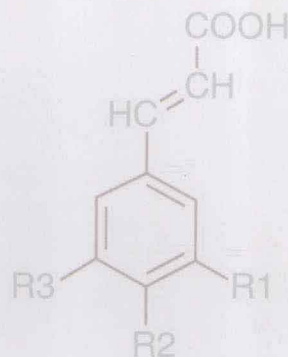
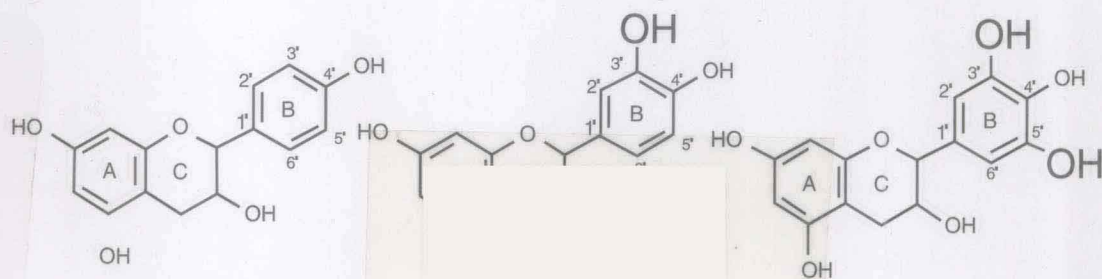


葡萄多酚



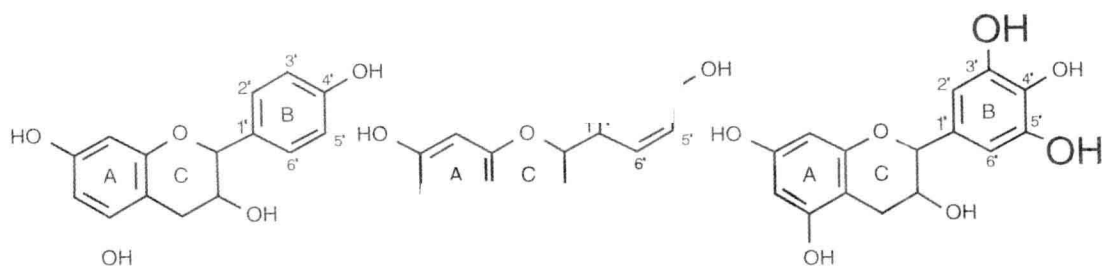
温鹏飞 著



中国农业科学技术出版社

葡萄多酚

温鹏飞 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

葡萄多酚 / 温鹏飞著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2012. 9

ISBN 978 - 7 - 5116 - 0765 - 2

I. ①葡… II. ①温… III. ①多酚—基本知识 IV. ①0625. 31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 265024 号

责任编辑 徐 毅

责任校对 贾晓红

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106631 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)

(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106631

网 址 [http://www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 10. 75

字 数 200 千字

版 次 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价 25. 00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

前 言

近年来，随着人们保健意识的增强，植物来源的生理活性物质研究和开发已成为热门焦点。特别是法兰西奇迹（The French Paradox），引起了人们对葡萄酒保健功能的极大兴趣。大量研究证实，多酚类物质具有极强的抗氧化能力，是葡萄酒保健功能的重要承担者。

葡萄酒中的多酚类物质，绝大部分是在葡萄酒酿制过程中经浸渍作用进入葡萄酒中的。因而，葡萄果实中多酚类物质的含量和组成对葡萄酒保健功能具有决定性作用。

长期以来，许多研究者就葡萄果实和葡萄酒中多酚类物质种类、结构、合成及其调控进行了深入广泛的研究，特别是新型分析鉴定技术及分子生物学和生物技术的广泛应用，更进一步揭示了葡萄多酚类物质的多样性和复杂性，并在分子水平就其在葡萄果实中的生物合成和调控作出了更深入的诠释。但遗憾的是，这些研究成果多以学术论文的形式在国内外学术期刊上发表，尚未得到系统归纳和总结。

