

香椿提取物生物活性功能的研究进展

杜宝龙 万敏艳 王璇 唐德富*

(甘肃农业大学动物科学技术学院,兰州 730070)

摘要: 香椿作为中国传统中草药之一,具有祛寒、消炎、解毒、杀虫之功效。香椿中含有黄酮类化合物、酚类化合物、萜类化合物等多种对机体有益的生物活性物质,由于其具有抗氧化自由基、抑菌抗病毒、抗癌、抗炎与免疫调节、降血糖等生物活性功能而被人们所关注。本文就香椿提取物的生物活性物质及生物活性功能进行综述,以期对香椿提取物在未来畜牧业中的推广应用提供参考依据。

关键词: 香椿;生物活性;功能;研究进展

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)07-3057-07

香椿(*Toona sinensis*)是一种高大乔木植物,在我国主要分布于甘肃、四川、广东、辽宁、内蒙古以及东部沿海地区^[1]。香椿在传统中医中被称为“香铃子”,其味苦,性温,有消炎、解毒、杀虫之功效。除此之外,香椿还含有丰富的营养成分以及一些能调控机体代谢、生长发育的生物活性成分,可作为一种理想的保健食材^[2]。目前,香椿作为经济林在河南、山东、河北、陕西、安徽等地广泛栽培,亩产量平均5 000 kg,每年产值数千亿元,并逐渐成为当地特色经济发展的支柱产业,为解决农民就业、经济收入以及区域发展提供了良好的保障。近年来,集约化规模化养殖迅速发展,但是与此同时也造成了一系列的环境问题,因此,寻找绿色、具有多种生物活性功能的新型饲料添加剂已成为一种必然的新趋势。而香椿在我国分布比较广泛,并且香椿叶来自天然植物组织,无毒副作用,无药物残留,具有药食兼用作用,因而,将其作为一种植物源性饲料添加剂有无限的发展潜力。另外,据现代医学试验研究报道,香椿提取物中含有具有抗氧化、抑菌抗病毒、抗癌、抗炎与免疫调节、降血糖等生物活性功能的黄酮类化合物、酚类化合物、萜类化合物等多种化学成分^[3]。迄今为

止,将香椿叶作为植物源性饲料添加剂应用到畜牧业生产中并不多见,主要是因为其化合物种类繁多,提取物当中具体成分对机体作用机理尚不明确,有待进一步深入开展研究。因此,本文在国内外学者对已知香椿提取物生物活性物质研究的基础上,总结香椿提取物的生物活性物质功能,以期对香椿提取物在未来畜牧业中的推广应用提供参考依据。

1 香椿营养成分

香椿含有多种营养成分,具有较高的营养价值,这些营养物质在维持机体健康中发挥着重要的作用。每100 g香椿芽(干物质基础)中蛋白质含量为5.7%~9.8%,水分含量约为84%,碳水化合物含量约为7.0%,粗纤维含量为2.50%~2.78%,这些营养物质的含量在同类蔬菜中都居于前列^[4],其中香椿蛋白质粗提取物不仅可以促进小鼠血清超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性的升高,而且还会影响小鼠的非特异性免疫应答系统,对促进机体免疫系统的发育意义重大^[5]。另外,香椿芽中微量元素和维生素含量在同类蔬菜中也居于前列,据有关研究表明,每100 g香椿

收稿日期:2019-12-26

基金项目:国家自然科学基金地区基金项目(31660664);甘肃省现代农业产业技术体系猪肉产业岗位项目(GARS-ZJ-3)

作者简介:杜宝龙(1994—),男,甘肃静宁人,硕士研究生,研究方向为家禽营养。E-mail: 809982769@qq.com

*通信作者:唐德富,副教授,硕士生导师,E-mail: tangdf@gsau.edu.cn

芽中矿物质和维生素含量为:磷 135 mg、钙 143 mg、钾 472 mg、钠 7.3 mg、铁 23.8 mg、锌 8.8 mg、铜 0.12 mg、维生素 E 15.1 mg、维生素 B₂ 1.96 mg^[6]。

