

海通食品集团振兴产业专著出版基金资助项目 江南大学学术专著出版基金资助项目



杨梅资源开发与利用

Development and Utilization of Bayberry Resource

张 懋 孙金才 ◎ 著



中国轻工业出版社

海通食品集团振兴产业专著出版基金资助项目
江南大学学术专著出版基金资助项目

杨梅资源开发与利用

张 懋 孙金才 著
陈龙海 审

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

杨梅资源开发与利用/张慙, 孙金才著. —北京:
中国轻工业出版社, 2009.9
ISBN 978-7-5019-7057-5

I. 杨… II. ①张…②孙… III. ①杨梅—资源开发
②杨梅—资源利用 IV. TS255.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 113397 号

责任编辑: 李亦兵 责任终审: 孟寿萱、
版式设计: 王超男 责任校对: 杨 琳

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17

字 数: 386 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-7057-5 定价: 36.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

90095K1X101ZBW

海通振兴产业专著出版基金编委会

主 任 陈龙海

委 员 周乐群 罗镇江 毛培成 吴立忠 钟齐丰

前 言

杨梅是我国的特产水果,杨梅鲜果色泽鲜艳,酸甜适口,风味浓郁,富含多种矿物质元素、维生素、氨基酸等营养成分,而且杨梅生长在远离大城市的山区,极少或没有被大气污染,栽培管理粗放,病虫害危害较少,具有“绿色无公害水果”之美誉,病虫害较少,被公认为天然的绿色保健食品,深受消费者青睐。

对杨梅资源的开发利用不仅是杨梅产地的需求,其技术难度大,对相关研究人员的智力也是极大的挑战。在我国南方的杨梅主栽省份,尤其在浙江省,杨梅保鲜和加工及其贮藏过程的品质保持技术一直就是广泛研究的课题。

笔者通过承担宁波市招标攻关项目“杨梅果汁饮料加工技术研究及产业化”(2003C10008)、江苏省农业科技攻关项目“易腐烂果蔬真空高湿预冷关键技术和设备开发”(BE2003349),慈溪市农业局项目“NFC 杨梅果汁加工技术研究”,以及江南大学-海通食品集团股份有限公司联合研究所项目“海通食品包装研究(2003-4)”、“辅色素对杨梅汁色泽短期稳定性的影响研究(2004-6)”、“真空预冷延长杨梅等易腐烂果蔬的货架期研究(2004-5)”、“海通现有杨梅汁产品的色泽稳定性新工艺研究(2005-6)”、“杨梅汁加工机理和中试工艺研究(2006-2)”、“杨梅加工‘下脚料’综合利用新技术及商品化研究(2007-5)”、“杨梅汁系列产品开发思想库初建(2008-2)”、“杨梅等果蔬纳米功能性调理技术研究(2008-3)”、“杨梅多酚及其系列产品的开发(2009-6)”,较深入地研究了杨梅资源开发和利用领域的多种新技术。为了加快杨梅资源开发和利用新技术的开发和产业化,江南大学与国内杨梅加工龙头企业海通食品集团股份有限公司建立了“长效产学研”合作机制——联合研究所,联合课题组在杨梅等果蔬加工领域开展了卓有成效的紧密型产学研合作,从而促进了相关科研成果的快速转化。本书的专题研究范例部分就是上述科研活动的产物。本书作者率领的课题组已在国际著名 SCI 刊物上发表杨梅研究论文 8 篇,授权国家发明专利 5 项,所研究的杨梅汁加工项目也通过了省级鉴定,其核心成果达到了国际先进水平,并获得了中国食品工业协会科学技术二等奖和宁波市科技进步二等奖。所承担的有关项目实践和取得的相关研究成果为本书的专题研究实例提供了第一手素材。

食品科学是食品工业的支柱学科,它既是基础学科,又是应用学科。随着国民经济的持续高速发展,食品科学在食品工业发展中的地位和重要性日益显著。包括杨梅在内的食品新资源开发与利用学是属于食品科学的一个学科分支,是当前国际上发展迅速的食品研究新领域。由于杨梅产业发展较为迅速,且涉及的学科面较广,因此目前国内外尚无系统论述其理论和机理研究方面的书籍。但由于研究领域的边缘性特点,建立其技术理论体系并非易事。这方面的书籍非常缺乏,这成为编写本书的初衷。本书尝试在多学科相关前沿理论应用的基础上,针对杨梅开展新资源开发与利用学的研究,并建立其理论体系,预计有显著的学术及应用价值。

与其他同类书籍相比,本书在学术思想上更强调应用学科间的相互渗透、相互交叉的

研究和写作思路。在内容范围上,采取按杨梅加工质量体系、包装、保鲜、加工、综合利用等过程进行分类研究,打破传统学科间的界限,扩大了视角和范围,尝试建立新型的杨梅资源开发与利用的新技术体系。在结构体系上,本书采用“两个结合”,即:通用研究理论和具体专题研究方法相结合,通过处理手段和机理探讨的融会贯通,使不同加工过程的品质调控实现有机结合。在写作特点上,采用了原理和方法提出与专题研究举例印证的写作方法,使读者易理解本书的观点和所采用的方法,起到了举一反三的作用。