本书作者在从事葡萄多酚研究的基础上，特别是攻读博士学位期间和承担了国家自然科学基金资助的有关葡萄多酚类物质研究项目后，参阅了国内外大量相关文献，综合国内外葡萄和葡萄酒多酚领域最新研究成果，编写成此书。

本书共分八章，从多酚的种类和结构入手，首先介绍了葡萄多酚在植株中的分布；其次，分别介绍了葡萄果实发育过程中多酚的积累及其与果实品质的关系、葡萄酒多酚类物质的种类和结构及其对葡萄酒品质的作用、葡萄多酚的分离和纯化及测定技术以及多酚在葡萄果实中的生物合成途径与调控；最后，对葡萄多酚的生理功能及其应用进行了阐述。

在本书付梓之际，首先要感谢国家自然科学基金委员会“葡萄果实 LAR 表达特性及其对非生物胁迫的响应（No. 30800740）”、山西省科技厅青年基金“葡萄果实发育过程中黄烷-3-醇积累机制的研究（No. 2008021037-1）”、山西省科技厅星火项目“高多酚酿酒葡萄栽培技术体系推广应用（No. 20100510006）”及山西省教育厅“山西省高等学校优秀青年学术带头人（No. 2009001）”等项目为本书出版给予的支持。其次，在本书编写过程中，参阅了大量国内外研究文献，虽

2 葡萄多酚

在书中进行了标注，但难免挂一漏万，在此对国内外同行的辛勤工作和埋头奉献精神表示衷心的感谢！同时，感谢中国农业科学技术出版社徐毅先生为本书的出版提供了大力帮助。感谢中国农业大学食品科学与营养工程学院黄卫东先生、段长青先生、战吉成先生、潘秋红女士、李景明先生及陈建业博士、孙建平博士、孔维府博士、田莉博士、方芳博士、万嗣宝博士、张平博士、王伟博士、唐柯博士、郑艳军博士、田荣荣博士、王慧玲博士及翁芳华、房贤贤等的支持与帮助！山西农业大学园艺学院各位领导、牛铁泉先生、高美英女士，硕士生仓国营、邢延富、牛兴艳、杨运良、焦艳梅、邵志栋、冀铮春为本书整理了大量的材料，并做了大量的校对工作。在此，作者对他们的辛勤工作表示诚挚的感谢和崇高的敬意！

最后，希望本书的出版能够为从事或对葡萄多酚类物质研究感兴趣的科技人员提供参考。由于作者水平有限，书中缺点和错误在所难免，望广大读者及时指正！

作 者

2011 年 12 月

目 录

第一章 多酚的种类与结构	(1)
1 酚酸类 (Phenolic acids)	(1)
1.1 对羟基苯甲酸类酚酸 (Hydroxybenzoic acids, HBA)	(2)
1.2 对羟基肉桂酸类酚酸 (Hydroxycinnamic acids, HCA)	(2)
2 二苯乙烯类化合物 (Stilbenes)	(3)
3 类黄酮类多酚	(4)
3.1 黄酮类 (Flavones)	(4)
3.2 黄酮醇类 (Flavonols)	(5)
3.3 黄烷酮类 (Flavanones)	(6)
3.4 黄烷 (Flavanes)	(6)
3.5 黄烷醇类 (Flavanols)	(7)
3.6 花色苷 (Anthocyanins)	(8)
4 单宁 (Tannins)	(8)
4.1 原花色苷 (Proanthocyanidins)	(8)
4.2 水解单宁 (Hydrolysable tannins)	(10)
5 香豆素 (Coumarins)	(12)
6 木质素 (Lignins)	(12)
第二章 多酚在葡萄植株内的分布	(14)
1 酚酸类 (Phenolic acids)	(14)
2 二苯乙烯类化合物 (Stilbenes)	(15)
3 类黄酮类 (Flavonoids)	(17)
3.1 黄酮类 (Flavones)、黄烷酮类 (Flavanones) 及 黄烷酮醇类 (Flavanonols) 多酚	(17)
3.2 黄酮醇类 (Flavonols)	(17)
3.3 黄烷-3-醇类 (Flavan-3-ols)	(18)

