

# 胶原蛋白的应用研究

周倩, 罗志刚, 何小维

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 胶原蛋白具有良好的物理性能和生物学特性, 在化工、食品、医学、生物材料以及农业等领域有着广泛的应用。本文综述了胶原蛋白结构和功能特点及其在化妆品、生物材料、饲料、制作皮革复鞣剂、涂饰成膜材料等方面的应用与研究进展。胶原蛋白基生物材料的应用具有很大的市场发展空间和潜力。

**关键词:** 胶原蛋白; 化妆品; 生物材料; 饲料; 蛋白涂料

**中图分类号:** TS201.2; **文献标识码:** A; **文章篇号:** 1673-9078(2008)03-0285-05

## Progress of Collagen Application

ZHOU Qian, LUO Zhi-gang, HE Xiao-wei

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Collagen had good physical properties and biological characteristics, and had been widely applied in many fields such as chemical industry, food, medicine, biomaterial, and agriculture, among which collagen-based biomaterials had great application potential and wide market space. The structure and functional features of collagen and its application in cosmetics, biomaterials, feed, retanning agent and film forming materials in finishing were introduced in this paper.

**Key words:** collagen; cosmetic; biomaterials; feed; proteinaceous coatings

胶原又称胶原蛋白,是动物体内含量最丰富的蛋白质。所有多细胞生物都含有胶原,哺乳动物身上所有蛋白质中约 30%是胶原蛋白。胶原是皮肤、骨、腱、软骨、血管和牙齿的主要纤维成分,而细胞骨架的重要成分也是胶原。因此,胶原不同程度地存在于一切器官中。胶原的独特性质是能够形成高强度的不溶性纤维。除了在成熟的组织中起结构作用外,胶原对发育中的组织有定向作用。另外,胶原的分子结构可被修饰以适应特定组织的功能要求<sup>[1,2]</sup>。

胶原蛋白广泛分布于人体各组织器官中,以结缔组织中含量最高。由于它是机体内多种组织的主要组成成分,并行使十分重要的功能。胶原蛋白是机体内蛋白质体系中的一个大家族。经过数十年的研究和发展,已发现并确认了 25 种类型的胶原蛋白<sup>[3-5]</sup>。胶原蛋白具有良好的物理性能和生物学特性,在化工、食品、医学、生物材料以及农业等领域有着广泛的应用。

### 1 胶原蛋白的结构及功能特点

胶原蛋白的类型多、结构复杂,一般可分为纤维

收稿日期: 2007-10-26

基金项目: 广东省科技攻关计划 (2006B40101013)

作者简介: 周倩 (1982-), 女, 华南理工大学在读硕士, 研究方向: 碳水化合物化学与工程

胶原、基膜胶原、微纤维胶原、锚定胶原、六边网状胶原、非纤维胶原、跨膜胶原、基膜胶原及其它具有特殊作用的胶原蛋白, 多达 15 种, 可分为 I 型、II 型、III 型等<sup>[6]</sup>。胶原蛋白是细胞外基质的结构蛋白质, 其分子细胞外基质中聚集为超分子结构, 主要含有  $\alpha$ -氨基酸、脯氨酸、羟氨酸、羟赖氨酸、羟脯氨酸等。尽管各种胶原蛋白的结构差异很大, 但它们具有共同的特征: 都是由 3 条  $\alpha$  肽链以右手螺旋方式形成蛋白质, 这样的三股螺旋区域被称为胶原区域。每一个  $\alpha$  肽链在分子结构上都是由重复出现的 Gly-X-Y 肽段构成左手螺旋, 3 条链在氨基酸残基的相互作用下, 以同一轴为中心, 以右手螺旋方式形成稳定的三股螺旋结构<sup>[7-9]</sup>。

这些结构特征决定了胶原蛋白具有独特的纤维状结构及良好的生物相容性、可降解性和低抗原性等生物活性, 将其改性处理后, 可用于制作美容化妆品、生物医学材料、保健品、食品涂层包装材料等。因蛋白质材料所具有的填充性、遮盖性、成膜性等性能, 经改性还可用作皮革复鞣填充剂、涂饰剂、造纸助剂等<sup>[10]</sup>。

### 2 胶原蛋白的应用研究

#### 2.1 化妆品应用

胶原蛋白的化学组成、结构赋予了它是美容的基础。它具有美白、保湿、防皱、修复、营养、减肥等美容美体作用<sup>[11]</sup>。胶原蛋白是一种脊椎动物结缔组织中的非水溶性纤维状含糖蛋白质, 约占人体内蛋白质25%~35%, 是皮肤的主要结构性蛋白质, 占50%以上, 它在人体皮肤中具有非常重要的作用, 它有良好的支撑力, 就像撑起皮肤组织的钢筋架构一样, 能让皮肤看起来非常丰润。胶原蛋白与人体皮肤胶原的结构相似, 分子中富含大量氨基酸和亲水基, 具有一定的表面活性和很好的相容性, 将其作为活性物质用于化妆品中时, 后者可以扩散到皮肤的深层, 补充人体皮肤所需的氨基酸, 使皮肤中的胶原蛋白活性增强, 保持角质层水分以及纤维结构的完整性, 促进皮肤组织的新陈代谢, 对皮肤产生良好的滋润保湿、消皱美容作用<sup>[12]</sup>。

