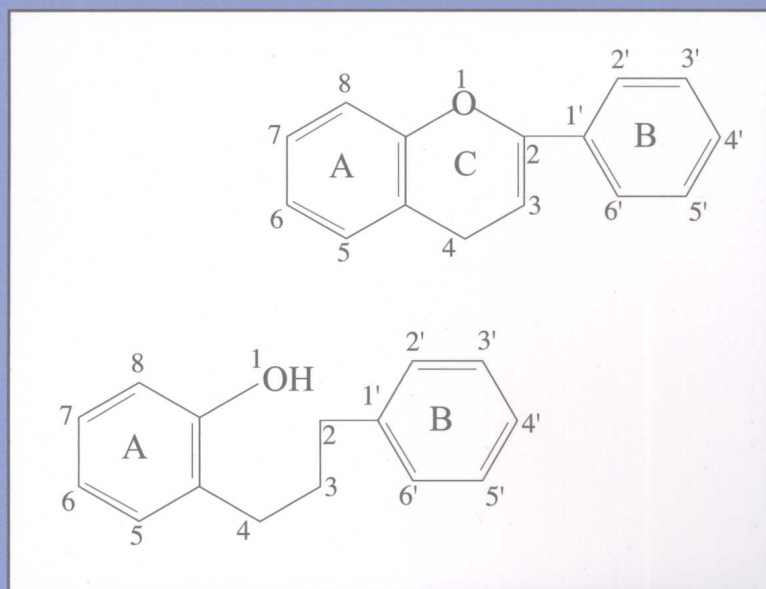


黄酮类化合物研究

唐浩国 等 著



科学出版社

黄酮类化合物研究

唐浩国 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统研究了黄酮类化合物的成分、生理功能作用、产品开发、安全毒理学评价等,内容涉及天然产物化学、食品功能化学、生物化学、分子生物学、毒理学和细胞免疫学的研究前沿和热点。

全书共分四篇十八章。第一篇为黄酮类化合物的化学成分研究,包括黄酮的提取分离、纯化精制、分析和结构解析;第二篇为黄酮类化合物的安全性毒理学评价,包括毒理学基础、我国现行的食品安全性毒理学评价程序和黄酮安全性毒理学评价试验;第三篇为黄酮类化合物的功能作用研究,包括黄酮的抗氧化作用,增强免疫调节作用,抗衰老和抗疲劳作用,降血脂作用,抗菌抑菌作用和诱导肿瘤细胞凋亡作用;第四篇为黄酮的产品开发,包括黄酮软饮料,黄酮啤酒,黄酮保健胶囊,黄酮抗氧化剂,黄酮美容护肤品。

本书内容较新,涉及范围较广,可供天然有机化学、食品功能化学、中草药化学、医药学、生物工程及植物学等有关专业研究生、教师和科研人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

黄酮类化合物研究/唐浩国等著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-023425-4

I. 黄… II. 唐… III. 黄酮类化合物-研究 IV. O626.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 181897 号

责任编辑:黄 海 / 责任校对:鲁 素

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张:28 3/4

印数:1—2 000 字数:563 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

本书由

河南科技大学学术著作出版基金资助

河南科技大学人才研究基金 05108 资助

河南科技大学人才研究基金 05109 资助

河南科技大学科学研究基金 2006 ZY026 资助

前 言

黄酮类化合物又称黄酮体、黄碱素，是植物的次生代谢产物，存在于所有的维管植物的叶、根、茎、花和果实中，是以黄酮（2-苯基色原酮）为母核的一类黄色色素，现已查明在可食用的植物食品中有 5 000 多种黄酮类化合物。人体内不能合成黄酮类化合物，可以通过食用含有黄酮类化合物的食品以摄入此类化合物。估计人类每天摄入几百 mg 到 1g 黄酮类化合物。该物质有降血糖、降血脂、降血压、抗抑郁、调节神经内分泌、防治心脑血管疾病、抗骨质疏松症、镇痛等许多功效。更引人注目的是黄酮类化合物的抗肿瘤活性。

