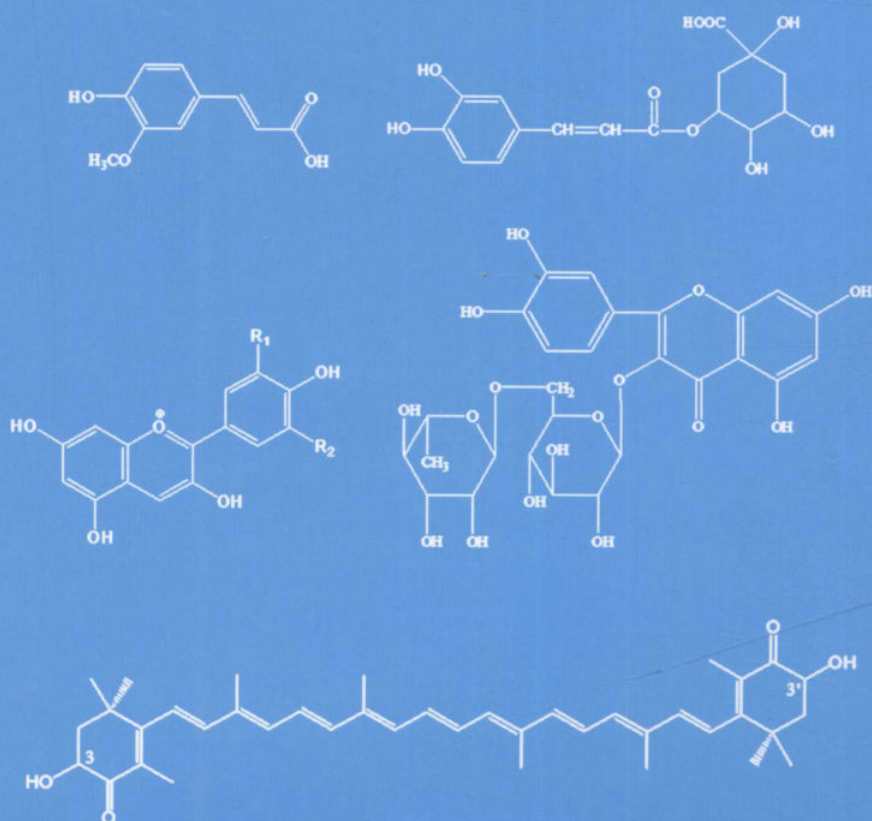


SCIENCE ON
AGRICULTURAL PRODUCT
QUALITY

农产品品质学

第二卷

郑金贵 编著



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

Science on Agricultural Product Quality

责任编辑 陈进才

封面制作 李嘉彬

S0084-1-1

ISBN 978-7-5615-5310-7



9 787561 553107 >

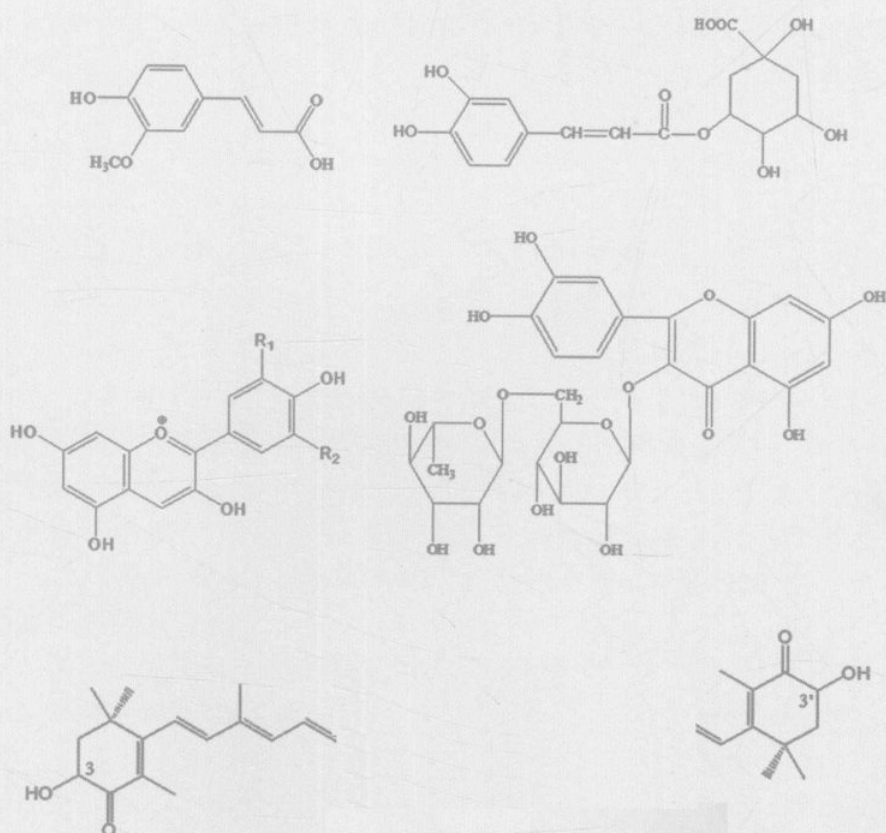
定价:88.00元

SCIENCE ON
AGRICULTURAL PRODUCT
QUALITY

农产品品质学

第二卷

郑金贵 编著



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

农产品品质学. 第2卷/郑金贵编著. —厦门: 厦门大学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5615-5310-7