2 葡萄多酚

3.4 花色苷类 (Anthocyanins)	(19)
3.5 原花色素 (Proanthocyanidins)	(20)

第三章 葡萄多酚与果实品质 (28)

1 葡萄果实中的多酚类物质	(28)
1.1 果皮	(28)
1.2 种子	(29)
1.3 果梗	(30)
1.4 果肉	(30)
2 葡萄果实发育过程中多酚类物质的积累规律	(30)
2.1 酚酸类的积累	(31)
2.2 白藜芦醇的积累	(31)
2.3 黄烷-3-醇的积累	(32)
2.4 黄酮醇的积累	(33)
2.5 原花色素的积累	(33)
2.6 花色苷的积累	(33)
3 影响果实多酚积累的因素	(34)
3.1 温度对葡萄果实多酚积累的影响	(34)
3.2 光照对葡萄果实多酚积累的影响	(34)
3.3 水分对葡萄果实多酚积累的影响	(35)
3.4 延迟采收对葡萄果实多酚积累的影响	(35)
4 多酚与葡萄果实品质	(35)
4.1 多酚与葡萄外观品质	(36)
4.2 多酚与葡萄内在品质	(36)
4.3 多酚与葡萄加工品质	(37)

第四章 葡萄多酚与葡萄酒品质 (42)

1 葡萄酒中的多酚	(42)
1.1 酚酸类	(43)
1.2 类黄酮类	(44)
1.3 白藜芦醇及其糖苷	(48)
2 多酚与葡萄酒品质	(49)
3 影响葡萄酒中多酚的因素	(50)
3.1 葡萄品种对葡萄酒多酚类物质的影响	(50)

3.2	葡萄产地对葡萄酒多酚类物质的影响	(51)
3.3	葡萄生产年份对葡萄酒多酚物质的影响	(51)
3.4	葡萄酒酿制工艺对葡萄酒多酚类物质的影响	(52)
第五章	葡萄多酚的提取、纯化及测定	(58)
1	葡萄多酚的提取	(58)
1.1	液—液提取 (Liquid-Liquid Extraction)	(58)
1.2	固—液提取 (Solid-Liquid Extraction)	(59)
1.3	超临界萃取 (Supercritical Fluid Extraction, SFE)	(62)
1.4	加压溶液萃取 (Pressurized Liquids Extraction, PLE)	(62)
1.5	其他方法	(63)
2	葡萄多酚的分离和纯化	(64)
2.1	溶剂萃取法	(64)
2.2	金属离子沉淀法	(65)
2.3	树脂吸附法	(65)
2.4	柱色谱法	(65)
2.5	膜过滤法	(66)
3	葡萄多酚的分析与测定	(66)
3.1	福林—酚法 (Folin-Ciocalteu assay, FC)	(67)
3.2	普鲁士蓝法 (Prussian Blue assay, PB)	(67)
3.3	香草醛—盐酸法 (Vanillin-HCl assay)	(68)
3.4	酸—丁醇法 (Acid-butanol assay)	(69)
3.5	DMACA 法	(70)
3.6	BSA 沉淀法 (BSA precipitation assay)	(71)
3.7	高效液相色谱法 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)	(71)
3.8	高速逆流色谱法 (High Speed Counter Current Chromatography, HSCCC)	(73)
3.9	毛细管电泳法 (Capillary Electrophoresis, CE)	(75)
3.10	质谱 (Mass Spectrometry, MS)	(75)
3.11	核磁共振 (Nuclear Magnetic Resonance, NMR)	(76)
第六章	葡萄多酚的生物合成及调控	(87)
1	葡萄多酚的生物合成	(87)

4 葡萄多酚

- 1.1 酚酸类多酚的生物合成 (88)
- 1.2 类黄酮类多酚的生物合成 (90)
- 1.3 二苯乙烯类化合物生物合成 (102)
- 2 葡萄多酚生物合成的调控 (104)
 - 2.1 转录因子对多酚生物合成的调控 (104)
 - 2.2 环境因子对多酚生物合成的调控 (107)