黄酮类化合物的结构解析、功能特性以及医药保健品的开发是近现代研究的热点和前沿。天然产物的黄酮化合物的纯化精制、结构解析、构效量效关系是研究的难题。采用化工合成和化学修饰人工合成药物类黄酮化合物也是研究的热点问题。

本书在作者多年的科研基础上系统探讨了黄酮类化合物的成分、生理功能作用、产品开发、安全毒理学评价等，其内容是天然产物化学、食品功能化学、生物化学、分子生物学、毒理学和细胞免疫学的研究前沿和热点。本书系统介绍了黄酮类化合物的提取分离纯化和结构鉴定，并从细胞水平和分子水平研究了黄酮类化合物增强免疫和诱导细胞凋亡效应及其作用机制，为类黄酮化学积累了基础性资料，为植物黄酮开发利用提供了理论依据；结合现代仪器的发展和研究手段的更新，以及工程技术的发展和广泛的市场前景，为深度开发植物黄酮资源提供了理论依据和产品开发实践。

全书共分四篇十八章，第一篇为黄酮类化合物的化学成分研究，包括第一章黄酮的提取分离、第二章黄酮的纯化精制、第三章黄酮的分析和第四章黄酮的结构解析；第二篇为黄酮类化合物的安全性毒理学评价，包括第五章毒理学基础、第六章我国现行的食品安全性毒理学评价程序和第七章黄酮安全性毒理学评价试验；第三篇为黄酮类化合物的功能作用研究，包括第八章黄酮的抗氧化作用，第九章黄酮增强免疫调节作用，第十章黄酮抗衰老和抗疲劳作用，第十一章黄酮降血脂作用，第十二章黄酮抗菌抑菌作用和第十三章黄酮诱导肿瘤细胞凋亡作用；第四篇为黄酮的产品开发，包括第十四章黄酮软饮料，第十五章黄酮啤酒，第十六章黄酮保健胶囊，第十七章黄酮抗氧化剂，第十八章黄酮美容护肤品。

本书绪论、第四章、第七章、第九章、第十一章、第十二章、第十三章由唐浩国撰写，第一章、第二章、第八章、第十章由李叶、唐浩国撰写，第三章、第

五章由李市场撰写，第六章由徐宝成撰写，第十四至十八章由钟先锋撰写。本书由唐浩国统稿定稿，全书由西南大学陈宗道教授审定。

本书除获得河南科技大学学术著作出版基金资助外，还获河南科技大学人才研究基金 05108、河南科技大学人才研究基金 05109 和河南科技大学科学研究基金 2006 ZY026 等多项基金的支持。在本书的撰写过程中得到了河南科技大学食品与生物工程学院同仁和河南科技大学学科建设处领导的大力支持和帮助，我的妻子魏晓霞女士一直默默承担了家庭事务和养育孩子的重任，对本书修改和打印也作了一定贡献。在此，作者一并表示由衷的谢意！

由于作者水平有限，加之时间较为仓促，书中谬误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

唐浩国

2008 年 7 月于洛阳周山

目 录

前言	
绪论	1

第一篇 黄酮类化合物的化学成分研究

第一章 黄酮的提取分离	31
1.1 引言	31
1.2 黄酮溶剂提取	34
1.3 黄酮微波助提	41
1.4 黄酮超声萃取	48
1.5 黄酮膜分离方法	55
1.6 黄酮大孔树脂吸附方法	63
1.7 黄酮硅藻土吸附	71
1.8 黄酮低压层析法	78
参考文献	81
第二章 黄酮的纯化精制	85
2.1 黄酮的硅胶柱色谱纯化	85
2.2 黄酮的聚酰胺柱色谱	94
2.3 黄酮的氧化铝柱色谱	99
2.4 黄酮的葡聚糖凝胶柱色谱	105
2.5 黄酮的铅盐沉淀法	110
2.6 黄酮的溶剂萃取法	113
参考文献	120
第三章 黄酮的分析	122
3.1 黄酮的平面色谱法分析	122
3.2 黄酮的高效液相色谱分析	127
3.3 黄酮的高效毛细管电泳分析	146
3.4 黄酮的色谱-质谱联用技术分析	155
参考文献	167
第四章 黄酮的结构解析	170
4.1 熔点测定	170