I. ①农… II. ①郑… III. ①农产品-品质-研究 IV. ①S331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 289921 号

官方合作网络销售商:



厦门大学出版社出版发行

(地址: 厦门市软件园二期望海路 39 号 邮编: 361008)

总编办电话: 0592-2182177 传真: 0592-2181406

营销中心电话: 0592-2184458 传真: 0592-2181365

网址: <http://www.xmupress.com>

邮箱: xmup@xmupress.com

厦门集大印刷厂印刷

2014 年 12 月第 1 版 2014 年 12 月第 1 次印刷

开本: 880 × 1230 1/16 印张: 24.5 插页: 3

字数: 760 千字

定价: 88.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

前 言

《农产品品质学》第一卷已经介绍,本科研团队自从1984年以来,包括历届招收的硕博研究生在内的研究人员一直从事作物品质、农产品品质的研究工作。第二卷主要内容仍是介绍国内外农产品品质研究的新进展,特别是整合本团队若干有关品质的研究成果。

《农产品品质学》第二卷主要有四个部分(四章)。第一章承接第一卷第三章,即农产品的保健品质(农产品中具有保健功能的生物活性物质),分二十节介绍二十一种农产品中的生物活性物质,每一节都按第一卷第三章的格式,每节的第一部分介绍生物活性物质的功能,第二部分介绍含有该生物活性物质的农产品。

第二章分十三节详细阐述食用农产品品质成分的科学利用对人体健康的重要性和机理,以及如何科学利用。比如,第五节介绍“选用全食品”,以美国和中国两个最新实验结果——全苹果与全茶叶的功能分别比其中某一主要活性物质的纯品(单体产品)的功效高。又如第十节“食物、营养与癌症预防”介绍了国内外关于食物和营养对癌症预防研究的最新进展,综述了全世界263位在研究第一线的顶尖科学家关于食物和营养对癌症形成的影响,特别以图示方式分别介绍了癌症发生的每个阶段具有促癌效应的有毒有害物质和具有抗癌效应的生物活性物质、营养因素。本节还介绍了美国国立癌症研究所的“防癌3道防线”及每一道防线的植物化学物质及含有这些植物化学物质的食用农产品。

第三章分三节分别介绍了农产品品质的产前、产中和产后提升技术。第一节为农产品品质的产前提升技术——优异资源发掘与遗传育种,第二节为农产品品质的产中提升技术——栽培(饲养)环境的调控。对第一节、第二节的研究成果与应用,农业领域的科技人员特别是品质科技人员都比较熟悉。第三节为农产品品质的产后提升技术——食品的营养强化,即工业营养强化技术。比如对大米可进行维生素B₁、维生素B₂、尼克酸、叶酸、钙、铁、锌等营养素的强化,这对于农业领域的科技人员来说,可能了解不多、了解不全。某些食用农产品缺乏的天然营养成分,许多国家都通过工业生产某种营养成分和工业营养强化技术添加到食用农产品中,以弥补其不足,这对现代的食品加工技术来说,是较容易做到的。品质科技工作者要从遗传育种和栽培技术的角度提高很多营养成分的含量,那是十分困难的。农业科技人员应该用有限的精力、有限的时间、有限的经费、有限的资源做最有效的工作!也就是做工业上做不来的项目!

第四章介绍了具有保健功能的十九种生物活性物质的测定方法。

本论著是国家科技支撑计划课题五“地方特色作物种质资源发掘与创新利用”(项目编号:2013BAD01B05)、福建农林大学科技创新平台建设项目“农业部依托福建农林大学设立的海峡两岸农业技术合作中心”(项目编号:PTJH13001)、福建农林大学重点项目建设专项“福建省高校农业生物技术重点实验室”(项目编号:6112C1900)、福建农林大学科技创新平台建设项目“福建省特种作物育种与利用工程技术研究中心”(项目编号:PTJH12015)、农业部海峡两岸农业合作项目“台湾优质农产品技术的培训、示范与推广”(项目编号:NYB201001)和“两岸农产品贸易突破路径”(项目编号:农财发[2014]80号)的研究内容、研

究成果,并得到以上项目资助!

