



华夏英才基金学术文库

关军锋 编著

果实品质生理



科学出版社

www.sciencep.com



华夏英才基金学术文库

果实品质生理

关军锋 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

果实品质直接影响果实商品价值,是长期以来我国果树生产者高度关注的领域。本书针对现代果树生产状况与未来发展趋势,首先在分析果实的品质性状与生理生化的基础上,着重从分子、细胞和整体水平总结果实外观品质和重要内含物的生成与代谢规律;其次分析影响果实品质的有关内、外部因素,阐述树体、营养、激素、生态和技术诸因素对果实品质的影响机制,以及果实常见生理失调的发生机制与调控。

本书可供高等院校和科研单位的果树科技工作者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

果实品质生理/关军锋编著. —北京:科学出版社,2008
(华夏英才基金学术文库)
ISBN 978-7-03-021908-4

I. 果… II. 关… III. 果实-营养品质-植物生理学-研究 IV. Q945.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 065450 号

责任编辑:夏 梁 / 责任校对:宋玲玲
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

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>

强 龙 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 7 月第 一 版 开本:B5(720×1000)
2008 年 7 月第一次印刷 印张:9
印数:1—2 000 字数:169 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

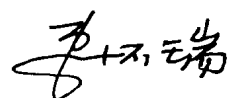
现代果树生产由数量型向质量型转变,是世界果树生产发展的必然趋势。我国已经成为世界果品生产大国。据统计,2006 年我国果品总产量占世界水果总产量的 17.1%,种植面积占世界水果总种植面积的 20.6%。同时,我国果品生产发生了较大的观念转变,由计划经济指导下的单一种植模式转变为市场调节下的商品经济模式,管理者和生产者日益注重市场变化,商品外观有了明显改善,口感、风味越来越适应消费者的需求,果品质量有较大幅度的提高。特别是随着我国加入世界贸易组织,以及无公害农业发展形势的需要,果品质量及其安全日益引起人们的高度关注。

随着世界果品产量与质量的激烈竞争,如何改善果实品质成为我国目前乃至很长一段时间内果树生产的重要问题。优质果品生产迫切要求深入研究果实品质发育生理,研究开发有利于优质品质形成的调控技术,以获得外在性状优美与内在营养丰富的优质果品。依据果实品质形成的内在规律,研究开发有利于果实品质形成的技术措施,是理论指导实践的量的体现;而合理科学地解释果树优质栽培中的生理基础问题,便是由实践上升到理论的质的飞跃。

就果实品质而言,树种品种、生态环境和立地条件固然重要,但树体本身的生物学特性和农业技术措施的影响更是不容忽视。尤其是近些年来设施果树、套袋栽培的大面积实施,以及由此带来的果实风味下降、生理失调严重和营养价值不良等低劣现象,大大制约了果品质量的提升。虽然果实品质某些单方面的研究已取得了长足的进展,但这些研究成果还散见于不同的学术著作与报道之中,如吕忠恕教授编写的《果树生理》、李明启教授编写的《果实生理》、曾骧教授主编的《果树生理学》、束怀瑞教授主编的《果树栽培生理学》、黄卫东教授主编的《温带果树结实生理》,但对果实品质生理的全貌做出比较全面和系统的整理总结,还相当缺乏。

鉴于上述情况,关军锋博士结合自己多年的研究结果,在参考国内外文献的基础上,编写了《果实品质生理》一书,符合当代果树科学发展的形势与方向。该书内容深入浅出,总结了主要果实外观品质和内含物的生成与代谢规律及其调控理论,着重从分子、细胞和整体水平阐述树体、营养、生态、技术诸因素对果实品质的影响机制。整体看来,该书涉及内容广泛,可供果树科技工作者参考阅读。

该书是一本难得的果树学专业著作,我相信该书的出版,将有助于我国果品品质研究的深入开展。

A handwritten signature in black ink, reading '李士都' (Li Shoudu).