第七章 葡萄多酚的生理功能..... (119)

- 1 抗氧化性 (120)
 - 1.1 多酚种类与其抗氧化能力 (120)
 - 1.2 多酚的结构与其抗氧化能力 (121)
 - 1.3 多酚抗氧化性的评价方法 (123)
- 2 清除自由基 (126)
 - 2.1 活性氧的种类 (126)
 - 2.2 植物体内活性氧产生及消除机制 (127)
 - 2.3 多酚清除自由基机理 (131)
- 3 离子螯合 (Metal ion chelation) (134)
- 4 心血管保护作用 (Cardiovascular effects) (135)
 - 4.1 多酚与血小板 (Platelet) (135)
 - 4.2 多酚与 LDL (Low density lipoprotein) (136)
 - 4.3 多酚与血管舒张 (Vasodilatory action) (136)
 - 4.4 多酚与细胞黏附分子 (Cell adhesion molecules, CAMs) (137)
- 5 抗癌 (137)
 - 5.1 抗氧化 (138)
 - 5.2 多酚与细胞增生 (138)
 - 5.3 多酚与细胞周期 (139)
 - 5.4 多酚与细胞凋亡 (139)
 - 5.5 抗发炎 (140)
 - 5.6 多酚与血管形成和肿瘤转移 (140)

第八章 葡萄多酚的应用前景..... (153)

- 1 葡萄多酚在医药中的应用 (153)
 - 1.1 动脉粥样硬化 (Atherosclerosis) (153)
 - 1.2 冠心病 (Coronary Heart Disease, CHD) (154)

1.3	糖尿病 (Diabetes)	(154)
1.4	老年痴呆症和帕金森症	(155)
2	葡萄多酚在食品中的应用	(155)
2.1	多酚与抗氧化	(156)
2.2	多酚与防腐	(156)

第一章 多酚的种类与结构

多酚 (Polyphenolics), 是指分子结构中携带多个酚羟基的一大类植物次生代谢产物 (Lu and Yeap Foo, 2002), 如酚酸类 (Phenolic acids)、二苯乙烯类化合物 (Stilbenes)、黄酮 (Flavones)、黄烷醇 (Flavanols)、黄酮醇 (Flavonols)、花色苷 (Anthocyanins)、原花色素 (Proanthocyanidins, 又称缩合单宁: Condensed tannins)、水解单宁 (Hydrolysable tannins)、木质素 (Lignins) 等 (温鹏飞, 2005; 陈建业, 2005; Skerget et al., 2005; 李景明, 2003; 孙建平, 2006; Hollman and Arts, 2000)。在植物体内, 多酚类化合物不仅参与植物本身的生长发育, 赋予植物抗紫外线、抗虫害、抗伤害、抗离子毒害等功能 (Dixon et al., 2005), 赋予花朵、果实色泽和香味, 影响葡萄果实及其加工品 (如葡萄酒) 的感官品质 (如风味、色泽、苦味及收敛性等) (Garrido and Borges, 2011), 而且具有极强的抗氧化性, 具有广泛的生理功能, 如清除自由基、抗发炎、抗血栓等, 能够有效地预防心脑血管疾病 (Rasmussen et al., 2005)。

有些学者认为, 根据多酚的化学结构特征, 可将多酚分为非类黄酮类 (non-flavonoids) 和类黄酮类 (flavonoids) 两大类。其中, 非类黄酮类多酚结构相对简单, 分子结构中仅存在一个或两个苯核, 如酚酸类和二苯乙烯类化合物。类黄酮类多酚结构相对较复杂, 分子结构中存在明显的类黄酮骨架, 即 C6-C3-C6, 如黄烷、黄烷酮、黄烷醇、黄酮醇等。但也存在不同的看法, 如 Garrido 和 Borges (2011) 及 Naczki 和 Shahidi (2006) 认为多酚类物质应分为酚酸类、二苯乙烯类、类黄酮类、单宁类及其他类化合物。