参加本卷农产品品质相关内容的研究、以各种形式协助本卷编写的研究人员和研究生有檀云坤、黄华康、林伯德、吴贤德、刘友洪、陈论生、杜微、敦宋玉、范水生、林荔辉、夏法刚、高文霞、金永淑、许明、程祖铎、杨志坚、吴仁烨、陈团生、黄昕颖、林梅桂、廖素凤、林世强、曹晓华、陈学文、刘江洪、余亚白、郑慧明、康延东、郑友义、郑惠永、郑回勇、林长光、王松良、董秀云、翁国华、何海华、王龙平、苏登、修如燕、程立立、陈旭、赵帅、赵普、林文磊、肖长春、王诗文、张玉文、伊恒杰、郑东明、沈旭斌、刘玮祥、洪惠淑、郭锦燕、王晓玲、蒋孝艳、危也宁、吴苍炜、陈源、陈凌华、黄艺宁、陈锦权、林锦彬、粘磊石、温昌铃、高德星、高文克、李意、黄彦艳、孙淑静、邓倩琳、李静、李文萍、蔡焕焕,在此一并表示感谢! 特别感谢曹晓华全程协助收集了很多资料,做了大量的、细致的、繁杂的编辑、组织协调、打字和校对等工作。

本书引用了很多国内外的文献资料,在此对作者们表示衷心的感谢。

农产品品质学涉及多学科多专业知识,限于笔者水平,有误之处敬请指正。

编著者

2014年10月

目 录

第一章 农产品的保健品质(农产品中具有保健功能的生物活性物质).....	(1)
第一节 虾青素.....	(1)
一、虾青素的生理功能	(1)
二、含虾青素的农产品.....	(14)
第二节 阿魏酸	(15)
一、阿魏酸的生理功能.....	(15)
二、含阿魏酸的农产品.....	(18)
第三节 绿原酸	(19)
一、绿原酸的生理功能.....	(20)
二、含绿原酸的农产品.....	(26)
第四节 芦丁	(28)
一、芦丁的生理功能.....	(28)
二、含芦丁的农产品.....	(33)
第五节 抗性淀粉	(38)
一、抗性淀粉概述.....	(38)
二、抗性淀粉的生理功能.....	(39)
三、含抗性淀粉的农产品.....	(44)
四、提高食用农产品中抗性淀粉含量技术.....	(45)
第六节 香豆素	(50)
一、香豆素的生理功能.....	(50)
二、含香豆素的农产品.....	(68)
第七节 木脂素	(70)
一、木脂素的生理功能.....	(71)
二、含木脂素的农产品.....	(80)
第八节 倍半萜类化合物	(82)
一、倍半萜类化合物的主要生理功能.....	(82)
二、含倍半萜类化合物的农产品.....	(89)
第九节 醌类化合物	(90)
一、醌类化合物的生理功能.....	(91)
二、含醌类化合物的农产品	(104)
第十节 鞣花酸.....	(104)
一、鞣花酸的生理功能	(105)
二、含鞣花酸的农产品	(112)
第十一节 原花色素.....	(113)
一、原花色素的生理功能	(113)
二、含原花色素的农产品	(120)
第十二节 咖啡酸和咖啡酸苯乙酯.....	(122)

一、咖啡酸和咖啡酸苯乙酯的生理功能	(123)
二、含咖啡酸和咖啡苯乙酯的农产品	(131)
第十三节 没食子酸	(132)
一、没食子酸的生理功能	(133)
二、含没食子酸的农产品	(141)
第十四节 有机硫化物	(143)
一、有机硫化物的生理功能	(143)
二、含有机硫化物的农产品	(150)
第十五节 吲哚-3-甲醇	(151)
一、吲哚-3-甲醇的生理功能	(151)
二、含吲哚-3-甲醇的农产品	(153)
第十六节 聚乙炔醇	(153)
一、聚乙炔醇的生理功能	(154)
二、含聚乙炔醇的农产品	(157)
第十七节 胆碱	(158)
一、胆碱的生理功能	(158)
二、含胆碱的农产品	(161)
第十八节 花色苷	(161)
一、花色苷的生理功能	(162)
二、含花色苷的农产品	(164)
第十九节 氨基葡萄糖	(175)
一、氨基葡萄糖的生理功能	(175)
二、含氨基葡萄糖的农产品	(176)
第二十节 熊果酸	(176)
一、熊果酸的生理功能	(176)
二、含熊果酸的农产品	(179)
本章参考文献	(180)
第二章 食用农产品品质成分的科学利用	(199)
第一节 营养素摄入不足和过量的危害	(199)
一、热能摄入不足与过量的危害	(199)
二、碳水化合物摄入不足与过量的危害	(200)
三、脂肪摄入不足与过量的危害	(200)
四、蛋白质摄入不足与过量的危害	(200)
五、碘缺乏与过量的危害	(201)
六、铁不足与过量的危害	(201)
七、维生素 A 缺乏与过量的危害	(201)
八、维生素 B ₁ 缺乏的危害	(202)
九、维生素 B ₂ 缺乏的危害	(202)
十、烟酸缺乏的危害	(202)
十一、维生素 B ₆ 缺乏的危害	(203)
十二、叶酸和维生素 B ₁₂ 缺乏的危害	(203)
十三、维生素 C 缺乏的危害	(203)
十四、维生素 D 缺乏的危害	(203)

