少量游离阿魏酸,但血液中的阿魏酸含量在 24 h 内始终稳定在某一浓度。这表明,在人们的日常饮食中,结合态的阿魏酸会随谷物尤其是谷物麸皮的摄入,被肠道微生物水解,在进食后 24 h 内以一种相对缓慢但恒定的速率释放入血液,这比直接摄入游离阿魏酸纯品有更稳定而高效的生物利用率。Kern S M 等^[23]研究麸皮中酚类化合物在人体内的消化和吸收过程,发现在麸皮比例高的全谷物食物中,可溶性结合态阿魏酸主要在小肠部位进行消化吸收。Couteau 等^[24]认为不溶性结合态阿魏酸主要在结肠中,经肠道菌群分泌的肉桂酰酯酶水解,只有少部分是经一元酸转运体吸收,大部分经被动扩散被肠道吸收^[25]。

3 阿魏酸的生理功能及对健康的影响

阿魏酸有较强的抗氧化活性和细胞保护能力,对过氧化氢、超氧自由基、羟自由基、过氧化亚硝基都有强烈的清除作用,且能抑制产生自由基的酶,增加清除自由基酶的活性^[26-27],对红细胞溶血和血清自氧化均具有很好的保护作用,并能有效抑制肝匀浆自发性和 Fe^{2+} 诱导性脂质过

氧化^[28]。同时由于这一系列药理学作用,阿魏酸对心脑血管疾病、阿兹海默症、癌症、糖尿病、肥胖等疾病均有一定的预防和治疗效果。

3.1 阿魏酸对心脑血管疾病的影响

在临床试验中,阿魏酸及其衍生物可以上调血红素还原酶的表达,从而针对活性氧和葡糖氧化酶相关氧化损伤对细胞进行保护,如大鼠神经元,真皮纤维细胞^[29-30]。不同剂量和用药间隔的阿魏酸能够提升糖尿病大鼠的心肌和胰腺组织中 SOD 和 CAT 水平^[31]。陈水福等^[32]用阿魏酸钠对心肌细胞预处理 24 h 后,发现其对心肌细胞缺氧/复氧(anoxia/reoxygenation, A/R)损伤可产生药理性延迟作用,其机制与激活细胞外调节蛋白激酶(extracellular regulated protein kinases, ERK1/2)信号通路,上调 HSP70 表达有关。阿魏酸钠虽不影响 SOD、CAT 的蛋白表达,但是诱导上调的 HSP70 可作为分子伴侣,稳定和保护上述内源性抗氧化酶的结构,维持其生物活性,从而提高心肌细胞抗自由基损伤能力。

阿魏酸能抗血栓、抑制脂质氧化、降低血清中胆固醇含量,防治动脉粥样硬化,从而治疗冠心病^[33]。王峰等^[34]研究口服咖啡酸与阿魏酸对醋酸脱氧皮质酮(desoxycortico-sterone acetate, DOCA)高血压模型大鼠血压的影响,结果发现咖啡酸和阿魏酸长期口服给药能降低 DOCA 高血压模型大鼠的血压,对心脏和血管组织增生有明显的抑制作用。阿魏酸可以剂量依赖性地降低自发性中风高血压大鼠的血压,在口服阿魏酸 1~2 h 后降低血压的作用较为明显^[35]。同时,阿魏酸能竞争性抑制肝脏中羟戊酸-5-焦磷酸脱氢酶活性,抑制肝脏合成胆固醇,从而达到降血脂目的。阿魏酸的摄入可以降低大鼠血液中甘油三酯(triglyceride, TG)水平和胆固醇水平^[33],而脂质水平降低则能明显减小动脉粥样硬化结块的大小^[36]。