中国工程院院士
山东农业大学教授
2008年5月22日

前 言

近 20 年来,果树的大面积栽培及产量的大幅度提高,在我国农业结构调整中发挥了重要作用。2006 年我国果树栽培面积达到 1004.2 万 hm^2 ,果品产量达到 9599.2 万 t,分别是 1980 年的 5.6 倍和 14.1 倍,比 1995 年分别增长了 24% 和 128%;人均果品占有量达到 72.7 kg/年,分别是 1980 年、1995 年的 10 倍和 2.3 倍。目前,我国果品总产量占世界水果总产量的 17.1%,已位居世界第一。但是,与其他果树生产先进国家相比,果树单产低和果品品质差依然是久而未解的问题。纵观国内外果品市场,优质果畅销、一般果滞销、劣质果难销。据统计,我国现有整体水果产品中,优质果率只有 30% 左右,50% 是大路货,还有 20% 属劣质果。因此,如何改善果实品质将是现在和将来很长一段时间内的重点课题,现代果树生产由数量速度型向质量效益型转变刻不容缓。

果树有其自身的生长发育规律,与一年生植物相比,多年生木本果树的果实品质的形成就显得异常复杂,这与果树器官重叠发育、根际环境和冠型结构复杂有密切的关系。就果实单一器官来说,花器发育、授粉受精、细胞分裂与膨大是影响其品质的内在生物学基础;外观色素、风味物质的代谢、内源激素的调节和营养物质的吸收是决定果实品质的内在生理学基础;光、温、水、热和立地是控制果实品质的外在生态因素;地面管理、施肥灌溉、生长调节剂使用和套袋等是改变果实品质的技术手段。因此,全面总结果实品质的形成规律必须注意到这些因素。可喜的是,近些年来,我国科学工作者在该领域取得了许多新的进展,对指导科学施肥、合理化控和节能增效提供了新的理论支撑。不难理解,系统解析果实品质发育生理对于我们理清思路,进一步开展果实品质的深入研究,探讨新的农业技术措施具有重要的意义。

因此,作者在结合自身多年研究的基础上,参阅有关文献资料,首先在分析果实的品质性状和生理生化性质的基础上,针对果品品质研究的国际趋势,着重从分子、细胞和整体水平总结主要果实外观品质和内含物的生成与代谢规律及其调控理论;其次,分析影响果实品质的有关内外部因素,阐述树体、营养、生态、技术诸因素对果实品质的影响机制,并讨论果实生理缺陷的发生机制与调控。

应该说,本书还是作者的一项新的尝试。值得感谢的是我的导师,中国工程院院士、山东农业大学束怀瑞教授推荐、指导编写了本书,并欣然作序;华夏英才基金给予了经费支持;科学出版社生物分社的夏梁编辑自始至终给予了热情周到的支持;我的研究生和同事们给予了大力的帮助,在此一并表示衷心的感谢与敬意。

限于作者水平、收集材料有限,不当之处,敬请读者指正。

关军锋

2008 年 4 月

目 录

序

前言

第一章 果实品质组成	1
第一节 主要营养物质与功能	1
一、碳水化合物	1
二、有机酸	2
三、氨基酸和蛋白质	4
四、脂类	5
五、灰分物质	5
第二节 重要功能性物质与功能	6
一、酚	6
二、膳食纤维	11
三、色素	11
四、维生素	13
第三节 优质果品的品质成分	15
一、不同种质果实糖酸含量与风味品质	15
二、固有风味和芳香物质	17
参考文献	17
第二章 果实外观品质的形成	19
第一节 色泽的形成	19
一、花青苷	19
二、叶绿素和类胡萝卜素	24
三、果实色泽度	27
四、内部调控	27
第二节 果实的个体发育	28
一、果实生长速率	28
二、果实生长的组成要素	29
三、果实膨大的机理	31
四、激素调节效应	31
五、营养调节效应	35
六、果实形状	36

参考文献	37
第三章 果实风味物质的形成	40
第一节 主要碳水化合物代谢调控	40
一、不同碳水化合物积累模式	40
二、不同果实种类碳水化合物变化	41
三、碳水化合物代谢	41
四、碳水化合物运输与调控	44
第二节 有机酸的代谢调控	47
一、有机酸的来源、分类与变化	47
二、有机酸的代谢	48
第三节 香气物质的形成与调控	49
一、果实特征香气物质	49
二、香气物质的合成途径	51
三、香气物质形成的内部调控	52
参考文献	53
第四章 果实质地与贮藏品质	55
第一节 果实质地	55
一、果实质地要素	55
二、果实质地分类	56
三、梨石细胞	57
第二节 果实软化与细胞壁代谢	58
一、果实细胞壁物质	58
二、多聚半乳糖醛酸酶(PG)	59
三、 β -半乳糖苷酶(β -GALase)	60
四、木葡聚糖内糖基转移酶(XET)	61
五、纤维素酶	62
六、果胶酯酶(PE)	62
七、 α -阿拉伯呋喃糖苷酶(α -Af)	63
第三节 果实贮藏品质	63
一、果实的成熟与衰老	63
二、采后处理与贮藏品质	64
三、贮运与品质	69
四、贮藏条件与品质	70
参考文献	74
第五章 果实品质形成的内在调控因素	77
第一节 树体因素	77