4.2 颜色鉴别反应	172
4.3 紫外光谱	173
4.4 红外光谱	174
4.5 核磁共振谱	174
4.6 圆二色谱 (CD) 和旋光谱 (ORD)	175
4.7 质谱	176
4.8 元素分析	179
4.9 黄酮的结构鉴定一般步骤	179
4.10 黄酮结构鉴定实例	180
参考文献	188

第二篇 黄酮类化合物的安全性毒理学评价

第五章 毒理学基础	193
5.1 毒理学基本概念	194
5.2 毒理学基本研究对象和方法	215
参考文献	217
第六章 我国现行的食品安全性毒理学评价程序	219
6.1 主题内容与实用范围	219
6.2 术语和定义	219
6.3 受试物的要求	219
6.4 评价的四个阶段及内容	220
6.5 对不同受试物选择毒性试验的原则	220
6.6 食品安全性毒理学评价的试验方法	222
6.7 评价试验的目的和结果判定	256
6.8 食品安全性毒理学评价需要考虑的主要因素	258
参考文献	260
第七章 黄酮安全性毒理学评价试验	261
7.1 引言	261
7.2 材料与方法	262
7.3 结果与分析	265
7.4 小结	270
参考文献	270

第三篇 黄酮类化合物的功能作用研究

第八章 黄酮的抗氧化作用	273
--------------------	-----

8.1 引言	273
8.2 材料与方法	280
8.3 结果与分析	284
8.4 小结	289
参考文献.....	289
第九章 黄酮增强免疫调节作用	291
9.1 引言	291
9.2 材料与方法	293
9.3 结果与分析	300
9.4 小结	309
参考文献.....	309
第十章 黄酮抗衰老和抗疲劳作用	312
10.1 黄酮的抗衰老作用.....	312
10.2 黄酮的抗疲劳作用.....	318
参考文献.....	326
第十一章 黄酮降血脂作用	328
11.1 引言.....	328
11.2 材料与方法.....	335
11.3 结果与分析.....	335
11.4 小结.....	336
参考文献.....	337
第十二章 黄酮抗菌抑菌作用	339
12.1 引言.....	339
12.2 材料与方法.....	344
12.3 结果与分析.....	345
12.4 小结.....	346
参考文献.....	346
第十三章 黄酮诱导肿瘤细胞凋亡作用	348
13.1 引言.....	348
13.2 材料与方法.....	360
13.3 结果与分析.....	369
13.4 小结.....	381
参考文献.....	382

第四篇 黄酮的产品开发

第十四章 黄酮软饮料	389
14.1 概论	389
14.2 竹叶黄酮饮料生产工艺	391
14.3 银杏黄酮饮料生产工艺	394
14.4 荷叶黄酮复合饮料的研究	398
14.5 小结	399
参考文献	399
第十五章 黄酮啤酒	401
15.1 概论	401
15.2 啤酒生产工艺	401
15.3 银杏黄酮啤酒生产工艺	404
15.4 竹叶黄酮酒	406
15.5 小结	407
参考文献	408
第十六章 黄酮保健胶囊	409
16.1 概论	409
16.2 竹叶黄酮胶囊制备工艺	412
16.3 银杏黄酮胶囊制备工艺	416
16.4 大豆异黄酮胶囊	418
16.5 小结	423
参考文献	423
第十七章 黄酮抗氧化剂	424
17.1 概论	424
17.2 竹叶黄酮抗氧化剂	426
17.3 苦荞麦黄酮抗氧化剂	426
17.4 大豆异黄酮抗氧化剂	426
17.5 黄酮抗氧化剂生产工艺	427
17.6 小结	427
参考文献	428
第十八章 黄酮美容护肤品	430
18.1 引言	430
18.2 竹叶黄酮美容护肤品	430
18.3 银杏黄酮美容护肤品	435

