

食用菌中黄酮类物质的研究进展

宫雪¹, 张博², 辛广^{1*}, 张晓玉¹

(1. 沈阳农业大学食品学院, 沈阳 110866; 2. 鞍山师范学院化学与生命科学学院, 鞍山 114007)

摘要: 食用菌作为人类可食用的大型真菌, 种类多达 2000 种。食用菌产业近几年在全球发展很快, 特别是在我国发展更为迅猛, 产量已达 3000 多万吨, 占世界比重 70%~80%。食用菌营养丰富, 富含蛋白质、多糖、维生素和矿物质, 具有低脂肪、低热量的特点, 且具有增强免疫力、抑制肿瘤、抗衰老和降血压等多种生物活性。大量研究表明, 食用菌多酚中的黄酮类化合物具有抗氧化功能, 在食用菌生物活性中起重要作用, 另有研究认为食用菌不含黄酮类化合物。本文对食用菌中黄酮类化合物的提取方法、含量、活性作用进行综述, 针对食用菌是否含有黄酮类化合物的研究思路进行展望。

关键词: 食用菌; 黄酮类化合物; 生物活性

Research progress of flavonoids in edible fungi

GONG Xue¹, ZHANG Bo², XIN Guang^{1*}, ZHANG Xiao-Yu¹

(1. College of Food Science, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China; 2. College of Chemistry and Life Science, Anshan Normal College, Anshan 114007, China)

ABSTRACT: With as many as 2000 varieties in existence, edible fungi are regarded as macro human edible fungi. Edible fungi industry has developed fast in recent years on the global scale especially in our country, the development is more rapid and its production has reached up to 30 million tons, accounting for 70%~80% of the world. Edible fungi are rich in nutrition, which are rich in proteins, polysaccharides, vitamins and minerals, and have the characteristics of low fat and low heat, also have a variety of biological activities, such as enhancing immunity, inhibiting tumor, anti-aging, antihypertension effect and so on. A large number of research results showed that the flavonoids in the edible fungi had antioxidant function, which played an important role in the biological activity of edible fungi, while other researches considered that the edible fungi didn't contain flavonoids. In this paper, the extraction methods, content and activity of flavonoids in edible fungi were reviewed, and the prospect of the researches on whether edible fungi contain flavonoids was performed.

KEY WORDS: edible fungi; flavonoids; biological activity

基金项目: 辽宁省大学生实验基地建设项目(2012140-59)、鞍山市重大科技专项(20154818)和沈阳农业大学高端人才引进基金项目(SYAU20160003)

Fund: Supported by Liaoning Province University Students Practical and Educational Construction Base Project (2012140-59), Anshan Science and Technology Major Project (20154818) and Program of Shenyang Agriculture University Talent Introduction Foundation Project (SYAU20160003)

*通讯作者: 辛广, 教授, 博士, 主要研究方向为果蔬加工与贮藏。E-mail: xguang212@163.com

*Corresponding author: XIN Guang, Professor, Ph.D, Shenyang Agriculture University, No.120 Dongling Road, Shenhe District, Shenyang 110866, Liaoning Province, China. E-mail: xguang212@163.com

1 引言

食用菌是人类可以食用的大型真菌,常见的包括灵芝、银耳、香菇、平菇、金针菇和猴头菇等^[1]。我国的食用菌资源很丰富,据专家估计,我国食用菌可达1500~2000种^[2],产量已达3000多万吨,占世界的比重为70~80%^[3,4]。食用菌营养丰富,蛋白含量高且氨基酸种类齐全,含有8种人体必需氨基酸;碳水化合物含量高,一般占干重的60%左右;维生素含量高,富含硫胺素、核黄素、泛酸、烟酸、尼克酸和抗坏血酸等多种维生素;矿物质含量高,特别是钾元素的含量较高;膳食纤维含量高;低脂肪、低热量^[5-8];还富含多糖类、三萜类、蛋白类、多肽类、腺嘌呤核苷、牛磺酸、甘露醇和内脂等^[9-11]。食用菌能够增强机体免疫力、抑制肿瘤^[12,13],可以降低胆固醇、降血压和抗血栓,抗衰老、抗病毒,预防心血管疾病^[14]、具有抗氧化的作用^[6],并对肝脏有一定的保护作用^[15],还具有止咳祛痰、健胃助消化和通便利尿等作用^[16,17]。其中起到抗氧化作用的物质包括多糖类物质、黄酮类化合物以及三萜类化合物^[18]等。