一、品种	77
二、砧木	77
三、结果部位	79
四、授粉受精	80
五、负载量	81
六、果实成熟度	81
第二节 内源激素	83
第三节 营养因素	86
一、不同矿质元素的作用	86
二、矿质元素的平衡及其效应	88
三、果实生理失调的矿质营养诊断	90
参考文献	92
第六章 果实品质形成的外在调控因素	94
第一节 生态因素	94
一、水分	94
二、温度	95
三、光	97
四、立地条件	99
五、生态类型	100
第二节 技术因素	101
一、地面管理	101
二、整形修剪	102
三、灌水	102
四、施肥	105
五、套袋	108
六、生长调节剂	112
七、疏花疏果	116
八、设施栽培	116
参考文献	117
第七章 常见果实的生理失调症	121
第一节 几种果实的钙营养失调症	121
一、果实钙营养失调症状	121
二、发病原因	123
第二节 果肉质地絮败	124
一、果肉质絮败	124
二、发病机制	125

第三节 果实褐变.....	127
一、褐变类型	127
二、褐变机理	128
三、PPO 的特性	129
四、褐变原因	130
参考文献.....	132

第一章 果实品质组成

新鲜果品的品质主要是指食用时的外观、风味和营养价值的综合。根据不同用途,果品品质可分为鲜食品质、加工品质、内部品质、外部品质、营养品质、销售品质、运输品质和桌面品质等。对不同种类或品种的果品均有具体的品质要求或标准,因此品质要求有其共同性,也有其差异性。

第一节 主要营养物质与功能

果品作为人类食物的一部分,除满足人们消费时所带来的感官享受之外,更主要的是给人们带来营养并增进健康。果品的最大营养价值是富含各类维生素及矿物质,此外,某些果品还含有丰富的酚类和类黄酮类抗氧化物质。因此,果品品质是个复合的概念,仅从其所具有的食用价值的角度考虑,营养品质是一个重要方面,也是隐藏在果实内部的重要特征。

按照食物营养的基本知识,食物中常见的营养素可分为五大类:碳水化合物、蛋白质、脂类、无机盐(矿物质)和维生素,因此,果实中主要营养物质按此排列如下。

一、碳水化合物

不同种类果实的碳水化合物差异较大(表 1.1),其中包括细胞壁内的多糖和

表 1.1 部分水果的糖含量(g/100ml 果汁)

水果	蔗糖	葡萄糖	果糖	山梨糖
苹果	0.82±0.13	2.14±0.43	5.31±0.94	0.20±0.04
樱桃	0.08±0.02	7.50±0.81	6.83±0.74	2.95±0.33
葡萄	0.29±0.08	9.59±1.03	10.53±1.04	ND
油桃	8.38±0.73	0.85±0.04	0.59±0.02	0.27±0.04
桃	5.68±0.52	0.67±0.06	0.49±0.01	0.09±0.02
梨	0.55±0.12	1.68±0.36	8.12±1.56	4.08±0.79
李	0.51±0.36	4.28±1.18	4.86±1.30	6.29±1.97
猕猴桃	1.81±0.72	6.94±2.85	8.24±3.43	ND
草莓	0.17±0.06	1.80±0.16	2.18±0.19	ND

注: ND=未测到(<0.05g/100ml 果汁),引自 van Gorsel et al, 1992

蔗糖,但主要是果实汁液中的果糖和葡萄糖等。淀粉常以淀粉粒的形式存在于细胞质中。不同碳水化合物组分比例常因果实不同发育阶段的代谢活动不同而发生变化,如果实成熟时,淀粉含量下降,而可溶性糖含量增加。在不同种类或同一果实发育的不同时期,蔗糖和还原糖的相对比例也发生着不同的变化。成熟的香蕉、菠萝、桃和枣等以含蔗糖为主,成熟的苹果、梨、枇杷和无花果等以含果糖为主,而成熟的柑橘和葡萄以含葡萄糖为主。