本书从研究到酝酿出版花费了整整5年时间,在此期间杨梅研究带给了笔者所在团队许多挑战,也大大加深了我们对杨梅资源开发和利用难度的认识。本书中相关研究范例承担者或参与者有历年来参与杨梅课题研究的江南大学农产品加工与贮藏研究所的研究生和本科生,主要有方忠祥(博士)、弓志青(博士)、陶菲(博士)、安建申(博士后)、朱丹实(硕士)、高乐怡(硕士)、楼芳琼(学士)、王英(学士)、戎青梅(学士)、蔡本利(学士)、郑利琴(硕士)等,以及在海通集团从事技术工作并参与提供相关案例的郑丹丹(硕士)、国维华(学士)、王彬(博士后)、王建成(学士)、许庆炎(硕士)等,在此一并表示谢意;笔者非常感谢海通食品集团振兴产业专著出版基金和江南大学学术专著出版基金对本书的资助;感谢慈溪市农业局徐桐琦局长、慈溪市杨梅研究所柴春燕高级工程师的大力支持;笔者还要特别感谢黄连贵高级农经师、姚惠源教授在百忙中为本书写了序,以及慈溪市副市长杨慧芳女士对本书提出了宝贵意见;感谢海通食品集团股份有限公司董事长陈龙海先生为本书审稿。

本书可供高等院校食品工程、农产品加工工程及食品加工专业的研究生和高年级本科生以及研究院(所)和企业的研究及开发人员参考。

由于笔者水平有限,书中难免存在缺点乃至错误,敬请读者批评指正。

著 者

2009年7月

序 一

杨梅是广大消费者非常喜爱的一种特色水果，江浙一带是我国杨梅的主产区。杨梅风味独特，宋代苏东坡有佳句“西凉葡萄，闽广荔枝，未若吴越杨梅”。随着现代食品研究的深入和发展，杨梅的保健功能因子不断地被发现，见证了“止渴，和五脏，能涤肠胃，除烦溃恶气”等美好传承的科学依据。近年来，杨梅产业化也取得了迅速的发展，新品种培育和种植、保鲜加工、综合利用以及产品营销产业链逐步完善。以杨梅为媒介的休闲农业、观光农业、文化产业也快速发展，已经成为当地农民致富、农村繁荣的支柱产业。事实证明，一个农业产业要得到很好的发展，必有一个强有力的加工业在起支撑作用，杨梅产业发展也是如此，这就要感谢农业龙头企业为此作出的努力和贡献。

海通食品集团股份有限公司在陈龙海董事长的带领下，从事农业产业化事业二十五年，不断探索，不断发展，为果蔬加工业力尽其能，为当地“三农”作出了极大的贡献，为中国农业产业化工作树立了很好的典范。杨梅加工是海通集团农产品加工的重要组成部分，其中杨梅果汁是海通食品集团股份有限公司在国内推进的重点产品，是“海通”致力于人类健康食品的奉献，也是“海通”专注深化农业产业化的一个范例。

为提升杨梅产品质量，开发杨梅产品的新功能，给消费者提供新鲜、生态、安全、营养以及功能独特的高品质杨梅产品，农业产业化国家重点龙头企业海通食品集团股份有限公司与江南大学建立了产学研合作机制——食品制造新技术联合研究所，对杨梅及其产品做了长期、多层面的有益探索。本书是江南大学张慙教授带领的课题组与海通食品集团股份有限公司孙金才总工程师负责的研发中心多年合作的结晶。作者立足实践，勇于创新，在杨梅产品深加工、杨梅贮藏保鲜、杨梅产品质量保证与控制体系、杨梅产品物流、消费趋势、市场营销等杨梅资源开发与利用产业链的关键环节，进行了系统的深入研究，近十篇研究论文在国际著名 SCI 刊物发表，其中杨梅汁加工项目荣获中国食品工业协会科学技术进步二等奖。

本书出版不仅丰富了杨梅资源开发利用、保鲜以及加工技术理论，更对杨梅产业链建设，以及依托龙头企业实现科技成果产业化等的理论创新与实践指导有着重要意义。

国家农业部农业产业化
领导小组办公室
常务副主任
黄连贵 高级农经师
2009 年 5 月

序 二

杨梅是我国特色水果，我国南方各省的杨梅产业发展非常迅速，浙江省更是把杨梅作为水果支柱产业来发展。但相关书籍偏少。

江南大学与国内杨梅加工龙头企业海通食品集团股份有限公司建立了“长效产学研”合作机制——联合研究所，本书第一作者张懋教授带领的课题组与海通食品集团股份有限公司研发中心合作8年来，在杨梅等果蔬加工领域开展了卓有成效的紧密型产学研合作，从而促进了相关科研成果的快速转化。本书的专题研究范例部分就是上述科研活动的成果。本书作者率领的课题组已在国际著名SCI刊物上发表杨梅研究论文近10篇，授权国家发明专利4项，所研究的杨梅汁加工项目也通过了省级鉴定，其核心成果达到了国际先进水平，并获得了中国食品工业协会科学技术二等奖和宁波市科技进步二等奖。所承担的有关项目实践和得到的相关研究成果为本书的专题研究实例提供了第一手素材。

