

板栗化学成分与药理作用的研究进展

刘桂娟¹,崔恩姬^{1,2*},郑昌吉^{1,2*}¹延边大学药学院;²延边大学 长白山生物资源与功能分子教育部重点实验室,延吉 133002

摘要:板栗是一种药食两用、补养治病的良药,含有三萜、多糖、黄酮苷、挥发油以及微量元素等化合物,具有抗菌、抗糖尿病、抗炎、抗凝血、抗癌、抗疲劳等生物活性。本文针对板栗的化学成分与药理作用的研究进展进行综述,为板栗在医药和多功能食品领域的进一步开发研究提供参考依据。

关键词:板栗;化学成分;药理作用

中图分类号:R93;Q94

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.10.030

Advances on Chemical Constituents and Pharmacological Effects of *Castanea mollissima* Blume

LIU Gui-juan¹, CUI En-ji^{1,2*}, ZHENG Chang-ji^{1,2*}¹College of Pharmacy, Yanbian University; ²Key Laboratory of Natural Resource of the Changbai Mountain and Functional Molecules, Ministry of education, Yanbian University, Yanji 133002, China

Abstract: *Castanea mollissima* Blume was a kind of medical and edible plant with good healthful effect. It contained various chemical constituents such as triterpenoids, polysaccharides, flavonoid glycosides, volatile oil and microelement. The biological activities of *C. mollissima* included antimicrobial, antidiabetic, antiinflammatory, anticoagulant, anticancer and antifatigue activity. In this paper, we summarize chemical constituents and pharmacological effects of *C. mollissima*, it provides a reference for further development and utilization of *C. mollissima* in medicine and functional foods.

Key words: *Castanea mollissima* Blume; chemical constituents; pharmacological effects

板栗为壳斗科植物,属于坚果类乔木经济植物,世界板栗广泛分布在亚洲、美洲和欧洲,主要以中国板栗(*Castanea mollissima* BL.)、欧洲栗(*Castanea sativa* Mill.)、美洲栗(*Castanea dentate* Marsh.)和日本栗(*Castanea crenata* Sieb. & Zucc.)为主,中国板栗和美洲栗同属壳斗科栗属植物,欧洲板栗为山毛榉科栗属植物,日本栗为壳斗科菜栗属植物。2013年世界板栗产量据世界粮农组织数据库(FAO Statistics)统计为200万吨,我国产量第一,占世界产量的82.1%,其次为韩国;我国栽培板栗历史悠久,已有3000多年,主要分布在长江流域和华北地区,种植发展迅速,2014我国板栗产量已迅速发展为228万吨,是2004年产量的2.9倍^[1]。《东医寿世保元》、《朝医药药物志》等书籍记载板栗为太阴人药,具有开肺之胃气而进食消食、补脾和胃、止血等功效。临床上主要用于太阴人食滞痞满,跟脚无力,

不思饮食及痢疾。明朝李时珍在《本草纲目》中记载:“栗治肾虚、腰腿无力,能通肾益气,厚肠胃也,肾主大便,栗能主肾”。

板栗是营养价值很高的药食同源的保健植物,其皮、叶、花、总苞等都可入药。目前板栗提取物已应用于化妆品,处于开发研究阶段的有板栗花饮料、板栗花纯露、板栗酿酒工艺、板栗花花露水、板栗总苞中多酚类提取物用于饲料添加剂以及板栗中的异麦芽低聚糖用于益生元等。板栗化学成分丰富,含有黄酮、多糖、糖苷、萜类以及挥发油等化学成分,具有抗癌、抗菌、抗氧化、抗炎、抗糖尿病等药理活性。因此在医药和保健食品领域具有良好的潜在开发利用价值。

1 化学成分

1.1 板栗仁

板栗仁以淀粉为主要成分,另外含有脂肪、可溶性糖、维生素C、丰富的微量元素以及蛋白质。高慧媛等^[2]从板栗仁中首次分离得到两个新化合物,一个是二萜类的糖苷命名为 mollioside,另一个为苷元

