

# 叶黄素研究进展

宋幼良<sup>1</sup> 吴殿星<sup>2</sup> 钱国壬<sup>1</sup> 周幸愿<sup>1</sup> 郇永堂<sup>1</sup>

(1.浙江省绍兴市农业科学研究院 绍兴 312003;2.浙江大学原子核农业科学研究所 杭州 310029)

**摘要:**叶黄素系一种天然类胡萝卜素,广泛存在于自然界中。本文主要介绍了叶黄素的结构、理化性质、分布、生物利用率、生理功能、提取方法等内容,并对其产品开发进行了展望。

**关键词:**叶黄素;理化性质;生理功能;应用现状

叶黄素又称“植物黄体素”,是一种广泛存在于蔬菜、水果、花卉和某些藻类生物中的天然类胡萝卜素[1],人体无法自身合成,必须由膳食中摄取或补充。叶黄素是一种性能优异的抗氧化剂,早在1995年,美国食品与药物管理局(FDA)就已批准其作为食品补充剂用于食品饮料。大量研究表明,叶黄素在保护视觉、预防白内障及心血管疾病、抗癌、抗氧化、增强免疫力等方面具有重要作用,是目前国际功能性食品成分的研究热点之一[2,3]。

## 1 叶黄素的结构和理化性质

叶黄素属于类胡萝卜素。类胡萝卜素按其化学结构和溶解性可以分成两大类<sup>[4]</sup>,即胡萝卜素类和叶黄素类。前者系共轭烯烃,分子式为 $C_{40}H_{56}$ ,溶于石油醚,难溶或不溶于乙醇,包括具有VA前体功能的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ -胡萝卜素和不具VA前体功能的番茄红素。后者系共轭多烯烃的含氧衍生物,以醇、醛、酮、酸的形式存在,溶于乙醇,不溶于乙醚,包括玉米黄素、隐黄素、叶黄素、辣椒红素等。

叶黄素是 $\alpha$ -胡萝卜素的衍生物,分子式为 $C_{40}H_{56}O_2$ ,分子量为568.85。叶黄素分子具有3个手性碳原子,理论上存在8种异构体,但自然界中实际只存在1种异构体,即玉米黄素。叶黄素分子具有10个共轭双键,其末端基团上还带有羟基(图1),正是这些共轭双键使叶黄素具有鲜艳的颜色和抑制自由基的能力。叶黄素在细胞膜上的存在方式是疏水性的长碳链埋于磷脂分子层中,而亲水性的羟基留

在膜的两侧,这种结构使叶黄素最大程度地与极易氧化的细胞膜脂质相结合,以增强细胞膜的强度。在稳定性上,有关研究表明游离叶黄素对热极不稳定,叶黄素月桂酸单酯(ML)稳定性稍强,而二月桂酸酯(DL)对热极为稳定。ML、DL对紫外线的敏感性都比游离叶黄素差。研究表明,叶黄素的羟基与脂肪酸酯化可增强对热和紫外线的稳定性,这也就是叶黄素产品多以叶黄素酯形式供应的一个原因<sup>[5]</sup>。

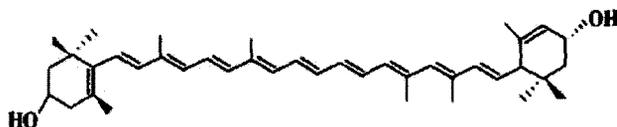


图1 叶黄素的结构式

## 2 叶黄素的分布

叶黄素广泛存在于自然界中,但其存在形式有差别。在菠菜、甘蓝、椰菜、蜜露等绿色果蔬中以游离非酯化的形式存在。而在橘子、木瓜、桃子、笋瓜等黄色或橙色果蔬中以与肉豆蔻酸、月桂酸、棕榈酸等脂肪酸酯化的形式存在,但摄入这些食物后,叶黄素酯需水解为游离叶黄素才能被动物体所吸收<sup>[5]</sup>。