纤维素是构成细胞壁的主要成分,是一种结构多糖,由长的 β -葡萄糖残基直链组成。果胶物质由1,4连接的D-半乳糖醛酸残基链组成,能发生不同程度的甲酯化。纤维素、半纤维素和果胶物质的相对比例,在不同品种、组织及果实成熟度之间差异很大。纤维素一般占果实干重的25%左右,而半纤维素和果胶含量一般低于5%。柑橘类果实(尤其是葡萄柚和柠檬)的白色海绵层富含果胶,占细胞壁干物重的50%左右,苹果、山楂等果实中也含相当数量的果胶。

另一种细胞壁物质即木质素,它虽不是碳水化合物,却与植物的细胞壁有关。木质素的分子结构类似于类黄酮化合物的结构,主要分布于木质部和厚壁组织的细胞壁中,它赋予细胞壁刚性和强度,能使果肉组织具有纤维性、黏性和沙性,因此对质地的影响很大。细胞壁的木质化通常与少量的无色花青苷的沉积有关。

梨果实中富含石细胞,由大量木质素和纤维素组成。它是一种厚壁组织细胞,由薄壁组织细胞在其初生壁上沉积了木质素等而形成较为硬化的次生壁。梨的石细胞在分类上属于短石细胞。

梨果肉中石细胞的大小、数目和密度综合决定梨果实的品质。通常说来,梨石细胞团直径小于 $150\mu\text{m}$ 时,食用时不容易感觉出来,因此一般质地细的梨品种,其石细胞团大小多在 $200\mu\text{m}$ 以下,如巴梨、锦丰梨、早酥梨等,肉质细、含渣少、口感好。 $300\mu\text{m}$ 以上的梨品种果肉质较粗,口感多渣,如花盖梨、安梨、尖把梨等。不过,石细胞团大而密度小的南果梨和石细胞团密度大而石细胞团小的苹果梨口感质地较好。因此,梨果实的品质是由石细胞团的大小和密度二者综合决定的(顾模等,1989),并且石细胞团的大小与品质的关系更为密切(刘庆华等,1992)。

二、有机酸

果实中的有机酸主要为脂族有机酸,包括脂族一元羧酸、脂族二羧酸或三羧酸和糖衍生的酸,以及碳环一元羧酸,因不同种类而异(表1.2)。可食果实组织中最丰富的酸是苹果酸和柠檬酸。苹果酸主要分布在苹果、梨、桃、樱桃中;在李果实中,其柠檬酸和苹果酸的含量相等;柠檬酸是许多柑橘类果实、树莓、草莓、越橘、菠萝、石榴和刺梨等果实的主要有机酸。但也有少数果品例外,如葡萄含酒石酸,鳄梨中则缺少柠檬酸和苹果酸。

表 1.2 部分水果的有机酸含量(mg/100ml 果汁)

水果	柠檬酸	维生素 C	苹果酸	奎宁酸	酒石酸
苹果	ND	tr	518±32	ND	ND
樱桃	ND	tr	727±20	ND	ND
葡萄	tr	tr	285±58	ND	162±24
猕猴桃	730±92	114±6	501±42	774±57	tr
油桃	140±39	tr	383±67	136±28	ND
桃	109±16	tr	358±72	121±21	tr
梨	ND	tr	371±16	220±2	ND
李	ND	tr	294±24	214±68	ND
草莓	207±35	56±4	199±26	ND	ND

注: ND=未测到, tr=痕量(<10mg/100ml 果汁), 引自 van Gorsel et al, 1992

果实中的酸含量及相对比例与成熟度有关。果实成熟时,一般总酸含量下降。在黏核桃中,柠檬酸下降速率快于苹果酸;而在苹果和梨中则情况相反。樱桃和草莓成熟时,奎尼酸和莽草酸增加很多。果实中不同的部位所含酸的比例也不相同,如在橘子皮中以苹果酸为主,而不是以柠檬酸为主。

除了柠檬酸和苹果酸外,许多其他有机酸也少量存在于不同的果品中,它们是酒石酸、草酸、异柠檬酸、奎尼酸、莽草酸、琥珀酸、乳酸、甘油酸、乙醛酸、草酰乙酸、延胡索酸、 α -酮戊二酸、丙酮酸、顺乌头酸和乳-异柠檬酸等糖代谢中的酸,以及苯甲酸和半乳糖二酸等。