香椿作为一种传统的中草药,除了含有丰富营养成分之外,还含有一些能调控机体代谢、生长发育的生物活性成分。随着近年来人们对香椿化学成分研究的不断深入,研究的比较透彻和深入的主要有黄酮类化合物、酚类化合物、萜类化合物这 3 类物质^[7]。

黄酮类化合物在自然界中分布广泛,含有 2 个 2-苯色基原酮结构。从香椿叶中提取黄酮化合物的方法很多,常见的有溶剂提取法、超声波辅助提取法、酶促提取法、微波辅助提取法、超临界二氧化碳提取法、半仿生提取法、碱提酸析法、水煮—醇沉—有机溶剂萃取法及大孔树脂分离纯化^[8]。苗修纲等^[9]通过优化工艺条件对多种大孔树脂筛选后选用 NK-9 树脂分离纯化香椿黄酮,香椿黄酮纯化量由 81.273 mg/g 增加到 219.970 mg/g。杜惠蓉等^[10]通过正交试验设计,优化提取条件,得到在料液比为 1:25,甲醇浓度为 50%,微波频率为 700 W,提取时间为 50 min 的条件下,黄酮提取量为 5.34%。香椿黄酮化合物种类繁多,迄今为止,已知的从香椿中分离得到的黄酮化合物共计 19 种^[7]。

酚类化合物是指苯环或芳香环直接与酚羟基相连所形成的化合物,其家族化合物种类很多。酚类化合物常采用有机溶剂从香椿中浸提,国内外研究表明,香椿中酚类化合物及其衍生物有 14 种^[11-14],分别为没食子酸、没食子酸甲酯、没食子酸乙酯、6-没食子酸-β-D-葡萄糖、1,2,3-三邻没食子酸-β-D-吡喃葡萄糖、1,2,6-三邻没食子酸-β-D-吡喃葡萄糖、1,2,3,6-四-O-没食子酰-β-D-葡萄糖、1,2,3,4,6-五-O-没食子酸-β-D-吡喃葡萄糖、5-邻苯二甲酸、丁香酸、香兰素、4-羟基-3-甲氧基苯乙醇、4-甲氧基-6-(2,4-二羟基-6-甲基苯基)-吡喃-2-酮。目前大多数研究结果表明,香椿多酚主要的作用是抗氧化作用,朱宏等^[15]采用体外抗氧化试验测定香椿多酚的抗氧化活性时,发现对香椿经过不同的处理之后,总酚含量的变化对香椿的抗氧化活性也有一定的影响。除此之外,香椿多酚还可以显著抑制人乳腺癌细胞 MCF-7、肠癌细胞 Caco-2、肝癌细

胞 HepG₂ 的增殖,对慢性病的预防有一定的参考价值^[16]。

萜类化合物是由甲戊二醛酸衍生,以异戊二烯碳五单元为骨架而形成的一类化合物,这些衍生化合物可以是醇、醛、酮、羧酸、酯等,是构成植物色素、香味的主要成分。萜类化合物常采用有机溶剂从香椿中提取,从香椿中分离出的萜类化合物主要有 2 类,一类是三萜类,另一类是倍半萜和二萜类。其中三萜类化合物有 40 种,常见的主要有 3-氧-12-烯-28-油酸、α-桉木萜、11α-羟基酮、乌索酸、桉木酸和桉木酮酸等^[3,17-19]。目前对倍半萜和二萜类化合物的研究还不够透彻,各学者研究分离出的结果不尽相同,赵胡等^[19]对香椿萜类香气化合物分析研究发现了 19 种半萜类化合物,主要有 β-石竹烯、α-芹子烯、石竹烯氧化物、α-可巴烯和石竹烯氧化物等。顾芹英^[3]对国内外学者研究结果进行总结,提出了倍半萜和二萜类化合物总共有 4 种,常见的主要有 2,6,10,15-植酸-四烯-14-醇、双烯酮-4(15)-烯-1α,6β-二元醇 2 种。