18.4 黄酮化妆品生产工艺.....	437
18.5 小结.....	444
附 化妆品的法规、标准、规定.....	445
参考文献.....	446

绪 论

1 黄酮的定义

黄酮类化合物 (flavonoids) 又称黄酮体、黄碱素和类黄酮, 是广泛存在于自然界的一大类化合物, 数量之多可列天然酚性化合物之首。黄酮类化合物在植物体内大部分与糖成苷, 一部分以苷元形式存在。由于这一类化合物多具有颜色且较早发现的化合物具有 2-苯基色原酮的结构 (如图 0-1 和图 0-2), 故称黄酮或黄酮体^[1]。

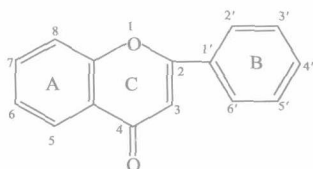


图 0-1 2-苯基色原酮

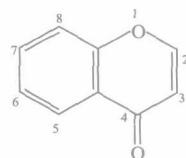


图 0-2 色原酮

从广义上讲, 黄酮类化合物是泛指两个苯环 (A 与 B) 通过三个碳原子相互连接而成的一系列化合物的总称, 具有以下的基本骨架 (见图 0-3)。

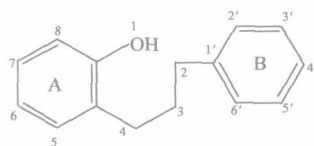
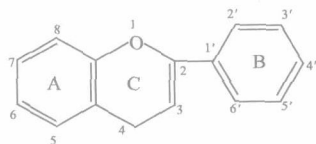


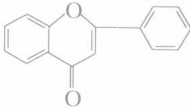
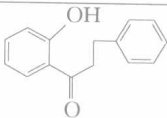
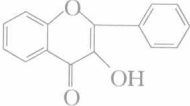
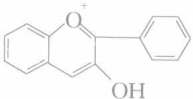
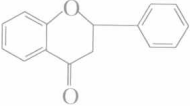
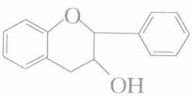
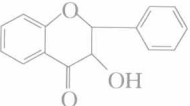
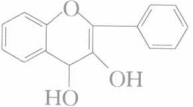
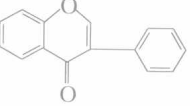
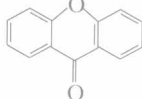
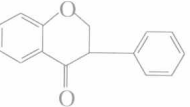
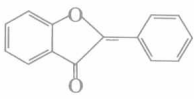
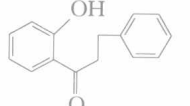
图 0-3 黄酮类化合物的基本骨架

学术界常把黄酮 (醇)、异黄酮 (醇)、二氢黄酮 (醇)、查耳酮、二氢查耳酮和双苯吡酮类及其衍生物称为黄酮类化合物。

2 黄酮的结构

根据中央三碳链的氧化程度、B 环连接位置 (2-或 3-位) 以及三碳链是否构成环状等特点, 可将主要的天然黄酮类化合物分类, 如表 0-1 所示^[1]。

表 0-1 黄酮类化合物的主要结构类型

类型 Type	基本结构 Basic structure	类型 Type	基本结构 Basic structure
黄酮 flavone		二氢查耳酮 dihydrochalcone	
黄酮醇 flavonol		花青素 anthocyanidin	
二氢黄酮 dihydroflavone		黄烷-3-醇 flavan-3-ol	
二氢黄酮醇 dihydroflavonol		黄烷-3, -4-醇 flavan-3, 4-diol	
异黄酮 isoflavone		双苯吡喃酮 xanthone	
二氢异黄酮 dihydroisoflavone		橙酮 (噢依) aurone	
查耳酮 chalcone			