3.2 阿魏酸对阿兹海默病的影响

阿兹海默病是一种慢性神经退化疾病,主要病症是进行性认识功能障碍和失忆,无法进行日常的生活活动并有情绪障碍^[30],小胶质细胞介导

的慢性炎症是阿兹海默病等神经推进行病变的重要病理特征。研究表明,口服阿魏酸能够改善由脑室内注射淀粉样蛋白 β 引起的记忆障碍^[37],有效抑制白血球间素 β 在海马神经元中的表达,说明其对淀粉样蛋白 β 诱导的小鼠学习记忆障碍上表现出一定抗炎作用^[38]。另一方面阿魏酸具有抑制小胶质细胞活化,抑制神经性炎症的作用,其机制可能是阿魏酸通过抑制 Toll 样受体(toll- like receptors, TLR4) 相关的免疫信号通路达到抑制神经性炎症的效果^[39]。

3.3 阿魏酸对癌症的影响

癌症的发病机理有许多因素,比如慢性炎症,细胞增殖强化或细胞自噬抵抗,自由基的形成及其对 DNA 和细胞蛋白的损伤等。而阿魏酸无论在体内还是体外实验模型中都具有调节细胞生长增殖、清除自由基、激活细胞保护性酶和抑制细胞毒性系统的作用,因此阿魏酸具有潜在抑制癌症的功能。刘宝瑞等^[40]证明阿魏酸钠不仅有抑制肿瘤细胞增殖的作用,还与化疗药物有协同效果,且通过上调和下调基因编码相关蛋白,对结肠癌细胞(human colon adenocarcinoma cells, Caco-2) 起到抗增殖的作用。另外,阿魏酸的抗癌活性也与其能激活解毒酶如谷胱甘肽转硫酶、醌还原酶的活性有关^[41]。

3.4 阿魏酸对糖尿病的影响

阿魏酸对糖尿病及其并发症也有一定治疗效果。研究表明,口服阿魏酸 17 天后,小鼠血浆中胰岛素浓度增加、血糖降低。并且阿魏酸促进了肝糖原的合成,提高了在血糖水平调节中有重要作用的葡糖激酶的活性^[42]。阿魏酸还能够抑制大鼠肠道内麦芽糖酶和蔗糖酶活性,起到天然的 α -葡糖苷酶的作用^[43]。张清德等^[44]证明阿魏酸钠可以有效调节糖尿病肾病伴高血脂症患者的血脂水平,改善内皮功能,降低尿蛋白水平,对糖尿病肾脏有保护作用。阿魏酸钠具有降低早期糖尿病肾病患者肾脏尿微量白蛋白的排泄和改善脂代谢的作用^[45]。且这种保护作用可能与降低转化生长因子- β (transforming growth factor- β , TGF- β) 母系 DPP 同源物 1 (mothers against decapentaplegic

homolog 1, SMAD1) 的表达有关^[46]。

3.5 阿魏酸对肥胖的影响

近年来,有关阿魏酸对治疗肥胖的功效也有报道。Marimuthu^[47]报道四氯甲烷诱导的高脂血症大鼠,在注射阿魏酸(20 mL/kg/day) 后,血清与肾脏中的胆固醇、甘油三酯和游离脂肪酸水平明显降低。Wang 等^[48]发现肥胖小鼠口服阿魏酸(20 or 50 mL/kg/day) 8 周后,血糖和血清瘦素水平显著降低,肝脏胆固醇和甘油三酯积累也显著减少。潘奕鸥等^[49]研究发现,阿魏酸可以抑制 *ob/ob* 小鼠的脂肪沉积,改善其腹脂脂肪酸组成,减重降脂效果明显。Wang 等^[50]研究发现,饮食中添加阿魏酸可以抑制高脂日粮引起的小鼠体重增长、机体和肝脏脂肪沉积、血糖增加和炎症反应等不利影响,因此对抑制肥胖和肥胖相关代谢疾病具有重要作用。

4 总结

阿魏酸作为谷物(尤其是全谷物)中含量较为丰富的植物化学素,因其具有抗氧化和抗炎功能,在心脑血管疾病、阿兹海默症、癌症、糖尿病、肥胖等疾病的预防和治疗方面具有一定作用。这对谷物,尤其是全谷物食品的健康功效研究具有一定指导意义,且对植物化学素类营养增强剂的研发提供一定理论支撑。

参考文献:

- [1] HOWES M J R, SIMMONDS M S J. The role of phytochemicals as micronutrients in health and disease.[J]. *Curr Opin Clin Nutr*. 2014, 17(6): 558-566.
- [2] JONNALAGADDA S S, LISA H, RUI HAI L, et al. Putting the whole grain puzzle together: health benefits associated with whole grains--summary of American Society for Nutrition 2010 Satellite Symposium.[J]. *J Nutr*. 2011, 141(5): 1011S-22S.
- [3] 郝杰, 张长虹, 曹学丽. 七种谷物麸皮中的酚酸类成分分析 [J]. *食品科学*, 2010, 31(10): 263-267.
- [4] LEMPEREUR I, ROUAU X, ABECASSIS J. Genetic and agronomic variation in arabinoxylan and ferulic acid contents of durum wheat (triticum durum L.) grain and its milling fractions[J]. *J Cereal Sci*. 1997, 25(2): 103-110.
- [5] SHAHIDI F, NACZK M. Phenolics in food and nutraceuticals.[M]. 2nd Edition, CRC Press. 2004: 12-5.
- [6] MASSIMO D, CARRMELA F, ROBERTA D B, et al. Polyphenols, dietary sources and bioavailability.[J]. *Ann I Super Sanita*. 2007, 43(4): 348-61.