在不同来源果蔬中,叶黄素含量并不相同,且各地不同来源、不同单位测定的结果差异也较大。

上述资料表明,在自然界食用的果蔬中,叶黄素含量较少,且差别很大。如果直接从果蔬中提取叶黄素,其成本将很高。因此,国内外均采用以叶黄素含量较高的金盏花(又称万寿菊)为原料,提取精制叶

基金项目:绍兴市科技计划项目(2011A22014)、浙江省育种专项(0406)。

作者简介:宋幼良(1984-),男,硕士,主要从事水稻遗传育种研究工作。E-mail:3031612012@zju.edu.cn

黄素用于工业生产。研究表明,金盏花中类胡萝卜素含量可超过 1mg/g 鲜重,其具体组分含量见表 4。

表 1 美国迈阿密国际大学测定的不同来源果蔬中叶黄素含量(1995 年)

果蔬	叶黄素含量 (μg/100g)	玉米黄素含量 (μg/100g)
甜玉米	522	437
菠菜	7 400	
豆瓣菜	11 000	
椰菜	2 000	
胡椒粉(橙色)	2 500	8 500
胡椒粉(绿色)	1 100	
豌豆	2 000	
杏干	100	31
苹果	434	1

表 2 美国农业部饮食营养协会公布的不同来源果蔬中叶黄素和玉米黄素混合物含量

果蔬	叶黄素和玉米黄素混合物含量(mg/100g)
胡萝卜	260
甘蓝 kale	21 900
甘蓝	1 300
菠菜	10 200
玉米	780
青椰菜	1 900
青豌豆	1 700
青豆	740
番茄	100
莴苣叶	1 800
羽衣甘蓝	16 300

状态、细胞结构、营养状况及遗传背景等密切相关<sup>[6]</sup>。

植物中的叶黄素主要以脂肪酸酯的形式存在。在被动物取食后,叶黄素酯需经消化液水解成游离叶黄素才能被肠道有效地吸收利用。目前,金盏花叶黄素主要用作家禽的饲料添加剂,而家禽在消化道功能成熟前就已达到上市的体重标准,因此家禽不能很好地利用叶黄素酯。在实际家禽饲养中,需添加游离叶黄素以供其吸收利用。研究表明,家禽对叶黄素酯的吸收率仅为 35%~38%,而对游离叶黄素的吸收率可达 90%<sup>[7]</sup>。

### 3 叶黄素的生物利用率

叶黄素的生物利用率与其存在形式、食品加工

表 3 罗氏公司公布的绿叶蔬菜中叶黄素和玉米黄素混合物含量(2001 年)

绿叶蔬菜	叶黄素和玉米黄素混合物含量(mg/100g)
菠菜	11.9
烹调菠菜	7
烹调萝卜叶	8.4
玉米	1.8
甘蓝	39.6
烹调甘蓝	15.8
烹调羽衣甘蓝	8.1
烹调硬花甘蓝	2.2
小胡瓜	2.1
莴苣	2.6

表 4 金盏花中类胡萝卜素的组分含量

类胡萝卜素组分	含量(mg/g 干重)
叶黄素	2.13
叶黄素酯	11.21
玉米黄素	0.56
其他类胡萝卜素	2.56
合计	16.46

叶黄素的生物利用率与食品加工方式、细胞结构等也密切相关。食品原料中的叶黄素被包埋在细胞内,因此采取破坏细胞结构的加工方式可显著提高叶黄素的生物利用率。

叶黄素酯的利用率还与膳食中的脂肪量存在有显著关系。适量的膳食脂肪可诱导胰腺分泌酯酶或脂肪酶,并促进其活性,而叶黄素酯的水解过程正需要这些酶的参与才能完成。所以适量的膳食脂肪可提高动物体对叶黄素酯的吸收利用率,但其与游离叶黄素的生物利用率无必然相关性。