黄酮类化合物是一类具有2-苯基色原酮(2-phenyl-chromone)结构并以游离态或者糖苷形式存在的化合物^[19],是目前受到广泛关注的天然活性化合物之一,现在已知的黄酮类化合物有4000种^[20]。黄酮类化合物可分为黄酮及类黄酮、黄酮醇、双黄酮、花色苷、异黄酮、二氢黄酮及二氢黄酮醇和查儿酮^[21]。天然黄酮提取物是一种很强的抗氧化剂,能够有效清除体内的氧自由基^[22],可以延缓细胞的退化、衰老,也可阻止癌症的发生^[23],并且具有增强机体免疫力、抗炎抑菌、降血糖、抗辐射、以及预防心血管疾病等作用^[24,25]。流行病学调查和实验研究证实^[26-28],植物黄酮具有抗氧化、抗炎症、抗肿瘤及抗动脉粥样硬化等广泛优良的生物学效应,特别是在肿瘤的发生、增殖、迁移、侵袭、血管生成以及耐药性生成等各阶段都具有显著的抑制作用^[29-31]。Alicia等^[32]通过对食用菌中23种实验材料进行研究,得出蘑菇中不含有黄酮类物质的结论,使得人们对食用菌中黄酮类物质的研究更感兴趣,因此本文对食用菌中的黄酮类物质进行综述。

2 食用菌中黄酮类物质的测定

2.1 食用菌中黄酮类物质的测定方法

测定黄酮类化合物通常采用分光光度法、高效液相色谱法、毛细管电泳法、超临界流体色谱法和薄层色谱法等^[33]。

2.1.1 分光光度法

分光光度法是根据黄酮类物质上的酚羟基及其还原性羰基能与金属盐试剂形成有色络合物的原理^[34],该法设备和操作简单,但由于测定的是混合物体系中的黄酮含量,

所以误差较大。黄酮类物质通常采用硝酸铝比色法^[35],食用菌中黄酮类物质的测定也通常采用此种方法。其基本原理是以芦丁为标准品,经 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 络合体系显色,全波段扫描在510 nm处有最大吸收峰,通过测定其吸光度来计算含量。李宁豫等^[36]利用此法测定了黑木耳中黄酮类化合物的含量为0.79%。

2.1.2 高效液相色谱法

用高效液相色谱法进行食品和中药成分等复杂混合物分析常遇到一些问题:一是分析时间长、分离效率低,即使采用梯度洗脱技术也难使某些成分完全分离;二是仪器比较昂贵,色谱柱容易被污染,而且污染后难以清洗,使柱的使用寿命缩短^[35]。然而,本方法也有一些优势,如张廷之等^[36]用反相高效液相色谱法测定了毛竹叶中总黄酮的含量,并与分光光度法作了比较。结果表明,两者测定结果较接近,但HPLC法相对干扰少,重现性好,测定结果更为精确可靠,比色法稳定性稍差。

2.1.3 毛细管电泳法

毛细管电泳法是离子或荷电粒子以电场为驱动力,在毛细管中按其淌度或分配系数不同进行高效、快速分离的电泳新技术^[34]。毛细管电泳具有高效快速、进样量少、重现性好、不易污染等优点,近几年被用于天然产物分析,得到了较大的发展^[37]。

2.1.4 超临界流体萃取法

此法在许多其他国家使用的较多,而在我国还属于仍需探究的阶段。

2.1.5 薄层扫描法

薄层色谱又叫薄板层析,是色谱法的一种,是快速分离和定性分析少量物质的一种很重要的实验技术,属固-液吸附色谱。它兼备了柱色谱和纸色谱的优点,一方面适用于少量样品(1 μg甚至0.01 μg)的分离;另一方面在制作薄层板时,把吸附层加厚加大,因此又可用来精制样品。此方法具有设备简单、操作方便和分离速度快等特点,但离线操作使其分辨率和重现性等不如高效液相色谱法和气相色谱法,常被作为定性和半定量手段^[37],近年来利用薄层扫描法定量测定植物中黄酮类成分的研究很多^[38]。

2.2 食用菌中黄酮类物质的定量

多种食用菌中黄酮类化合物的含量如表1所示。从表1中的数据可知,很多食用菌都富含黄酮类化合物,且大球盖菇中的含量最多,能达到7.94%。

3 食用菌黄酮类物质的提取与分离

3.1 食用菌黄酮类物质的提取

黄酮类化合物的提取方法通常有微波提取法、超声波辅助提取法、酶辅助提取法、超临界流体萃取法和半仿生提取法等^[51]。

表 1 13 种食用菌的黄酮类化合物的含量
Table 1 Content of flavonoids in 13 kinds of edible fungi

种类	含量
长裙竹荪	3.03 ~ 3.60 mg/g ^[37,38]
美味牛肝菌	1.15% ^[39]
大球盖菇	7.94% ^[40]
金针菇	4.46% ^[41]
黑木耳	0.43% ~ 0.79% ^[36,42-44]
榆黄菇	1.33 mg/g ^[44]
秀珍菇	0.87 mg/g ^[44]
平菇	3.16 mg/g ^[44]
桑黄	1.277 % ^[45]
双孢蘑菇	3.41% ^[46]
香菇	0.738% ^[47]
杏鲍菇	2.92% ^[48]
毛木耳	0.138% ^[49]
真姬菇	0.229 mg/g ^[50]
白玉菇	0.375 mg/g ^[50]