对香椿化合物种类研究的比较清楚的主要是上述 3 种化合物,除此之外,从香椿中鉴定分离出来的化合物还有苯丙素类、香豆素类和木脂素类化合物。目前已知的苯丙素类化合物有 4 种,香豆素类化合物有 6 种,木脂素类化合物有 6 种^[20],具体化合物名称见表 1。

2 香椿提取物的生物活性功能

2.1 抗氧化作用

人和动物机体内存在着复杂的抗氧化系统,机体与外界接触,参与有氧呼吸等会产生自由基,在正常情况下,这些过量的自由基均会被机体的抗氧化系统所清除,但是当机体稳态失衡,遭受到一系列内外界因素的破坏,会产生大量的自由基,这些自由基远远超出机体抗氧化系统所能承受的最大限度,就会使得机体致病。另外,活性氧(ROS)已被报道为许多慢性疾病的致病因素。ROS 引起的氧化应激可以通过天然的抗氧化药物来预防^[21]。有研究发现,用丙酮对香椿叶多酚进行提取,测定总酚中没食子酸含量为(36.02 ± 0.24) mg,儿茶素含量为(20.24 ± 1.73) mg,对其提取物通过氧自由基吸收能力(ORAC)、过氧自由基清除能力(PSC)和细胞抗氧化活性(CAA)等

体外抗氧化能力进行评估,结果表明香椿提取物的添加剂量与抗氧化活性呈现出很明显的量效关系^[22]。Jiang 等^[23]对不同采摘时间下的香椿总酚和总黄酮含量和抗氧化活性对比,发现随着采摘时间的延长,香椿中总酚和总黄酮的含量也随着升高,并且总酚含量与各采摘条件下抗氧化活性相关性比总黄酮强,具体而言,主要是香椿茎尖中

的没食子酸和没食子酸甲酯在高抗氧化活性中起到了关键作用。Yang 等^[24]通过硅胶柱层析,制备高效液相色谱,用核磁共振以及质谱分析得到了 5 种黄酮和 3 种没食子酸衍生物,结果也表明,这些化合物具有不同的抗氧化性能,或作为超氧化物和自由基的强清除剂,或作为自然界中还原金属离子螯合的分子。

表 1 香椿中苯丙素类、香豆素类和木脂素类化合物

Table 1 Phenylpropanoids, coumarins and lignans compounds in *Toona sinensis*

分类及编号 Classification and number	化合物 Compounds
苯丙素类 Phenylpropanoids	
1	3-羟基-1-(4-羟基-3-甲氧基苯)-1-丙酮
2	2,3-二羟基-1-(4-羟基-3-甲氧基苯)-1-丙酮
3	苏式 3,7-二甲氧基-5-羟基苯丙烷-8,9-二醇
4	苏式 3,7-二甲氧基-4-羟基苯丙烷-8,9-二醇
香豆素类 Coumarins	
1	4,7-二甲氧基-5-甲基香豆素
2	4,6,7-三甲氧基-5-甲基香豆素
3	异茛菪亭
4	茛菪亭
5	6,7-二甲氧基香豆素
6	7-羟基-6,8-二甲氧基香豆素
木脂素类 Lignans	
1	脱氢异辛醇
2	落叶松脂素
3	苏式 2,3-双-(4-羟基-3-甲氧基苯基)-3-甲氧基-丙醇
4	(7S,8S,7'E)-4,9-二羟基-3,7,3'9'-四甲氧基-8-4'-羟乙氧基苯胺-7'-烯
5	(7R,8S,7'E)-4,9-二羟基-3,7,3',9'-四甲氧基-8-4'-羟乙氧基苯胺-7'-烯
6	(7S,8S,7'E)-5,9-二羟基-3,7,3',5',9'-五甲氧基-8-4'-羟乙氧基苯胺-7'-烯