本书是一部凝结了作者多年来在杨梅资源开发和利用领域研究成果的专著。其中述及的杨梅加工的质量保证与控制体系、杨梅产品的包装、杨梅保鲜技术、现有杨梅加工技术及产品、杨梅加工产品中的新概念及应用、杨梅综合利用的途径与技术、杨梅产品的物流和市场与营销策略等，对我国杨梅资源开发和利用领域的理论研究和先进技术的推广将起到积极作用。

期待本书的出版将进一步充实我国在杨梅资源开发和利用领域的基本理论和生产技术，同时为有关研究机构和企业研发人员以及高等院校食品专业学生提供一部有价值的专著。

江南大学食品学院

姚惠源教授

2009年1月

目录

1	第一章	杨梅资源开发与利用概论
1	第一节	杨梅的地域分布及品种
3	第二节	杨梅的结构特点、成分和食疗保健功能
11	第三节	杨梅文化和市场前景
12	第四节	杨梅保鲜和加工现状
16	第五节	杨梅保鲜和加工产业中存在的主要问题及对策
19	第六节	杨梅产品物流、消费趋势、营销现状及营销策略
29	第二章	杨梅食品加工的质量保证与控制体系
29	第一节	有关杨梅食品加工质量的概念
31	第二节	杨梅食品加工质量控制总体规则
35	第三节	杨梅食品生产中的卫生问题
38	第四节	杨梅食品质量评价方法
42	第五节	有害动物控制和微生物控制
45	第六节	结合 HACCP 计划的杨梅加工质量管理规范
63	第三章	杨梅加工产品的包装
63	第一节	食品包装概述
64	第二节	杨梅食品包装材料及其性能
68	第三节	杨梅食品包装容器的规格和包装系统
78	第四节	杨梅食品包装材料的选择标准
80	第五节	杨梅产品的典型包装实例
84	第四章	杨梅的保鲜特点和保鲜技术
84	第一节	杨梅的保鲜特点
86	第二节	杨梅的保鲜方法及其技术
103	第三节	杨梅保鲜测量技术
109	第四节	杨梅真空预冷保鲜研究实例
113	第五章	杨梅汁及其饮料加工技术
113	第一节	杨梅汁产品加工工艺
115	第二节	杨梅汁饮料产品加工工艺

123	第三节	杨梅汁护色
142	第四节	杨梅清汁贮藏和加工
160	第五节	杨梅汁中多酚类物质微波辅助提取技术
165	第六章	杨梅粉固体饮料加工技术
165	第一节	杨梅粉固体饮料加工工艺
168	第二节	杨梅粉加工、特性及抗氧化活性
182	第三节	杨梅粉结块及贮藏稳定性
190	第四节	杨梅粉固体饮料的风味与冲调性能
197	第七章	杨梅传统产品加工技术及综合利用
197	第一节	杨梅酒及其加工工艺
201	第二节	杨梅果酱及其加工工艺
204	第三节	杨梅果脯及其加工工艺
207	第四节	杨梅罐头及其加工工艺
208	第五节	杨梅冰淇淋及杨梅果冻的加工技术
210	第六节	加工下脚料和废弃物的综合利用
218	第八章	杨梅概念产品
218	第一节	杨梅加工新概念产品
222	第二节	纳米维生素 E 微乳液制备和纳米维生素 E 杨梅真空含浸工艺
236	第三节	纳米碳酸钙奶油含浸液的制备和纳米钙杨梅真空含浸工艺
252		参考文献

第一章 杨梅资源开发与利用概论

第一节 杨梅的地域分布及品种

杨梅 (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.), 英文名: Bayberry, Red Bayberry 或 Chinese Berry, 原产我国东南部, 属于杨梅目、杨梅科、杨梅属的亚热带常绿果树, 又称杧子、圣僧梅、白蒂梅、朱红、树莓等, 其野生种生长史可追溯到 7000 年以前, 而人工栽培最迟也从西汉开始, 距今已有 2000 多年的历史。现在称谓的“杨梅”这一名字来源于明代李时珍的《本草纲目》, 其中写到“其形如水杨子而味似梅, 故名”。

一、杨梅的地域分布

我国是杨梅的主产国, 邻国日本有少量栽培, 印度、缅甸、越南等国出产另外一种杨梅, 果形小, 常栽于庭院, 作观赏或糖渍供食用, 欧美诸国也只有少量的引种, 大多作观赏或药用。杨梅作为我国特产水果, 其鲜果色泽鲜艳, 酸甜适口, 风味浓郁, 富含多种矿物质元素、维生素、氨基酸等营养成分, 而且杨梅生长在远离大城市的山区, 极少或没有被大气污染, 栽培管理粗放, 病虫害较少, 具有“绿色水果”之美誉, 被公认为天然绿色保健食品, 深受消费者青睐。

我国杨梅主要分布在东经 $97^{\circ} \sim 122^{\circ}$ 和北纬 $18^{\circ} \sim 33^{\circ}$ 之间, 东起台湾东岸, 西至云南瑞丽, 北至陕西汉中, 南至海南岛南端。地跨北、中热带和北、中、南亚热带。但经济栽培则集中在我国的浙江、江苏、福建、广东、江西、安徽、湖南、贵州、云南等省, 其他如四川、海南、台湾等省仅有少量栽培或大多呈野生状态。