1 酚酸类 (Phenolic acids)

酚酸类是经苯丙烷类代谢途径合成的, 仅含一个苯环 (图 1-1、图 1-2)。在

植物体内，存在两类不同的酚酸，即分子结构中包含 7 个碳原子（C6-C1）的对羟基苯甲酸类（Hydroxybenzoic acids, HBA）和包含 9 个碳原子（C6-C3）的对羟基肉桂酸类（Hydroxycinnamic acids, HCA）。

1.1 对羟基苯甲酸类酚酸（Hydroxybenzoic acids, HBA）

对羟基苯甲酸类酚酸具有共同的 C6-C1 结构（图 1-1），由一个苯环和一个羧基组成。由于取代基 R1、R2、R3 和 R4 的不同而形成不同的酚酸，如没食子酸（Gallic acid）、原儿茶酸（Protocatechuic acid）、龙胆酸（Gentisic acid）、水杨酸（Salicylic acid）、丁香酸（Syringic acid）等（表 1-1）。其中，由于没食子酸不仅能够参与形成水解单宁，也能够参与形成缩合单宁（原花色素），因而被认为是最重要的对羟基苯甲酸类酚酸。

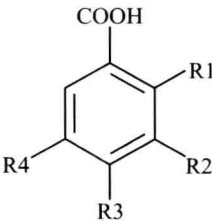


图 1-1 对羟基苯甲酸类酚酸基本结构

Fig. 1-1 Basic structure of p-hydroxybenzoic acids

表 1-1 常见对羟基苯甲酸类酚酸结构

Tab. 1-1 Structure of p-hydroxybenzoic acids

名称	R1	R2	R3	R4
没食子酸 (gallic acid)	H	OH	OH	OH
原儿茶酸 (protocatechuic acid)	H	OH	OH	H
龙胆酸 (gentisic acid)	OH	H	H	OH
水杨酸 (salicylic acid)	OH	H	H	H
丁香酸 (syringic acid)	H	OMe	OH	OMe
香草酸 (vanillic acid)	H	H	OH	OMe
p-羟基苯甲酸 (p-hydroxybenzoic acid)	H	H	OH	H
2, 5-二羟基苯甲酸 (2, 5-dihydroxybenzoic acid)	OH	H	H	OH

1.2 对羟基肉桂酸类酚酸（Hydroxycinnamic acids, HCA）

对羟基肉桂酸类酚酸，又称对羟基苯丙烯酸类酚酸，具有共同的 C6-C3 结构

(图 1-2)。根据苯核上取代基 R1、R2 和 R3 的不同也形成不同的酚酸，如绿原酸 (Chlorogenic acid)、咖啡酸 (Caffeic acid)、香豆酸 (Coumaric acid)、阿魏酸 (Ferulic acid)、芥子酸 (Sinapic acid) 等 (表 1-2)。

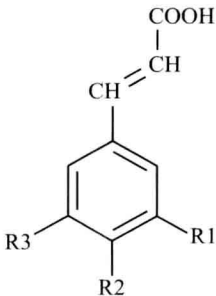


图 1-2 对羟基肉桂酸类酚酸基本结构

Fig. 1-2 Basic structure of p-hydroxycinnamic acids

表 1-2 常见对羟基肉桂酸类酚酸结构

Tab. 1-2 Structure of p-hydroxycinnamic acids

名称	R1	R2	R3
咖啡酸 (caffeic acid)	H	OH	OH
香豆酸 (coumaric acid)	H	OH	H
阿魏酸 (ferulic acid)	OMe	OH	H
绿原酸 (chlorogenic acid)	OH	OH	H
芥子酸 (sinapic acid)	OMe	OH	OMe
肉桂酸 (cinnamic acid)	H	H	H

对羟基肉桂酸类酚酸存在正、反异构体，两者可在酶或光的作用下互相转化。在自然界中，反式肉桂酸类酚酸大量存在，而顺式肉桂酸类酚酸较少。

2 二苯乙烯类化合物 (Stilbenes)