2.2 抗菌、抗病毒作用

机体内存在着数以万计的病菌和细菌,这些细菌和病菌在正常情况下始终保持着动态平衡。但是这种平衡很可能会因为应激、营养物质失衡、抗生素滥用等而打破,造成机体抵抗力下降,使机体患病。比如机体消化道内大肠杆菌数量失衡,会造成机体的腹泻甚至脱水,金黄色葡萄球菌会破坏人体白细胞和巨噬细胞,会造成机体局部感染甚至全身感染。那么如何解决这些有害微生物对机体的侵害已成为科学家们迫切需要解决的问题。Chen 等^[25]比较了 7 种中草药对 SARS-CoV 病毒的抑制作用,结果发现只有香椿提取物对 SARS-CoV 病毒有明显的抑制作用。随后 You

等^[26]研究结果表明,香椿提取物可以抑制流行性流感 A(H1N1)病毒感染 A549 细胞。除此之外,香椿的抗菌效果也极其显著。有研究表明,香椿水提物和醇提取物对大肠杆菌 C83902、沙门氏菌 C500、葡萄球菌 CAU0183、大肠杆菌 K88 都有抑制作用,通过最小抑菌浓度的定量分析发现,它们的最小抑菌浓度(MIC)分别为 0.250、0.250、0.250、0.125 g/mL^[27]。徐强^[28]研究香椿黄酮不同组分的抑菌活性时发现,黄酮类 A 组分(橙酮、儿茶素、黄酮醇、查尔酮)对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有抑制作用,D 组分(查尔酮、黄酮醇和游离的羟基黄酮醇类)对枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌有抑制作用,定性分析发现抑菌圈直径分

别为 14.0、10.3、9.1 和 12.0 mm。

2.3 抗癌作用

动物机体在受到外界致癌因子诱导之后,会引起机体代谢紊乱,产生大量的自由基。自由基是引起癌症的主要罪魁祸首,在进入机体之后,会争夺机体分子的电子,使机体分子失电子畸变,畸变分子继而又争夺其他分子电子,使得大量分子突变而致癌。另外,脂质过氧化是维持机体生理生化反应和免疫反应的基础,如果脂质过氧化产物不能被及时的代谢,同样也会使得新陈代谢紊乱和免疫机能下降,氧自由基连锁反应加强,引起细胞突变和致癌。Yang 等^[29]研究发现,将香椿提取物加入到 H441、H520、H661 3 种不同的非小细胞肺癌细胞系中,可导致细胞在 subG1 期停止生长,并引起细胞凋亡,可以将其作为一种潜在的抗癌药物。随后 Yang 等^[29]从香椿中分离出了 15 种化合物,其中桦木酮酸和 3-氧代-12-烯-28-油酸可以抑制 MGC-803 (IC₅₀ 分别为 17.7 和 13.6 μmol/L) 和 PC3 细胞 (IC₅₀ 分别为 26.5 和 21.9 μmol/L) 的增殖,并且通过对其通路的研究结果表明,二者均可通过线粒体途径诱导肿瘤细胞的凋亡,主要涉及 *p53*、*Bax*、半胱氨酸蛋白酶 9 (caspase 9)、半胱氨酸蛋白酶 3 (caspase 3) 基因的表达^[30]。Chen 等^[31]研究表明,香椿提取物也可以抑制人肾癌细胞的生长,通过降低细胞周期蛋白 D1、细胞周期蛋白依赖性激酶 (CDK) 2 和 CDK4 的活性,诱导 *p53* 和叉头蛋白 O3A 抗体 (*FOXO3a*) 基因的表达,使人肾癌细胞的生长阻滞在 G0/G1 期。最近又有研究表明,香椿提取物可以通过抑制乳酸脱氢酶的活性诱导 Saos-2 骨肉瘤细胞的凋亡和坏死,也可以通过增加半胱氨酸酶的活性来抑制 Saos-2 骨肉瘤细胞的生长^[32]。

2.4 抗炎与免疫调节作用

炎症主要是由炎性细胞因子和促炎性细胞因子调控,炎性因子是机体许多生理生化反应的基础,是维持机体正常免疫和生理活动的物质。促炎性细胞因子主要介导多种细胞免疫反应,促进靶细胞裂解死亡。而抗炎细胞因子的作用是促进机体快速恢复,维持机体稳定^[33]。近年来越来越多的研究发现,香椿提取物在预防和治疗炎症性疾病中发挥着不可或缺的作用。阮志鹏等^[34]分别利用二甲苯和角叉菜胶诱导小鼠耳廓肿胀和大鼠足肿胀,结果发现香椿提取物可以通过抑制炎性

