

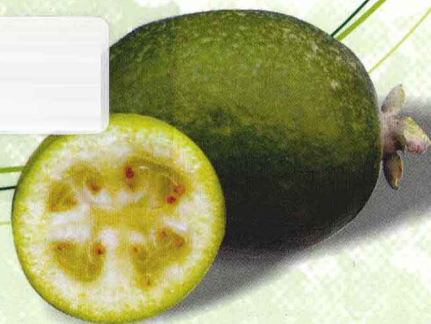


SHIYONG GUANSHANG YAOYONG
ZHIWU XINZHONGLEI
FEIYUEGUO

食用、观赏、药用植物新种类

——费约果

王 丹 张 猛 黄仁华 编著



科学出版社

食用、观赏、药用植物新种类 ——费约果

王 丹 张 猛 黄仁华 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了起源于南美洲的食用、观赏、药用植物新种类费约果,包括世界各国费约果发展概况、特征特性、起源、育种与品种,以及我国费约果引种适应性、繁殖技术、栽培技术、开发与利用等,重点对作者开展的费约果引种适应性及其繁殖技术研究结果进行了总结。全书以作者和有关研究人员多年来对关于费约果引种研究的成果为依据,结合国内外相关研究进展编著而成,反映了费约果研究的最新成果,对该领域的研究应用工作有一定参考价值。

本书可供果树学、园艺学、园林学、林学、生物学、药学、食品科学等专业的高校师生及科研和生产部门的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

食用、观赏、药用植物新种类——费约果/王丹,张猛,黄仁华编著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-037199-7

I. ①食… II. ①王…②张…③黄… III. ①费约果—研究Ⅳ. ①Q949.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 055269 号

责任编辑:杨 岭 黄 桥 / 责任校对:鲁 素
责任印制:邝志强 / 封面设计:墨创文化

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 4 月第一次印刷 印张:13

字数:310 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

费约果 (*Feijoa sellowiana* Berg.) 为双子叶植物纲蔷薇亚纲桃金娘科 (Myrtaceae) 南美稔属 (*Feijoa* Berg. 或 *Acca* Berg.) 植物。其果实有独特、浓郁的香味, 香甜可口。灌木状树冠, 绿色的果实, 红色的花, 使其具有较强的装饰作用, 可作园林绿化树种; 法国、日本等国大量文献报道其有较强的保健、药用价值, 是一种新型食用、观赏、药用植物新种类。费约果起源于巴西南部, 为温带至亚热带树种, 喜光, 能忍受的极端低温为 -10°C , 较抗旱, 不喜长期湿润, 喜冷凉的冬季及凉爽的夏季, 对土壤要求不严格。现主要分布于巴西、乌拉圭、阿根廷北部、美国、法国等地。目前的主要生产国为新西兰, 但澳大利亚也开始引进和重视该树种的发展, 正着手将其发展成为一个新的产业。目前该树种除用于观赏外, 其果实的主要用途为鲜食, 也被加工成为果汁、果酒、保健品等, 具有重要的经济价值和观赏价值, 同时其观赏、食用、药用兼备的特性使其具有很高的引种价值。我国广大的亚热带地区与费约果生长发育所需的环境条件接近或相同, 具有引种成功的基础和条件。该树种引种成功, 不但能满足人们对水果、观赏树种及药用植物多样化的需求, 而且也是出口创汇和农民增收的重要途径。因此在四川省科技厅、农业厅、教育厅、人力资源和社会保障厅、外国专家局、绵阳市科技局、乐山市科技局等的立项支持下, 在新西兰林肯大学及其 Michael Morley-Bunker 高级讲师的支持配合下西南科技大学生命科学与工程学院 2004 年开始了历时 8 年的“食用观赏兼用果树新种类费约果的引种研究”工作, 王丹教授主持该课题研究, 张猛也以此为博士论文研究课题开展研究并获得博士学位, 周丽娟、丁振柱和杨霞也以费约果相关研究为题开展了硕士学位论文的研究工作。参加该项目研究工作的除参与本书编写工作的同志外, 还有西南科技大学刘仁道教授、任少雄副教授、范理璋副教授, 乐山市人民政府徐建琼女士, 乐山市农业局张登奎高级农艺师等; 在研究工作中新西兰林肯大学 Michael Morley-Bunker 不但多次提供了引种材料, 还两次专门来华指导该项目研究工作, 没有 Michael 的无私帮助也就没有本项目研究工作的成功。在此要特别感谢 Michael 的大力支持, 也要向参与本项目研究工作的所有同志及立项支持本项目研究工作的各单位表示诚挚的感谢。该项目研究工作已通过四川省科技厅的成果鉴定, 并开始在全国范围进行推广应用。本书是对该项研究工作的全面总结, 作者也期待通过本书的出版发行推动费约果在国内的推广应用。

本书共有 7 章, 但主要由两大部分构成, 第 1、2、6 章主要在查阅大量资料的基础上结合引种工作实际编写而成, 第 3、4、5、7 章主要是本项目研究成果的总结、汇集。第 1 章由王丹、黄仁华、杨霞、郭佳编写; 第 2、3 章由王丹编写; 第 4 章由王丹、张

