

生命科学专著丛书

# 茶 多 酚 化 学

杨贤强 王岳飞 陈留记 等著

上海科学技术出版社

# 出版说明

科学技术是第一生产力。21 世纪 ,科学技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略 ,上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金” ,资助优秀科技著作在上海出版。

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

## 内 容 提 要

本书按茶叶化学的学科内涵,理论与应用相结合地阐述了茶多酚领域的基础理论及应用的研究,为茶叶的深加工、综合利用和医药保健提供科学依据和理论基础。

全书共分10章,在介绍茶多酚的组成、性质、代谢、红变机理及其调控的基础上,着重阐述茶多酚清除自由基的分子机理、毒理学评价以及对某些疾病的药理药效;书中还介绍了茶多酚的分子修饰,为扩大应用范围和提高活性提供新途径;最后对茶多酚的提取技术进行综述,并介绍检测方法。这些内容将有助于读者提高基础理论和专业知识,又对本领域的科研及发展方向有所了解,增进开发利用茶多酚的理解,有利于振兴华茶和使茶叶有效成分的保健功能为人类健康作出贡献。

本书是茶叶科学与自由基医学交叉的学术专著,可作为茶学、医药学和生物学等学科的本科生、硕士、博士研究生的参考书或选修课程的教材,也可作为研究开发天然药物工作者的阅读资料,并可供从事茶叶深加工和综合利用、医学和生物学等相关领域的工作者参考。

本书出版受

“ 华夏英才基金 ” 资助

# 《生命科学专著丛书》序

生命科学在 20 世纪的崛起和发展,无疑是人类所取得的辉煌成就之一。1953 年 DNA 双螺旋结构的发现,叩开了“生命之谜”的大门,一系列激动人心的重大成果纷至沓来。遗传密码的破译、遗传信息传递中心法则的确立、重组 DNA 技术的建立等,成为生命科学天空耀眼的明星,推动着分子生物学的概念和技术全面渗透到生命科学的各个分支学科之中,极大地促进了生命科学与生物技术的迅猛发展。在最近的 50 年里,分子遗传学、分子免疫学、细胞生物学、分子神经生物学等新学科一个接一个地诞生,生命科学与物理学、化学、数学等的交叉渗透,计算机以及大量新技术的广泛应用,多种动植物基因组研究计划的启动,特别是世纪之交人类基因组序列测定的完成,使生命科学的面貌焕然一新,并对农学、医学和制药的原理和工程产生深远的影响。所有这一切辉煌成就,奏响了 21 世纪生命科学时代来临的序曲。

生命科学的研究千姿百态,在基本理论的探讨方面,重点探讨诸如生物的起源演化、遗传变异、生长发育等错综复杂的生命活动的基本规律。与生物的多样性类似,生命科学的分支学科也是多种多样的。有根据所研究的生物对象区分的,如植物学、动物学、微生物学、病毒学等;也有按照所研究的生命活动的特征或层次区分的,如分子生物学、生物化学、细胞生物学、遗传学、发育生物学、生理学、形态学、生态学等。当代生命科学一方面在微观上对生物大分子的结构和功能关系进行研究,另一方面在宏观上对全球生态系统进行研究,深入探讨生物不同种群间及其与环境之间的相互作用规律。这一深刻的变革,使当代生命科学呈现出综合交叉、基础与应用研究紧密结合的发展趋势。学科交叉成为生命科学迅速发展的重要内驱力,传统学科界限正在消失,新的分支学科和新的生长点不断产生,如人类基因组和其他生物基因组研究所催生的基因组学、利用分子生物学手段研究生物系统和进化而产生的分子系统学、生命科学

与信息科学紧密结合而孕育的生物信息学等。同时,生命科学又与人类日常生活密切相关,直接关系到人类自身生活质量及其生存环境的维护。人类面临的诸多问题,如人口控制、疾病防治、农产品的优质高产、生物多样性和环境的保护等,无不与生命科学有着密切的关系。生命科学已成为当代农学、医学等的重要基础。在很多生命科学研究领域,基础研究和应用研究之间的距离正在缩短。特别是以重组 DNA 技术为代表的生物工程的兴起,人们以现代生命科学为基础,结合先进的工程技术手段,能够按照预先的设计来改造生物体或加工生物原料,这为生物医药产业的发展、重大疾病的防治、农作物的改良及病虫害的防治等研究和实践注入了新的动力,提供了一系列新的技术。在这些领域,不断传来振奋人心的消息。