收稿日期:2018-03-22 接受日期:2018-07-06

基金项目:国家自然科学基金(81360473);延边大学医药健康产品研发项目(延大科合字2016-1)

*通信作者 E-mail:zhengcj@ybu.edu.cn, ejcui@ybu.edu.cn

命名为 mollissin。李红燕等^[3]首次从板栗的果实中分离出一种线性 1,6- α -D-葡聚糖,命名为 CPA,平均分子量为 2.0×10^3 kDa。

1.2 板栗叶

板栗叶主要含多糖、绿原酸、鞣花酸、金丝桃苷、异槲皮苷、芸香苷、萜类、鞣花丹宁、没食子鞣质等化合物。Cassandra L. Quave 等^[4]从欧洲板栗叶乙酸乙酯萃取物中通过 LC-MS 测得 94 种化合物,大多数为 ursene(五环三萜派生物)和齐墩果烯类以及苯酚类化合物。柏宏伟等研究发现板栗叶中含有游离鞣花酸,含量为 1.669 mg/g^[5]。

1.3 板栗花

张键旺等^[6]运用 CO₂ 超临界萃取技术提取板栗花的挥发性成分,并运用 GC-MS 分析鉴定出 40 种化合物,在板栗花中首次检测到 29 种化合物;将板栗花提取物用大孔吸附树脂纯化后用 GC-MS 鉴定出 13 种化合物,均为首次从板栗花中检测到;将板栗花提取物纯化后用 LC-MS 法分析鉴定出 4 种黄酮或黄酮苷类化合物。另外,刘俊芳等^[7]运用 GC-MS 法从板栗花挥发油中检测到 31 种成分,其中有 26 种从板栗花中首次发现。

1.4 板栗壳

板栗壳中含有酚类、有机酸、多糖(或苷类)、香豆素、黄酮和甾体(或三萜)等成分。

何珊珊等^[8]从板栗壳中分离得到 7 种化合物,其中芹黄素和桦木酸从该种植物中首次分离得到,从栗属中首次分离得到甲苯 2,6-二氨基甲酸甲酯。罗培等^[9]从板栗壳乙醇提取物中分离出乌苏酸、槲皮黄酮和山柰酚等六种化合物。

1.5 板栗总苞

金秀梅等^[10]从板栗总苞中分离得到 10 个化合物,其中 8-(3,5-dihydroxyphenyl)-1-propyloctyl-2,4-dihydroxy-6-undecylbenzoate、苹果酸二丁酯为从栗属植物中首次分离得到,大黄素为首次从该植物中分离得到。张琳等^[12]从板栗总苞的乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物中分离了 25 个化合物,鉴定了山柰酚、2,4-二羟基苯甲酸、没食子酸甲酯、3,4-二羟基苯甲酸、没食子酸鞣花酸、tiliroside、casuariin、casuarinin、castalagin 等 20 个化合物。之后又从板栗总苞中分离的到六个黄酮类分别为,山柰酚-3-O[6"-O-反式-对-香豆酰基]- β -D-吡喃葡萄糖苷、山柰酚-3-O[6"-O-反式-对-香豆酰基]- β -D-半乳糖苷、山柰酚-3-O[2"-O-反式-对-香豆酰基]- β -D-吡喃葡萄糖苷等;三个多酚酸类为 casuariin、casuarinin 和 casta-

lagin^[15]。杜运平等^[13]研究发现板栗总苞含有大量的单宁,质量分数在 62% 以上。石恩慧等^[14]研究发现板栗总苞中多酚含量高达 52.23%。

1.6 板栗种皮

板栗种皮含有黄酮类、多酚类、甾类、脂肪酸等化学成分。卢川等^[16]从板栗种皮 75% 的乙醇提取物中分离鉴定出 8 种化合物,其中异泽兰黄素、5,7,4'-三羟基-6,3'-二甲氧基黄酮、5,7,4'-三羟基-6,3',5'-三甲氧基黄酮、clovane-2,9-diol 从栗属中首次分离得到。