此外, 尚有两分子黄酮或两分子二氢黄酮, 或一分子黄酮及一分子二氢黄酮按 C—C 或 C—O—C 键方式连接而成的双氢黄酮化合物 (bioflavonoid)。

天然黄酮类化合物多以苷类形式存在, 并且由于糖的种类、数量、连接位置及连接方式不同, 可以组成各种各样的黄酮苷类。组成黄酮苷的糖类主要有:

单糖类: D-葡萄糖、D-半乳糖、D-木糖、L-鼠李糖、L-阿拉伯糖及 D-葡萄糖醛酸等。

双糖类: 槐糖 (glc β 1 $\rightarrow$ 2glc)、龙胆二糖 (glc β 1 $\rightarrow$ 6glc)、芸香糖 (rha α 1 $\rightarrow$ 2glc)、刺槐二糖 (rha α 1 $\rightarrow$ 6gal) 等。

三糖类: 龙胆三糖 (glc β 1 $\rightarrow$ 6glc β 1 $\rightarrow$ 2fru)、槐三糖 (glc β 1 $\rightarrow$ 2glc β 1 $\rightarrow$ 2glc) 等。

黄酮苷中糖连接位置与苷元的结构类型相关。如黄酮醇常形成 3-、7-、3'-、

4'-单糖苷, 或 3-, 7-, 3-, 4'-及 7-, 4'-双糖链苷等。

除 O-糖苷外, 天然黄酮类化合物中还发现有 C-糖苷 (C-glycosides), 如葛根黄素 (puerarin)、葛根黄素木糖苷 (puerarin xyloside), 为中药葛根中的扩张冠状动脉血管的有效成分。

3 黄酮的功能作用

3.1 抗活性氧自由基功能

在有氧细胞的代谢中, 分子氧降解成水, 电子逐步转移产生游离活性氧 (free reactive oxygen species, ROS), 包括超氧阴离子 ($O_2^- \cdot$)、过氧化氢 (H_2O_2)、羟自由基 ($HO^- \cdot$), 也会产生其他内源自由基如烷自由基 ($R \cdot$)、烷氧基 ($RO \cdot$)、烷过氧基 ($ROO \cdot$)。脂质过氧化是游离活性氧 (ROS) 的另一个重要来源^[2,3]。另外, 游离活性氧还可受外界影响而形成于细胞之中。过多的游离活性氧和其他自由基会损伤蛋白质、碳水化合物、多不饱和脂肪酸和 DNA, 因而会导致氧化反应和一系列变性反应和变性疾病, 包括衰老、神经紊乱、发炎、动脉硬化、心血管疾病和某些癌症^[2,4]。

类黄酮在体外可作为超氧阴离子和羟自由基的清除剂在起始阶段抑制脂质过氧化反应, 可能是类黄酮通过给过氧化氢基提供氢原子形成类黄酮自由基而终止自由基的连锁反应^[5,6]。类黄酮自由基反过来与自由基反应而终止反应链^[5,7]。另外, 一些类黄酮作为金属螯合剂抑制超氧诱导的 Fenton 反应, Fenton 反应是产生活性氧的重要途径^[6]。但类黄酮在体内还没有明显的抗氧化和清除自由基的效果^[8]。