从跨省分布角度, 我国主要杨梅品种资源的分布可划分成 5 个亚区: ① 江苏太湖沿岸和杭州湾南岸地区; ② 浙闽沿海区; ③ 华南滨海区; ④ 滇黔高原区; ⑤ 湘西黔东南区。就长江以南各地区适应性比较而言, 东部比西部好, 沿海比内地好。

从主产省比较来说, 我国杨梅种植主要分布在长江流域以南、海南岛以北的省份, 其中浙江的栽培面积最大, 产量最高, 品质最佳。浙江的慈溪横河镇 1996 年被农业部命名为“中国杨梅之乡”, 并率先通过有机杨梅认证, 成为全国最早也是最大的有机杨梅产业基地。慈溪和余姚两地同时获得杨梅国家原产地标志注册。慈溪市 1989 年开始举办“杨梅节”, 至今已举办 21 届; 2006 年开始举办杨梅仙子评选及颁奖活动, 至今已经举办 4 届。

据估计, 当前我国杨梅的总产量约 80 万 ~ 100 万 t, 种植面积约 11.5 万 hm^2 , 近几年杨梅种植呈现较大的增长趋势。以浙江省为例, 浙江省 2001 年杨梅种植面积、总产量分别为 4.7 万 hm^2 、21 万 t, 2003 年分别增加到 5.4 万 hm^2 、23 万 t, 2008 年更是达到创历史新高的 7.5 万 hm^2 、35 万 t。浙江的杨梅种植面积和产量分别占全国的 65.2% 和 77.7%, 杨梅已经成为浙江省仅次于柑橘的第二大水果。

杨梅适应性广，耐瘠耐旱，四季常绿，生长旺盛，是极佳的绿化树种，也是优良的防火林。杨梅根系与放线菌共生具有天然的固氮作用，是亚热带地区治理水土流失的最好树种之一。杨梅兼经济效益与生态功能于一身，且生产成本较低，十分适宜广大山区栽培，在南方各地的发展前景尤为广阔。

二、我国杨梅的品种

杨梅在分类学上属于杨梅属杨梅种，我国杨梅种 (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) 的栽培变种有以下 8 个：野杨梅、红种、粉红种、白种、钮珠杨梅、乌种、早性杨梅和阳平梅。

在我国现保存的 400 份种质资源中，已通过省级鉴定（审定、认定）的杨梅品种共 18 个，依据成熟期早晚的顺序排列为：长蒂乌梅、早荠蜜梅、大火炭梅、临海早大梅、早色、安海变、丁岙梅、西山乌梅、洞口乌、荸荠种、甜山杨梅、大叶细蒂、小叶细蒂、乌酥核、火炭梅、晚荠蜜梅、晚稻杨梅、东魁。

专家认为我国现有杨梅品种资源呈现三个特点：一是品种间差异悬殊，表现出丰富的遗传多样性。如果实小的单果重仅 3g，大的达 25g 以上，最大单果重超过了 50g。二是成熟期跨度较大，早的 4 月成熟，迟的 7 月中旬成熟，其中早熟种（6 月上旬以前成熟的）占 21.1%，迟熟种（7 月成熟的）占 12.4%。三是果实色泽十分丰富。有白色、粉红、红色、深红、紫红、深紫红、紫黑和乌黑等，其中紫红的最多，共有 100 份，占 37.3%。从总体看来，实用价值较高的品种，几乎都是深色品种，包括乌梅类和红梅类的一些优良品种，它们的果实品质优异，适应性广泛，在全国范围内广为应用，而浅色品种，如白杨梅、粉红杨梅也有优良品种，但其最大的缺点是适应能力差，产量不及红杨梅和乌杨梅，因而各地仅少量栽培。

我国杨梅具有代表性的优良品种如下：

(1) 荸荠种 为我国当前分布最广、种植面积最大的品种，也是当前国内最佳的鲜食兼加工优良品种。1984 年由该品种制成的糖水罐头，获国家银质奖，在国际上还获得世界旅游食品金桂叶奖。该品种主产地浙江慈溪和余姚，6 月中下旬成熟，果实紫黑色，果形较小，核小，但品质特佳，肉与核易分离，可食率 95.0%，含可溶性固形物 12.0%。着果牢固，采前落果现象少。该品种丰产、稳产、优质，适于鲜食与榨汁、罐藏加工，适应性广，有抗癌作用的报道。

(2) 东魁杨梅 又名东岙大杨梅、巨梅，是国内外杨梅果形最大的品种。原产浙江黄岩，7 月上旬成熟。果色紫红，单果重 24.7g，最大果重 51.2g。甜酸适口，品质上等，含可溶性固形物 13.4%，可食率达 92.8%。树势尚强，枝条比较稀疏，抗风力较强。产量高而稳定，适于鲜食。

(3) 丁岙梅 原产温州茶山。6 月中下旬成熟，果紫红色，果柄长，果蒂绿色瘤状凸起，单果重 15~18g，含可溶性固形物 11.1%，可食率 96.4%，品质上等。果实固着能力强，带柄采摘，较耐运输。