至今,有科学记载的生物已有 170 多万种,最保守的估计全球也有 500~1 000 万种生物。地球上还有不少地方特别是热带地区的生物种类,还没有系统的调查研究,因此地球上物种的数目可能远远超出这一估计数。系统进化与生物多样性的研究,将为人们追溯生物进化的历史进程,保护生物多样性以及合理开发利用自然资源,提供扎实的科学基础。

面对生命科学激动人心的进展及其对人类社会生活的深刻影响,上海科学技术出版社抢占生命科学时代的先机,以积累和弘扬学术薪火为己任,就生命科学中的热点问题,聘请活跃在生命科学研究前沿的有关专家学者潜心著述,并计划在“十五”期间出版这套《生命科学专著丛书》。这套丛书力求从不同侧面展现我国科学家取得的成果,向广大读者介绍生命科学知识及其实际应用状况或前景。这一举措对促进社会各界更好地关心和支持我国生命科学的发展,吸引更多的优秀青年人才投身到生命科学及其相关领域的研究行列中来,具有深远的意义。“九五”期间,上海科学技术出版社已经出版了《生命科学丛书》系列,取得了良好的学术效果和社会效益。我们相信在此基础上推出的《生命科学专著丛书》一定会更上一层楼,为生命科学及生物技术 in 中华大地上的推广作出新的贡献。让《生命科学专著丛书》伴随我们,紧跟生命科学时代快速前进!

许智宏 裴钢

(《生命科学专著丛书》主编)

2001年6月

# 序 1

茶多酚是茶的主要成分,它清除超氧化物自由基和羟自由基的功效与茶保健和治疗某些疾病的作用机制是密切有关的。为了清除人体内不断产生的自由基,除了生物合成抗氧化酶和内源性抗氧化剂外,还须从日常饮食中摄取外源性抗氧化剂,如从饮茶中摄取茶多酚。茶多酚的研究受到国内外有关学科专家的重视,我国杨贤强教授是最早从事茶学和自由基生物学的专家,他对茶多酚的生产技术、应用、功效及其机制做了许多工作,取得了多项成就。最近杨贤强教授等参考了国内外文献资料,并结合编著者的研究成就与工作经验编著了《茶多酚化学》,系统地介绍茶多酚的基础知识、理论与应用,该书内容丰富,材料新颖,是一本可作为茶学及自由基生物学和医学研究和教学的很好的参考书。茶多酚是具有保健与治疗作用的新抗氧化剂,属前沿学术领域,这本书的出版无疑地会有助于推动我国的茶多酚研究与教学的发展。借此专著出版的机会,表达我对 21 世纪我国在自由基生物学、医学以及茶学的研究和教学上取得更大进展与成就的热烈愿望。

方允中

2003 年 3 月

# 序 2

茶是有益于人类健康的最佳饮料,这已成为人们的共识。国内外大量研究证明,茶叶主要功能性成分首推茶多酚。

近 20 年来,不少茶叶生物化学家、医学家、药学家高度重视茶多酚的研究,发表了大量有价值的学术论文。据我国著名茶叶生物化学家阮宇成教授最近报道,仅 1999 年发表的有关茶多酚与抗癌的研究论文就达 46 篇之多。但是,迄今国内外却没有一本有关茶多酚的专著。浙江大学茶学系杨贤强教授主编的《茶多酚化学》恰好弥补了这个空白。

杨贤强教授和他带领的学科组,长期以来,紧紧围绕茶多酚为中心,从整体—细胞—分子水平系统地研究了茶多酚抗氧化机理;并成功地进行了开发利用研究。值得特别提出的是,杨教授还率先卓有成效地组织茶学与医学、药学、食品学以及自由基生物学等多学科协作,把茶多酚化学的研究深度与广度提高到一个崭新的水平,取得了一批创新性成果,为撰著《茶多酚化学》奠定了坚实的基础。

《茶多酚化学》内容丰富而新颖,既有关于茶多酚的基础知识,又有最新研究成果,既阐明了茶多酚清除自由基的机理,又具体介绍了科学提取与验测茶多酚的生产技术,是一本高水平的、理论与实际密切结合的学术专著,具有重要的学术意义和应用价值。我热烈祝贺《茶多酚化学》的出版问世!我殷切期盼《茶多酚化学》在推动茶多酚深入研究与开发利用中发挥重要的促进作用。

刘祖生

2003 年 4 月于杭州

# 序 3

自忆从四年前结识杨贤强教授以来,就深深地为杨教授精湛的专业学识,以及优雅的文化气息所吸引。一般从事科学研究的人,也许比较直接坦率,但往往欠缺杨教授的从容优雅。直到了解杨教授的专业所长竟是中华文化几千年来茶学及茶化学的应用科学,才恍然大悟杨教授博学优雅其来有由。