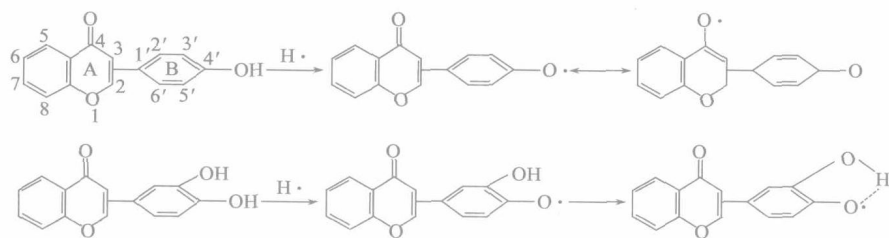
类黄酮具有明显的抗氧化作用, 对脂质过氧化有明显的对抗作用。甘草叶类黄酮对脂质过氧化物 (LPO)、5-脂质氧化酶 (5-LOX) 都有明显的抑制作用, 柚苷配基和高良姜素等类黄酮对不饱和脂肪酸的氧化有较强的预防作用, 紫花水飞蓟种子的总黄酮提取物具有刺激新的肝细胞形成、抗脂质过氧化作用, 丁香油、丹皮酚、黄芪苷、芸香苷、甘草查耳酮等类黄酮对羟自由基有直接清除作用, 丁香酚、银杏叶总黄酮、山楂叶总黄酮对超氧阴离子及羟自由基的生成均有清除与抑制作用^[9]。于长青等^[10]观察了麦胚黄酮类提取物对实验性高脂血症大鼠血脂和抗氧化作用的影响, 发现麦胚黄酮类提取物具有降血脂作用, 而且高剂量组降血脂效果优于低剂量组。麦胚黄酮类提取物能显著降低实验性高脂血症大鼠血清和组织中脂质过氧化物 (LPO) 含量 ($P < 0.01$), 且组织中脂质过氧化物含量在低剂量和高剂量组间有显著差异 ($P < 0.05$)。麦胚黄酮类提取物能够提高大鼠全血中超氧化物歧化酶 (SOD) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 的活性, 具有显著增强大鼠抗氧化能力。孙玲等^[11]的研究表明, 大豆异黄酮原粉

可显著降低衰老小鼠全血脂质过氧化物含量,提高谷胱甘肽过氧化物酶活性,并显著提高皮肤脯氨酸含量,显示大豆异黄酮具有一定的抗衰老作用。井乐刚等^[12]对大豆异黄酮抗氧化活性的研究表明,大豆异黄酮对羟自由基($\text{HO}\cdot$)和超氧阴离子($\text{O}_2^-\cdot$)具有清除效果,随着大豆异黄酮浓度的增大,其对羟自由基的清除能力大大增强,而对超氧阴离子的清除能力却呈下降趋势。随着时间的延长,不同浓度的大豆异黄酮对超氧阴离子的清除能力都迅速减弱。庄颖等^[13]的研究表明,高剂量大豆异黄酮显著抑制高脂饲料所致的血浆低密度脂蛋白升高。大豆异黄酮对进食高脂饲料引起的体内脂质过氧化物升高具有拮抗作用,并可提高谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶和过氧化氢酶的抗氧化活性。对高甘油三酯有降低作用,并能改善高脂所致体内异常的过氧化状态,减轻对机体的过氧化损伤。李素婷等^[14]研究表明,黄芩茎叶总黄酮可明显降低 CCl_4 所致小鼠急性肝损伤,明显降低肝脏 MDA 含量和提高 SOD 活性。对小鼠急性肝损伤有一定的保护作用,其机理可能与黄芩茎叶总黄酮的抗脂质过氧化作用有关。银杏黄酮对乙醇所致氧化损伤具有一定的保护作用^[15]。

张英等^[16~19]对 12 种黄酮单体(其中包括 7 种竹叶黄酮苷和 1 种银杏黄酮——槲皮素)和 1 种由 7 种竹叶黄酮苷单体组成的混合物,用化学发光法测定了它们清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 的速率常数 K_3 和抑制 $\cdot\text{OH}$ 的抑制率 I (%),并探讨了构效关系。结果表明如下。