一些果实中存在芳香族酸,如蔓越橘中的苯甲酸、香蕉中的 5-羟色胺,还有某些易变色果品果皮中的儿茶酸和绿原酸。

贮藏期间果实内的碳水化合物和有机酸含量发生明显变化,从而影响果实的营养和风味品质。以苹果为例,贮藏之后果实内的山梨醇和膳食纤维含量增加,淀粉、蔗糖和有机酸含量减少(表 1.3)。

表 1.3 新鲜和贮藏苹果碳水化合物和有机酸含量(g/kgDM)

	新鲜果实			贮藏果实		
	变化范围	平均值	变异系数	变化范围	平均值	变异系数
山梨醇	16~45	27	34	20~60	37*	39
葡萄糖	38~120	72	35	36~95	74	26
果糖	342~411	384	7	347~529	419	14
蔗糖	125~314	189	30	72~254	126**	48
低分子质量糖	615~716	671	5	571~708	655	8
淀粉	2~46	20	75	8~10	9*	17
总膳食纤维	145~203	160	13	160~214	180*	10
可溶性膳食纤维	46~63	50	12	45~70	55*	13
总碳水化合物	784~906	851	5	763~896	844	6
有机酸	75~110	87	14	30~103	56***	40

注: 显著性差异 * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, 引自 Suni et al, 2000

三、氨基酸和蛋白质

果品中可溶的总氮组分大部分(80%)由游离氨基酸和相应的胺组成,另外还包括嘌呤、嘧啶、核苷、核苷酸、甜菜碱、生物碱、卟啉和非蛋白氨基酸及酰胺等。天冬酰胺、谷氨酰胺及相应的酸在许多种类的果实中含量相当丰富,如柑橘类、草莓和黑莓等即如此。这些酰胺类化合物也以胺的形式占了一半以上的非蛋白氮,作为氮的贮存形式。天冬酰胺也是苹果中最主要的非蛋白氮存在形式。此外, β -丙酰胺和 γ -氨基-丁酸在果品中也广泛存在。

按照果实中游离氨基酸含量可以将果实分为五类,即天冬酰胺类:蔷薇科果实(日本梨、桃、李、梅、苹果);瓜氨酸类:柿;谷氨酸类:番茄;脯氨酸类:柑橘、西洋梨和葡萄;缬氨酸及亮氨酸类:香蕉。

水果中的蛋白质含量甚低,大多在1%以下。但在干果的果仁中蛋白质含量较高,如核桃蛋白质含量为23.1%,扁桃为21.0%,榛子为12.7%。

酶是一种特殊的蛋白质。参与果实生理代谢的酶系统含有丰富的蛋白质成分,有的蛋白质(或酶)存在于细胞壁上。除了蛋白水解酶只存在于无花果和菠萝中外,其他酶类均广泛存在于大多数果实组织之中。

与果实品质密切相关的酶类主要包括:①氧化还原酶(oxidoreductase),如抗坏血酸氧化酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶、过氧化物酶、超氧化物歧化酶和脱氢酶;②糖苷酶(glycosidase),如柚苷酶(naringinase)、橘皮苷酶(hesperidinase);③酯酶(esterase),包括细胞壁水解酶和叶绿素酶。

过氧化物酶非常耐热,速冻果品在贮藏过程中,过氧化物酶的活性较高时,易形成不良风味。多酚氧化酶主要分布于梨、核果类、葡萄、香蕉、草莓、无花果等果实中。当切开组织或组织受损伤后则快速变色,这是因为多酚氧化酶催化的酚氧化的缘故。多酚氧化酶的辅基中含有铜,与抗坏血酸氧化酶作用能引起维生素C的损失。超氧化物歧化酶则主要具有清除自由基的作用,在抗氧化和防止衰老中发挥重要作用。

细胞壁水解酶(如果胶酯酶和多聚半乳糖醛酸酶)能引起质地的显著变化。番茄、柑橘类果实富含果胶酯酶,苹果、梨、香蕉、番木瓜和番石榴中也含有此酶,其作用为去除果胶分子中的甲氧基。多聚半乳糖醛酸酶(PG)能裂解半乳糖醛酸链。这两种酶参与成熟果实软化过程,在果实中的分布也很广泛。这些酶如同多酚氧化酶一样,主要结合于细胞壁上。