介质的释放和减少一氧化氮 (NO) 的生成从而减缓耳廓肿胀和足肿胀。随后 Yang 等^[35]研究也发现,香椿提取物预处理可减弱脂多糖 (LPS) 诱导型一氧化氮合酶 (*iNOS*) 的表达,从而抑制小鼠巨噬细胞样 RAW 264.7 细胞中 NO 的产生和释放,但是它并不会抑制肿瘤坏死因子- α 和白细胞介素-1 β 的表达。另外, Hsian 等^[36]通过免疫组化和酶联免疫吸附试验 (ELISA) 分析研究发现,香椿提取物及其主要生物活性化合物没食子酸抑制脂多糖诱导型核因子- κ B (NF- κ B)、白细胞介素-1 β 、肿瘤坏死因子- α 的表达。最终通过微阵列分析显示,抑制作用与代谢和免疫应答相关的生物通路受到香椿提取物或其成分没食子酸的影响。由此可见,香椿提取物与机体抗炎和免疫息息相关,可作为一种潜在的抗炎药物的理想来源。

2.5 降血糖作用

目前越来越多的研究发现,香椿提取物也具有潜在的降血糖作用,对糖尿病的治疗具有潜在的疗效。Wang 等^[37]以四氧嘧啶诱导型大鼠为研究对象,给糖尿病小鼠添加香椿水提物之后,小鼠体内血糖含量明显降低,除此之外糖尿病小鼠体内胰岛素含量、脂肪组织中葡萄糖转运蛋白 4 (GLUT4) 含量和 GLUT4 蛋白表达都有所增加。随后 Liu 等^[38]研究发现,香椿提取物可以通过激活骨骼肌腺苷酸活化蛋白激酶 (AMPK) 促进葡萄糖摄取、调节脂肪组织中过氧化物酶体增殖物激活受体 (*PPAR γ*) 和脂联素的表达,从而改善胰岛素抵抗。Du 等^[39]研究表明,香椿提取物对糖尿病大鼠有降血糖和肾脏保护作用。另外 Zhang 等^[40]研究还发现,香椿提取物可显著抑制糖尿病小鼠肝脏组织中 p65/NF-B 和 ERK1/2/MAPK 通路的激活,以及 caspase-9 和 caspase-3 在肝脏中的表达,从而改善肝脏氧化应激来降低糖尿病及其继发性并发症的风险,它可以被视为一种有潜力的膳食添加剂。

2.6 保护雄性生殖系统作用

机体内氧化应激产生的 ROS 与雄性不育有关^[41]。而香椿提取物可以抑制 ROS 水平,维持膜电位 (MMP),并且可以在氧化应激下恢复精子活力。Yu 等^[42]研究结果表明,香椿提取物可以通过调节氧化应激下的大鼠睾丸中的睾丸蛋白促进精子和睾丸的功能,改善雄性在氧化应激下精子和睾丸的功能。另外还有研究报道称,香椿粗提物

通过抑制环磷酸腺苷-蛋白激酶 A (cAMP-PKA) 通路和调节小鼠睾丸间质细胞中类固醇酶的活性来抑制类固醇的生成,改善精子活力,而且它的抑制效果与香椿提取物添加量有很强的依赖性^[43]。这些研究结果均表明,香椿提取物是一种改善雄性精子和睾丸功能的有效药物。