三年前本人受台湾仲华健康实业股份有限公司委托,开始对中草药的科学化进行研究,茶学及茶化学也是仲华公司及我个人的重点兴趣之一。这些年来与杨教授进行学术交流,方知杨教授对茶化学及其应用竟然发表了百余篇的论文,深浅有致,小大由之。

在蓝德刚先生与吴政恩先生多次奔走和协调下,我们不但能够与杨教授展开广泛且深刻的合作,也有幸能够得到厚达数百页的论文集。拜读之余,不但个人深有所获,也发现茶叶化学应用性的广泛,以及未来发展的光明前景。

很可惜的是中医、中药始终未能站上世界医学的主流。现在看来,所谓预防重于治疗,即谓保健养生,处处都显示先民的智慧。而由中医药的发展与整理,足以迎来药物发展的另一新纪元。

一般西药往往因不能通过三期临床而宣告失败。中草药不但疗效显著,且经中华民族众多人口长年服用及应用,可说提早大规模地进行了三期及四期的临床验证。回过头看,把有效中草药加以现代化,将研究的结果加以标准化,想必会在人类健康的维护上留下不容忽视的功绩与奇迹。这工作的的确确是海峡两岸,甚至全世界华人都应该努力以赴的。

时值杨教授大著问世,不但仲华健康实业股份有限公司深感荣幸,我

个人也与有荣焉,期望杨教授的大著能引起全世界有志于此者,承先启后,开拓新局,则幸甚焉!

天 水 毛玉麟 敬撰  
于台北 东吴大学 化学系  
二〇〇三年二月 谷旦

# 前 言

茶——源于中国的这片绿叶、这杯清茗之所以具有强大的生命力，纵横缈缈数千年，横跨茫茫五大洲，除了脍炙人口的色香味之外，就是以其祛病健身的功效折服人类的，而茶的风味与保健功能正是茶叶所特有的多酚化合物（简称茶多酚）所赋予的。茶在古代被誉为“万病之药”（唐·陈藏器《本草拾遗》）。凡是科学都会随着时代的前进而得到相应的发展与充实，近30年来迅速发展而建立起来的自由基医学为茶多酚广泛的医疗功效提供了依据，因此，在世界性的探寻新型自由基清除剂的热潮中，茶多酚的研究受到生物学家和医学家极大的关注。

茶多酚由于具有提供质子的分子结构，使其具有很强的还原性，而成为一种不可多得的天然抗氧化剂，我们在国家和浙江省自然科学基金的资助下，联合多学科研究了茶多酚清除活性氧自由基的机理，系统地研究了茶多酚的毒理学，并对某些药理药效进行了研究，证明茶多酚是一种高效低毒的自由基清除剂，制成的制剂进行临床观察也取得良好的预期结果，为某些疾病的防治开创了新的途径，为将茶多酚开发成最具我国特色的天然药物奠定了理论基础。

从茶到茶多酚，科学工作者经历了半个世纪的探索，本书是在前人奠定的茶叶化学研究的基础上，汇集了当前茶多酚的最新研究成果，并较全面地反映作者近年来在茶多酚化学领域中的研究内容。为了适应茶学的发展和广大茶业科技人员、医药学工作者的需要，在内容上力图使本书更适合读者的阅读，我们将全书分为十章。第1、2章由杨贤强、陈留记撰写；第3章由王岳飞、胡振长撰写；最能体现本书特点和独到之处的第4、5、6、7章分别由杨贤强、陈留记、胡秀芳、王岳飞、高永贵、沈生荣、朴宰日、屠幼英和胡振长编写；第8章具有前瞻性的研究内容由杨贤强、王岳飞撰写；第9、10章由高永贵、王岳飞、陈留记完成。这样安排考虑到各编写人员的特长，既注意了基础理论及应用基础的阐述，又注意到实用开

发的介绍,使读者在提高基础理论、专业知识的同时,对本领域的科研也有一定的了解,以增进开发利用茶多酚的理解。推广应用茶多酚,既改善茶业传统产业结构向高度化发展、振兴华茶,又使茶多酚的保健功能为人类健康作出新贡献,达到茶使世界更美好,茶使人类更健康之目的。