猛、周丽娟编写；第5、6章由张猛、刘仁道编写；第7章由丁振柱、黄仁华编写。多数图片由张猛博士编辑加工。本书稿由王丹教授统稿。本书的编写结合了国内外相关研究成果，引用的一些参考资料的部分图表可能未能在参考文献中一一列举，引用的资料也可能未能在书中逐一标注，在此对所有作者表示感谢。河北农业大学果树学张玉星教授审阅并提出宝贵的修改意见。本书的出版发行得到了西南科技大学博士单位建设专著出版经费资助，在此一并致谢。

本书为国内第一本正式出版发行的关于费约果的书籍，参考资料除极少数中文文章外绝大多数是外文资料，由于编著者的学识水平有限，本书不免存在不足之处，敬请读者批评指正，使之日臻完善。

王 丹

2011年12月20日

目 录

前言

第 1 章 国内外费约果发展概况	1
1.1 世界各国费约果开发应用概况	1
1.1.1 费约果发展历史	1
1.1.2 费约果开发应用概况	2
1.2 世界各国费约果相关研究进展	6
1.2.1 费约果生殖生物学及结实特性研究进展	6
1.2.2 费约果胚胎学研究进展	10
1.3 费约果主要营养成分及生物活性研究进展	16
1.3.1 费约果不同器官的营养成分	16
1.3.2 费约果主要生理功能	18
第 2 章 费约果特征特性	22
2.1 费约果植物学特性与分类	22
2.1.1 植物学分类学地位及命名	22
2.1.2 不同器官形态特性	23
2.1.3 遗传学基础及遗传多样性	27
2.2 费约果生物学特性	31
2.2.1 费约果对环境条件的要求	31
2.2.2 生长发育特性	33
2.2.3 结果习性	41
第 3 章 费约果起源、育种与品种	46
3.1 费约果起源与分布	46
3.1.1 费约果的起源	46
3.1.2 费约果的分布	46
3.2 费约果育种历史	48
3.2.1 法国	48
3.2.2 美国	48
3.2.3 俄罗斯	48
3.2.4 巴西和乌拉圭	49
3.2.5 新西兰	49
3.2.6 中国	50
3.2.7 其他国家	51

3.3 费约果品种选择	51
3.3.1 品种选择原则	51
3.3.2 品种简介	51
第4章 费约果引种适应性研究	60
4.1 植物引种基础	60
4.1.1 引种的概念及意义	60
4.1.2 引种驯化的原理	61
4.1.3 影响植物引种驯化的因子	63
4.1.4 植物引种规律	67
4.1.5 引种驯化的原则与方法	68
4.1.6 引种驯化成功标准	70
4.1.7 引种驯化中应注意问题	70
4.2 费约果引种实践	70
4.2.1 引种可行性分析	70
4.2.2 我国费约果引种区划及发展建议	73
4.2.3 费约果引种适应性研究	75
第5章 费约果繁殖	87
5.1 费约果实生繁殖	87
5.2 费约果营养繁殖	88
5.2.1 嫁接繁殖	88
5.2.2 扦插繁殖	90
5.2.3 压条繁殖	96
5.3 费约果组织培养快繁	97
5.3.1 费约果营养器官组织培养快繁	97
5.3.2 费约果生殖器官组织培养快繁	103
5.4 费约果繁殖方法比较	107
5.4.1 实生繁殖与营养繁殖	107
5.4.2 嫁接繁殖与组织培养快繁	108
5.5 费约果扦插繁殖机制	108
5.5.1 费约果扦插过程的解剖学	108
5.5.2 费约果扦插繁殖生理学	112
第6章 费约果栽培	119
6.1 果园建立	119
6.1.1 园址选择	119
6.1.2 品种选择与苗木定植	121
6.2 整形修剪	123
6.2.1 整形	123
6.2.2 修剪	124

6.3 土肥水管理	124
6.3.1 施肥	124
6.3.2 土壤管理	128
6.3.3 水分管理	129
6.4 花果管理	131
6.4.1 花发育	132
6.4.2 授粉需求	132
6.4.3 花果管理	133
6.5 病虫害防治	134
6.5.1 费约果在原产地的病虫害	134
6.5.2 费约果在新西兰的病虫害	135
6.5.3 病虫害防治	135
6.6 果实采收与贮藏	135
6.6.1 果实成熟	135
6.6.2 果实采收	135
6.6.3 果实碰伤和果皮损伤	136
6.6.4 果实贮藏	136
第7章 费约果的开发与利用	137
7.1 费约果主要营养成分及不同器官应用价值	137
7.1.1 费约果主要营养成分	137
7.1.2 费约果不同器官的应用价值	139
7.2 费约果果实生长发育过程中抗氧化体系相关指标变化	142
7.2.1 费约果果实生长发育过程中品质含量变化	142
7.2.2 费约果果实生长发育过程中抗氧化物质含量的变化	145
7.2.3 费约果果实生长发育过程中抗氧化相关酶活性变化分析	149
7.2.4 费约果果实生长发育过程中抗氧化活性的变化	153
7.2.5 费约果果实生长发育期中抗氧化体系相关指标间的趋势、关系	155
7.2.6 不同品种费约果果实生长发育过程中抗氧化相关指标的变化趋势	160
7.3 费约果叶片在一年中抗氧化体系相关指标变化	161
7.3.1 费约果叶片在一年中品质含量变化分析	161
7.3.2 费约果叶片在一年中抗氧化相关酶活性的变化	163
7.3.3 费约果叶片在一年中抗氧化物质含量的变化分析	169
7.3.4 费约果叶片在一年中抗氧化活性的变化	173
7.3.5 费约果叶片一年中抗氧化体系相关指标间的趋势、关系	176
7.3.6 不同品种费约果叶片在一年中抗氧化相关指标的变化趋势结论	180
主要参考文献	182
图版	