2.7 其他作用

除以上生物活性功能之外,香椿提取物还具有抗凝血、抗痛风、脑缺血再灌注损伤保护等生物学功能。金桂兰等^[44]研究结果表明,香椿提取物抗凝血作用比较明显,提取物高剂量添加组会引起大鼠血浆活性升高,而抗凝血酶Ⅲ是引起凝血作用的主要凝血因子,与抗凝机制密切相关。梁宁等^[45]研究结果表明,香椿提取物可以减缓痛风和急性关节炎症状的发生,从香椿老叶中分离的提取物对黄嘌呤氧化酶和环氧合酶-2 有明显的抑制作用,而这 2 种酶是引发痛风和急性关节炎症状发生的主要酶。袁成等^[46]研究发现,香椿提取物在一定程度上可改善脑缺血再灌注引起的多器官功能障碍,降低血脑屏障通透性。

3 小 结

综上所述,国内外学者已经对香椿提取物的生物活性成分及其功能已经做了部分研究,结果表明香椿及其提取物中含多种营养物质(蛋白质、脂肪、微量元素等)以及许多调控机体代谢、生长发育的生物活性成分(黄酮、多酚、萜类等),这些物质不仅能满足机体的一部分营养需要,而且还可以延缓机体衰老、调节机体免疫系统,具有抗氧化、抑菌抗病毒、抗癌、抗炎、降血糖等生物学功能。这些活性物质的生物学功能随着人类医学的进步还在不断地深入研究,但是到目前为止将其作为新型饲料添加剂的研究还未见报道,因此香椿提取物在未来畜牧业发展中具有广袤的前景。为了进一步有效地开发利用香椿资源,还有以下问题需要解决:1)香椿提取物作为一种粗提物,对机体作用时不确定具体是哪种有效成分在发挥作用,因此需要进一步优化提取工艺,确定其发挥作用的有效成分。2)研究香椿提取物在饲料中添加比例,确定对畜禽的适宜添加量,为将来香椿在畜牧业中的应用提供参考依据。3)为适应 2020 年全面无抗要求,可以利用香椿提取物的生物活性成分替代抗生素也是一种有效可行的方法。4)可

以将香椿当作一种功能性饲料应用到畜禽养殖中,开发绿色环保的功能性肉产品。

参考文献:

- [1] 肖华山,肖祥希,何文广,等.香椿种质资源与快速繁殖研究进展(综述)[J].亚热带植物科学,2014,43(4):343-346.
- [2] 陈刚,杨玉珍,马晓.香椿化学成分与保健功能研究进展[J].北方园艺,2013(20):189-192.
- [3] 顾芹英.中药香椿叶化学成分的分析[D].硕士学位论文.镇江:江苏大学,2016.
- [4] 尹雪华,王凤娜,徐玉勤,等.香椿的营养保健功能及其产品的开发进展[J].食品工业科技,2017,38(19):342-345,351.
- [5] 张林魁,夏亚兰,彭泽萍.香椿蛋白质对小鼠抗氧化能力及非特异免疫的影响[J].安徽农业科学,2012,40(21):10840-10841,10856.
- [6] 罗时琴,唐金刚,周传艳,等.贵州香椿芽的主要营养成分含量与重金属安全性[J].贵州农业科学,2014,42(9):62-64,67.
- [7] 王旭波,顾芹英,沈玉萍,等.香椿的化学成分研究进展[J].南京中医药大学学报,2014,30(4):396-400.
- [8] 石青浩.香椿中黄酮提取和测定的研究进展[J].现代食品,2017(21):6-9.
- [9] 苗修港,余翔,张贝贝,等.NKA-9 大孔树脂纯化香椿叶黄酮类物质工艺优化[J].食品科学,2016,37(8):32-38.
- [10] 杜惠蓉.微波辅助提取香椿叶中黄酮成分工艺研究[J].绿色科技,2016(20):120-121.
- [11] 陈玉丽,阮志鹏,林丽珊,等.香椿的化学成分及药理作用研究进展[J].长治医学院学报,2008,22(4):315-317.
- [12] ZHAO J, ZHOU X W, CHEN X B, et al. α -glucosidase inhibitory constituents from *Toona sinensis* [J]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2009, 45(2):244-246.
- [13] DONG X J, ZHU Y F, BAO G H, et al. New limonoids and a dihydrobenzofuran norlignan from the roots of *Toona sinensis* [J]. *Molecules*, 2013, 18(3):2840-2850.
- [14] MITSUI K, SAITO H, YAMAMURA R, et al. Hydroxylated gedunin derivatives from *Cedrela sinensis* [J]. *Journal of Natural Products*, 2006, 69(9):1310-1314.
- [15] 朱宏,陈敏,孙恬,等.不同加工方式对香椿多酚抗氧化活性的影响[J].中国农业大学学报,2010,15