在撰写本书时,台湾东吴大学化学系毛玉麟教授给予热情的鼓励,中华全国供销合作总社杭州茶叶研究院院长骆少君研究员、浙江大学百川生物食品技术有限公司,对本书的编写给予热情的支持。我的学生胡秀芳、陈留记、王岳飞、高永贵、朴宰日等博士和唐德松、张志会同学不但搜集了大量较新的资料充实了本书的内容,而且还任劳任怨地做了大量繁琐的工作。在编写过程中得到浙江大学茶学系领导和同事们的鼓励和支持,还有华夏英才基金给予的资助、上海科技专著出版资金的资助,才能最终使本书付梓,在此一并表示衷心的感谢。但由于作者水平所限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

杨贤强

2003年5月

# 目 录

第 1 章 茶多酚的组成及其理化性质.....	1
§ 1.1 茶多酚的分类与组成 .....	1
1.1.1 多酚的分类 .....	1
1.1.2 茶多酚的组成 .....	3
§ 1.2 茶多酚的物理特性 .....	8
1.2.1 溶解性 .....	8
1.2.2 酸性 .....	9
1.2.3 半胶体特性 .....	10
1.2.4 呈味和呈色特性 .....	10
1.2.5 氧化还原电位 .....	12
1.2.6 异构性 .....	13
1.2.7 光谱特性.....	17
1.2.8 核磁共振谱和质谱 .....	19
1.2.9 稳定性 .....	22
§ 1.3 茶多酚的化学特性.....	23
1.3.1 氧化还原性 .....	25
1.3.2 聚合反应.....	26
1.3.3 茶多酚与无机离子的作用.....	32
1.3.4 茶多酚与脂质体的嵌合 .....	52
1.3.5 茶多酚的醚化、酰化、苷化和磺化 .....	54
第 2 章 茶多酚在茶树体内的代谢 .....	59
§ 2.1 茶多酚的代谢特点.....	59
2.1.1 含量高 .....	59
2.1.2 分布广 .....	60

2.1.3	生理活性大 .....	60
§ 2.2	茶多酚的生物合成和分解途径 .....	61
2.2.1	儿茶素的生物合成途径 .....	61
2.2.2	茶多酚的分解代谢 .....	64
§ 2.3	茶多酚在茶树体内的生理功能 .....	66
2.3.1	在呼吸链中作为呼吸色素原起中间递氢体的作用 .....	67
2.3.2	特殊的贮能形态 .....	68
2.3.3	参与茶树形态建成 .....	68
2.3.4	内源性自卫物质 .....	68
2.3.5	抗病虫害 .....	70
§ 2.4	遗传因子和生态因子对茶多酚代谢的影响 .....	71
2.4.1	遗传因子的影响 .....	71
2.4.2	环境因子的影响 .....	73
2.4.3	农技措施的影响 .....	78
<b>第 3 章</b>	<b>茶多酚在制茶过程中的变化及其对茶叶品质的贡献 .....</b>	<b>82</b>
§ 3.1	茶叶分类的生化依据 .....	82
3.1.1	以茶多酚氧化程度及方式的分类 .....	82
3.1.2	茶叶的分类系统 .....	83
§ 3.2	茶多酚在红茶制造过程中的变化及其衍生物的调控 .....	84
3.2.1	茶叶中的氧化酶及其作用 .....	84
3.2.2	多酚类物质与红茶制造的关系 .....	86
§ 3.3	绿茶制造过程中茶多酚的变化 .....	105
3.3.1	茶叶的品质成分 .....	105
3.3.2	茶多酚的变化 .....	105
<b>第 4 章</b>	<b>茶多酚的生物学活性 .....</b>	<b>109</b>
§ 4.1	茶多酚的药理 .....	109
4.1.1	中医药与茶叶 .....	109
4.1.2	自由基病因学与自由基药理学 .....	110
4.1.3	茶多酚保护生物大分子的自由基机理 .....	116