(4) 晚稻杨梅 该品种至今已有 140 余年栽培历史。7 月上旬成熟，为当前品质最佳的晚熟品种之一。单果重 12g，含可溶性固形物 12.5%，可食率 96%，富含香气，系鲜食与加工的优良品种。根系发达，吸收能力强，耐瘠薄，丰产性好。但对杨梅癌肿病抗性较弱，引种时苗木应严格检疫。

(5) 早色 浙江萧山临浦实生优选良种。产地6月中旬成熟。果紫红, 平均单果重12.68g, 果肉致密、较脆, 汁液多, 含可溶性固形物12.4%, 品质上等。

(6) 早茅蜜梅 从荸荠种的实生变异中选出, 比荸荠种提早15d开花, 提早10d(即6月7~15日)成熟, 明显提早杨梅供应期, 系早熟品种选种的重要突破。果实性状及品质与荸荠种相似, 紫红色, 含可溶性固形物12.8%, 可食率93.1%, 单果重9.0g, 明显大于同期成熟的“早酸”和“野乌”杨梅。

(7) 临海早大梅 为成熟期较早的大果形品种, 品质较佳。产地6月中旬成熟, 单果重15.7g, 最大果重18.4g, 含可溶性固形物11.0%, 肉质较硬, 较耐贮藏运输, 果实采后存放1昼夜仍保持原来的果色, 是很有发展潜力的早熟品种。

(8) 晚茅蜜梅 为荸荠种杨梅的晚熟大果的营养系变异种。成熟期推迟了5d, 单果重13.0g, 含可溶性固形物13.9%, 可食率95.6%, 品质优于荸荠种。树势健旺, 大小年变化幅度小。

(9) 乌酥核 广东省的主栽品种。长势旺盛, 叶小。果实完熟时为紫黑色至炭黑, 果大, 近球形, 单果重10~12.5g。果蒂呈紫黑色, 大而凸起。核小而酥, 果肉厚、结实, 酸甜可口。果实可食率94%, 可溶性固形物13.4%。含水量低, 耐贮藏和运输, 经济价值很高。成熟期在芒种前后。但该品种立地条件要求相对较高。

(10) 火炭梅 贵州省的鲜食品种。树体高大, 树势开张, 枝梢细长。果实扁圆形, 果形较大, 单果重11~15g, 最大25g, 可食率88%, 果实色泽鲜艳, 品质好。

(11) 安海硬丝 原产福建安海。即安海变硬肉柱杨梅, 果正圆球形, 平均单果重约15g, 果面紫黑色, 肉柱圆钝, 长而较粗, 果蒂有青绿色瘤状突起。口感较粗硬, 可食率95%以上。极耐贮运, 是不可多得的适宜长途运输的品种。

(12) 光叶杨梅 原产湖南靖州, 因首株母树生长在木洞上冲, 故俗称上冲杨梅, 也称木洞杨梅。现已成为湖南西南部靖州、会同、洪江一带的主栽品种, 当地种植面积近2万亩(1333hm²)。果实圆形, 单果重13g左右, 果顶有放射状浅沟, 延至果实中部, 肉柱圆钝, 极富光泽, 颜色深红带紫。含可溶性固形物12.5%, 含酸量1.1%, 味甜微酸, 品质上等。在靖州6月中旬成熟, 着果率高, 采前落果少, 产量稳定。其主要缺点是成熟期较短, 不耐贮藏与运输。

第二节 杨梅的结构特点、成分和食疗保健功能

一、杨梅的结构特点

在组织结构上, 杨梅果实的可食部分为中果皮, 它由许多肉柱组成。这些肉柱的端部挤在一起, 组成了果实的表面。当杨梅果实成熟时, 肉柱前端细胞迅速膨大, 因此, 果实表面布满了柔软多汁的小突起。肉柱的形状与质地因品质、树龄、土肥、结果多少、降雨量和成熟度的不同而不同, 通常果实的基部和顶部的肉柱尖, 腰部圆盾钝。杨梅果实的外果皮非常薄, 而且是以肉柱为单元, 对整个果实起不到保护作用。杨梅果实的薄壁细胞较多, 液泡体积大, 维管束主要分布于每个肉柱的轴心。在肉柱的顶端又各有一个小突起, 肉柱与肉柱之间比较稀松, 这也是杨梅果实易受损伤的原因。

二、杨梅的营养成分

杨梅色鲜味美，风味独特，是鲜食佳品。作为夏季时令水果，历来深受江浙一带消费者欢迎，近年随着国内外市场拓展，也日益受到国内外消费者的青睐。杨梅富含纤维素、矿物质元素、维生素和一定量的蛋白质、脂肪、果胶及 8 种对人体有益的氨基酸，其果实中钙、磷、铁含量要高出其他许多水果。由于杨梅生长在远离大城市的山区，极少或没有被大气污染，栽培管理粗放，病虫害较少，具有“绿色水果”之美誉。

杨梅作为中国的特产，对其营养成分的分析已做得比较完善。杨梅果实酸甜多汁、风味浓郁、营养价值高，富含糖、有机酸、维生素 C、硫胺素、核黄素、胡萝卜素以及钙、磷、铁、钾等矿物质，并且具有止咳生津、消食止呕、治疗痢疾的保健作用。典型优质杨梅果实中的各种营养成分含量如表 1-1 所示。