- [7] SOSULSKI F, KRYGIER K, HOGGE L. Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids. 3. Composition of phenolic acids in cereal and potato flours[J]. *J Agri Food Chem*. 1982, 30(2): 33-43.
- [8] GRAF E. Antioxidant potential of ferulic acid. *Free Radic[J]. Biol. Med.* 1992, 13: 435-448.
- [9] SCHELIN R R. Handbook of mammalian metabolism of plant compounds[M]. CRC Press. 1991.
- [10] ADOM K K, LIU R H. Antioxidant activity of grains[J]. *J Agr Food Chem*. 2002, 50(21): 6182-7.
- [11] SHAO Y, XU F, SUN X, et al. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa L.*) [J]. *J Cereal Sci*. 2014, 59(2): 211-218.
- [12] 张伟, 耿欣. 不同食品中阿魏酸含量的分析[J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(8): 126-128.
- [13] BURANOV A U, MAZZA G. Extraction and purification of ferulic acid from flax shives, wheat and corn bran by alkaline hydrolysis and pressurised solvents[J]. *Food Chem*. 2009, 115(4): 1542-1548.
- [14] 杨雪, 姚艳艳, 张志清. 麦麸中阿魏酸提取纯化工艺的研究进展[J]. *农产品加工·创新版*, 2010(7): 21-27.
- [15] MONICA W, HAIQIU H, ZHUOHONG X, et al. Phytochemical composition, anti-inflammatory, and antiproliferative activity of whole wheat flour[J]. *J Agri Food Chem*. 2012, 60(9): 2129-35.
- [16] 罗艳玲, 欧仕益. 碱解玉米皮制备阿魏酸的研究[J]. *中国食品学报*, 2007, 7(5): 97-101.
- [17] ZHANG L, LIU R, NIU W. Phytochemical and antiproliferative activity of proso millet[J]. *Meth Mol Biol*. 2011, 765(8): 327-343.
- [18] 欧仕益. 阿魏酸的功能和应用[J]. *广州食品工业科技*, 2002, 18(4): 50-53.
- [19] KROON PA, GARCIA-CONESA MT, FILLINGHAM IJ, et al. Release of ferulic acid dehydrodimers from plant cell walls by feruloyl esterases[J]. *J Sci Food Agr*. 1999, 79: 428-434.
- [20] DHUGGA KD, DOLDE D, GUPTA R, et al. Methods to alter plant cell wall composition for improved biofuel production and silage digestibility: World Patent, WO 2013063006 A1[P]. 2013-05-02.
- [21] GRABBER JH, HATFIELD RD, RALPH J, et al. Ferulate cross-linking in cell walls isolated from maize cell suspensions[J]. *Phytochemistry*, 1995, 40: 1077-1082.
- [22] RONDINI L, PEYRAT-MAILLARD M N, MARSSET-BAGLIERI A, et al. Bound ferulic acid from bran is more bioavailable than the free compound in Rat[J]. *J Agri Food Chem*. 2004, 52(13): 4338-4343.
- [23] KEM S M, BENNETT R N, MELLON F A, et al. Absorption of hydroxycinnamates in humans after high-bran cereal consumption.[J]. *J Agri Food Chem*. 2003, 51(20): 6050-6055.
- [24] COUTEAU D., MCCARTNEY A. L., GIBSON GR, et al. Isolation and characterization of human colonic bacteria able to hydrolyse chlorogenic acid[J]. *Biochem Bioph Res Co*. 2001, 326(2): 425-434.
- [25] KROON P A, FAULDS C B, RYDEN P, et al. Release of covalently bound ferulic acid from fiber in the human colon.[J]. *J Agri Food Chem*, 1997, 45(3): 661-667.
- [26] KHANDUJA K, AVTI P, KUMAR S N, et al. Anti-apoptotic activity of caffeic acid, ellagic acid and ferulic acid in normal human peripheral. blood mononuclear cells: A Bcl-2 independent mechanism[J]. *BBA-BIOMEMBRANES*. 2006, 1760(2): 283-289.
- [27] KANSKE J, AKSENOVA M, STOYANOVA A, et al. Ferulic acid antioxidant protection against hydroxyl and peroxy radical oxidation in synaptosomal and neuronal cell culture systems in vitro: structure-activity studies[J]. *J Nutr Biochem*. 2002, 13(5): 273-281.
- [28] 赵文红, 邓泽元, 范亚苇, 等. 阿魏酸体外抗氧化作用研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(1): 219-223.
- [29] CALABRESE V, CALAFATO S, PULEO E, et al. Redox regulation of cellular stress response by ferulic acid ethyl ester in human dermal fibroblasts: role of vitagenes.[J]. *Clin Dermatol*. 2008, 26(26): 358-63.
- [30] QUERFURTH H W, LAFERLA F M. Alzheimer's disease.[J]. *New Engl J Med*. 2010, 362(4): 329-344.
- [31] XU X, XIAO H, ZHAO J, et al. Cardioprotective effect of sodium ferulate in diabetic rats.[J]. *Int J Med Sci*. 2011, 9(4): 291-300.
- [32] 陈水福. HSP70/内源性抗过氧化酶介导的阿魏酸钠对急性心肌细胞损伤的延迟保护作用[D]. 南昌大学, 2009.
- [33] 周慧君, 杨积武. 氧自由基与冠心病及其中医药研究[J]. *辽宁中医药大学学报*, 1999(2): 67-69.
- [34] 王峰, 蔡庆. 咖啡酸、阿魏酸对醋酸去氧皮质酮—盐高血压大鼠内皮素—1作用的研究[J]. *空军医学杂志*, 1999(1): 1-5.
- [35] OHSAKI Y, SHIRAKAWA H, KOSEKI T, et al. Novel effects of a single administration of ferulic acid on the regulation of blood pressure and the hepatic lipid metabolic profile in stroke-prone spontaneously hypertensive rats[J]. *J Agri Food Chem*. 2008, 56(8): 2825-2830.
- [36] WANG B, OUYANG J, LIU Y, et al. Sodium ferulate inhibits atherosclerogenesis in hyperlipidemia rabbits[J]. *J Cardiovasc Pharm*. 2004, 43(4): 549-554.
- [37] YAN J J, CHO J Y, KIM H S, et al. Protection against beta-amyloid peptide toxicity in vivo with long-term administration of ferulic acid.[J]. *Brit J Pharmacol*. 2001, 133(1): 89-96.
- [38] YING J, EN-ZHI Y, YING F, et al. Sodium ferulate prevents amyloid-beta-induced neurotoxicity through suppression of p38 MAPK and upregulation of ERK-1/2 and Akt/protein kinase B in rat hippocampus.[J]. *Acta Pharmacol Sin*. 2005, 26(8): 943-951.
- [39] 黄丰, 邓华明, 朱苗苗, 等. 阿魏酸对脂多糖诱导的小鼠小胶质细胞炎症反应的抑制作用[J]. *动物学研究*, 2011, 32(3): 311-316.