### 4 叶黄素的生理功能

#### 4.1 保护视觉

叶黄素是唯一存在于人眼视网膜上的一种类胡萝卜素,它选择性地沉积在黄斑区和整个视网膜。叶黄素对眼睛的主要生理功能是作为抗氧化剂和光保护剂<sup>[8]</sup>。大量研究表明,叶黄素在预防控制视力下降、视网膜黄斑病变、白内障、糖尿病视网膜病变、飞蚊

症、青光眼等常见眼疾中均起举足轻重的作用。叶黄素有利于预防眼球动脉硬化,延缓和减轻老花眼的症状,并可降低白内障和老年性黄斑变性(AMD)的发病<sup>[9,10]</sup>。老年性黄斑变性是导致后天性失明的首要诱因,全球有2 500万~3 000万人受其影响。另外,叶黄素对婴儿的视力乃至智力发育也至关重要。

#### 4.2 抗氧化作用

叶黄素在防止自由基对生物膜的损害、淬灭单线态氧及捕获氧自由基等方面具有独特功效<sup>[7]</sup>。单线态氧自由基和过氧化物自由基主要来源于两个方面:一是由机体正常代谢产生;二是受诸如吸烟、空气污染、辐射和环境毒素等影响而大量产生。研究发现,活性氧自由基可与DNA、蛋白质、脂类发生反应,抑制它们的生理功能,从而引发癌症、动脉硬化、AMD等慢性疾病。叶黄素可通过物理或化学的淬灭作用灭活单线态氧,保护机体免受伤害。叶黄素还能阻止类脂的过氧化,保护卵泡和子宫的类固醇生成细胞不被氧化。因此,将一定量的叶黄素添加到食品中,有助于预防人体器官衰老引发的一系列疾病,并增强机体的免疫力。

#### 4.3 抗癌作用

叶黄素在抑制肿瘤生长方面具有独特的生物学功效,其机理主要包括抗氧化活性、抑制肿瘤血管增生和细胞的增殖等。研究表明,叶黄素在抑制细胞膜脂质自氧化和氧化诱导的细胞损伤方面比 $\beta$ -胡萝卜素更有效<sup>[11]</sup>。作为饲料添加剂,叶黄素能有效地抑制小鼠可转移乳腺肿瘤的生长并促进淋巴细胞增长<sup>[12]</sup>。据美国癌症研究所(AICR)报道,人均每天摄入400~600 g果蔬可使患癌症相对危险性降低50%。Slattery等<sup>[13]</sup>的研究表明,叶黄素的摄入量与结肠癌的危险性呈显著负相关。

#### 4.4 延缓早期动脉硬化作用

最新研究表明,叶黄素对早期动脉硬化进程有延缓作用。Dwyer等<sup>[14]</sup>认为叶黄素能预防颈动脉主干道血管壁变厚。通过动物试验发现,喂饲含叶黄素饲料的小鼠动脉血栓比未喂饲的要低。此外,动物壁细胞中叶黄素还能显著降低LDL胆固醇氧化性。

#### 4.5 着色作用

因叶黄素呈现鲜艳的黄色,着色力强,具有耐光、热、酸、碱等特性,故被广泛地应用于糕点、糖果、烟草、调料及饲料加工中。

## 5 叶黄素的提取方法

叶黄素首次由Heinrich于1831年从胡萝卜根中提取获得,尔后Berzdlius在1837年从秋天的黄叶中提取,随后其他研究人员相继从海藻和蛋黄中提取<sup>[15]</sup>。目前,叶黄素的生产均是从金盏花中提取<sup>[16]</sup>。