第 1 章 国内外费约果发展概况

1.1 世界各国费约果开发应用概况

1.1.1 费约果发展历史

费约果起源于巴西最南端、阿根廷北部、巴拉圭和乌拉圭西部的山区，最早被 M. de Wette 人工种植于瑞士，1887 年种植于瑞士西北部城市巴塞尔的植物园中，1890 年法国植物学及园艺学家埃德瓦·安德烈博士从巴西拉普拉塔（La Plata）地区带了 1 株空中压条的费约果苗，种植于法国里维埃拉（Riviera），该植株于 1897 年结果。1898 年安德烈博士在 *Revue Horticole* 杂志上发表了 1 篇论文，描述了费约果的性状，并配以彩色的叶、花、果图片，称赞其果实的优异表现，并推荐在法国南部和地中海地区进行栽培。

1899 年法国里昂的园丁扩繁了由安德烈提供的费约果植株，并分散种植于法国里维埃拉、意大利、西班牙等地，偏北地区主要种植于温室中。同年著名园艺家贝森·费瑞（Besson Freres）从乌拉圭蒙得维的亚（Montevideo）得到一批种子，繁殖了几千株，从中发现了一些不同于来自安德烈的植株类型。1901 年美国加利福尼亚的弗兰切斯基（Franceschi）博士从法国东北部昂蒂布（Antibes）的诺丹（Naudin）处得到了安德烈类型的费约果植株，将其种植于加利福尼亚的几个地方。1903 年弗兰切斯基博士又通过法国里昂的莫雷尔（Morel）得到了几株来自安德烈的植株，将其中几株种植在位于美国加利福尼亚州南部海岸线上的圣巴巴拉（Santa Barbara）市，其余植株则被送至美国佛罗里达州种植。这些植株在佛罗里达州南部没有种植成功，但在佛罗里达州北部则被作为观赏植物，特别是作为绿篱树种迅速流行起来。1911 年亨利·尼赫林（Henry Nehrling）博士在佛罗里达州中部的哥达（Gotha）种植的 2 株植株在半荫蔽条件下生长很好，开花、结果，但成熟前即落果并很快腐烂。近年来营养繁殖的‘Coolidge’品种在佛罗里达州表现很好，在加利福尼亚州，主要是旧金山附近也表现很好；费约果主要在美国冷凉的沿海地区进行限制性栽培。以后在较高海拔地区也成功引种栽培。

智利及南美其他地区 and 加勒比地区的高地也有费约果栽培，牙买加也在 1912 年从加利福尼亚得到费约果苗木并将其栽种到不同海拔地区。在印度南部一些家庭果园（海拔约 1000 米）也栽培食用费约果。

新西兰是费约果发展最好的国家。1908 年新西兰园丁从澳大利亚引进了‘Coolidge’，‘Choiceana’，‘Superba’ 3 个品种，但到 1930 年人们也很少知道费约果，当时的广告也是将费约果作为观赏植物。以后随着选择大果、优质果的选种技术及营养繁殖技术的发展，一些大果型果实品种的问世，新西兰北岛种植柑橘的一些小型农场开始进

行费约果果实的生产。1983 年新西兰成立了费约果栽培者协会,一些费约果开始出口到美国、英国、德国、荷兰、法国和日本。新西兰人也将费约果作为防风林带栽培。第二次世界大战后费约果既作为观赏植物也作为果树在南非、北非、俄罗斯南部的高加索地区、葡萄牙及意大利的西西里岛进行种植,英国主要将其作为观赏灌木种植,其只在光照良好的地方才能正常地开花和结果。

1.1.2 费约果开发应用概况

费约果(*Feijoa sellowiana* Berg.)是桃金娘科多年生亚热带常绿灌木,原产于巴西东南部和乌拉圭,因其果实成熟后散发出似凤梨和番石榴或凤梨和草莓的混合芳香气味,香味持久,又名凤梨番石榴。费约果灌木状树冠,绿色的果实,红色的花,使其具有较强的装饰作用,可作园林绿化树种;费约果鲜果属于高维生素、高矿物质、高膳食纤维、高抗氧化剂、低热量的保健食品,果实中富含一般植物少有的水溶性碘化物和原花青素,具有抗菌、抗癌、抗氧化等诸多功效。费约果集食用、观赏与药用为一体,在园林、食品、药品、化妆品等诸多领域应用前景广阔。

近年来世界各国发展费约果的热情越来越高,根据澳大利亚农村研究与发展开发公司提供的世界感兴趣的植物类型中费约果成为其中之一。从 1926 年至 2006 年的 80 年中世界各国发表论文中提及费约果的论文呈急剧上升趋势,2000 年缩值系数达到 80,而 1926 年仅为 10 左右,80 年间增长 8 倍(图 1-1)。