3.1.1 微波提取法

微波提取法是利用不同结构的物质在微波场中吸收不同的微波,使其被选择性加热,从而从基体或体系中分离出被提取的物质^[52]。赵爽等^[49]等用此法测定了毛木耳中黄酮类化合物的含量。此法具有耗时短、溶剂消耗量少、提取效率高及环境污染程度小等特点,且适用于对热不稳定的物质的提取。

3.1.2 超声波辅助提取法

超声波提取法是利用超声波产生的一系列机械作用、扩散、热效应和空化作用加强细胞内物质的释放,从而使植物中有效成分加速扩散和浸出^[51]。回晶等^[45]等利用此法测定了桑黄中的黄酮类化合物的含量。超声波提取法能够缩短提取时间,增加有效成分的提取率以及原料的利用率,且污染小。

3.1.3 酶辅助提取法

酶辅助提取法利用酶反应的高度专一性,破坏细胞壁、细胞间质等成分,从而充分地释放出其中的黄酮类物质,此法适用于被细胞壁包围且不易被提取的黄酮类物质^[52]。王广惠等^[41]利用此法测定了金针菇中的黄酮类化合物的含量。其优点是实验条件温和,难点是需要精准控制好反应时的温度和 pH 值,对实验的设备要求较高,操作较复杂。

3.1.4 超临界流体萃取法

超临界流体萃取法是利用某种液体在临界点附近一定区域内有溶解能力强、流动性好、传递性能高等特点^[53],最常用的超临界流体为 CO₂。许远等^[37]等利用此法测定了

长裙竹荪中黄酮类化合物的含量。此法具有萃取速度快、效率高及操作简单等特点,产品中并没有残留有机溶剂,与传统的萃取分离工艺相比优势明显。此外,超临界 CO₂ 萃取较易与其他先进技术联用,成为新型而有效的分离分析技术^[35]。

食用菌中黄酮的提取方法主要是超临界 CO₂ 萃取法、超声波辅助提取法、乙醇回流提取法、浸提法、复合酶法及微波法。对不同食用菌中黄酮类物质的提取方法研究见表 2。通过表 2 可以发现,以超声波辅助法提取食用菌中黄酮类化合物的研究最多。

表 2 10 种食用菌的黄酮类物质的提取方法
Table 2 Methods for extracting flavonoids from 10 kinds of edible fungi

方法	种类
超临界 CO ₂ 萃取法	长裙竹荪 ^[37]
超声波辅助提取法	美味牛肝菌 ^[39] 、黑木耳 ^[36] 、桑黄 ^[45] 、双孢蘑菇 ^[46] 、杏鲍菇 ^[48] 、长裙竹荪 ^[38]
乙醇回流提取法	大球盖菇 ^[40]
浸提法	黑木耳 ^[42] 、香菇 ^[47]
复合酶法	金针菇 ^[41]
微波法	黑木耳 ^[43] 、毛木耳 ^[49]

3.2 食用菌黄酮类物质的分离纯化

近年来黄酮类化合物的分离纯化方法包括:溶剂萃取法、pH 梯度萃取法、膜分离、柱层析法以及双水相萃取法等^[51]。而分离纯化食用菌中的黄酮类化合物的常用方法是溶剂萃取法和大孔树脂法等。

3.2.1 溶剂萃取法

溶剂萃取法是目前较常见的一种方法^[54]。它是利用黄酮类物质的极性不同,选取不同溶剂相继萃取。许远等^[37]利用溶剂萃取法分离纯化长裙竹荪中的总黄酮,结果表明,选择 V:V=1:4 的石油醚做分离试剂,效果最好。此法会损失较多的黄酮类化合物,而且需要较多的化学试剂,容易污染环境。

3.2.2 柱层析法

柱层析法是一种常用的分离纯化方法。它包括硅胶柱层析法、聚酰胺柱层析法、葡萄糖凝胶柱层析法及大孔树脂柱层析法等。硅胶主要用于分离异黄酮、二氢黄酮、二氢黄酮醇和高度甲基化(或是乙酰化)的黄酮及黄酮醇类。聚酰胺可用于分离极性与非极性物质。聚酰胺柱层析法对黄酮类化合物具有良好的分离效果,是目前对于分离黄酮类化合物来说比较简单且有效的一种方法。吸附树脂是吸附和筛选原理相结合的分离材料,其性质稳定,不溶于酸、碱和有机溶剂。吸附性是由于范德华力或是形成氢键所引起的,筛选原理是由本身多孔性的结构而决定的。崔福顺