表 1-1 杨梅果实 (100g) 典型营养成分含量表

成分	含量	成分	含量	成分	含量
可食部分	82g	能量	117kJ	水分	92.0%
蛋白质	0.8g	脂肪	0.2g	膳食纤维	1.0g
碳水化合物	5.7g	灰分	0.3g	胡萝卜素	40μg
视黄醇当量	7μg	硫胺素	0.01mg	核黄素	0.05mg
尼克酸	0.3mg	抗坏血酸	9mg	总维生素 E	0.81mg
钾	149mg	钠	0.7mg	钙	14mg
镁	10mg	铁	1.0mg	锰	0.72mg
锌	0.14mg	铜	0.02mg	磷	8mg
硒	0.31μg	异亮氨酸	41mg	亮氨酸	66mg
赖氨酸	65mg	蛋氨酸	16mg	胱氨酸	10mg
苯丙氨酸	4mg	酪氨酸	37mg	苏氨酸	34mg
色氨酸	4mg	缬氨酸	49mg	精氨酸	39mg
组氨酸	36mg	丙氨酸	46mg	天冬氨酸	96mg
谷氨酸	109mg	甘氨酸	50mg	脯氨酸	64mg
丝氨酸	49mg				

三、杨梅的功能性成分

杨梅的功能性成分主要有花色苷、酚酸、 γ -氨基丁酸和黄酮醇。

(一) 花色苷

经过纸色谱、液相色谱、液相色谱-质谱联用等现代仪器分析表明，杨梅中的红色素为花色苷之一矢车菊色素 3-葡萄糖苷。很有特点的是，一般植物中的红色素都是多种花色苷的混合物，而杨梅中的矢车菊色素 3-葡萄糖苷却占到了总色素的 95% 以上，且这种花色苷目前被证明是可以被人体吸收和利用的花色苷，是一种作用很明显的抗氧化成分，可以预防和降低冠心病等心血管疾病的发生，改善夜视能力，具有抗溃疡、抗发炎、抗突变、保护血管和保护胃肠道等作用，还是生产治疗糖尿病和高血压性视网膜疾病的药物成分。杨梅花色苷具有成分纯（单一）、含量高（超过 0.1%）、能被吸收和功能显著等

特点。

花色苷的天然缺电子性使得其反应活性很强，但同时也使得其对 pH 和温度变化较敏感。尽管有人担心花色苷在生理 pH 条件下的不稳定性，但这类化合物还是被列为有强抗氧化活性的天然产物。它们的抗氧化活性与它们的化学结构有一定的关系。改变芳香环上的化学基团的位置和种类，它们从自由基分子接受未配对电子的能力就会发生变化。花青素-3-葡萄糖苷 (C3G) 的抗氧化活性引起了许多研究者的兴趣，其中 Tsuda 和其同事在体外体内的抗氧化活性方面的研究值得关注。

1. 抗氧化和清除自由基 (体内研究)

Tsuda 和他的同事的研究表明，当体内遭受强烈的氧化，C3G 可以作为一种潜在的抗氧化剂。给小鼠喂饲 C3G 可以降低其尿中的丙二酰硫脲反应物 (TBARS) 浓度、增加 2, 2-二 (2-脒基丙烷) 偶氮盐酸盐 (AAPH) 或 Cu^{2+} 唤起的血浆中的脂质过氧化的阻碍作用。在另一项研究中，作者用使鼠肝局部缺血/多次灌注 (I/R) 损伤作为抗氧化活性测定模型进行实验，结果证实了 C3G 在体内具有抗氧化活性。I/R 导致血浆中 TBARS 浓度的提高和肝损伤的标记酶的活力提高，同时还能降低肝中被还原的谷胱甘肽的浓度。给小鼠喂饲 C3G 能显著抑制上述现象，表明 C3G 确实能在体内起抗氧化作用。作者推测，口服 C3G 后，部分 C3G 被肠道吸收进入血液进而分布到组织内。在组织内 C3G 和它的代谢物和 ROS 发生反应，从而减少由 I/R 诱导的肝组织损伤。其次，作者还研究发现，C3G 对 I/R 损伤的保护是由于它能使鼠中嗜中性的化学诱导物减少。最后，在一些食用黑加仑和接骨木 (富含 C3G) 的志愿者身上发现花色苷在血浆中确有抗氧化活性。

2. 抗癌活性

最近几年的研究表明，花色苷可能具有抗癌活性。通过富含花色苷的浆果提取物，Hagiwara 等通过鼠实验发现，紫玉米色素 (PCC)，一种从 Zeamays 提取的富含 C3G (杨梅所富含的成分) 的提取物，能抑制由 1, 2-二甲胂和 2-氨基-1-甲基-6-咪唑 [4, 5-b] 吡啶诱导的肠腺瘤和癌。Liu 等人研究表明，人肝癌细胞 HrpG2 的增生能被悬钩子提取物显著抑制，且有剂量效应；Bomser 等证实 4 个富含花色苷的 Vaccinium 种有抗癌效果，它们能抑制鸟氨酸苯醌脱羧酶的诱导，该酶能限制多胺的合成速率。Meiers 等人发现，花青素能抑制体外人肿瘤细胞的生长，如人阴道癌细胞株 A431。其作用是通过关闭下游的信号串联，强烈抑制表皮生长受体。