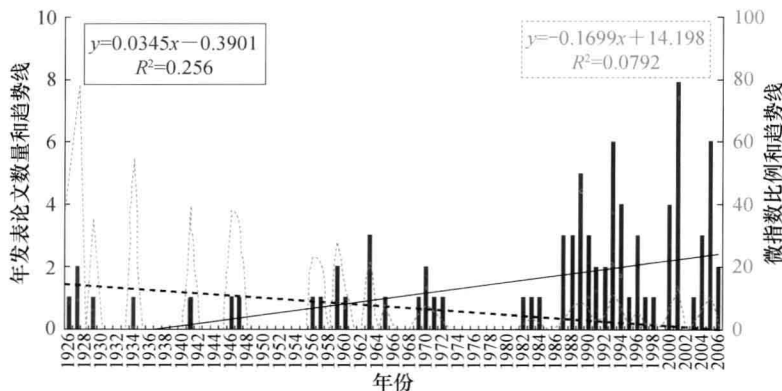


图 1-1 有关费约果研究论文随时间变化图

左边纵轴上的数字及其对应的实线柱代表文中提及费约果的论文数,左上方框内的回归方程代表 1926~2006 年费约果论文随时间变化的回归方程,右边纵轴上的数值为微指数代表有关费约果论文数(已除以一百万)与当年发表论文总数的比例,右上方的虚线框内的回归方程为该比例随时间变化的回归方程,各虚线形成的多边形为根据回归方程所拟合的情况

1.1.2.1 园林植物应用

费约果为常绿小乔木或灌木,枝叶繁茂,树干圆柱形或圆头形,成年树高 3~6m,多为 2~4m,冠径 2~4.5m,起源于巴西,一般在山区以野生状态生长,有较强的适应

性及抗逆性,对土壤适应性较广泛,不需要太肥沃的土壤。最初主要作为观赏植物特别是适宜修剪的绿篱在美国佛罗里达州北部、欧洲、地中海地区等地流行起来。Orman Bezona 等报道在夏威夷费约果是一种耐盐、抗风的观赏植物。2003年 Frank Regulski 等将其列入佛罗里达州北部的耐阴灌木,新西兰的家庭园艺中费约果也发挥了重要的作用。

费约果枝叶茂密,四季常绿,一年多次抽梢,且耐修剪,枝叶修剪后可以释放出怡人的香气,可植于公园和居住区内,适合作园林绿化树种,可以用作花坛、果篱和绿篱的材料。费约果的花可以作观赏用,花瓣、果实可以食用,也可以用于生态林的建设中,有利于维护生态系统的稳定性和生物的多样性。在园林应用中主要采用孤植、对植、列植、丛植等方式用于公共绿地、道路、花坛、花镜、庭园等植物配置中。其具有实生苗生长快、一年多达7~8次抽梢、开花结果早、花果芬芳、树冠成型快等特点,也可作为盆栽植物放置于室内外用于观赏。

1.1.2.2 果树栽培应用

费约果果皮呈浅绿色,果面披有厚重的蜡质,果肉味道鲜美、香气独特、浓郁,果实营养丰富,也被作为果树进行栽培。但世界各国费约果的发展极不平衡,其中新西兰是世界上唯一最早将费约果以商业规模种植的国家。

1. 新西兰费约果生产

1930年费约果迅速成为家庭园艺主栽树种流行起来,同时一些小型公司也开始生产费约果;但是直到80年代随着与美国加利福尼亚的船运通航及其他海外市场的打开费约果才真正开始大发展起来,1993年新西兰出口了30万kg费约果果实,赚取了138000美元外汇,其中90%出口到美国市场,显示出稳定的增长态势。至2005年新西兰费约果栽培面积为181hm²,主要分布在普伦蒂湾(BOP)、奥克兰(Auckland)和怀卡托(Waikato),占总分布面积的54%,主要收获季节在3~5月,果树结果期大于15年。2006年费约果单产为16t/hm²,毛收入为16150美元/hm²,其中有机费约果收入高于普通果实约20%。费约果鲜果收入比加工收入约低一半,且其采摘要求及其费用更高。

据《新西兰园艺新事实》(*Freshfacts Newsealand Horticulture*)的统计数据(表1-1),费约果在新西兰新鲜水果生产中按栽培面积排名第7,至2010年新西兰有费约果种植户约200户,种植面积251hm²,户均种植1.25hm²,产量500t,国内销售收入170万美元,出口销售收入20万美元。

新西兰费约果植株平均产量第三年为6kg/株,4t/hm²,第四年为12kg/株,8t/hm²,第五年为18kg/株,12t/hm²,果实盛产期可达到10年,其单产可达到30kg/株,25t/hm²。树体有产量的时间可达到30~40年,其后可回缩修剪。

在新西兰费约果由于其具有维生素C含量高,低能量,矿物质及纤维含量高,香气独特的特点被广泛用于果酱、冰淇淋、糖果、果酒、醋、水果蜜饯、果冻、调味酱、巧克力等提高品质,也被制作成果汁等。在水果沙拉及一部分西餐食品中也广泛使用费约果果实作为原料。