表3 6种食用菌的抗氧化能力
Table 3 Antioxidant capacity of 6 kinds of edible fungi

种类	抗氧化能力
长裙竹荪	还原力较好,清除羟基自由基、超氧阴离子能力较强 ^[57]
金针菇	清除超氧阴离子和羟基自由基都有明显的效果,且清除超氧阴离子的效果要明显的高于羟基自由基 ^[61] ,对于DPPH自由基也有较好的清除能力,且在相同浓度下金针菇的黄酮提取液的抗氧化能力要显著高于V _C 和V _E ^[62]
美味牛肝菌	95%醇提取物和水提取物都具有一定的抗氧化性 ^[60] ,且一定量美味牛肝菌中的黄酮类化合物具有增强机体清除自由基的能力 ^[55] 。
桑黄	超氧阴离子、羟基自由基、烷氧基、烷过氧基具有较明显的抑制作用,呈现一定的量效关系 ^[45] 。
双孢蘑菇	对于猪油的氧化具有明显的抑制作用,随着质量分数的增大其抗氧化能力增强 ^[46] 。
香菇	具有一定的还原力,对于超氧自由基和羟基自由基均有一定的清除能力 ^[47] 。

等^[55]利用大孔树脂 AB-8 分离纯化美味牛肝菌中的总黄酮。它具有稳定性高,不溶于酸、碱及有机溶剂,吸附性好、再生简单、使用周期长、解吸条件温和、费用低等优点^[56],是近年来被广泛采用的一种用于分离纯化的方法。

4 黄酮类物质的活性

4.1 抗氧化

黄酮类化合物的抗氧化作用是指其对单线态氧以及含氧自由基的清除能力^[57],其中包括清除自由基、淬灭单线态氧、清除超氧化物、清除氧自由基及抑制脂质过氧化等^[58]。自由基清除能力的检测是测定体外抗氧化活性的最直接的方法之一,其原理是 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)与抗氧化剂结合时,孤对电子能够配对,使 515 nm 处的吸光度值明显降低,且降低程度与自由基被清除的程度呈线性关系,并且可对抗氧化剂进行定量分析^[59]。缪钱江等^[44]利用 DPPH 法和 FRAP 法检测发现榆黄菇、秀珍菇、黑木耳、平菇的黄酮类提取物均存在较高的抗氧化活性,且平菇和榆黄菇的活性较高。崔福顺等^[60]进行了体内试验,验证了美味牛肝菌中的总黄酮的抗氧化作用。对不同食用菌中黄酮类物质的抗氧化能力研究见表 3。

4.2 抑菌作用

黄酮类化合物具有抑菌的作用。陈君琛等^[40]等研究表明,大球盖菇黄酮类化合物具有抑菌作用,且对大肠杆菌的抑制效果最好,对青霉菌的抑制效果要弱于大肠杆菌,而对啤酒酵母没有抑制作用。

4.3 抑制肿瘤

黄酮类化合物能够减小甚至消除一部分化学致癌物的毒性,抑制肿瘤细胞的生长,使其分化,并能调节体内酶系统^[51]。其抗癌、防癌的作用主要通过 3 个途径实现,分别是直接抑制癌细胞的生长,对抗自由基以及对抗致癌以及促癌因子^[63]。黄酮类化合物能充分降低致癌因子的诱癌

作用,并通过调节细胞复制周期以及细胞凋亡来抑制癌细胞的增殖,或者通过增加细胞内部信息连接的距离,抑制其内部信号传递,从而减少肿瘤促进剂对肿瘤细胞的诱导,达到抑制癌细胞增殖的目的^[64]。回晶等^[45]研究结果表明,桑黄黄酮溶液对大肠癌细胞 CX-1 有抑制作用,且随着其浓度的升高,抑制细胞的能力也越强,剂量效应关系十分明显。韩乐等^[65]研究结果表明,金针菇钟的黄酮类化合物可以抑制肿瘤细胞的增殖而对正常细胞 WPMY-1 的增殖无抑制作用,说明其具有外抗肿瘤的活性。缪钱江等^[44]研究结果表明,榆黄菇、秀珍菇、黑木耳、平菇中的黄酮类物质能够直接杀伤 MCF7 细胞,其中平菇黄酮的活性最高。

5 展望

目前,人们对食品的需求更注重安全及营养^[66]。食用菌有多种药用价值及保健作用,已受到世界各国的广泛关注^[67]。食用菌中的黄酮类化合物大多集中在含量的测定和抗氧化活性等方面,对其分离纯化和结构分析鲜有报道,使得食用菌中存在黄酮类化合物缺乏更为直接的证据。对于 Alicia 等学者的结论,也应该谨慎,毕竟他们研究的材料只有几十种。建议对更多食用菌的黄酮类化合物的纯化和结构鉴定以及与黄酮化合物有关的基因组学上做更深入的研究,确定食用菌是否含有黄酮类化合物及相应的抗氧化机理,进而探讨其生物活性,这对食用菌研究具有重要意义。