3. 减轻肝功能障碍

日本在对含大量花色苷的紫肉甘薯饮料的生理功能试验中，给鼠喂食四氯化碳，使体内产生游离基，引发急性肝炎，血液中的谷氨酸-草醋酸转氨酶 (GOT)、谷氨酸-焦葡萄糖酸转氨酶 (GTP) 激增。实验表明紫肉甘薯饮料能显著抑制病鼠血清中 GOT、GPT 的上升，且对血清中的硫化巴比妥酸 (TBA) 反应物、肝脏中的 TBA 反应物及氧化脂蛋白的增加有一定抑制能力。Wang 等用 1.5 mmol/L 叔丁基过氧化氢 (t-BHP) 处理分离鼠肝细胞 30 min，引起肝脂肪氧化和细胞中毒，而 0.1% 或 0.2% 的花色苷可降低 t-BHP 的作用。在老鼠体内试验中，花色苷也可显著降低由 t-BHP 引起的肝细胞损伤。用百草枯 ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{Br}_2\text{N}_2$ ，一种除草剂) 引起树干损害，同样证明花色苷对肝脏具有保护作用。

4. 对心血管疾病的作用

从红葡萄酒中提取的花色苷能有效地清除超氧自由基和羟自由基 ($\text{OH}\cdot$)。在体外

实验中,花色苷能明显抑制低密度脂蛋白的氧化和血小板的聚集,而这两种物质都是引起动脉粥样硬化的主要因子。给大鼠喂食含大量胆固醇的食物,同时饲喂一种从茄子中提取的酰化飞燕草花色苷,结果鼠血清中的总胆固醇含量下降,而粪便排泄物中的胆固醇和胆汁酸却增加。实验者认为可能是花色苷部分地阻碍了小肠对胆固醇和胆汁酸的吸收。

5. 与抗坏血酸作用

虽然抗坏血酸因氧化产生的过氧化氢可引起花色苷的降解,一些实验却发现花色苷可促进动物对它的吸收。在对几内亚猪的实验中,用黑穗醋栗汁(一类含大量黄酮类物质饮料,同时用水和另一种不含黄酮类物质饮料作对照)作为维生素C载体,可增加猪的肾上腺和脾中的维生素C浓度(高42%~47%),而且猪的生长速度也比对照要快。但在一次缺乏人体实验中,以水、橘汁和黑穗醋栗汁做载体,没有发现明显的对维生素C吸收有差异的结果。

6. 其他

Wang引述了一些对花色苷疗效的报道,如花色苷用于治疗糖尿病性视网膜病、乳房囊肿,治疗由毛细血管脆弱引起的微循环疾病,保持血管的正常透性。还可以用于预防胆固醇引起的兔的动脉粥样硬化,作为肿瘤抑制剂、血管保护剂、辐射防护剂及抗炎剂等。Nair也提出花色苷及其降解产物在减轻疼痛和预防癌症方面具有一定的功效。

由WHO/FAO组成的食品添加剂联合专家委员会(JECFA)考察了花色苷的毒理学资料,结论是“毒性很低”。唯一的负面作用是使一些动物器官(肝、肾上腺、甲状腺)的重量和体重下降。1982年确定其人体ADI值(每日允许摄入量)为0~2.5mg/kg体重。

已有证据表明,花色苷能在动物和人体内被吸收而进入血液循环,而其药物代谢动力学特征和在组织内的分布以及它们的肠道微生物代谢产物是什么等问题,我们知道的还很少。虽然已有许多动物实验表明花色苷具有抗氧化、抗突变等功效,但花色苷在人体的生理作用还有待于进一步的资料确认。

(二) 酚酸

用液相色谱-质谱联用和标样的方法分析表明,杨梅中的酚酸为没食子酸和原儿茶酸,且没食子酸(gallic acid, GA, 化学名:3,4,5-三羟基苯甲酸)为主要的酚酸,含量为2.7~7.0mg/kg。它们也是重要的抗氧化成分,国家医药管理局中草药情报中心站出版的《植物药有效成分手册》表明没食子酸具有抗菌、抗病毒(如抗乙肝病毒)和抗肿瘤作用,中药止血胶囊(由灯心草、绒毛龙芽草、铁苋草等中药制备而成)的主要有效成分也为没食子酸。该药具有清热解毒,淡渗利湿,收敛止血等功效,说明没食子酸具有止血的作用。

1. 抗肿瘤作用

用传统中医药学方法筛选抗肿瘤药物时发现,GA在 IC_{50} 为4.8~13.2 μ g/mL时,对原代培养的大鼠肝细胞和巨噬细胞显示细胞毒作用,对纤维母细胞和内皮细胞显示较小的细胞毒作用;当浓度超过20 μ g/mL时,GA与细胞dRLh-84作用6h后,细胞死亡。相关化合物结构研究显示GA的细胞毒作用不是酚类化合物所共有的,而是依赖于GA结构上特有的特征:3个毗邻的酚羟基是主要的活性基团。在早幼粒细胞白血病HL-60RG的细胞培养中,GA通过活性氧簇ROS介导,诱导细胞死亡。将人胃癌细胞KATO III和结肠腺