淀粉酶存在于含淀粉的组织中,它促进许多果实成熟期间淀粉向糖的转化。

脂分解酶和脂氧化酶存在于一些含少量脂肪的果实中,能引起果品风味上的不良变化。脂氧化酶也参与类胡萝卜素的氧化,它能导致变色和维生素A原活性的损失。

四、脂类

果实中的脂类(除鳄梨、橄榄外)与蛋白质一起构成了细胞质膜的主要成分,其含量一般低于1%,但随种与品种的不同而变化。干果类的果仁中含有大量的脂肪,如美国核桃含72.0%,核桃含60.3%,榛子含58.8%;一些新疆仁用杏品种中果仁含脂肪达50%。

脂和脂类物质在植物器官表面的保护组织中占很大的比例,它们包括能溶于脂肪溶剂的蜡质、脂肪酸和由羧酸、醇、酯、酮、醚和烃类(尤其是含18~22碳原子的长链)组成的混合物,以及微量的、更复杂的芳香物质,如熊果酸。一些果实,特别是坚果中还含有 ω -3-多不饱和脂肪酸,枣和酸枣中含有较多的熊果酸。

果实保护组织中还存在角质和软脂等脂类物质。蜡质可构成一种特殊的细胞外膜,它覆盖着表皮的壁,并能调节果实的气体交换。苹果角质层中的蜡质有两种,一种是硬蜡,它在角质层的表面形成非常细小的粒;另一种是软蜡,它浸透着角质层。一些果实表面出现胶黏状,常常与果皮蜡质成分有关。据分析,乔纳金苹果成熟时出现的果面胶黏与角质层中亚油酸、油酸含量增加有关。GA₃可推迟脐橙蜡质积累,减少果面的胶黏状。

五、灰分物质

果实中的矿物质总量是用灰分含量表示的,水果的灰分含量一般在1g/100g鲜重以下(表1.4),也有个别果实中灰分含量较高,如桃、杏、柿、香蕉和橄榄等。

表 1.4 水果中的矿物质含量(每100g可食用部分的含量)

水果	铁/mg	钙/mg	磷/mg	镁/mg	钾/mg	钠/mg	锌/mg	铜/mg	钼/ μ g
苹果	0.12	6	11	5	107	1	0.04	0.027	0.0
杏	0.39	13	23	10	259	1	0.20	0.078	0.1
鳄梨	0.55	12	52	29	485	7	0.64	0.190	0.4
香蕉	0.26	5	22	27	358	1	0.15	0.078	1.0
樱桃	0.36	13	21	11	222	0	0.07	0.127	0.1
葡萄	0.36	10	20	7	191	2	0.07	0.127	0.1
番石榴	0.31	20	25	10	284	3	0.23	0.103	0.6
猕猴桃	0.41	26	40	30	332	5	—	—	—
柑橘	0.10	40	14	10	181	0	0.07	0.016	0.6
番木瓜	0.10	24	5	10	257	3	0.07	0.016	0.6
西番莲	1.60	12	68	29	348	28	0.10	0.086	0.6
桃	0.25	6	20	9	190	0	0.17	0.068	0.11
梨	0.17	9	11	7	119	1	0.10	0.082	0.1
李	0.28	13	8	12	115	1	0.10	0.099	0.1
悬钩子	0.69	25	29	22	151	1	0.42	0.090	0.2
草莓	0.42	16	24	13	153	1	0.14	0.048	0.4

注：引自 Sanchez-Moreno et al,2005

钾是果实中最丰富的矿物质元素,通常每 100g 鲜重的果品中含 60~600mg,而其他矿物质元素的含量则很少达到 100mg/100g 鲜重。仁果类的 K_2O 含量占灰分的 47.8%~52.9%,在浆果类的灰分中只占 31.9%~47.7%,香蕉灰分中含 K_2O 46.46%~52.41%。果实中的钾主要与细胞中的各种有机酸结合在一起,因此果实组织中的 pH 受钾/有机酸平衡的控制,高浓度的钾有助于血压的形成。钙主要与细胞壁中的果胶物质结合在一起。在苹果中,钙、钾、镁和磷的含量从外表皮到果心递增数倍。

果实必需元素的缺乏除了影响果实的生长外,还导致品质变劣,甚至影响其采后贮藏效果,如钙对果实质地和贮藏寿命有显著影响,高钙可延缓果实衰老过程,提高贮藏性能。金属元素通过与有机成分的结合能强烈影响果实的颜色,而痕量元素是控制采后产品代谢活性的酶辅基的组分,因而能显著影响品质的变化。