§ 4.2 茶多酚的抗氧化机理 .....	126
4.2.1 抑制自由基的产生 .....	127
4.2.2 直接清除自由基 .....	134
4.2.3 对抗氧化体系的激活作用 .....	147
4.2.4 自由基损伤及茶多酚多种抗氧化机理的协同作用 .....	158
4.2.5 促氧化作用 .....	159
§ 4.3 茶多酚抗氧化的构效关系 .....	167
4.3.1 基本结构产生的两大特殊性质 .....	168
4.3.2 基团对茶多酚抗氧化活性的影响 .....	171
4.3.3 其他因素对茶多酚抗氧化活性的影响 .....	187
4.3.4 偶联效应对活性的影响 .....	194
<b>第5章 茶多酚的药理药效</b> .....	<b>201</b>
§ 5.1 茶多酚对辐射损伤的防护 .....	201
5.1.1 对自由基的清除作用 .....	203
5.1.2 对与辐射有关的酶的影响 .....	206
5.1.3 对辐射损伤免疫器官的保护 .....	210
5.1.4 对造血功能的提高 .....	210
§ 5.2 茶多酚的抗突变作用 .....	215
5.2.1 茶多酚和茶提取物的抗突变作用 .....	216
5.2.2 茶多酚和茶提取物的抗突变机理 .....	217
§ 5.3 茶多酚的抗肿瘤作用 .....	230
5.3.1 茶叶防癌成分筛选 .....	231
5.3.2 流行病学研究 .....	233
5.3.3 对癌症高危病人的干预试验 .....	235
5.3.4 临床观察 .....	237
5.3.5 对实验性动物肿瘤形成及生长的影响 .....	239
5.3.6 茶多酚抗肿瘤机理 .....	244
§ 5.4 茶多酚对衰老的延缓作用 .....	265
5.4.1 对家蝇寿命的影响 .....	265
5.4.2 对家蝇脑内超氧化物歧化酶和脂褐素的影响 .....	266

§ 5.5	茶多酚调节免疫功能 .....	267
5.5.1	对荷瘤小鼠免疫功能的影响 .....	268
5.5.2	对正常小鼠免疫功能的影响 .....	270
§ 5.6	茶多酚对肾疾患的防治 .....	274
5.6.1	对肾病的药效 .....	275
5.6.2	对肾病的药理 .....	284
§ 5.7	茶多酚对心脑血管疾病的防治及对脑损伤的保护 .....	296
5.7.1	降血脂作用 .....	296
5.7.2	抑制血栓形成 .....	298
5.7.3	对心肌损伤的保护作用 .....	298
5.7.4	降血压、扩张血管作用 .....	299
5.7.5	保护缺血再灌注损伤作用 .....	300
5.7.6	强心抗疲劳作用 .....	302
5.7.7	抑制低密度脂蛋白的氧化 .....	303
5.7.8	对脑损伤的保护作用 .....	304
5.7.9	临床实验 .....	310
§ 5.8	茶多酚对微生物的抑制作用 .....	312
5.8.1	对微生物的抑制 .....	314
5.8.2	抑菌机理 .....	326
§ 5.9	茶多酚对提高飞行员健康水平的作用 .....	334
5.9.1	脂质过氧化反应是航空应激损伤的生化机制之一 .....	334
5.9.2	对航空应激条件下自由基损伤的防护作用 .....	335
5.9.3	提高飞行员健康水平的其他作用 .....	337
§ 5.10	茶多酚减缓香烟毒害 .....	340
5.10.1	吸烟产生的自由基对人体的伤害 .....	340
5.10.2	香烟气雾自由基对大鼠细胞膜的损伤及茶多酚的保护作用 .....	341
5.10.3	香烟气相物质引起中国仓鼠肺 V <sub>79</sub> 细胞的损伤及茶多酚的保护作用 .....	342

第 6 章	茶多酚的保颜、保鲜及除臭作用 .....	345
-------	----------------------	-----

§ 6.1	茶多酚的保健美容作用 .....	345
-------	------------------	-----

6.1.1	美肤作用	345
6.1.2	护齿作用	357
6.1.3	明目作用	364
6.1.4	美发作用	366
6.1.5	减肥轻身功效	368
§ 6.2	茶多酚的保鲜作用	373
6.2.1	对油脂的抗氧化作用	374
6.2.2	对肉制品的保鲜作用	378
6.2.3	对高脂食品的保鲜作用	378
6.2.4	对鲜鱼的保鲜作用	380
§ 6.3	茶多酚的清除异味作用	383
6.3.1	清除肠胃道异味	383
6.3.2	清除口臭作用	384
6.3.3	清除环境臭气	385
6.3.4	除臭机理	386
<b>第7章 茶多酚的安全性评价及药物代谢动力学</b>		<b>391</b>
§ 7.1	茶多酚的毒理学	391
7.1.1	急性毒性试验	391
7.1.2	蓄积性试验	394
7.1.3	遗传学效应	394
7.1.4	亚急性毒性试验	399
7.1.5	长期毒性试验	402
7.1.6	一般药理试验	406
7.1.7	对眼、皮肤的刺激和皮肤过敏性试验	407
§ 7.2	儿茶素的药物代谢动力学研究	412
7.2.1	儿茶素的吸收	413
7.2.2	儿茶素在器官及细胞中的分布	416
7.2.3	儿茶素的代谢产物及其动态变化	417
7.2.4	儿茶素的排泄	422