癌细胞 COLO 205 暴露于 GA, 可导致它的生长抑制和细胞凋亡: 细胞 DNA 发生有控裂解, 产生若干大小不等的寡核苷酸片段, 这种片段是细胞凋亡的特征, 且分裂呈浓度和时间依赖性。GA 诱导细胞凋亡的作用不依赖细胞周期, ROS 的产生 (如 H_2O_2) 和胞内 Ca^{2+} 浓度上升可作为 GA 诱导细胞凋亡的共同信号, 且细胞凋亡可被胞内抗氧化剂 *N*-乙酰-L-半胱氨酸、过氧化氢酶和胞内 Ca^{2+} 螯合剂抑制。进一步的研究发现, GA 使胞内 ROS 呈剂量依赖性的增加, 可能由胞外产生的超氧阴离子得到的 H_2O_2 内流, 增加胞内 H_2O_2 水平, 与胞内 Ca^{2+} 一起使染色体 DNA 在核小体间断裂, 从而诱导细胞凋亡。Aoki 等报道 GA 诱导人口腔肿瘤细胞株 HSC-2 和 HSG 的凋亡, 是以细胞核缩合, 半胱氨酸蛋白酶 caspase 活化特征; 加入唾液剂量依赖性的降低 GA 诱导的细胞毒性, 提示生理体液可能改变 GA 的生物学作用。此外, GA 具有抑制鼠肥大细胞瘤细胞 P815、鼠黑色素瘤细胞 B16 和鼠淋巴瘤细胞 L5178 等转移性肿瘤细胞增殖的作用, IC_{50} 分别为 6.5, 8.0, 3.6 $\mu\text{g}/\text{mL}$; 用 50mg/kg 的 GA 治疗静脉注射 P815 的 DBA/2 小鼠, 发现小鼠肝内的小瘤数量下降, 在肝转移过程中升高的血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶均降低, GA 通过杀灭转移至肝脏的 P815 而抑制肥大细胞瘤的肝转移, 从而延长了生存期。

GA 作为多酚类物质具有较强的抗氧化、抗自由基作用。氧化和自由基损伤被公认是引起细胞 DNA 损伤进而导致细胞恶变的重要机制之一。现已证实 GA 对 Fenton 反应产生的羟自由基和黄嘌呤-黄嘌呤氧化酶自由基发生系统产生的超氧阴离子自由基具有清除作用, 对人肝微粒体细胞色素 P450 3A (CYP3A) 介导的氧化具有抑制作用, 以减少组织细胞 ROS 的堆积。在诱导细胞凋亡中主要显示促氧化作用。将 GA 加入蒸馏水中还原电位迅速升高, 几秒后被更高的氧化电位所替代; 而将 GA 加入培养基中仅剂量依赖性的增加氧化电位, 显示了它的促氧化作用。GA 诱导细胞凋亡时 H_2O_2 等 ROS 的产生被金属元素离子 (如铁, 铜离子) 还原, 生成羟自由基而显示促氧化作用使细胞死亡。有学者报道从质粒 pBR322 和小牛胸腺得到的 DNA 用 GA 加铜离子处理引起 DNA 丝条断裂和 8-羟基-2'-脱氧鸟苷的形成, 加入过氧化氢酶可阻止 DNA 损伤, 羟自由基可能参与了 DNA 的损害, 可见 GA 作为促氧化剂可引起铜离子依赖的 DNA 损害而导致细胞死亡。Qiu 等研究了 GA 诱导血管平滑肌细胞 VSMC 死亡的机制, 发现死亡的细胞细胞质皱缩, 细胞核缩合, 显示不属典型的细胞凋亡; GA 处理的 VSMC 产生羟自由基, 用水杨酸作吸收剂观察到液体的过氧化作用, 产生的羟自由基可被氯霉素乙酰转移酶 CAT 和去铁铵 DFX 抑制, 使细胞完全脱离死亡。表明羟自由基是 GA 诱导 VSMC 死亡的机制之一。

另有研究报道 GA 与 4 种人肺肿瘤细胞小细胞瘤 SBC-3、鳞状细胞癌 EBC-1、腺癌 A549 和耐顺铂亚克隆小细胞癌 SBC-3/CDDP 细胞接触 30min 后触发细胞凋亡, 且有 caspase 活化和氧化过程; 发现 GA 对 SBC-3/CDDP 的 IC_{50} 几乎与 SBC-3 一致, 表明 GA 诱导细胞凋亡的敏感性不随顺铂耐药性而改变, 指出 GA 可能使用于肺癌的治疗, 尤其是对抗肿瘤药物耐药的肺癌。另一项在植入肺癌细胞 LL-2 小鼠的实验中, 不定时经口给予 GA (1mg/mg 饮用水), 和/或每周一次腹腔注射顺铂 4mg/mL, 29d 后称得对照组、GA 组、顺铂组和 GA-顺铂联合治疗组肿瘤的平均重量为 4.02, 3.65, 3.19 和 1.72g。联合治疗组的肿瘤平均重量显著比对照组轻 ($P < 0.05$); GA 组、顺铂组和联合治疗组细胞凋亡的数量较对照组显著增多; 与顺铂组比较, 联合治疗组增加了肿瘤细胞的凋亡; 结果显示 GA 与抗肿瘤药物 (如顺铂) 联合治疗可能是治疗肺癌的一种有效方法。