参考文献

- [1] 杨文建,赵立艳,安欣欣,等.食用菌营养与保健功能研究进展[J].食药菌,2011,19(1):15-18.
Yang WJ, Zhao LY, An XX, et al. Research Progress on nutrition and health function of edible fungi [J]. Edible Med Mushrooms, 2011, 19(1): 15-18.
- [2] 付立志,吴学谦,吴庆其,等.我国食用菌种质资源现状及其发展趋势

- [J]. 食用菌学报, 2005, 25(5): 43-48.
Fu LZ, Wu XQ, Wu QQ, *et al.* Research status and prospect of edible mushroom breeding in China [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2005, 25(5): 43-48.
- [3] 张金霞, 陈强, 黄晨阳. 食用菌产业发展历史、现状与趋势[J]. 菌物学报, 2015, 34(4): 524-540.
Zhang JX, Chen Q, Huang CY. History, current situation and trend of edible mushroom industry development [J]. *Mycosystema*, 2015, 2015, 34(4): 524-540.
- [4] 张俊飏, 李波. 对我国食用菌产业发展的现状与政策思考[J]. 华中农业大学学报, 2012, 101(5): 13-21.
Zhang JB, Li B. The present situation and policy thinking on the development of edible fungus industry in China [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2012, 101(5): 13-21.
- [5] 张金霞, 黄晨阳, 高巍, 等. 中国食用菌产业的多功能性与展望[J]. 浙江食用菌, 2009, 17(1): 8-11.
Zhang JX, Huang CY, Gao W, *et al.* Multi function and prospect of edible fungus industry in China [J]. *Zhejiang Edible Mushrooms*, 2009, 17(1): 8-11.
- [6] 李月梅. 食用菌的功能成分与保健功效[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 517-521.
Li YM. Function components and health function of edible fungi [J]. *Food Sci*, 2005, 26(8): 517-521.
- [7] Paraskevi KO, Dimitrios P, Wolf-Dietrich K, *et al.* Nutritional value and metal content of wild edible mushrooms collected from West Macedonia and Epirus, Greece [J]. *Food Chem*, 2009, 115(4): 1575-1580.
- [8] Agrahar-Murugkar D, Subbulakshmi G. Nutritional value of edible wild mushrooms collected from the Khasi hills of Meghalaya [J]. *Food Chem*, 2004, 89(4): 599-603.
- [9] Gao Y, Tang W, Dai X, *et al.* Effects of water-soluble Ganoderma lucidum polysaccharides on the immune functions of patients with advanced lung cancer [J]. *J Med Food*, 2005, 8(2): 159-168.
- [10] Barros L, Venturini BA, Baptista P, *et al.* Chemical composition and biological properties of portuguese wild mushrooms: a comprehensive study [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(10): 3856-3862.
- [11] Mattila P, Konko K, Eurola M, *et al.* Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 44(5): 3856-3862.
- [12] Borchers AT, Krishnamurthy A, Keen CL, *et al.* The immunobiology of mushrooms [J]. *Exp Biol Med*, 2008, 233(3): 259-276.
- [13] Ribeiro LR, Mantovani MS, Ribeiro DA, *et al.* Brazilian natural dietary components (annatto, propolis and mushrooms) protecting against mutation and cancer [J]. *Hum Exp Toxicol*, 2006, 25(5): 267-272.
- [14] Eva G, Ana GL, Miguel L. Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases [J]. *Fitoterapia*, 2010, 81(7): 715-723.
- [15] Lindequist U, Niedermeyer THJ, Julich WD. The pharmacological potential of mushrooms [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2005, (2): 285-299.
- [16] Wang J, Zhou ZD, Xia DJ. Study on effect of lentinan in enhancing anti-tumor action of dendritic cytoma vaccine and its mechanism [J]. *Chin J Integr Tradit Western Med*, 2007, 27(1): 60-64.
- [17] Kupfahl C, Geginat G, Hof H. Lentinan has a stimulatory effect on innate and adaptive immunity against murine *Listeria monocytogenes* infection [J]. *Int Immunopharmacol*, 2005, 6(4): 686-696.