①12 种黄酮均有清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 的能力,有类 SOD 样作用。它们的 K_3 值在 $10^5 \sim 10^6 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ 之间,约比 SOD 的 K_3 值小 3 个数量级。 I (%) 值多在 17~42 之间。与银杏黄酮中为主的一类黄酮的苷元槲皮素相比,7 种竹叶黄酮苷中,除 4'-甲氧基牡荆苷外,清除和抑制活性氧自由基的能力或超过或相当或接近于槲皮素。由此可见竹叶黄酮类的生理活性超过或相当于银杏叶黄酮。此外,实验还发现,7 种竹叶黄酮苷单体的混合物清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 的能力超过其中最优者,说明竹叶黄酮苷对清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 有协同增强效应。

②研究结果认为:黄酮及其苷类的分子结构中, A 环的 $\Delta^{2(3)}$ 双键和 B 环的 4'-OH 是清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 的关键基团, 3'-OH 和 7-OH 也有一定的作用; B 环的 3', 4'-di-OH 是清除 $\cdot\text{OH}$ 的关键基团。黄酮类物质的这种分子结构所形成的自由基,会因共轭效应或分子内氢键稳定,有利于 $\text{H}\cdot$ 的生成:



生成的 $\text{H}\cdot$ 可与 $\text{O}_2^-\cdot$ 和 $\cdot\text{OH}$ 结合, 电子配对, 使该活性氧自由基得以清除。

从桂竹叶中得到的 21 种黄酮及其苷类的分子结构看, 除 4'-甲氧基牡荆苷 1 种只含活性不太高的 7-OH 外, 其他均含很强的或较强的活性基团。也由此可见, 竹叶黄酮苷类清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 和 $\cdot\text{OH}$ 的能力决不亚于银杏黄酮和葛根黄酮。银杏黄酮的主要成分是槲皮素、山柰酚、异鼠李素及其苷类, 葛根黄酮的主要成分是黄豆苷及其苷元、葛根素和葛根双黄酮。

楠竹叶提取液具有直接清除小鼠机体 $\cdot\text{OH}$, 且能提高组织中抗氧化酶的活性, 抑制自由基损伤, 防止脂质过氧化的作用^[20]。

有学者对 11 种黄酮类化合物清除超氧阴离子的构效关系研究表明^[21]: A 环上羟基和 B 环上羟基是清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 的主要活性基团; A 环和 B 环上具有邻位羟基可大大增强清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 能力; A 环上 6 位羟基和 B 环上 3'、4' 位羟基清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 的活性都很强; 糖苷对清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 也有贡献, 其作用因糖苷种类而异; 酚羟基化合物往往具有清除 $\text{O}_2^-\cdot$ 作用。

3.2 对脂质代谢的调节作用

在酶、自氧化过氧化反应和自由基连锁反应的作用下, 细胞膜上的多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids, PUFA) 发生氧化^[5]。过剩的自由基会引发自动的连锁反应和脂质过氧化反应, 导致动脉硬化症和癌症的病理条件^[22,23]。脂质过氧化过程分为三个阶段: 开始、衍发和终止^[5,24]。在脂质过氧化的开始阶段, 自由基从 PUFA 吸收氢原子形成脂质自由基。在衍发阶段, 脂质自由基与氧反应生成脂质过氧化氢自由基, 脂质过氧化氢自由基分解产生更多的自由基, 从而维持连锁反应。在终止阶段, 自由基之间相互作用或与抗氧化剂作用生成惰性产物^[5,24]。灭活自由基酶和添加抗氧化剂可以抑制脂质过氧化的发生和加速脂质过氧化的终止, 进而抑制脂质过氧化反应^[23~25]。自由基清除剂和单态氧熄灭剂可以在起始阶段抑制脂质过氧化反应的发生, 而过氧化氢自由基清除剂则可阻断脂质过氧化的衍发连锁反应^[5]。