十五、维生素 E 缺乏的危害	(204)
十六、维生素 K 缺乏的危害	(204)
十七、钙缺乏的危害	(204)
十八、其他矿物质缺乏的危害	(205)
第二节 不同食物来源营养素的内含具有差异性	(205)
一、不同来源的蛋白质其氨基酸组成和含量不同	(206)
二、不同来源的脂肪其脂肪酸组成和含量不同	(207)
第三节 食物营养成分在体内的转化、协同和拮抗作用	(208)
一、协同作用	(208)
(一)产热营养素之间的协同	(208)
(二)维生素之间的协同	(208)
(三)维生素与产热营养素间的协同	(209)
(四)无机盐之间的协同	(210)
(五)无机盐与营养素的协同	(210)
(六)无机盐与维生素的协同	(211)
二、拮抗作用	(211)
(一)含磷食物与含钙食物不宜同时食用	(211)
(二)含草酸食物与含钙食物不宜同时食用	(212)
(三)含锌食物与含纤维素的食物不宜同时食用	(212)
(四)含纤维素、含草酸、含铁食物不宜同时食用	(212)
(五)含维生素 C 食物与虾不宜同时食用	(212)
第四节 选择食物必须重视四个平衡	(212)
一、氨基酸平衡	(212)
二、热能营养素平衡	(213)
三、营养素之间的平衡	(214)
四、酸碱平衡	(214)
第五节 选择全食品	(215)
一、为什么要选择全食品	(215)
二、全苹果试验证实全食品明显延缓衰老	(216)
三、高 EGCG 的全茶叶抑瘤效果比 EGCG 单体好	(217)
第六节 中国与美加欧日的膳食指南	(221)
一、中国居民膳食指南	(221)
(一)食物多样,谷类为主,粗细搭配	(221)
(二)多吃蔬菜水果和薯类	(222)
(三)每天吃奶类、大豆或其制品	(222)
(四)常吃适量的鱼、禽、蛋和瘦肉	(222)
(五)减少烹调油用量,吃清淡少盐膳食	(222)
(六)食不过量,天天运动,保持健康体重	(223)
(七)三餐分配要合理,零食要适当	(223)
(八)每天足量饮水,合理选择饮料	(223)
(九)如饮酒应限量	(224)
(十)吃新鲜卫生的食物	(224)
二、美国膳食指南	(224)

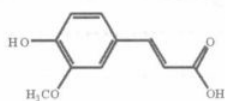
三、加拿大膳食指南	(225)
四、欧洲膳食指南	(225)
五、日本膳食指南	(225)
六、WHO 研究组提出的大众营养目标	(226)
第七节 根据 DRIs 科学制定平衡膳食	(226)
一、食谱编制的原则	(226)
二、日食谱编制步骤	(226)
三、科学编制一日食谱实例	(226)
(一)确定每日主食的种类和需求量	(227)
(二)确定动物性副食的种类和需求量	(227)
(三)确定蔬菜水果的种类和需求量	(227)
(四)确定食用油以及补充食物的种类和需求量	(228)
(五)调整食谱	(228)
四、中国居民膳食各营养素的参考摄入量	(229)
第八节 食物营养素的计算机优化利用	(240)
一、食物营养成分优化数学模型	(240)
(一)营养最优模型	(240)
(二)经济配方模	(240)
(三)偏好配方模型	(240)
二、程序实现	(241)
(一)数据库管理模块	(241)
(二)优化设计模块	(242)
(三)结果显示模块	(242)
(四)帮助模块	(242)
三、营养膳食优化设计实例与说明	(243)
第九节 若干疾病与食物品质成分的科学利用	(246)
一、高血压膳食	(246)
(一)膳食营养目标	(247)
(二)膳食制订原则	(247)
(三)食物的选择	(248)
二、高脂血症膳食	(250)
(一)膳食营养目标	(250)
(二)膳食制订原则	(250)
(三)食物的选择	(253)
三、冠心病膳食	(253)
(一)膳食营养目标	(254)
(二)膳食制订原则	(254)
(三)食物的选择	(258)
四、糖尿病膳食	(260)
(一)膳食营养目标	(261)
(二)膳食制订原则	(261)
(三)食物的选择	(262)
五、高尿酸血症和痛风的膳食	(265)