2 药理作用

2.1 抗菌作用

Quave 等^[4]从欧洲板栗叶中提取了可以解除致命葡萄球菌的活性成分,并指出板栗叶乙酸乙酯萃取物具有抑制葡萄球菌群体感应,其 IC₅₀ 值为 1.56 ~ 25 μ g/mL;对葡萄球菌有抑制作用, MIC₅₀ 值为 8 μ g/mL;推测提取物中的 ursene(五环三萜派生物)、齐墩果烯类、没食子酸以及鞣花丹宁类化合物对群体感应活性最强。此外,地中海当地居民常用板栗叶治疗皮肤感染和炎症,说明板栗叶具有良好的抗菌活性。

柏宏伟等^[17]研究发现,板栗雄花序提取物的乙酸乙酯萃取物对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌具有良好的抑菌效果。赵文越等^[18]用板栗花制成的驱蚊花露水对啤酒酵母菌、产黄青霉菌和黑曲霉菌有明显的抑制作用,对产黄青霉菌和黑曲霉菌效果比六神花露水、隆力奇花露水、舒肤佳沐浴液以及 75% 的酒精的效果更强。此外,孙永科等^[19]研究发现,0.01 g/mL 的板栗花提取物对三种大肠埃希菌、金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌均具有较强的抑制作用。

2.2 抗氧化作用

何玲玲等^[20]从板栗中提取得到两种粗多糖组分(CLP 和 CLP1),两者均具有良好的 O₂⁻、OH \cdot 和 H₂O₂ 的清除能力及还原能力,而且抗氧化能力与浓度成正比例关系,其中 CLP 对 H₂O₂ 的清除效果与维生素 C 相当。此外用板栗花做的驱蚊花露水、纯露、饮料等也具有抗氧化作用^[21,22]。板栗花中黄酮还原能力和有效清除 OH \cdot 的能力高于维生素 C,但是对 O₂⁻ 的清除效率不如维生素 C^[23]。石恩慧等^[14]研究报道,板栗总苞多酚提取物对 DPPH \cdot 和 ABTS⁺ \cdot 的清除率好于维生素 E,与维生素 C 相当;对猪油也有良好的抗氧化能力,与浓度相关,100 μ g/mg 效果最佳。Barreira 等^[24]发现不仅板栗叶、板栗花具有抗氧化作用,板栗仁、板栗树皮的提取物

也具有抗氧化作用。邵明辉等^[25]研究发现用板栗花做的纯露也具有很强的抗氧化作用。冯燕霞^[25]等用碱性蛋白酶水解板栗中的蛋白质得到五种新的抗氧化活性肽,分别鉴定为 VYTE、TKGQ、MMLQK、TPAIS 和 VSAFLA,其中 VYTE 和 VSAFLA 对 ABTS 自由基的清除能力最强,IC₅₀值分别为 0.13 ± 0.01 mg/mL 和 0.28 ± 0.04 mg/mL,这些新型肽可作为药物或功能食品中的天然氧化剂。综上研究表明,板栗具有良好的抗氧化作用,可作为天然的氧化剂应用于食品、药品、保健品以及化妆品等领域。

2.3 抗凝血、升高白细胞

陈聂牧等^[11]研究发现,用热水提取制备的板栗多糖具有抗凝血作用,100、200 mg/kg 多糖剂量可明显延长小鼠出血时间、凝血时间及血栓形成时间,降低血流波动性,说明板栗多糖的抗动脉血栓作用机制可能与其抗血小板和抗凝血作用有密切关系。

2.4 抗炎作用

板栗壳乙醇提取物具有抑制过度炎症和促进伤口愈合的作用,板栗壳膏药可外用于伤口愈合和烧伤的治疗。在原始 264.7 细胞中板栗壳乙醇提取物对由内毒素诱导分泌的 IL-6、NO 和 TNF-α 有强烈的抑制作用,其中乙酸乙酯层提取物中的乌苏酸、槲皮黄酮、没食子酸和山柰酚起主要作用^[9]。