[40] 刘宝瑞, 钱晓萍, 孟宪志, 等. 阿魏酸钠对人大肠癌 Moser 细胞和乳腺癌 MCT7 细胞增殖和凋亡的影响[J]. 中国中西医结合杂志, 2002(S1).

[41] KAWABATA K, YAMAMOTO T, HARA A, et al. Modifying effects of ferulic acid on azoxymethane-induced colon carcinogenesis in F344 rats.[J]. Cancer Lett. 2000, 157(1): 15-21.

[42] EUN HEE J, SUNG RAN K, IN KYEONG H, et al. Hypoglycemic effects of a phenolic acid fraction of rice bran and ferulic acid in C57BL/KsJ-db/db mice.[J]. J Agri Food Chem. 2007, 55(24): 9800-4.

[43] ADISAKWATTANA S. A series of cinnamic acid derivatives and their inhibitory activity on intestinal α -glucosidase[J]. J Enzym Inhib Med Ch. 2009, 24(5): 1194-200.

[44] 张清德, 曲志森. 阿魏酸钠对糖尿病肾病的保护作用及机制[J]. 中国中西医结合肾病杂志, 2009, 10(10): 890-892.

[45] 郑丹, 邓华聪. 阿魏酸钠对早期糖尿病肾病的影响[J]. 临床内科杂志, 2001, 18(6): 436-438.

[46] 陈文娟, 王远征. 阿魏酸钠对糖尿病大鼠肾脏的保护机制[J]. 中药药理与临床, 2013, 29(1): 57-60.

[47] MARIMUTHU S, ADLURI R S, RAJAGOPALAN R, et al. Protective role of ferulic acid on carbon tetrachloride-induced hyperlipidemia and histological alterations in experimental rats.[J]. J Basic Clin Physiol Pharmacol. 2013, 24(1): 1-8.

[48] WANG J M, SHENG Y C, JI L L, et al. Ferulic acid prevents liver injury and increases the anti-tumor effect of diosbulbin B in vivo[J]. J Zhejiang Univ Sci B. 2014, 15(6): 540-7.

[49] 潘奕鸥, 王薇薇, 李爱科, 等. 阿魏酸对 ob/ob 小鼠脂肪沉积及腹脂脂肪酸组成的影响. 动物营养学报. 2016, 28(7): 2140-2146.

[50] WANG W, PAN Y, ZHOU H, et al. Ferulic acid suppresses obesity and obesity-related metabolic syndromes in high fat diet-induced obese C57BL/6J mice. Food Agr Immunol. 2018, 29(1): 1116-1125.

广告

中文核心期刊

《食品科技》杂志社

- ◇《中国知网》全文收录
- ◇《中国学术期刊(光盘版)》全文收录
- ◇美国化学文摘(CA)收录期刊
- ◇美国食品科学技术文摘(FSTA)收录期刊
- ◇法国科技新闻处(IFTP)转均供稿
- ◇荣获中国北方优秀期刊奖
- ◇荣获第二届北方优秀期刊奖
- ◇荣获2008年度北京市新闻出版(版权)创意成果奖
- ◇荣获首届(CAJ-CD规范)执行优秀期刊奖

进一步拓宽办刊思路, 着力展示食品领域的技术创新、管理创新和产品创新活动, 做好创新主体之间的交流与沟通, 促进科技成果转化转化的服务平台。拓展服务方式, 与广大读者形成更广泛的互动, 恭请关心《食品科技》的业界同仁一如既往的支持。

1975年创刊
邮发代号: 2-681
ISSN 1005-9989
CN 11-3511/TS

全年12期 25元/期
邮发代号: 2-681

欢迎订阅 发布广告

联系电话:
67913893
83557685

Http://www.e-foodtech.net
E-mail:shipinkj@vip.163.com
blog.sina.com.cn/shipinkj
邮编: 100053 微信号:shipinkj
地址: 北京市西城区广安门内大街316号京粮古船大厦522室

请关注