第二节 重要功能性物质与功能

一、酚

酚类化合物是一大类环状物质,属于酚(C_6H_5OH)的衍生物。果实中的酚类化合物常在芳香环上含有一个以上的羟基,即以多酚存在形式居多。

果实中酚类化合物主要通过莽草酸代谢途径生物合成,并多以糖苷的形式存在,不同种类和品种之间存在着明显差别(表 1.5)。

表 1.5 一些水果中的酚含量(mg CtE/100g)

果实	品种	游离酚(DW)	游离酚(FW)	总酚(DW)	总酚(FW)
苹果	Braeburn	2171±101	364.7±16.4	2826±105	474.7±13.1
	Bramley	2601±111	317.2±11.9	3018±126	368.2±15.4
	Cripps Pink	885±96	170.8±13.5	2127±104	410.5±16.3
	Empire	881±78	117.1±11.3	2412±119	320.8±15.8
	Fuji	934±89	145.6±16.1	2114±124	330.1±19.4
	Golden Delicious	710±41	120.6±7.0	2019±95	343.2±16.3
	Granny Smith	1267±91	192.5±16	2455±96	373.2±12.2
	Red Delicious	2866±102	430.0±13.0	2963±83	444.4±12.5
	Royal Gala	1047±98	156.1±10.6	2515±103	374.7±15.3
梨	Conference	488±60.5	63.3±8.4	2089±94	271.6±10.5
	Forelle	1194±83	190.1±17.3	2566±63	408.2±10.5
	Peckham's	569±46	96.7±9.6	1795±78	305.2±16.5
	Taylor's	525±36	91.2±6.8	2209±105	384.3±18.4
桃	Spring Bell	2365±52	300.4±7.7	2692±107	341.9±21.7
李	Royal Garnet	2643±112	413.3±18.7	3022±87	471.4±13.3
猕猴桃		698±67	108.1±10.8	1770±61	274.4±9.5

注:引自 Imeh 和 Khokhar,2002

酚多半决定着未成熟的果实的味道(未成熟果实的涩味和苦味基本上来源于黄酮醇),成熟时果实的颜色和香味取决于多酚的含量和转化。苹果、梨果皮中存在较多的酚类物质,而葡萄的种子中则存在较多的酚类物质。

果实中酚类物质含量受生长过程中光照、品种和成熟度的影响而存在着较大的差异。果实生长发育、收获、运输和采后贮藏加工期间的处理均会对与果实酚代谢相关的酶的活性有重要的影响,从而调节酚类化合物的合成和分解,并最终导致果实品质变化(通常为下降)。与酚的生物合成直接相关的酶是苯丙氨酸解氨酶(PAL);而与酚类化合物氧化分解有关的两类重要的酶分别是多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)。

(一) 分类

1. 简单酚类

果实中简单酚类常以游离态存在,如肉桂酸、绿原酸、原儿茶酸、没食子酸等,其衍生物为木质素及其他多种黄酮类化合物。其中以绿原酸最为重要,在苹果、梨、桃、李、樱桃和葡萄等果实中均存在,并且是导致组织酶促褐变的关键底物。

多元酚类常被称作单宁或鞣质,包括所有结构复杂、相对分子质量从 500 到 3000~4000,且每 1000 相对分子质量拥有 12~16 个酚羟基和 5~7 个芳环的酚类物质。单宁可分为可水解单宁和缩合单宁两类,前者如没食子单宁和鞣花单宁等,后者如花色素原。

2. 类黄酮

类黄酮(flavonoid)化合物及其衍生物具有“苯环-C3-苯环”的骨架结构,包括花青苷(anthocyanin)、黄酮(flavone)、黄酮醇(flavonol)、黄烷酮(flavanol)和异黄酮(isoflavonoid)等。不同果实间的黄酮、黄酮醇和黄烷酮含量有明显的差别(表 1.6、表 1.7)

表 1.6 一些果实中黄酮和黄酮醇含量(mg/kg 鲜重)

果实	栲精	茨非素	杨梅酮
苹果	20~36	—	—
杏	25~26	—	—
樱桃	10~15	—	—
黑醋栗	37	1	—
红醋栗	8~13	—	—
黑葡萄	15~37	—	4.5
白葡萄	2~12	—	4.5
桃	—	—	—
梨	3.4	—	—
李	9~15	—	—
草莓	6~8.6	5~12	—
番茄	2~14	—	—

注:引自 Hollman 和 Arts, 2000