在植物体内，二苯乙烯类化合物是经苯丙烷类和二苯乙烯类代谢途径合成的，主要是白藜芦醇及其衍生物。二苯乙烯类化合物具有两个苯核，具有共同的 C6-C2-C6 结构 (图 1-3)。白藜芦醇 (Resveratrol, 3, 4', 5-三羟基二苯乙烯, 3, 4', 5-trihydroxystilbene)，是植物界分布较广的二苯乙烯类化合物，多以其单体及糖苷 (Piceid, 3, 4', 5-三羟基二苯乙烯-3-β-D-葡萄糖苷) 的形式存在，故一般有四种存在形式：顺、反式白藜芦醇和顺、反式白藜芦醇糖苷。

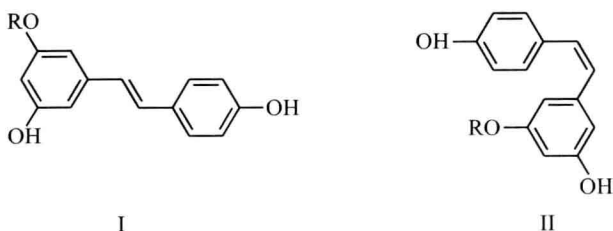


图 1-3 白藜芦醇分子结构示意图

Fig. 1-3 Structure of resveratrol

(I 为反式异构体, II 为顺式异构体; R 基团若被糖基取代, 则形成相应的白藜芦醇糖苷)

3 类黄酮类多酚

在植物体内, 类黄酮类多酚是经过苯丙烷类和类黄酮代谢途径合成的一类次生代谢产物。它们均具有典型的类黄酮结构, 包含 15 个碳原子, 即由一个吡喃环 (C 环) 连接两个苯环 (A、B 环) 形成的 C6-C3-C6 (图 1-4) 结构。其中, 杂合的苯并吡喃环被定义为 C 环, 融合的芳香环被定义为 A 环, 而其苯基成分则被定义为 B 环。

由于类黄酮类多酚分子结构中中央吡喃环 (C 环) 的氧化程度以及两侧苯环 (B 环、A 环) 上取代基位置、种类、数量变化, 形成多种多样的类黄酮化合物。根据其分子结构特征, 可细分为以下几类:

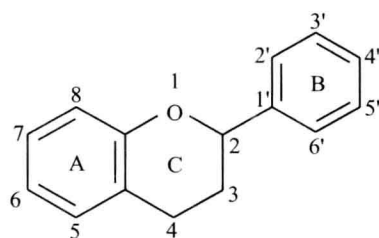


图 1-4 类黄酮类结构骨架示意图

Fig. 1-4 Structure of flavonoids

3.1 黄酮类 (Flavones)

黄酮类化合物基本结构如图 1-5 所示。与其他类黄酮类化合物相比, 黄酮类分子结构的主要特征是在 C 环的 2 位和 3 位之间存在一个双键, 且 4 位上存在一个酮基, A 环在 5 位上存在一个羟基。

此外, 分别在 B 环、A 环和 C 环上存在取代基, 这些取代基的不同, 形成了不同的黄酮 (表 1-3), 如木犀草素 (3', 4', 5, 7-

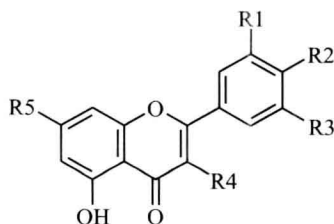


图 1-5 黄酮类基本结构

Fig. 1-5 Basic structure of flavonoids

四羟基黄酮, Luteolin)、芹菜素 (4', 5, 7-三羟基黄酮, 4', 5, 7-Trihydroxyflavone, Apigenin)、白杨素 (5, 7-二羟基黄酮, Chrysin)、黄芩素 (5, 6, 7-三羟基黄酮, Baicalein) 等。