2.5 营养保健作用

杨芳等^[40]研究发现,板栗含有营养丰富的蛋白质。所有板栗的蛋白质都由营养均衡的氨基酸组成,其中白蛋白和谷蛋白是主要成分,含量丰富的白蛋白大都是低分子量的,因此板栗中的蛋白质相对于其他蛋白质更容易消化和吸收。对大龄儿童、青少年以及成年人必需氨基酸的评分要求符合 FAO/WHO (2013) 的要求,因而板栗中的蛋白质可作良好的植物蛋白来源,为人体提供营养。

2.6 细胞保护作用

Almeida 等^[26]研究发现,板栗叶具有有细胞保护作用,尤其是被紫外线照射损伤的角质层细胞 HaCaT。板栗叶提取物对紫外线照射诱发 DNA 损伤的角质层细胞 HaCaT 有保护作用,其机制是涉及¹O₂ 的抗氧化作用而不是通过发挥内源性抗氧化作用的 NRF2 通路来拮抗氧化应激损伤。

2.7 抗糖尿病作用

张琳等^[12]对板栗仁、种皮及总苞的总提取物及各萃取物进行了抗糖尿病的活性评价,结果显示板栗总苞的总提取物及各萃取物对的醛糖还原酶具有较强的抑制作用;进一步对板栗总苞的主要成分进

行醛糖还原酶的活性评价,发现没食子酸类化合物和山柰酚类化合物具有较强的抑制作用。其中鞣花酸对醛糖还原酶的抑制作用最强,IC₅₀值为 0.02 ± 0.01 μM,比阳性对照药槲皮素(IC₅₀为 13.51 μM)的抑制作用更强。张琳等^[15]之后又发现板栗总苞中的黄酮类和多酚类对抗糖基化终产物的作用强于氨基胍类药物。板栗总苞提取物中的多酚具有抑制 α-葡萄糖苷酶的活性,提取物中富含鞣花丹宁,在体外能够抑酵母菌和大鼠的 α-葡萄糖苷酶,可作为一种新的膳食植物营养素用于糖尿病患者,类似于绿茶和葡萄皮提取物^[27]。综上可见板栗总苞对抗糖尿病及其并发症药物的研发具有重要的意义且废弃资源的到合理的开发应用减少环境污染。

2.8 抗疲劳作用

李清宇等^[28]研究表明,陕西镇安板栗多糖的 3 个剂量 100、200、400 mg/(kg·d) 均能显著提高小鼠运动耐力,与对照组相比能明显降低运动后血乳酸和血尿素氮的含量,提高肌糖原和肝糖原的含量,说明板栗多糖具有较好的抗疲劳作用,最佳用量为 200 mg/(kg·d),高剂量与中剂量比无显著差异。

2.9 抗肿瘤作用

燕龙板栗多糖对多种肿瘤细胞的生长均有抑制作用,如人肝癌细胞 Bel-7402、肺癌细胞 A-549 和子宫癌细胞 HCT-8,其中对肺癌细胞 A-549 抑制作用最强,且与浓度成正比例关系^[29]。高慧媛等^[2]从板栗仁中分离得的两个新化合物 Mollioside 和 Millissin 对 HeLa 宫颈癌细胞具有明显的抑制作用。研究表明,从板栗果实中分离得到的 CPA 在体外实验中能抑制宫颈癌细胞 HeLa 的增殖;将 CPA 进行硒化修饰后得到的衍生物(sCPA)具有更强的抑制作用,两者都可以通过线粒体途径诱导宫颈癌细胞 HeLa 凋亡^[3]。邵亭亭等^[30]研究发现,1 mg/mL 的罗田板栗多糖组分 CP₃ 对人体肝癌细胞 HepG2 抑制率为 32.79%,高于对宫颈癌细胞 HeLa 的抑制率 12.08%。Barbat A 等^[31]从西班牙板栗中分离得到 4-O-甲基葡萄糖醛酸木聚糖,对表皮细胞 A-431 的增殖、迁移和侵袭具有抑制作用。此外板栗花中的黄酮能抑制宫颈癌细胞 HeLa、人骨肉瘤细胞 MG-63、人乳腺癌细胞 MCF-7 和人肝癌细胞 SMMC-7721 的增殖,并诱导其凋亡^[23,32]。张琳等^[15]发现板栗总苞中的黄酮类和多酚类对人结肠癌细胞 COLO 320 DM 的抑制作用强于 5-氟尿嘧啶。板栗壳提取物中的原花青素首次发现可以通过抑制 PI3K/AKT/mTOR 信号通路引发自噬,增强 HepG2 细胞的凋亡,其机制可能与线粒体依赖的信号通路有关^[33]。