叶黄素尚不能通过化学合成的方法获得,只能从天然植物中提取。叶黄素的提取方法主要有以下几种。

### 5.1 膜分离法

采用浸提、蒸发浓缩、溶剂提纯等传统工艺提取天然色素存在能耗高、工艺过于复杂、产品纯度不高等缺点。而膜分离法<sup>[17]</sup>的引入不仅降低了成本,还提高了产品的质量。先用陶瓷膜微滤(MF)对浸提液进行精滤提纯,再用反渗透膜(RO)浓缩过滤液。这种以膜分离技术为主体的工艺相对于乙醇提取和蒸发浓缩而言,过程简单,且色素溶液基本处于常温状态,从而有效地保证了色素产品的质量。

### 5.2 微波加热法

杨丽飞等<sup>[2]</sup>以茶叶为原料,以6#溶剂为介质,采用微波加热法提取叶黄素,并通过控制溶剂浓度、微波功率、提取时间等参数,获得了叶黄素的最佳提取条件。试验结果表明,当物料比(w/v)为1:25,时间为30 s,微波浸提2次后,叶黄素的提取率可达65.45%。该方法的主要优点就是节省溶剂,提高了提取效率。

### 5.3 干燥法

把金盏花的花瓣放入一种新型转筒式干燥机<sup>[18]</sup>内进行干燥和捶击,可从中提取叶黄素。当捶击比率变化时,捶击效率在70%~90%波动。叶黄素的量和干燥时间、干燥温度等密切相关,在相同干燥时间内,60℃下的提取量要比70℃下的提取量多。

### 5.4 萃取法

青岛高科技产业园青大天然产物研究所已能大规模地从金盏花中萃取叶黄素。其工艺流程为:金盏花花瓣→发酵→干燥→造粒→正己烷萃取→负压蒸发分离→叶黄素树脂。

### 5.5 有机溶剂浸提法

该方法以乙醇为溶剂,在碱性条件下从金盏花中浸提叶黄素。提取液呈棕黄色,经减压蒸馏、浓缩、沉淀、干燥后得到褐色固体<sup>[19]</sup>。宋昊等<sup>[16]</sup>研究金盏花中叶黄素在4种有机溶剂(四氢呋喃、石油醚、正己烷、丙酮)及这些溶剂与乙醇的二元混合溶剂中的溶解规律,发现二元混合溶剂对叶黄素的(下转198页)

茎扩展成环形斑,叶柄全部下陷,植株萎蔫,严重时整株死亡。

防治方法:①精选良种,在无病田中留种,种子田的花生收获后,要及时晒干,安全储藏,防止霉捂,减少种子初次侵染源。②实行3年以上的轮作制度。避免田间积水,降低田间湿度。

(2)锈病:近几年锈病已经上升为花生的主要病害,感病植株一般减产50%以上。底叶先发病,叶片出现黄色的疱斑,周围有很窄的黄色晕圈,表皮裂开后,散出铁锈色粉末,严重时,叶片黄,干枯脱落。

防治方法:发病初期用50%加纳金WP800倍液,20%粉锈宁WP500倍液,75%百菌清WP600倍液交替喷雾防治。

(3)病毒病:常见的病毒病有3种类型。分别为:

条斑病毒、黄瓜花叶病毒、矮化病毒。

防治方法:①选用无病种子。因地制宜的建立种子繁育基地。②花生在苗期就开始预防刺吸式害虫如蚜虫、飞虱等的危害。③发病初期可用0.5%抗毒丰乳剂600倍液,1.5%植病灵乳剂1000倍液全田喷雾防治。

## 7.2 丘陵山地花生栽培常见的地下害虫

近几年地下害虫已成为花生的主要虫害,造成花生大面积减产,同时花生的品质下降。常见的地下害虫有:蛴螬、金针虫、地老虎、根结线虫和蝼蛄等。地下害虫隐蔽性强,防治起来十分的困难,必须采取综合防治技术措施。最主要的是土壤处理,播种时用2%麦莎颗粒撒于播种沟内,然后再播种,能够有效地防止各种地下害虫危害。

(上接140页)