(一)膳食营养目标.....	(265)
(二)膳食制订原则.....	(265)
(三)食物的选择.....	(266)
(四)食谱制订方案.....	(268)
六、骨质疏松症膳食	(268)
(一)膳食营养目标.....	(269)
(二)膳食制订原则.....	(269)
(三)食物的选择.....	(269)
七、缺铁性贫血膳食	(270)
(一)膳食营养目标.....	(270)
(二)膳食制订原则.....	(271)
(三)食物的选择.....	(271)
八、低钾血症膳食	(271)
(一)膳食营养目标.....	(271)
(二)膳食制订原则.....	(272)
(三)食物的选择.....	(272)
九、肥胖膳食	(272)
(一)膳食营养目标.....	(272)
(二)膳食制订原则.....	(274)
(三)食物的选择.....	(274)
十、消瘦型人群的膳食	(274)
(一)膳食营养目标.....	(275)
(二)膳食制订原则.....	(275)
(三)食物的选择.....	(275)
第十节 食物、营养与癌症预防	(276)
一、能量、宏量营养素与癌.....	(276)
(一)能量.....	(276)
(二)脂肪.....	(276)
(三)蛋白质.....	(276)
(四)碳水化合物.....	(277)
二、维生素与癌	(277)
(一)维生素 A、类胡萝卜素	(278)
(二)维生素 C	(279)
(三)维生素 E	(279)
(四)其他维生素.....	(280)
三、无机盐与癌	(280)
(一)钙.....	(281)
(二)锌与铜.....	(281)
(三)硒.....	(281)
(四)碘.....	(281)
(五)铁.....	(281)
四、食物、营养、身体活动与癌症预防	(281)
(一)癌症发生过程的促癌效应与抗癌效应.....	(281)

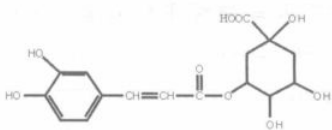
(二)细胞增殖·····	(282)
(三)逃避凋亡·····	(285)
(四)持续的血管生成作用·····	(286)
(五)组织浸润和转移·····	(288)
第十一节 营养与免疫·····	(291)
一、蛋白质与免疫·····	(291)
(一)对淋巴器官的影响·····	(292)
(二)对细胞免疫功能的影响·····	(292)
(三)对免疫球蛋白和抗体的影响·····	(292)
(四)对补体系统及吞噬细胞的影响·····	(293)
(五)对溶菌酶及铁结合蛋白的影响·····	(293)
二、脂肪酸与免疫·····	(293)
三、维生素与免疫·····	(294)
(一)维生素A与免疫·····	(294)
(二)维生素E与免疫·····	(295)
(三)维生素B ₆ 与免疫·····	(295)
(四)维生素C与免疫·····	(296)
四、微量元素与免疫·····	(296)
(一)铁与免疫·····	(296)
(二)锌与免疫·····	(297)
(三)铜与免疫·····	(297)
(四)硒与免疫·····	(298)
五、营养素相互作用与免疫·····	(298)
第十二节 营养与抗氧化·····	(299)
一、自由基、活性氧和活性氧自由基·····	(299)
(一)人体内的氧自由基·····	(300)
(二)活性氧自由基的生理功能和毒性作用·····	(301)
二、氧自由基与人类疾病·····	(302)
(一)癌症·····	(302)
(二)衰老·····	(302)
(三)炎症·····	(302)
(四)心血管疾病·····	(302)
(五)缺血—再灌注损伤·····	(303)
三、抗氧化营养素·····	(303)
(一)维生素E·····	(303)
(二)维生素C·····	(304)
(三) β 胡萝卜素和其他类胡萝卜素·····	(304)
(四)硒·····	(305)
(五)锌、铜、锰和铁·····	(305)
(六)其他抗氧化成分·····	(305)
四、富含抗氧化营养素的食用农产品(含中草药)·····	(306)
第十三节 营养与神经系统功能·····	(306)
一、三大营养素与神经系统功能·····	(307)