表 1-1 新西兰 2010 年新鲜水果生产情况及费约果的地位

新鲜水果种类	种植户数/户	种植面积/hm ²	产量/t	销售收入 (百万美元)	
				国内	出口
葡萄	—	33 428	263 445	—	—
猕猴桃	2 711	12 525	329 191	—	996
苹果	—	8 630	—	—	325
鳄梨	1 600	5 097	21 738	18.6	59.9
浆果	240	2 652	23 108	58.9	19.8
柑橘	450	1 834	44 650	35.0	4.5
费约果	200	251	500	1.7	0.2

2. 澳大利亚费约果生产

新西兰的邻国澳大利亚发展费约果的历史很短。因为澳大利亚有许多地区适合费约果生长,在昆士兰州的 Lower Wonga 地区,凯西 (Casey) 家族创建了澳大利亚第一个费约果商品果园,2005 年开始第一次收获。从他们的栽培实践来看能栽培橄榄的地方就能栽培费约果,并且其回收成本比栽培橄榄更快。由此看来,澳大利亚正着手将费约果发展成为一个新的产业。

3. 美国费约果生产

1901 年 Francisco Franceschi 将费约果从法国引入美国,其最先从圣巴巴拉引进源于法国的安德烈型种苗,其表现出能适应变化多样的环境条件的特点。1920 年美国试图将费约果作为重要的经济植物加以开发,但其间除选育出几个品种外,繁荣昌盛的费约果大发展却未能实现。近年来费约果再次被认识到其作为重要经济果树的必要性,这种新的复苏受到新西兰费约果业发展的鼓舞。加利福尼亚的费约果栽培者也选择了新西兰选育的 ‘Mammoth’ 和 ‘Triumph’ 两个品种在北半球进行栽培,但这两个品种是新西兰人 1930 年代从美国引进的费约果实生苗中选育成的。为促进费约果的发展,加利福尼亚也成立了费约果发展协会,其目的是促进消费者对费约果的了解,并分享栽培及采后处理技术。但是费约果的发展受到加利福尼亚适合费约果生长地区有限的限制。费约果业的最大挑战将是消费者对费约果的认识及激发他们对费约果的需求。

美国费约果主要种植在加利福尼亚州 (种植面积约 400hm²),在美国佐治亚州也有少量栽培,在拉斐特 (Lafayette)、路易斯安那 (Louisiana)、查尔斯顿 (Charleston),南卡罗来纳 (South Carolina) 和加利福尼亚州既作为观花树种也作为果树栽培利用。虽然 1900 年费约果就从法国引入加利福尼亚州,但其栽培面积仍然低于 1000hm²,收入为 250~350 万美元,每公顷产量 4~10t。1991 年 Ogawa 等报道加利福尼亚州种植有 360hm² 费约果,但结果树仅有约 200hm²。

4. 欧洲及其他国家费约果生产

费约果适应范围广,可在温带、亚热带甚至热带地区栽培,在热带地区栽培时需要经过一定量的冬季寒冷处理以促进开花。安德烈 1890 年将费约果由南美引进到欧洲,

使其在北半球最北端的苏格兰西部也可栽种,但因其冬季温度低于 -9°C 会冻死花芽,因而不能每年开花结果。早在20世纪,费约果就被引入意大利南部的西西里地区作为观赏植物栽种。1993年西班牙 Salinero Corral 等撰文提出费约果可作为传统大宗水果的补充进行发展。法国1890年从乌拉圭引入费约果,种植在东南沿岸的里维埃拉地区。之后斯里兰卡、中南半岛也进行了栽培。

在20世纪70年代哥伦比亚选出了3个栽培品种‘Rionegr’、‘Tibasosa’和‘Nizaand’。位于波哥大(Bogota)的INCCA大学正在开展费约果种质资源改良项目,包括从新西兰和美国引入种子。他们的目的是把费约果发展成为适合哥伦比亚潮湿气候的亚热带高原栽培的果树。Ovalle等(2011)报道INCCA大学创建了费约果种质资源库,通过传统杂交、嫁接、扦插、靠接(stake)等技术进行费约果品种改良,该项目已经在15000株树中选出了近200个栽培品系进行测定,在最适合的栽培条件下每年可收获2次,每年产量 $25\text{t}/\text{hm}^2$ (单株产量 $50\sim 100\text{kg}$),费约果是哥伦比亚值得发展的果树种类之一。

土耳其于1989年开始由阿塔图尔克(Ataturk)园艺研究所进行费约果引种研究,其后在萨卡里亚、安塔利亚、梅尔辛、伊兹密尔等省建立了费约果果园。

1928年阿塞拜疆就开始栽培费约果,1988年总面积达到 800hm^2 ,每年生产1500t果实,其中86%在Astarinskii地区生产。其表现出抗冻,最低能忍耐 -11°C 到 -10°C 的低温。最高产的品种为Aïdyn,单株产量能达到 $55\sim 60\text{kg}/\text{株}$ 。

俄国于1900年从法国引进费约果,但因缺乏抗寒品种使其发展受阻,未能形成产业。在1993~1998年俄罗斯总共选出了50种费约果类型,也选出了高于对照(对照产量为 $5.3\text{kg}/\text{株}$)产量2倍的类型,其产量可达到 $13.2\text{kg}/\text{株}$ 。

5. 南美国家费约果生产

费约果起源于巴西,但在巴西的知名度并不高,主要自然分布于南洋杉属(*Araucaria*)森林中,也有少量栽培。近年来由于费约果果实具有唯一独特的香气使其在世界市场上显得越来越重要,巴西南部部分农户也开始进行费约果栽培。