对类黄酮的大量研究表明, 类黄酮对动物的脂质代谢具有调节作用。林秋实和陈吉棣^[26]报道, 山楂叶黄酮可使大鼠低密度脂蛋白受体的 mRNA 转录和低密度脂蛋白受体的表达增强, 从而增加低密度脂蛋白的降解。谢棒祥和张敏红^[27]报道, 21 日龄肉鸡饲料中添加山楂叶黄酮 21 天可显著降低肉鸡血清总胆固醇 (TC)、甘油三脂 (TG) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 水平, 可极显著降低其腹脂率。戴尧天等^[28]在鹌鹑饲料中添加富含刺梨类黄酮的刺梨汁也得到类似的结果。刺梨富含类黄酮 (6 000mg/100g 鲜果) 和维生素 C (2 400mg/100g 鲜果), 类黄酮与维生素 C 有协同作用, 可增强血管壁弹性, 防止脂质沉积。Lichtenstein 认为大豆产品预防动脉粥样硬化、冠心病的作用归因于大豆类黄酮 (主

要是大豆黄酮、染料木素和 7, 4-二羟基-6-甲氧基异黄酮) 的降血胆固醇、抗氧化和保护动脉完整的作用。Potter 等^[29]以绝经后的高胆固醇妇女为试验对象, 在日粮中保持一定水平的大豆异黄酮, 6 个月后的试验结果表明, 血浆中 LDL-C 下降 ($P < 0.05$), HDL-C 上升 ($P < 0.05$), 腰椎骨骼密度显著提高, 单核细胞 LDLR mRNA 增加。Balmir 等在大鼠试验中发现, 大鼠日粮中添加大豆异黄酮可显著降低血清总胆固醇和 LDL-C 浓度。Nagata 等^[30]的一份大样本资料显示, 日常摄取大量大豆产品显著降低了血清总胆固醇水平。Kirk^[31]报道, 大豆类黄酮可能通过增加 LDLR 活性来降低血浆胆固醇, 进而防止动脉粥样硬化。类黄酮提取物可能通过影响与脂类代谢有关的基因表达来降低血浆脂蛋白浓度。在蛋鸡日粮中添加茶多酚和大豆异黄酮均可显著降低蛋黄中的胆固醇水平。

体外模拟体系的试验表明, 金毛竹叶提取物显著抑制了由 AAPH [2, 2'-Azobis (2-amidino-Propane) dihydrochloride] 诱导的脂质体的过氧化, 防止了 Cu^{2+} 中介的人类血清低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-c) 的氧化, 并拮抗了由 AAPH 中介的过氧自由基对 DNA 的解旋作用^[19]。

3.3 抗衰老和抗疲劳作用

张英等^[16, 32]用小鼠作了竹叶提取物的抗衰老、抗缺氧、抗疲劳实验, 结果表明: ①实验组动物的 SOD 和 GSH-Px 含量显著高于对照组, 全血中的过氧化脂质 (LPO) 含量低于对照组, 说明竹叶提取物有延缓衰老的作用, 还说明竹叶黄酮不仅有类 SOD 样作用, 还有对 SOD 和 GSH-Px 的诱导增加作用; ②实验组动物耐缺氧、抗疲劳的能力显著高于对照组, 说明竹叶提取物能改善动物的营养状况和体能。

张英^[16]用竹叶黄酮粉 (含总黄酮 12%) 和银杏黄酮提取物作了动物实验, 结果除得到与上述相似的结论外, 还证明, 竹叶提取物抑制脂质过氧化和升高 GSH-Px 的作用优于银杏提取物, 而类 SOD 的作用则与银杏叶提取物相当。

3.4 抗癌和抗肿瘤作用

3.4.1 抗突变效果

类黄酮可吸收紫外线, 可以保护 DNA 免受紫外线引起的损伤。Kooststra 等^[33]证实柚苷配基和芦丁对紫外线诱导的 DNA 损伤具有一定的保护效果。Shimoi 等^[34]也证实类黄酮可保护鼠微核网状细胞免受 γ 射线的损伤, 此类化合物包括槲皮素、芦丁、圣草酚以及木犀黄素, 能熄灭 DNA 邻近产生的一些会促进变异的自由基。