(一)蛋白质与氨基酸·····	(307)
(二)碳水化合物·····	(308)
(三)必需脂肪酸·····	(308)
二、六种矿物质与神经系统功能·····	(308)
(一)铁·····	(308)
(二)锌·····	(310)
(三)铜·····	(310)
(四)碘·····	(311)
(五)硒·····	(312)
(六)镁·····	(312)
三、三种维生素与神经系统功能·····	(312)
(一)硫胺素·····	(313)
(二)叶酸·····	(313)
(三)烟酸·····	(313)
四、类维生素与神经系统功能·····	(313)
(一)牛磺酸·····	(313)
(二)胆碱和卵磷脂·····	(314)
本章参考文献·····	(314)
第三章 农产品品质的提升技术·····	(316)
第一节 农产品品质的产前提升技术——优异资源发掘与遗传育种·····	(316)
一、发掘富含功能成分的优异种质 提升品质·····	(316)
二、优异种质所生产的农产品功效高·····	(317)
第二节 农产品品质的产中提升技术——栽培(饲养)环境的调控·····	(320)
一、调控茶树栽培环境 提高茶叶硒含量·····	(320)
二、调控猪饲料 提高猪产品的硒含量·····	(322)
第三节 农产品品质的产后提升技术——食品的营养强化·····	(325)
一、食用农产品营养强化概述与强化方法·····	(325)
二、美国等国家的食物营养强化·····	(328)
三、大米营养强化实例·····	(330)
本章参考文献·····	(335)
第四章 具有保健功能的十九种生物活性物质的测定方法·····	(336)
第一节 虾青素的测定(高效液相色谱法)·····	(336)
第二节 阿魏酸的测定(高效液相色谱法)·····	(338)
第三节 绿原酸的测定(高效液相色谱法)·····	(340)
第四节 芦丁的测定(高效液相色谱法)·····	(342)
第五节 抗性淀粉的测定·····	(343)
第六节 香豆素的测定(高效液相色谱法)·····	(345)
第七节 木脂素含量的测定(高效液相色谱法)·····	(346)
第八节 倍半萜类化合物的测定(反相高效液相色谱法)·····	(348)
第九节 醌类化合物的测定(分光光度法)·····	(349)
第十节 鞣花酸的测定(高效液相色谱法)·····	(351)
第十一节 原花青素的测定(高效液相色谱法)·····	(352)
第十二节 咖啡酸的测定(反相高效液相色谱法)·····	(354)

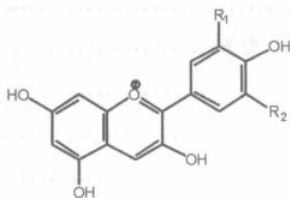
第十三节	咖啡酸苯乙酯的测定(高效液相色谱—串联质谱法)·····	(355)
第十四节	没食子酸的测定·····	(357)
第十五节	有机硫化物的测定(硫酸钡吸光比浊法)·····	(360)
第十六节	吲哚-3-甲醇(I3C)的测定(反相高效液相色谱法)·····	(361)
第十七节	聚乙炔醇的测定(高效液相色谱法)·····	(362)
第十八节	胆碱的测定·····	(363)
第十九节	熊果酸的测定(高效液相色谱法)·····	(368)
本章参考文献·····		(369)
附录 中英文对照术语·····		(370)
封面说明:		



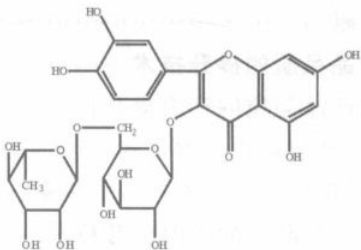
阿魏酸的化学结构式, 相关内容见第一章第二节



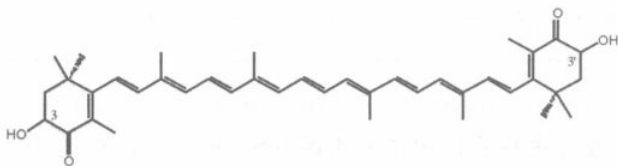
绿原酸的化学结构式, 相关内容见第一章第三节



花色苷的基本结构式, 相关内容见第一章第十八节



芦丁的化学结构式, 相关内容见第一章第四节



虾青素的化学结构式, 相关内容见第一章第一节

第一章

农产品的保健品质

(农产品中具有保健功能的生物活性物质)

第一节 虾青素

虾青素(Astaxanthin)是酮式类胡萝卜素,属萜烯类不饱和化合物,化学名称为 3,3'-二羟基-4,4'-二酮基- β,β' -胡萝卜素,分子式为 $C_{40}H_{52}O_4$,相对分子质量为 596.86。其化学结构是由 4 个异戊二烯单位以共轭双键形式连接,两端有 2 个异戊二烯单位组成的六节环结构。其结构如图 1-1-1 所示。

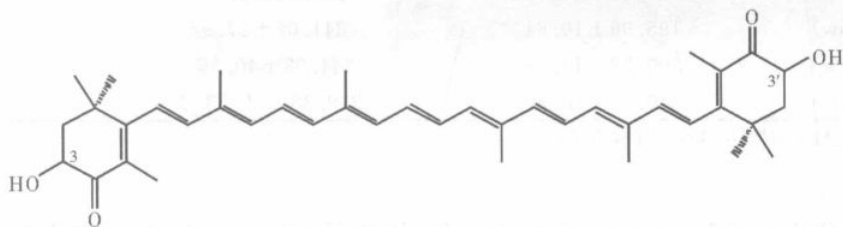


图 1-1-1 虾青素的结构

虾青素不溶于水,具有脂溶性。虾青素主要以游离态和酯化态形式存在。游离态虾青素极不稳定,易被氧化,通常化学合成的虾青素为游离态形式。酯化态虾青素是由于虾青素末端环状结构中各有一个羟基易于与脂肪酸形成酯而稳定存在,水生动物皮肤和外壳上的虾青素、雨生红球藻和红酵母中虾青素都主要以酯化态为主,酯化态虾青素根据其结合的脂肪酸不同分为虾青素单酯和虾青素二酯。虾青素酯化后,其疏水性增强,双酯的亲脂性比单酯的强;同时酯化态虾青素会与蛋白质形成复合物,产生不同的颜色。