- [18] 钟耀广, 刘长江, 林楠, 等. 食用菌活性成分研究进展[J]. 食品研究与开发, 2007, 128(10): 170-172.
Zhong YG, Liu CJ, Lin N, *et al.* Research progress on active components of edible fungi [J]. *Food Res Dev*, 2007, 128(10): 170-172.
- [19] 张来, 杨碧昌, 何绍红, 等. 植物黄酮类化合物的基础研究及应用[J]. 安顺学院学报, 2011, 13(3): 132-136.
Zhang L, Yang BC, He CH, *et al.* Basic research and application of plant flavonoids [J]. *J Anshun Univ*, 2011, 13(3): 132-136.
- [20] 乌兰格日乐, 白海泉, 翁惠. 黄酮的抗氧化活性研究进展[J]. 内蒙古民族大学学报, 2008, 23(3): 277-280.
Wu LGRL, Bai HQ, Weng H. Research progresses for anti-oxidation of flavones [J]. *J Inner Mongolia Univ National*, 2008, 23(3): 277-280.
- [21] Hodnick WF, Milosavljevic EB, Nelson JH, *et al.* Electrochemistry of flavonoids: Relationships between red ox potentials, inhibitions of mitochondrial respiration and production of oxygen radicals by flavonoids [J]. *Biochem Pharm*, 1988, (37): 2607-2611.
- [22] Pietta PG. Flavonoids as antioxidants [J]. *J Nat Prod*, 2000, 63(7): 1035-1042.
- [23] Romagnolo DF, Selmin OI. Flavonoids and cancer prevention: a review of the evidence [J]. *J Nutr Gerontol Geriatrics*, 2012, 31(3): 206-238.
- [24] 曹纬国, 刘志勤, 邵云, 等. 黄酮类化合物药理作用的研究进展[J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2241-2247.
Cao WG, Liu ZQ, Shao Y, *et al.* A progress in pharmacological research of flavonoids [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2003, 23(12): 2241-2247.
- [25] Kurowska EA, Manthey JA. Hypolipidemic effects and absorption of citrus polymethoxylated flavones in hamsters with diet induced hypercholesterolemia [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(10): 2879-2886.
- [26] Arai Y, Watanabe S, Kimira M, *et al.* Dietary intakes of flavonoids, flavones and isoflavones by Japanese women and the inverse correlation between quercetin intake and plasma LDL cholesterol concentration [J]. *J Nutr*, 2000, 130(9): 2243-2250.
- [27] DeVries JHM, Janssen PLTNK, Hollman PCH, *et al.* Consumption of quercetin and kaempferol in freelifving subjects eating a variety of diets [J]. *Cancer Lett*, 1997, 114(1-2): 141-144.
- [28] Hertog MGL, Kromhout D, Aravanis C, *et al.* Flavonoid intake and long term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study [J]. *Arch Intern Med*, 1995, 155(4): 381-385.
- [29] Hertog MGL, Hollman PCH, Katan MB, *et al.* Intake of potentially anticarcinogenic flavonoids and their determinants in adults in The Netherlands [J]. *Nutr Cancer*, 1993, 20(1): 21-29.
- [30] Commenges D, Scotet V, Renaud S, *et al.* Intake of flavonoids and risk of dementia [J]. *Europ J Epidemiol*, 2000, 16(4): 357-363.
- [31] Garcia CR, Gonzalez CA, Agudo A, *et al.* Intake of specific carotenoids and flavonoids and the risk of gastric cancer in Spain [J]. *Cancer Causes Control*, 1999, 10(1): 71-75.
- [32] Alicia GR, Cristina PC, Esther B, *et al.* Mushrooms do not contain flavonoids [J]. *J Funct Foods*, 2016, 25: 1-13.
- [33] 姜洪波. 黄酮类物质的提取和含量测定方法研究进展[J]. 化工时刊, 2010, 24(11): 45-49.
Jiang HB. Research advances in extraction purification and content determination of methods flavonoid [J]. *Chem Ind Times*, 2010, 24(11): 45-49.
- [34] 李凤林, 李青旺, 高大威. 天然黄酮类化合物含量测定方法研究进展