- (4):111-114.
- [16] LIU J F, YOU L L, WANG C L, et al. Antioxidization and antiproliferation of extract from leaves of *Toona sinensis* [J]. Journal of Central South University, 2012, 37(1):42-47.
- [17] 李争玲, 王旭波, 冉顶诗, 等. 香玲子的化学成分研究[J]. 中国药房, 2013, 24(27):2540-2541.
- [18] YANG S J, ZHAO Q, XIANG H M, et al. Antiproliferative activity and apoptosis-inducing mechanism of constituents from *Toona sinensis* on human cancer cells[J]. Cancer Cell International, 2013, 13:12.
- [19] 赵胡, 唐开静, 范小莹, 等. ‘黑油椿’香椿嫩芽高通量转录组测序及萜类代谢物质初步分析[J]. 园艺学报, 2017, 44(11):2135-2149.
- [20] 刘玉波. 毛红椿的化学成分研究[D]. 硕士学位论文. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [21] AMES B N, SHIGENAGA M K, HAGEN T M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1993, 90(17):7915-7922.
- [22] SHAN S R, HUANG X M, ZHANG M X, et al. Anticancer and antioxidant properties of phenolics isolated from *Toona sinensis* A Juss acetone leaf extract [J]. Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2016, 15(6):1205.
- [23] JIANG X X, ZHANG B B, LEI M H, et al. Analysis of nutrient composition and antioxidant characteristics in the tender shoots of Chinese toon picked under different conditions [J]. LWT, 2019, 109:137-144.
- [24] YANG H, GU Q Y, GAO T T, et al. Flavonols and derivatives of gallic acid from young leaves of *Toona sinensis* (A. Juss.) Roemer and evaluation of their anti-oxidant capacity by chemical methods [J]. Pharmacognosy Magazine, 2014, 10(38):185-190.
- [25] CHEN C J, MICHAELIS M, HSU H K, et al. *Toona sinensis* Roem tender leaf extract inhibits SARS coronavirus replication [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 120(1):108-111.
- [26] YOU H L, CHEN C J, ENG H L, et al. The effectiveness and mechanism of *Toona sinensis* extract inhibit attachment of pandemic influenza A (H1N1) virus [J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2013, 2013:479718.
- [27] 陈元坤, 欧红萍, 房春林, 等. 香椿皮及臭椿皮体外抑菌活性测定 [J]. 四川畜牧兽医, 2011, 38(5):27-28.
- [28] 徐强. 香椿老叶抑菌活性物质的研究 [D]. 硕士学位论文. 芜湖: 安徽工程大学, 2014.
- [29] YANG C J, HUANG Y J, WANG C Y, et al. Antiproliferative effect of *Toona sinensis* leaf extract on non-small-cell lung cancer [J]. Translational Research; the Journal of Laboratory and Clinical Medicine, 2010, 155(6):305-314.
- [30] YANG S J, ZHAO Q, XIANG H M, et al. Antiproliferative activity and apoptosis-inducing mechanism of constituents from *Toona sinensis* on human cancer cells [J]. Cancer Cell International, 2013, 13:12.
- [31] CHEN Y C, CHIEN L H, HUANG B M, et al. Aqueous extracts of *Toona sinensis* leaves inhibit renal carcinoma cell growth and migration through JAK2/stat3, Akt, MEK/ERK, and mTOR/HIF-2 α pathways [J]. Nutrition and Cancer, 2016, 68(4):654-666.
- [32] CHEN C H, LI C J, TAI I C, et al. The fractionated *Toona sinensis* leaf extract induces apoptosis of human osteosarcoma cells and inhibits tumor growth in a murine xenograft model [J]. Integrative Cancer Therapies, 2017, 16(3):397-405.
- [33] 郭爱伟, 刘莉莉, 杨亚晋, 等. 植物多酚的生物活性及其在家禽生产中的应用 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(2):491-499.
- [34] 阮志鹏, 陈玉丽, 林丽珊. 香椿叶水提物对小鼠炎症抑制作用 [J]. 中国公共卫生, 2010, 26(3):334-335.
- [35] YANG C J, CHEN Y C, TSAI Y J, et al. *Toona sinensis* leaf aqueous extract displays activity against sepsis in both *in vitro* and *in vivo* models [J]. Kaohsiung Journal of Medical Sciences, 2014, 30(6):279-285.
- [36] HSIANG C Y, HSEU Y C, CHANG Y C, et al. *Toona sinensis* and its major bioactive compound gallic acid inhibit LPS-induced inflammation in nuclear factor- κ B transgenic mice as evaluated by *in vivo* bioluminescence imaging [J]. Food Chemistry, 2013, 136(2):426-434.
- [37] WANG P H, TSAI M J, HSU C Y, et al. *Toona sinensis* Roem (Meliaceae) leaf extract alleviates hyperglycemia via altering adipose glucose transporter [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(7):2554-2560.
- [38] LIU H W, HUANG W C, YU W J, et al. *Toona sinensis* ameliorates insulin resistance via AMPK and PPAR γ pathways [J]. Food & Function, 2015, 6(6):1855-1864.
- [39] 杜晨晖, 闫艳, 宋强, 等. 香椿子水提物降糖作用的初