3 其他应用

3.1 制造栲胶

板栗苞中含有大量的单宁可用于生产栲胶^[13],将应用于制革、矿业、建材和化工等行业,使废弃资源的到良好的开发利用,减少环境污染。

3.2 饲料添加剂

板栗总苞中多酚提取物可明显改善肉鸡在高温应激条件下的抗氧化能力^[34,35],缓解高温热应激造成的影响,0.3%的添加量效果最佳,效果且好于市场销售的 BTH,可应用于畜牧业养殖。此外, M. Brus 等^[36]研究发现在水和饲料中添加板栗中可水解性单宁,可替代动物营养中的抗生素。对鸡小肠上皮细胞产生有益效应,刺激小肠上皮细胞增生,而且无基因毒性,对生陈代谢也无影响。此外,单宁在细胞中保持主要的抗氧化潜力,而不损害其他细胞的代谢,在浓度为 0.05%~0.1%时效果最佳。

3.3 天然食品色素添加剂

板栗壳含有丰富的黑色素,可以作为食品添加剂^[37]。

3.4 大豆蛋白膜

在大豆蛋白膜中加入板栗苞提取物能够增强对紫外线和氧气屏障的保护作用,且使大豆蛋白膜的抗氧化能显著提高。此外,板栗苞的提取物通过改变蛋白质的二级结构影响大豆蛋白膜的机械性能,使其抗拉强度增大。因此未来可应用于食品的包装和保鲜^[38]。

3.5 益生元

将板栗进行处理纯化得到的益生元异麦芽低聚糖(CN-IMOs-P)对乳酸菌的增值具有良好的促进作用,效果优于 CN-IMOs 和商业 IMOs-50,在剂量为 2% (w/v)时效果最佳。因此,板栗可作为 IMOs 生产的潜在原始材料,将成为板栗一个新的利用领域^[39]。

4 展望

板栗为我国的特产,来源丰富广泛。作为食药两用的植物,一方面富含淀粉、蛋白质、多糖、氨基酸、微量元素、黄酮、多糖、糖苷、萜类以及挥发油等活性物质,营养价值丰富;另一方面具有抗菌、抗氧化、抗肿瘤、抗糖尿病等药理活性,有很高的医药价值。根据板栗入药部位多的特点,近几年研究主要集中于开发板栗饮料、板栗酒、板栗花纯露、板栗花驱蚊花露水、饲料添加剂、栲胶、保健食品和化妆品等,但技术不够成熟需要进一步系统研究并完善;在