巴西近年来开展了费约果的驯化与育种研究项目,并已选育出首个商业用品种,并在巴西建立了费约果种质资源库,其中包含了119个来自巴西不同地区和其他国家的品种或品系(dos Santos et al., 2007)。同时Karine Louise dos Santos(2011)等在巴西南部对维护者、经理人、栽培者和用户4种人群开展了他们对费约果的应用及管理知识调查,认为在乡村地区费约果相关知识能够被人们知晓,但对知识知晓是片面的,他们认为费约果在巴西地方经济及当地生物多样性保护上应发挥重要作用。

此外智利、阿根廷等南美国家也有一定量费约果栽培。乌拉圭费约果生产已有70年左右的历史,但主要栽培用树为实生苗,一般产量较低。

6. 亚洲费约果生产

福井正夫等报道日本分别于1931~1932年、1934年从美国引入‘Coolidge’等几个品种,但只是作为观赏果树,1979~1980年从新西兰引入‘Triumph’、‘Mammoth’等新品种以后才开始作为生产性果树栽培,主要种植在关东中部的太平洋沿岸、四国、九州等西南部温暖地区。

其他亚洲国家尚未见有费约果栽培的应用报道。

7. 我国费约果发展

对于这一具有巨大开发潜力的树种,我国只有江苏、上海、四川、浙江等地作为庭院观赏树种零星引种过,目前,其药用和食用价值逐步被认识,并开始把它作为新兴果树进行引种栽培。2007年湖南省农业科学院果树研究所开始依托农业部“948”项目(新型特优水果费约果的引进、鉴定及推广)从新西兰开始引种费约果,由于其繁殖困难一直未得到很好突破,费约果方面的科学研究一直未见报道;南京中山植物园学者2000年在美国考察时带回几粒费约果种子播种于该园,仅存活下来的一株,2006年开始开花;上海林业总站于2002年春从法国引进1年生实生苗,2005年开始开花结果。江苏无锡2003年从法国采购种子播种,并用实生树进行扦插繁殖,扦插苗于2007年开始开花结果。中南林业科技大学2008年依托国家“948”项目引进国际先进林业科学技术项目(费约果品种及栽培新技术引进)从美国引入‘Mammoth’、‘Coolidge’、‘Triumph’、‘Unique’4个品种开始进行引种研究。西南科技大学2004年从新西兰引进费约果在四川绵阳进行栽种,在国内首次系统地对费约果进行了研究,查清了费约果的生态适应性及适宜分布区域,创新了南北半球果树引种理论,首次提出我国费约果引种的最佳时期和方法,率先提出了费约果在我国的适宜分布区域。通过对几种繁殖方式的比较,筛选出了适合费约果的大规模繁殖方法,查明了费约果插穗生根过程中的生理变化,探明了费约果扦插生根难的解剖学原因,为费约果良种的广泛推广和种植奠定了理论和技术基础。

1.1.2.3 加工、保健或药用植物应用

费约果鲜果属于高维生素、高矿物质、高膳食纤维、高抗氧化剂、低热量的保健水果,同时其内含的丰富的生物活性成分也广泛引起世界各国的关注。

在新西兰费约果果实被加工成各种加工品,包括果酒、果醋、果酱、果冻、果干片、酸辣酱、果汁等,也因其独特的香气作为添加剂加入冰激凌、巧克力、饼干、糖果、面包、酸奶等中以丰富食品风味;同时也对费约果叶片、果皮、果肉内的香气成分进行提取,将其用于制作化妆品、香水等。美国、法国、意大利、日本等国也对其药用、营养、保健成分等进行了大量的研究,能查到大量的研究报道。

在南美国家费约果经常被用作草药加以利用,也有越来越多的研究报道费约果果实具有抗氧化、保肝、抗过敏、抗菌、抗糖尿病、防治咳嗽、抗炎等功效。费约果叶片也被作为药物治疗消化不良、腹泻、胃肠炎、呼吸不畅、痢疾、溃疡等疾病。费约果叶片提取物当做热茶被用于降低糖尿病人血管内葡萄糖含量。

1.2 世界各国费约果相关研究进展

1.2.1 费约果生殖生物学及结实特性研究进展

植物生殖生物学是研究植物有性生殖过程及其调控机制的综合性前沿学科。植物生

殖生物学是在植物胚胎学的基础上发展起来的。19世纪末,随着人们对植物性别认识不断深入,逐渐形成了以描述植物生殖过程为主的植物胚胎学。应运而生的植物生殖生物学,不仅用植物学的知识和技术手段对植物生殖行为进行研究,并且已经渗透到解剖学、细胞学、生理学、生物化学、遗传学和分子生物学等多学科领域,产生了实验胚胎学、植物生殖生理学和植物生殖遗传学等分支学科。