一、虾青素的生理功能

(一)抗氧化

虾青素是一种链断裂型抗氧化剂,具有极强的抗氧化作用。机体在正常生命活动如呼吸链电子传递、体内其他物质氧化过程中会产生少量氧自由基;在受到化学试剂、紫外辐射等刺激情况下,会产生大量氧自由基。这些自由基能引起生物膜脂质过氧化、氨基酸氧化、蛋白质降解和 DNA 损伤,还能使细胞膜上的不饱和脂肪酸发生链式反应,从而影响细胞的构成。虾青素不但可以淬灭单线态氧,直接清除氧自由基,还能阻断脂肪酸的链式反应。大量研究表明,虾青素具有抗氧化作用。

杨艳(2009)研究了虾青素对自然衰老小鼠抗氧化能力的影响。选用老龄小鼠作为自然衰老模型,按体重和血中丙二醛(MDA,脂质过氧化终产物之一)水平随机分为一个老龄模型组和 4 个虾青素剂量组。灌胃 60 d 后,对各实验组的血中 MDA 含量、超氧化物歧化酶(SOD,生物体内重要的抗氧化酶和活性氧

清除剂)活性、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px 酶,组成机体预防性抗氧化防线的重要抗氧化酶)活性和 8-羟化脱氧鸟苷(8-OHdG,DNA 氧化损伤的特异产物和生物标志物)含量水平进行测定及比较。结果表明,虾青素可显著降低血液中 MDA 的含量,提高 SOD 和 GSH-Px 酶活性,但对 8-OHdG 含量无显著影响(见表 1-1-1、表 1-1-2)。由此得出结论,摄入适量的虾青素能有效地增强老龄小鼠体内的抗氧化能力,有助于延缓小鼠的自然衰老。

表 1-1-1 实验前后血中 MDA 水平测定结果(n=12, $\bar{x} \pm S$)

组别	实验前 MDA(nmol/mL)	实验后 MDA(nmol/mL)
模型对照(不灌胃虾青素)	30.46±2.46	28.92±2.31
5 mg/(kg·bw)	30.46±2.47	26.38±2.39 [#]
25 mg/(kg·bw)	31.16±2.44	26.92±2.01 [#]
50 mg/(kg·bw)	30.35±2.46	25.42±2.78 ^{* *}
100 mg/(kg·bw)	30.10±3.25	21.61±4.35 ^{* *}

注:与模型对照组比较,^{*} $P<0.05$;与实验前比较,[#] $P<0.05$ 。
据杨艳(2009)

表 1-1-2 血清 SOD 活性、GSH-Px 活性、8-OHdG 水平测定结果(n=12, $\bar{x} \pm S$)

组别	SOD(U/mL)	GSH-Px 酶活力单位	8-OHdG(ng/mL)
模型对照(不灌胃虾青素)	162.12±23.81	303.98±33.76	83.26±19.59
5 mg/(kg·bw)	174.88±16.02	320.51±22.07	84.40±15.74
25 mg/(kg·bw)	195.96±10.64 ^{* *}	341.02±27.97	75.77±26.48
50 mg/(kg·bw)	200.52±11.19 ^{* *}	344.08±40.36 [*]	69.04±24.24
100 mg/(kg·bw)	210.77±10.80 ^{* *}	359.38±55.33 ^{* *}	70.23±25.53

注:与模型对照组比较,^{*} $P<0.05$,^{* *} $P<0.01$ 。
据杨艳(2009)

彭亮等(2011)研究了虾青素的抗氧化作用和对人体健康的影响。将 120 名健康志愿者按血清丙二醛含量随机分为试食组和对照组,试食组连续服用受试物 90 d,对照组服用安慰剂,测定两组人群血清中丙二醛 MDA 含量、超氧化物歧化酶 SOD 活性、谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px 活性和安全性指标。实验结果表明,试食组血清 MDA 含量显著下降,与对照组的差异有统计学意义($P<0.01$)(见表 1-1-3);试食组血清 SOD 和 GSH-Px 活性显著升高,与对照组的差异有统计学意义($P<0.01$)(见表 1-1-4、表 1-1-5)。试验前后两组人群的各项安全性指标均在正常范围内。因此得出结论,虾青素可提高人体的抗氧化能力,且对人体健康无损害作用。