医药方面开发应用的报道较少,亟待需要对化学成分和药理作用进行深入,为板栗资源的进一步开发利用提供理论依据,提高板栗的应用价值。

参考文献

- 1 Kan LN(阚黎娜), *et al.* Resource distribution and nutritional quality difference of Chinese chestnuts [J]. *Sci Technol Food Ind*(食品工业科技), 2016, 37: 396-400.
- 2 Gao HY, *et al.* Structure and absolute configuration of a diterpenoid form *Castanea mollissima* [J]. *Nat Prod Commun*, 2010, 5(1): 13-16.
- 3 Li HY, *et al.* Extraction, selenylation modification and anti-tumor activity of the glucan from *Castanea mollissima* Blume [J]. *Glycoconj J*, 2017, 34: 207-217.
- 4 Quave CL, *et al.* *Castanea sativa* (European chestnut) leaf extracts rich in ursene and oleanene derivatives block *Staphylococcus aureus* virulence and pathogenesis without detectable resistance [J]. *PLoS one*, 2016, 11(9): e0136486.
- 5 Bo HW(柏宏伟), *et al.* Ellagitannin extraction and antioxidant activity of chestnut [J]. *J Beijing forest Univ*(北京农学院学报), 2015, 30(4): 38-43.
- 6 Zhang JW(张建旺). The research on flavonoids and volatile compounds in chestnut flowers [D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University Of Science & Technology(河北科技师范学院), 2012.
- 7 Liu JF(刘俊芳), *et al.* Supercritical fluid extraction and GC-MS analysis of volatile oil from Chinese chestnut flower [J]. *J Hebei Normal Univ Sci Technol*(河北科技师范学院学报), 2016, 30(1): 26-29.
- 8 He SS(何珊珊). Study on the compounds of *Castanea mollissima* Blume [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University(西南交通大学), 2015.
- 9 Luo P, *et al.* *Castanea mollissima* shell prevents an over expression of inflammatory response and accelerates the dermal wound healing [J]. *J Ethnopharmacol*, 2018, 220: 9-15.
- 10 Jin XM(金秀梅), *et al.* Isolation and identification of chemical constituents from the involucre of *Castanea mollissima* Blume (II) [J]. *J Shenyang Pharm Univ*(沈阳药科大学学报), 2010, 27(38): 630-634.
- 11 Nie M(聂牧), *et al.* Antithrombotic effect of polysaccharide from seeds of *Castanea mollissima* Blume (Chinese chestnut) [J]. *Food Sci*(食品科学), 2015, 36: 187-190.
- 12 Zhang L(张琳). Constituents with anti-diabetic activity from the involucre of *Castanea mollissima* Blume [D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University(沈阳药科大学), 2010.
- 13 Du YP(杜运平), *et al.* Study on purification of chestnut shell tannin [J]. *Chem Ind Forest Prod*(林产化学与工业), 2012, 32(2): 61-65.