- [J]. 调研综述, 2010, (134): 8-12.
- Li FL, Li QW, Gao DW. Research progress on determination methods of natural flavonoids [J]. *Surv Rev*, 2010, (134): 8-12.
- [35] 张岩, 曹国杰, 张燕, 等. 黄酮类化合物的提取以及检测方法的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(1): 154-157.
- Zhang Y, Cao GJ, Zhang Y, *et al.* Research on the extraction and identification of flavonoids [J]. *Food Res Dev*, 2008, 29(1): 154-157.
- [36] 张廷之, 侯镜德, 徐秀珠. 反相高效液相色谱法测定毛竹叶中总黄酮[J]. *《理化检验(化学分册)》*, 2001, 37(3): 117-118.
- Zhang TZ, Hou DJ, Xu XZ. Determination of total flavonoids in bamboo leaves by reversed phase high performance liquid chromatography [J]. *Phys Test Chem Anal Part B(Chem Anal)*2001, 37(3): 117-118.
- [37] 许远, 魏和平, 操璟璟. 超临界 CO₂ 萃取长裙竹荪总黄酮的工艺优化及抗氧化研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(12): 204-210.
- Xu Y, Wei HP, Cao JJ. Study on optimization of extraction of total flavonoids from dictyophora indusiata fisch. by supercritical CO₂ and its antioxidant activity [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(12): 204-210.
- [38] 许远, 魏和平, 吴彦. 响应面优化长裙竹荪总黄酮提取工艺研究[J]. *长江大学学报*, 2015, 12(15): 67-73.
- Xu Y, Wei HP, Wu Y. Response surface optimize the extraction process of total flavonoids of dictyophora indusiata fisch [J]. *J Yangtze Univ*, 2015, 12(15): 67-73.
- [39] 崔福顺, 李松涛, 董敏. 超声辅助提取美味牛肝菌总黄酮的工艺研究[J]. *食品工业*, 2012, 33(9): 23-25.
- Cui FS, Li ST, Dong M. Extraction of total flavonoids from boletus edulis with ultrasonic assistance [J]. *Food Ind*, 2012, 33(9): 23-25.
- [40] 陈君琛, 李怡彬, 吴俐, 等. 大球盖菇黄酮类化合物提取及抑菌性研究[J]. *北京工商大学学报*, 2010, 28(6): 9-13.
- Chen JC, Li YB, Wu L, *et al.* Study on the extraction and antibacterial activity of Flavonoids from *Stropharia rugoso-annulata* Farlow [J]. *J Beijing Technol Bus Univ*, 2010, 28(6): 9-13.
- [41] 王广惠, 魏雅冬, 于德涵. 复合酶法提取金针菇总黄酮的优化[J]. *湖北农业科学*, 2015, 54(14): 3482-3484.
- Wang GH, Wei YD, Yu DH. Optimization of complex enzymatic extraction of flavone from *Flammulina velutiper* (Fr.) Sing [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, 54(14): 3482-3484.
- [42] 韩秋菊, 李薇. 黑木耳黄酮类化合物提取工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(28): 17237-17238.
- Han QJ, Li W. Study on flavonoids extraction from auricularia auricula by ethanol extraction method [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2011, 39(28): 17237-17238.
- [43] 韩秋菊, 马宏飞, 李薇. 微波法提取黑木耳黄酮类化合物的研究[J]. *化学与生物工程*, 2011, 28(11): 54-56.
- Han QJ, Ma HF, Li W. Study on microwave extraction of flavonoids from *Auricularia auricula* [J]. *Chem Bioeng*, 2011, 28(11): 54-56.
- [44] 缪钱江, 刘宇, 许峰, 等. 4种食用菌总黄酮生物功能的研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(7): 206-209.
- Miu QJ, Li Y, Xu F, *et al.* Research on total flavonoids bioactivity of edible fungus [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(7): 206-209.
- [45] 回晶, 李其久, 边媛媛, 等. 桑黄总黄酮超声提取工艺及其生物活性研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(24): 195-198.
- Hui J, Li QJ, Bian YY, *et al.* Ultrasound-assisted extraction and biological activity of total flavonoids from *Phellinus igniarius* [J]. *Food Sci*, 2010, 31(24): 195-198.
- [46] 缪成贵, 韩园飞, 钟敏, 等. 双孢蘑菇总黄酮抗脂质氧化作用研究[J]. *中国林副特产*, 2010, (3): 11-13.
- Miu CG, Han YF, Zhong M, *et al.* Study of antioxygenic activity of flavonoid of *Agaricus bisporus* for Lipid [J]. *Forest By-ProductSpec China*, 2010, (3): 11-13.
- [47] 李利华. 香菇中总黄酮含量的测定及抗氧化活性研究[J]. *光谱实验室*, 2009, 26(3): 680-684.
- Li LH. Determination and antioxidant activity of total flavonoids in letinous edodes [J]. *Chin J Spectr Lab*, 2009, 26(3): 680-684.
- [48] 孙琼, 张直峰, 李月梅. 响应面法优化超声辅助提取杏鲍菇黄酮类化合物工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(10): 264-268.
- Sun Q, Zhang ZF, Li YM. Optimized ultrasonic-assisted extraction process of flavonoids from *Pleurotus eryngii* by response surface methodology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(10): 264-268.
- [49] 赵爽, 殷贝贝, 刘宇, 等. 响应面法优化毛木耳中总黄酮提取工艺参数[J]. *食品工业*, 2012, (2): 1-3.
- Zhao S, Yin BB, Liu Y, *et al.* Research on optimization of flavonoids isolation technology in *Auricularia polytricha* fruit body by response surface methodology [J]. *Food Ind*, 2012, (2): 1-3.
- [50] 林群英, 叶运寿, 宋斌. 真姬菇与白玉菇子实体部分成分比较[J]. *广东农业科学*, 2012, (10): 53-55.
- Lin QY, Ye YS, Song B. Comparison of selected chemical component levels in fruit bodies of *Hypsizygos marmoreus* and its albino strain [J]. *Agric Sci Guangdong*, 2012, (10): 53-55.
- [51] 王倩, 常丽新, 唐红梅. 黄酮类化合物的提取分离及其生物活性研究进展[J]. *河北理工大学学报*, 2011, 33(1): 110-115.
- Wang Q, Chang LX, Tang HM. Research progress on extraction and separation of flavonoids and their biological activities [J]. *J Hebei Politechnic Univ*, 2011, 33(1): 110-115.
- [52] 钱俊臻. 黄酮类化合物提取方法的研究进展[J]. *化工文摘*, 2008, (6): 35-37.
- Qian JZ. Research progress on extraction methods of flavonoids [J]. *Chem Eng Abstracts*, 2008, (6): 35-37.
- [53] Sofia Cavero, Monica R, Garcia-Riseo, *et al.* Supercritical fluid extraction of Antioxidant compounds from oregano: Chemical and functional characterization via LC-MS and in vitro assays [J]. *J Superc Fluids*, 2006, 38(1): 62-69.
- [54] 宋晓凯. 天然药物化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- Song XK. Natural medicinal chemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [55] 崔福顺, 张华, 李官浩, 等. 美味牛肝菌黄酮类提取物体内抗氧化作用研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(8): 201-205.
- Cui FS, Zhang H, Li GH, *et al.* The antioxidant activities in vivo of the total flavonoids from *Boletus edulis* of Changbai mountain [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(8): 201-205.
- [56] 赖毅勤, 周宏兵. 近年来黄酮类化合物提取和分离方法研究进展[J]. *食品与药品*, 2007, 9(4): 54-58.
- Lai YQ, Zhou HB. Research advance on extraction and separation technology of flavonoids [J]. *Food Drug*, 2007, 9(4): 54-58.
- [57] 胡春, 丁霖霖. 黄酮类化合物在不同氧化体系中的抗氧化作用研究[J]. *食品与发酵工业*, 1996, (3): 47-49.
- Hu C, Ding XL. Antioxidant effect of flavonoids in different oxidation