有性生殖是通过两性细胞(也叫做配子)的结合形成新个体的一种繁殖方式。由花芽发育成花,经过传粉(自花传粉和异花传粉两种方式),再经受精(雌蕊成熟后柱头会分泌黏液,落到柱头上的花粉受黏液刺激,就萌发形成花粉管,花粉管穿过花柱向子房生长,一直到达胚珠,在生长的花粉管内形成精子。花粉管到达胚珠以后,花粉管的顶端破裂,精子移动出和胚珠内的卵细胞结合,形成合子即受精卵,完成受精过程),此时完成整个有性生殖过程,最后发育为种子。植物有性生殖是植物一生中最为曲折、复杂与深奥的发育过程,是当代植物发育生物学领域中的前沿研究热点,并与农业中的育种、栽培及高新技术密切相关。研究植物有性生殖具有重要的意义。从应用角度来看,植物生殖生物学的意义也很明显。一方面,农业生产是人类研究植物有性生殖的重要动力;另一方面,植物有性生殖的研究又推动农业生物技术的进步。

费约果的生活周期包含了种子萌发、营养生长、开花、受精及胚发育,直到种子或果实成熟的全过程。开花是其生活史上的一个质变过程,开花结实有性生殖过程是植物个体发育过程的中心环节。

国外对费约果的研究进行得比较早。目前国外对费约果的研究主要集中在传粉生态学及授粉过程、花粉萌发特性、开花结果诱导、自交不亲和性机制和胚胎发育过程的解剖学观察等几个方面。

1.2.1.1 国外费约果生殖生物学及结实特性研究进展

1. 传粉生态学及授粉过程的研究

费约果是一种异花传粉植物,雌花和雄花经过风力、水力、昆虫或人的活动把不同花的花粉通过不同途径传播到雌蕊的花柱上,进行受精的一系列过程才具有较强的结实能力。

早在1989年,新西兰学者Stewart等就对影响费约果传粉效率的因素进行了研究。他对种植在新西兰、加利福尼亚和日本的费约果进行了研究,以确定最有效的传粉者。研究表明,许多昆虫和鸟类会访问费约果花朵,采集花粉或吃含糖的花瓣。从注入柱头的花粉量来看,只有大型鸟类存入足够的具有亲和性的花粉才能开启果实的发育,也进而观察了花粉访问者的行为和大小,以解释为什么昆虫和小型鸟类的传粉无效。

Ducroquet等(1996)研究表明,费约果为桃金娘科的异花传粉植物,传粉者为两种鸟类。研究者用一定尺寸的笼子阻隔鸟类,但是允许蜜蜂接近花朵进行传粉,结果表明蜜蜂的传粉效率很低。费约果的授粉归因于两种鸟类,在新西兰获得了类似的结果。在圣卡塔琳娜州,费约果花瓣在自然凋落前被吃掉。通过观察费约果的几年花期,显示

圣卡塔琳娜州的高地主要是唐纳雀 *Thraupidae* 和鸫 *Turdidae* 两个科的鸟类吃费约果的花瓣, 其中出现最频繁的物种有灰喉裸鼻雀 *Thraupis sayaca*, 橙黄腹裸鼻雀 *Thraupis bonariensis*, 凤冠裸鼻雀 *Stephanophorus diadematus*, 绿拟霸鹟 *Elaenia mesoleuca*, 东部鞭鸟(绿啸冠鸫) *Pachycephala rufiventris*, 画眉 *Turdus rufiventris*, 唐纳雀 *Turdus* spp., 唐加拉雀 *Tangara* spp. 和淡褐小嘲鸫 *Mimus saturninus*。

Ivan Sazima 等(2007)报道在巴西南部地区城市周边费约果花的花瓣由于其大小适中、颜色艳丽被雀形目所食用; Roitman 等对桃金娘科植物包括费约果的花器进行了形态学和解剖学研究发现其有特殊的花器结构能吸引食果类鸟, 并对其可能的传粉机制进行了讨论。Schmidt-Adami 等在新西兰对桃金娘科植物的主要传粉媒介研究后认为本地鸟对其传粉的作用高于本地蜜蜂。2005 年 Degenhardt 等对费约果花的形态及其对授粉的影响进行了研究。Patterson (1990) 应用人工授粉对费约果坐果和果实品质的影响进行了研究。Degenhardt 等(2003)研究了费约果花粉的多态性, 并揭示出其对传粉的影响。

2. 花粉萌发特性的研究

Franzon 等(2005)对费约果花粉离体萌发的培养基成分和培养条件进行了研究。培养基设为 10% 的糖和 1% 的琼脂溶液, 另外分别加 0.65mmol/L 和 1.3mmol/L 的硼酸溶液, 培养温度为 25℃ 和 30℃。在 25℃ 下培养 3h 后, 花粉的平均萌发率高达 79.7%。0℃ 贮藏和 1.3mmol/L 硼酸溶液培养下的花粉萌发率最高, 为 85.6%; 到 90d 和 150d 后降为 52.3% 和 9.3%。在 -18℃ 条件下培养 90d 和 150d 后, 花粉萌发率从 79.7% 下降至 45.9% 和 6.1%。