- 14 Shi EH(石恩慧), *et al.* *Castanea mollissima* Blume polyphenols; extraction technology optimization and its antioxidant activity[J]. *Chin J Anim Ntal*(动物营养学报), 2013, 25: 406-414.
- 15 Zhang L, *et al.* Extracts and compounds with anti-diabetic complications and anti-cancer activity from *Castanea mollissima* Blume(Chinese chestnut)[J]. *BMC Complem Alterne M*, 2014, 14:422.
- 16 Lu C(卢川), *et al.* Isolation and identification of chemical constituents from testa of *Castanea mollissima* Blume[J]. *J Shenyang Pharm Univ*(沈阳药科大学学报), 2009, 26:440-442.
- 17 Bai HW(柏宏伟), *et al.* Antioxidation and antimicrobial activities of extracts parts of chestnut catkins[J]. *Sci Silva Sin*(林业科学), 2015, 51:145-152.
- 18 Zhao WY(赵文越). Repellent of essential oil from chestnut flower and preparation toilet water of chestnut flower[D]. Tianjin:Tianjin University of Commerce(天津商业大学), 2014.
- 19 Sun YK(孙永科), *et al.* Study on the vitro antibacterial activity of the chestnut flowers extract[J]. *Progr Veterin Med*(动物医学进展), 2010, 31(S1):149-152.
- 20 He LL(何玲玲), *et al.* Study on isolation, purification and antioxidant activities of polysaccharides from seeds of *Castanea mollissima* BL[J]. *Food Mac*(食品与机械), 2010, 26(2):72-75.
- 21 Jia YQ(贾雅琼). Study on the functions and key processing technologies of Chinese chestnut flower sbeverage[D]. Huhehaote:Inner Mongolia Agricultural University(内蒙古农业大学), 2011.
- 22 Shao MH(邵明辉), *et al.* Study on the antioxidant activity of hydrosol from chestnut flower[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2015, 27:259-263.
- 23 Chen YL(陈亚蓝), *et al.* Effect of the flavonoids from chestnut flower on antioxidant activity and cellular viability of HeLa line[J]. *Sci Technol Food Ind*(食品工业科技), 2015, 36:165-168.
- 24 Barreira JCM, *et al.* Antioxidant activities of the extracts from chestnut flower, leaf, skins and fruit[J]. *Food Chem*, 2008, 107:1106-1113.
- 25 Feng YX, *et al.* Purification, identification, and synthesis of five novel antioxidant peptides from Chinese chestnut(*Castanea mollissima* Blume) protein hydrolysates [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2018, 92:40-46
- 26 Almeida IF, *et al.* Protective effect of *C. sativa* leaf extract against UV mediated DNA damage in a human keratinocyte cell line[J]. *J Photochem Photobiol B*. 2015, 144:28-34.
- 27 Zhang JW, *et al.* α -Glucosidase inhibitory activity of polyphenols from the burs of *Castanea mollissima* Blume[J]. *Molecules*, 2014, 19:8373-8386.
- 28 Li QY, *et al.* Purification, structural analysis and antifatigue assay of polysaccharide from *Castanea mollissima* Blume[J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2013, 32:767-772.
- 29 Liang X(梁雪). A preliminary study on structure and biological activity of polysaccharides from different varieties of Chinese chestnut[D]. Qinhuangdao:Hebei Normal University of Science & Technology(河北科技师范学院), 2013.
- 30 Shao TT(邵婷婷). Isolation, purification, structure identification and activity of chestnut polysaccharide[D]. Zhenjiang:Jiangsu University(江苏大学), 2013.
- 31 Barbat A, *et al.* Structural characterization and cytotoxic properties of a 4-*O*-methylglucuronoxylan from *Castanea sativa*. 2. evidence of a structure activity relationship[J]. *J Nat prod*, 2008, 71:1404-1409.
- 32 Lin SW(林思文), *et al.* Effect of total flavonoids from *Castanea mollissima* involucre on 3 tumor cells[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2015, 27:143-147.
- 33 Zhang H, *et al.* Procyanidins, from *Castanea mollissima* Bl. shell, induces autophagy following apoptosis associated with PI3K/AKT/mTOR inhibition in HepG2 cells[J]. *Biomed Pharmacother*, 2016, 81:15-24.
- 34 Li H(李红), *et al.* Effect of Chestnut involucres polyphenols on growth performance and antioxidant properties of AA broilers[J]. *Sci Agric Sinica*(中国农业科学), 2015, 48:788-795.
- 35 Dong S, *et al.* Antioxidative activity of the polyphenols from the involucres of *Castanea mollissima* Blume and their mitigating effects on heat stress[J]. *Poultry Sci*, 2015, 94:1096.
- 36 M Brus L, *et al.* Beneficial effects of water-soluble chestnut (*Castanea sativa* Mill.) tannin extract on chicken small intestinal epithelial cell culture [J]. *Poultry Sci*, 2018, 97:1271-1282.
- 37 Yao Z, *et al.* Isolation, fractionation and characterization of melanin-like pigments from chestnut (*Castanea mollissima*) shells[J]. *J Food Sci*, 2012, 77:C671-C676.
- 38 Wang H, *et al.* Physical and antioxidant properties of flexible soy protein isolate films by incorporating chestnut (*Castanea mollissima*) bur extracts[J]. *LWT- Food Sci Technol*, 2016, 71:33-39.
- 39 Cui J, *et al.* Production, purification and analysis of the iso-malto-oligosaccharides from Chinese chestnut(*Castanea mollissima* Blume) and the prebiotics effects of them on proliferation of Lactobacillus[J]. *Food Bioprod Process*, 2017, 106:75-81.
- 40 Yang F, *et al.* Amino acid composition and nutritional value evaluation of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume) and its protein subunit[J]. *Rsc Adv*, 2018, 8:2653-2659.