浸提效果比纯溶剂好。此外,叶黄素的溶解效率与超声波、温度、原料颗粒大小等也密切相关。

另外还有超临界二氧化碳流体萃取法、高效液相色谱分析法等。

## 6 展望

我国具有丰富的金盏花资源,并已广泛开展对叶黄素的提取加工工作,但仍都是粗品,主要用于动物饲料添加剂或出口。目前,中国农业大学、上海交通大学、北京大学等均开展了高纯度叶黄素的研究工作,其纯度已超过95%<sup>[20]</sup>,但尚未引起我国食品工业界的重视。国内包括浙江大学在内的科研机构正在开展高叶黄素含量水稻种质创新及相应产品的开发,并已取得初步成效。叶黄素因具有良好的保护视觉,预防动脉硬化、抗氧化、抗癌等作用,作为一种功能性成分在食品、药品、保健品等领域必将具有良好的开发前景。

### 参考文献

- [1]孙震,姚惠源.叶黄素的抗癌作用及其研究现状[J].生物技术通讯,2005,16(1):84-86.
- [2]杨丽飞,邓宇.叶黄素提取工艺的初步研究[J].广州食品工业科技,2004,20(1):45-47.
- [3]孟祥河,毛忠贵,潘秋月.叶黄素的保健功能[J].中国食品添加剂,2003(1):17-20.
- [4]尤新.叶黄素及其护眼功能[J].中国食品添加剂,2003(5):1-3,10.
- [5]朱海霞,郑建仙.叶黄素(Lutein)的结构、分布、物化性质及生理功能[J].中国食品添加剂,2005(5):48-55.
- [6]金闻博,戴亚.烟草化学[M].北京:清华大学出版社,1999:43-

- 44.
- [7]李浩明.万寿菊叶黄素及其生理功能研究概况[J].中国食品添加剂,2001(4):31-33.
- [8]刘振,沈晓霞,舒小丽,等.叶黄素的结构功能及其应用进展[J].中国科技博览,2009(28):225-226.
- [9]Barnes H T. Formulating beverages for healthy eyes and skin [J]. Soft Drinks Management International, 2004,25(6):27.
- [10]马钟锦.含叶黄素的食物对视力有益[J].中国食品,2000(19):15.
- [11]Granado F, Olmedilla B, Blanco I. Nutritional and clinical relevance of lutein in human health [J]. British Journal of Nutrition, 2003,90(3):487-502.
- [12]李永祥,曹端林.叶黄素的提取及应用研究进展[J].山西化工,2004,24(1):16-18.
- [13]Slattery M L, Benson J, Curtin K, et al. Carotenoids and colon cancer[J]. Am J Clin Nutr, 2000,71(2):575.
- [14]Dwyer J H, Navab M, Dwyer K M, et al. Oxygenated carotenoid lutein and progression of early atherosclerosis: the Los Angeles atherosclerosis study [J]. Circulation, 2001,103(24):2922-2927.
- [15]许秀兰,赵国华,阚建全,等.叶黄素研究进展[J].粮食与油脂,2004,(10):3-7.
- [16]宋昊,何泽超,章杰,等.万寿菊花中叶黄素的提取[J].化工设计,2003,13(4):10-12.
- [17]刘莱娥.膜分离技术应用手册[M].北京:化学工业出版社,2001:12-15.
- [18]Armstrong P R, Bruswitz G H, Stone M L, et al. Rotary drying for threshing petals from marigold flowers[J]. Transaction of the ASAE, 2000,43(2):379-384.
- [19]丁家兴.食用天然色素叶黄素的提取[J].甘肃科技,2003,19(7):96-98.
- [20]尤新.天然提取物和功能性食品添加剂[J].食品科学,2004,25(3):216-218.



知网查重限时 **7折** 最高可优惠 **120元**

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重: <http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载: <http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重: [http://www.paperyy.com/reduce\\_repetition](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载: <http://ppt.ixueshu.com>

---