3. 开花结果诱导的研究

Garcia 等(2008)研究了 KNO_3 、 KH_2PO_4 、乙烯利诱导费约果开花结果的效应。在哥伦比亚德拉维加直辖市的 El Cortijo 农场, 用这 3 种化学试剂处理 6 年生费约果树, 其中 KNO_3 浓度为 1.0%、1.5%、2.0%, KH_2PO_4 浓度为 0.5%、0.75%、1.0%, 乙烯利浓度为 100mg/L、150mg/L、200mg/L, 并分别对花芽数、成花数、坐果数、坐果率和各种处理的影响水平等变量进行了评估。与空白对照相比, KH_2PO_4 处理在浓度为 0.5% 时对各个变量的影响最大, 其中使成花数增加了 447.6%, 坐果数增加了 465.4%, 从而凸显了磷在费约果生殖生长过程中的作用。第二个最好的处理是 100mg/L 的乙烯利, 在坐果数方面积极功效为 96.55%。浓度为 100mg/L 和 150mg/L 的乙烯利处理下, 对费约果的成花都有积极作用, 但是两者区别不明显。 KNO_3 处理下, 费约果的花芽诱导作用很小, 甚至在成花率方面有负面影响。不同浓度 KNO_3 处理下, 坐果数没有增加, 并且在浓度为 2.0% 时具有毒性危害。与其他果树相比, 处理植株中 66% 的植株坐果率相对提高。

4. 自交不亲和性机制的研究

Karine Louise dos Santos 等(2007)对费约果花粉管发育过程进行了观察评价, 并找到其迟发性自交不亲和性的证据。在该研究中, 应用了“458”自交亲和与“101”自交不亲和两个系。“101”系花粉的最高萌发率为 68.8%。两个系在自花授粉和异花授粉的雌蕊中并未发现花粉管生长有差异。授粉 96h 后, 花粉管完全伸长到达卵器。这

些数据表明该品种自交不育的发生或合子延迟的自交不亲和性。果实的败育不是一致的，并且发生在花朵受精 20~30d 后一段较短的时间内。

Taciane Finatto 等 (2011) 也研究表明费约果是迟发性的自交不亲和。费约果是一种异花授粉为主的植物，两性花，因雌蕊先熟和自交不亲和性而自花受精难。在研究中，作者使用 9 个已知的自交不亲和系进行处理，包括人工异花授粉、人工自花授粉、不授粉和自然授粉，授粉后 1~30d 收集雌蕊。自花授粉和异花授粉的受精过程发生在授粉后 18d，受精卵在授粉后 24~26d 可见。自花授粉的花朵的脱落增加至授粉后 26d，自花授粉和异花授粉的花朵脱落的比例呈显著差异 ($P < 0.05$)。在授粉后 30d，72% 的自花授粉的花朵已脱落。自花授粉和不授粉的花朵在授粉 30d 后，胚珠和卵器的大小差异不显著，而自花授粉与异花授粉的花呈显著差异 ($P < 0.05$)。授粉 40d 后，自花授粉和不授粉的花朵没有果实发育。

5. 胚胎发育过程的解剖学观察

Rosete Pescador 等 (2010) 对费约果受精后合子胚发育过程中的细胞结构进行了观察，发现其与其他桃金娘科植物相同。费约果为胚珠倒生，双珠皮。内外珠皮除珠孔处均为双层，珠孔处为多层，珠孔锯齿形，卵器位于珠孔端。双受精发生之前反足细胞位于合点端。授粉后 21d 可见受精卵和核胚乳。第一次有丝分裂发生在受精卵形成后第 24d。授粉 30d、45d、60d 后可见球状、心形和鱼雷状的胚。授粉后 120d 可见具有两个肉质折叠子叶的胚根轴。种子中无胚乳，胚胎为螺旋形，为桃金娘科特征。费约果合子胚的研究表明，该物种具有已报道的桃金娘科植物的典型特征。

1.2.1.2 国内费约果生殖生物学及结实特性研究进展

随着我国对费约果的引入，国内对费约果的研究也逐渐深入，在费约果的引种条件 (王丹等, 2007a; 韩玉洁等, 2009)、栽培技术 (张猛等, 2010)、组织培养 (周丽娟等, 2008; 刘洪章等, 2011)、营养及药用价值 (张猛等, 2009d)、果实香气成分 (张猛等, 2008) 和叶片活性成分 (丁振柱等, 2011a) 等方面都进行了初步的研究。然而，对费约果生殖生物学方面的研究仅有少数的几篇报道，主要集中在花粉萌发特性和结实特性方面。

1. 花粉萌发特性的研究

2010 年崔明杰等以费约果 4 个品种 ‘Mammoth’、‘Coolidge’、‘Triumph’ 和 ‘Unique’ 为试验材料，研究其花粉数量和萌发率、花粉贮藏及萌发特性。结果表明，‘Mammoth’ 和 ‘Triumph’ 的单花雄蕊比较多，能贮藏较多花粉，‘Coolidge’ 和 ‘Unique’ 单花雄蕊较少，花朵偏小，贮藏花粉空间较小。不同费约果品种花药的花粉数量有一定的差异。‘Mammoth’ 单粒花药的花粉数量最多，其次为 ‘Unique’，‘Triumph’ 花粉数量为 ‘Mammoth’ 的 1/2 左右；‘Mammoth’、‘Coolidge’、‘Triumph’ 和 ‘Unique’ 的单花花粉数量分别为 75 万粒、40 万粒、37 万粒和 43 万粒，花粉数差异显著。费约果新鲜花粉的萌发率都较高，‘Mammoth’、‘Coolidge’、‘Triumph’ 和 ‘Unique’ 的萌发率分别为 75.07%、59.81%、66.31%、61.32%。在常温下贮藏，4 个品种的花粉生活力下降极快，不到 7d 花粉的生活力就全部丧失，不宜常温贮藏；在