表 1-3 常见黄酮类化合物结构

Tab. 1-3 Structure of flavonoes

名称	R1	R2	R3	R4	R5
木樨草素 (luteolin)	OH	OH	H	H	OH
白杨素 (chrysin)	H	H	H	H	OH
芹菜素 (apigenin)	H	OH	H	H	OH
黄芩素 (baicalein)		6 = OH			OH

此外, 植物界中还存在黄酮类的异构体, 即异黄酮类 (Isoflavones), 其结构与黄酮类基本相似, 不同之处在于芳香环 B 由中央呋喃环 (C 环) 2 位转移至 3 位。异黄酮, 由于其结构与雌激素相似, 因而又称为植物雌激素。自然界中异黄酮种类繁多, 其中染料木黄酮 (Genistein) 是最常见的异黄酮。

3.2 黄酮醇类 (Flavonols)

黄酮醇类化合物分子结构中呋喃环 (C 环) 的 C2 与 C3 之间存在双键, 且其 C3 位存在羟基取代基 (图 1-6)。与黄酮类化合物相比, 其差异仅存在于 C 环 C3 位是否存在羟基, 因而, 黄酮醇类也称为 3-羟基黄酮类 (3-hydroxyflavones)。

此外, 黄酮醇类与黄酮类化合物的取代基位置有所差别。取代基的差异形成了多种多样的黄酮醇, 如槲皮素 (Quercetin, 又称 3, 5, 7, 3', 4'-五羟基黄酮、槲酮、栎酮等)、鼠李素 (Rhamnetin)、异鼠李素 (Isorhoifolin)、山柰素 (Kaempferol)、杨梅酮 (Myricetin)、芦丁 (Rutin) 等 (表 1-4)。

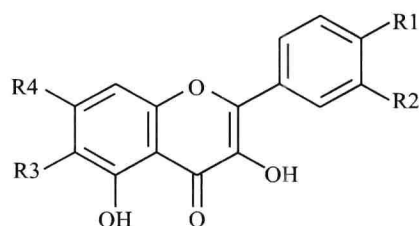


图 1-6 黄酮醇类基本结构

Fig. 1-6 Basic structure of flavonols

表 1-4 常见黄酮醇类化合物结构

Tab. 1-4 Structure of flavonols

名称	R1	R2	R3	R4
槲皮素 (quercetin)	OH	OH	H	H
槲皮苷 (quercitrin)	OH	H	H	OH
鼠李素 (rhamnetin)	OH	H	H	OMe
异鼠李素 (isorhoifolin)	OH	H	ORut	H

(续表)

名称	R1	R2	R3	R4
山柰素 (kaempferol)	OH	H	H	OH
杨梅酮 (myricetin)	OH	OH	H	OH
芦丁 (rutin)	OH	H	H	OH

自然界中，大部分黄酮醇类在 C3、C5 和 C7 位发生羟化，因而也被称为 3，5，7-三羟基衍生物 (3，5，7-trihydroxylated derivatives)。

3.3 黄烷酮类 (Flavanones)

黄烷酮类化合物基本结构如图 1-7 所示，其基本结构仍是典型的类黄酮结构。与黄酮、黄酮醇相比，其 C 环 C2 与 C3 之间不存在不饱和双键，因而又称为二氢黄酮 (Dihydroflavones)。此外，黄烷酮类的取代基位置也有所不同。正是取代基的位置，使其不同于黄酮类、黄酮醇类化合物，也正是取代基不同，形成了多种黄烷酮类化合物，如圣草酚 (Eriocitrin)、橙皮素 (Hesperetin)、橙皮苷 (Hesperidin)、柚皮素 (Naringenin)、芸香柚皮苷 (Narirutin)、枸橼苷 (Poncirin) 等 (表 1-5)。