- systems [J]. Food Ferment Ind, 1996, (3): 47-49.
- [58] 郑荣梁. 自由基生物学[M]. 北京: 北京高等教育出版社, 1992.
Zheng RL. Free radical biology [M]. Beijing: Beijing Higher Education Press, 1992.
- [59] 王丽. 几种黄酮类化合物清除 DPPH 自由基微量模型的建立[D]. 开封: 河南大学, 2009.
Wang L. Establishment of a few flavonoids scavenging DPPH free radical micro model [D]. Kaifeng: Henan University, 2009.
- [60] 崔福顺, 金成学, 崔承弼. 长白山美味牛肝菌提取物清除自由基活性的研究[J]. 食品工业, 2013, 34(5): 133-136.
Cui FS, Jin CX, Cui CB. Study on scavenging free radical activity of extracts from *Boletus edulis* of Changbai Mountain [J]. Food Ind, 2013, 34(5): 133-136.
- [61] 方玉梅, 张春生, 谭萍, 等. 金针菇黄酮类化合物的抗氧化性作用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 15-18.
Fang YM, Zhang CS, Tan P, *et al.* The anti-oxidation of the flammulina velutipes flavonoids [J]. Food Res Dev, 2012, 33(3): 15-18.
- [62] 方玉梅, 谭萍, 王毅红, 等. 金针菇黄酮类化合物清除 DPPH 自由基活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(7): 8-10.
Fang YM, Tan P, Wang YH, *et al.* Study on scavenging DPPH radical activity with flavonoids in *Flammulina Velutipes* [J]. Food Res Dev, 2012, 33(7): 8-10.
- [63] Hertog MGL, Hollman PCH, Katan M.B. Phenols and Caffeine in wet-processed coffee beans and coffee pulp [J]. Agric Food Chem, 1992, (40): 2397-2383.
- [64] 焦士蓉, 黄承钰. 柑橘属类黄酮生物活性的研究进展[J]. 西华大学学报, 2008, 27(1): 34.
Jiao SR, Huang CJ. Research Progress on biological activity of Citrus flavonoids [J]. J Xihua Univ, 2008, 27(1): 34.
- [65] 韩乐, 韩伟, 张美彦. 金针菇子实体有机溶剂提取物的生物活性[J]. 菌物学报, 2016, 35(2): 178-187.
Han L, Han W, Zhang MY. Biological activities of organic solvent extracts from fruiting bodies of *Flammulina velutipes* [J]. Mycosystema, 2016, 35(2): 178-187.
- [66] 兰良程. 中国食用菌产业现状与发展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(5): 205-208.
Lan LC. The status quo and development of china's edible mushroom industry [J]. Chin Agric Sci Bull, 2009, 25(5): 205-208.
- [67] 陈爱葵, 易广, 陈爱群. 食用菌在提高人体免疫力方面的功效[J]. 中国食用菌, 2003, 23(3): 7-8.
Chen AK, Yi G, Chen AQ. The effect of edible fungi in improving human immunity [J]. Edible Fungi China, 2003, 23(3): 7-8.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



宫 雪, 硕士研究生, 从事果蔬加工及贮藏方向研究。
E-mail: 1102568329@qq.com



辛 广, 教授, 博士, 主要研究方向为果蔬加工及贮藏。
E-mail: xguang212@163.com