表 1-1-3 试食前后两组人群的血清 MDA 含量变化

组别	人数	试食前 MDA (nmol/mL)	试食后 MDA (nmol/mL)	MDA 下降值 (nmol/mL)	下降率(%)	P(自身)
对照组	57	5.74±0.17	5.68±0.32	0.06±0.27	1.01±4.70	>0.05
试验组	58	5.79±0.16	5.34±0.23	0.45±0.21	7.74±3.59	<0.01
P(组间)		>0.05	<0.01	<0.01	<0.01	

据彭亮等(2011)

表 1-1-4 试食前后两组人群的血清 SOD 活性变化

组别	人数	试食前 SOD (U/mL)	试食后 SOD (U/mL)	SOD 升高值 (U/mL)	升高率(%)	P(自身)
对照组	57	116.3±13.4	118.1±19.8	1.76±1.06	1.51±3.42	>0.05
试验组	58	115.6±14.3	124.3±17.6	8.68±4.70	7.52±5.58	<0.01
P(组间)		>0.05	<0.01	<0.01	<0.01	

据彭亮等(2011)

表 1-1-5 试食前后两组人群的血清 GSH-Px 活性变化

组别	人数	试食前 GSH-Px (NU/mL)	试食后 GSH-Px (NU/mL)	GSH-Px 升高值 (NU/mL)	升高率(%)	P(自身)
对照组	57	145.4±15.3	148.0±13.2	2.61±4.16	1.87±4.15	>0.05
试验组	58	144.1±16.6	156.0±10.7	11.91±9.58	8.26±6.71	<0.01
P(组间)		>0.05	<0.01	<0.01	<0.01	

据彭亮等(2011)

陈东方等(2011)将 106 例年龄在 45~65 岁之间的健康志愿者按血清丙二醛含量随机分为受试组和对照组,受试组连续服用天然虾青素软胶囊 90 d。测定血清中丙二醛 MDA 含量及超氧化物歧化酶 SOD 和谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px 活性和安全性指标。实验结果表明,试食后受试组 MDA 含量明显下降,自身前后比较差异有统计学意义($P<0.01$),下降率为 3.25%;SOD 活性明显升高,自身前后比较差异有统计学意义($P<0.01$),升高率为 4.59%;GSH-Px 活性明显升高,自身前后比较差异有统计学意义($P<0.01$),升高率为 5.54%。各项安全性指标试验前后均无明显改变,结果见表 1-1-6 至表 1-1-9。得出结论,天然虾青素软胶囊对人体具有抗氧化作用。

表 1-1-6 试食前后血液安全性指标变化比较($\bar{x}\pm S$)

项目	对照组($n=50$)		试验组($n=50$)	
	试食前	试食后	试食前	试食后
WBC($\times 10^9/L$)	6.06±1.61	6.29±1.78	6.26±1.42	6.57±1.60
RBC($\times 10^{12}/L$)	4.48±0.50	4.53±0.46	4.44±0.47	4.47±0.49
Hb(g/L)	128.20±11.40	128.30±10.70	128.00±10.60	128.60±11.10
PLT($\times 10^9/L$)	272.80±49.30	280.10±45.00	275.50±44.70	267.50±50.90
TP(g/L)	69.50±7.90	70.80±7.80	71.10±9.00	71.50±6.40
ALB(g/L)	39.80±6.70	39.30±5.00	40.10±5.50	39.30±3.80
CHO(mmol/L)	5.51±0.73	5.47±0.66	5.60±0.59	5.41±0.60
TG(mmol/L)	1.39±0.22	1.36±0.18	1.38±0.23	1.37±0.16
HDL-C(mmol/L)	1.26±0.17	1.25±0.18	1.27±0.18	1.26±0.19
GLU(mmol/L)	5.83±0.76	5.89±0.66	5.91±0.74	5.86±0.77
ALT(u/L)	29.30±8.30	29.20±7.90	27.90±7.80	27.30±6.70
AST(u/L)	30.70±5.00	28.60±7.80	30.50±5.60	29.80±8.30
CRE(μ mol/L)	71.80±16.20	73.50±15.70	69.20±18.00	70.60±18.50
BUN(mmol/L)	6.21±1.50	5.74±1.47	6.08±1.18	5.86±1.28
血压(mmHg)	122.4±8.4/80.9±6.1	123.6±7.2/81.3±5.5	123.0±6.4/81.1±5.7	123.9±6.1/81.1±5.3
WBC($\times 10^9/L$)	6.06±1.61	6.29±1.78	6.26±1.42	6.57±1.60

据陈东方等(2011)

表 1-1-7 试食后过氧化脂质含量下降百分率($\times 10^{-2}$)

组别	n	MDA 含量(nmol/mL)		差值	下降百分率
		试食前	试食后		
试验组	50	5.52±0.60	5.29±0.60**#	-0.24	3.25
对照组	50	5.59±0.51	5.52±0.42	-0.08	1.03

注:**自身前后比较 $t=14.767, P<0.01$;# 与对照组比较 $t=-2.141, P<0.05$ 。

据陈东方等(2011)