- 步研究[J].山西中医学院学报,2011,12(5):2-4.
- [40] ZHANG Y L, DONG H H, WANG M M, et al. Quercetin isolated from *Toona sinensis* leaves attenuates hyperglycemia and protects hepatocytes in high-carbohydrate/high-fat diet and alloxan induced experimental diabetic mice[J]. Journal of Diabetes Research, 2016, 2016:8492780.
- [41] MAKKER K, AGARWAL A, SHARMA R. Oxidative stress & male infertility [J]. The Indian Journal of Medical Research, 2009, 129(4):357-367.
- [42] YU B C, YU W J, HUANG C Y, et al. *Toona sinensis* leaf aqueous extract improves the functions of sperm and testes via regulating testicular proteins in rats under oxidative stress [J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2012, 2012:681328.
- [43] POON S L, LEU S F, HSU H K, et al. Regulatory mechanism of *Toona sinensis* on mouse leydig cell steroidogenesis [J]. Life Sciences, 2005, 76(13):1473-1487.
- [44] 金桂兰,陈超.香椿子正丁醇提取物抗凝血作用及其机制[J].中国医院药学杂志,2011,31(11):913-914.
- [45] 梁宁,王昌禄,罗成,等.香椿提取物对痛风抑制作用的初步研究[J].农产品加工(学刊),2011(7):12-14.
- [46] 袁成,陈超,游艳,等.香椿子正丁醇提取物对脑缺血再灌注致多器官功能障碍综合征的保护作用[J].中草药,2013,44(3):323-332.

Research Advances in Bioactive Function of *Toona sinensis* Extract

DU Baolong WAN Minyan WANG Xuan TANG Defu*

(College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: *Toona sinensis*, as one of the traditional Chinese herbal medicines, has the effects of dispelling cold, eliminating inflammation, detoxifying and killing insects. *Toona sinensis* contains flavonoids, phenols, terpenoids and other bioactive substances which are beneficial to the body. Because *Toona sinensis* remarkable antioxidant activities, such as antioxidant free radicals, antibacterial, antiviral, anti-cancer, anti-inflammatory, immune regulation, hypoglycemic and other biological activities, it has attracted much attention. Therefore, this paper reviews the bioactive substances and bioactive functions of *Toona sinensis* extract, in order to provide reference for the application of *Toona sinensis* extract in animal husbandry. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(7):3057-3063]

Key words: *Toona sinensis*; bioactive; function; advances in research