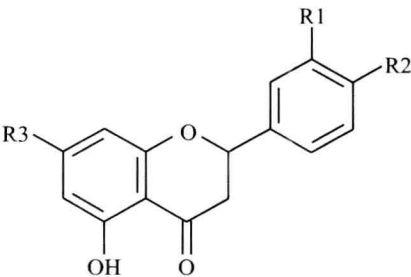


图 1-7 黄烷酮类多酚基本结构
Fig. 1-7 Basic structure of flavanones

表 1-5 常见黄烷酮类化合物结构
Tab. 1-5 Structure of flavanones

名称	R1	R2	R3
圣草酚 (eriocitrin)	OH	OH	ORut
橙皮素 (hesperetin)	OH	OMe	OH
橙皮苷 (hesperidin)		5，7，3' = OH；4' = ORut	
柚皮素 (naringenin)	H	OH	OH
芸香柚皮苷 (Narirutin)	OH	OH	ONeo
枸橼苷 (poncirin)	H	OMe	ONeo

3.4 黄烷 (Flavanes)

黄烷类化合物作为一类类黄酮，其分子结构与上述三类相比，存在明显的差

异。中央呋喃环（C 环）的 C2 与 C3 位不存在不饱和双键，且其 C4 位不存在羰基取代。

3.5 黄烷醇类（Flavanols）

黄烷醇类化合物也具有典型的 C6-C3-C6 结构（图 1-8），其分子结构特征主要是：C 环 C2 与 C3 位不存在不饱和双键，C 环的 4 位不存在酮基，而在 3 位上存在羟基。虽然，有证据表明植物体内至少存在两种黄烷醇类，即黄烷-3-醇（Flavan-3-ols）和黄烷-3, 4-二醇（Flavan-3, 4-diols），但由于黄烷-3, 4-二醇性质极不稳定，因而黄烷醇类化合物多为黄烷-3-醇。黄烷-3, 4-二醇由于能够参与原花色素的合成，因而又称为隐色花色素（Leucoanthocyanidins）。

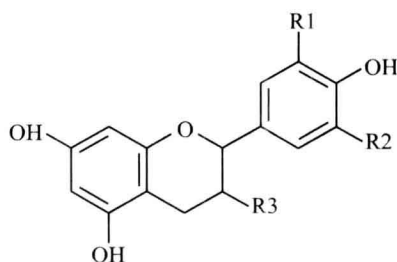


图 1-8 黄烷醇类多酚基本结构

Fig. 1-8 Basic structure of flavanols

迄今为止，自然界中仅仅发现了 2R 构型的黄烷醇类多酚。黄烷醇类多酚主要是儿茶素 [（+）- catechin, 2R, 3S-3, 5, 7, 3', 4'-pentahydroxyflavan, CAT]、表儿茶素 [（-）- epicatechin, 2R, 3R-3, 5, 7, 3', 4'-pentahydroxyflavan, EC]、没食子儿茶素（或槲/倍儿茶素）[（+）- gallic catechin, 2R, 3S-3, 5, 7, 3', 4', 5'-hexahydroxyflavan, GC]、表槲/倍儿茶素（或表没食子儿茶素）[（-）- epigallocatechin, 2R, 3R-3, 5, 7, 3', 4', 5'-hexahydroxyflavan, EGC]、表儿茶素没食子酸酯 [（-）- epicatechin gallate, ECG]、表槲/倍儿茶素没食子酸酯（或表没食子儿茶素没食子酸酯）[（-）- epigallocatechin gallate, EGCG]（表 1-6）（Hollman and Arts, 2000；谭仁祥，2002）。

表 1-6 常见黄烷-3-醇结构
Tab. 1-6 Structure of flavan-3-ols

名称	R1	R2	R3
儿茶素 [（+）- catechin]	OH	H	OH
表儿茶素 [（-）- epicatechin]	H	OH	OH
没食子儿茶素 [（+）- gallic catechin]	OH	OH	Gallate
表槲/倍儿茶素 [（-）- epigallocatechin]	OH	OH	OH
表儿茶素没食子酸酯 [（-）- epicatechin gallate]	H	OH	Gallate
表槲/倍儿茶素没食子酸酯 [（-）- epigallocatechin gallate]	OH	OH	Gallate