市场上的胶原蛋白产品主要是以外用、口服和针剂的形式出现的。外用保养的胶原蛋白产品是利用胶原蛋白作为美容保养品中的保湿剂, 使得产品具有保持水分的功效, 并添加可促进胶原蛋白增生的成分, 让皮肤回复强的水合能力与张力, 促进皮肤创伤愈合及表皮自然成长, 使皮肤恢复年轻活力, 得到一张粉嫩美白的面孔。胶原蛋白也可用来口服, 因为胶原蛋白是人体的必需成分。在胃肠道会被水解吸收, 作为人体生物合成胶原蛋白的原料; 水解胶原蛋白能使分解和代谢脂肪的过程增加延长, 帮助分解更多的脂肪达到减肥目的; 局部注射胶原蛋白, 能够改善脸部老化皱纹问题。增加制造胶原蛋白的原料供给, 自然可促进胶原蛋白的合成。个人肠道功能及体质决定了能有多少内服的胶原蛋白被吸收利用。但胃肠吸收能力不好的人, 在服用胶原蛋白时, 最好能够同时并服抗氧化剂, 以减少自由基对胶原蛋白的破坏。胶原蛋白用来注射简便起效快, 多用于整形外科的美容重建手术。其用途包括: 减少皱纹的深度并修复疤痕、凹洞的填补, 鼻型改造、下巴重建、美化嘴唇、加大耳垂、丰润脸颊等。一般而言, 注射胶原蛋白对减少前额和两颊的皱纹特别有效, 功效可维持至少半年左右。由于胶原蛋白会被人体吸收, 因此在完成胶原蛋白的注射后必须与医师保持密切联系, 使医师能有效地掌握状况。

早在20世纪70年代初, 美国就率先推出注射用牛胶原, 用于祛斑除皱及修复疤痕, 取得了令人满意的效果。国际市场销售的化妆品用的蛋白质类原料近50种, 我国只有N-酰化胶原水解蛋白缩合物、肌氨酸、粗丝氨酸和透明质酸等少数几种产品出售。为

使胶原蛋白更有效地应用于化妆品中, 现在四川大学生物研究所、四川铭让生物科技有限公司、法国BIMSIFRAM集团公司、成都宏泰化妆品有限公司, 联合开发了新一代生物美容材料19AC生物酶解胶原肽<sup>[13]</sup>。

## 2.2 胶原蛋白生物材料的应用

胶原蛋白是肌体自然蛋白, 对皮肤表面的蛋白质分子具有较大的亲和力、较弱的抗原性、良好的生物相容性和生物降解安全性, 可降解吸收, 粘着力好, 因而具有独特的皮肤修复功能, 改性后可用于制作止血粉和皮肤移植材料等生物材料<sup>[14]</sup>。胶原蛋白是一种性能优良的生物材料, 在医学领域已经得到广泛的应用。

### 2.2.1 胶原蛋白与临床止血

海绵状的胶原蛋白制品除了良好的组织相容性外, 其海绵状结构还具有良好的渗水和吸水能力, 局部止血应用时可起到很好的吸收出血的作用。胶原蛋白在局部加强了血小板的黏附与聚集, 进而启动了内源性的凝血途径。同时, 胶原蛋白对创面有很好的黏附性, 一般情况下只需较短时间的压迫就可达到满意的止血效果, 使用十分方便<sup>[15,16]</sup>。与其它止血材料单纯的止血作用相比, 胶原蛋白在促进组织再生和功能恢复方面也具有独特的效果, 对于创伤局部止血以后的愈合与恢复十分有利。

### 2.2.2 组织工程

由于胶原蛋白广布于人体各组织中, 系各组织中的重要成分并构成组织细胞外基质(Extracellular matrix, ECM), 其性质是一种天然的组织支架材料。从临床应用的角度, 人们用胶原蛋白制成各种各样的组织工程支架, 如皮肤、骨组织、气管和血管支架等。然而以胶原本身而言就有两大类, 即纯胶原制备的支架和与其它成分复合而成的复合物支架。纯胶原蛋白组织工程支架具有生物相容性好、易加工、可塑性并能促进细胞黏附、增殖等优点, 但也有胶原蛋白的力学性能差, 在含水时难以塑形, 无法支撑组织重建等不足。其次在修复处的新生组织会产生各种各样的酶, 将胶原蛋白水解, 导致支架崩解, 而采用交联或复合的方式能改善与提高。现已成功地将胶原蛋白基生物材料用于人工皮肤、人工骨、软骨移植和神经导管等组织工程产品。Wakitani等<sup>[17]</sup>用嵌入软骨细胞的胶原蛋白凝胶来修复软骨缺陷, Orwin等<sup>[18]</sup>尝试用上皮、内皮和角膜细胞附在胶原蛋白海绵以适应角膜组织。Award等<sup>[19]</sup>混合自体同源的间叶细胞中的茎状细胞和胶原蛋白凝胶制作肌腱用于腱后修复。以胶原蛋白为

基质作真皮辅以上皮成分构成的组织工程人工皮肤，见表1。

表1 胶原基组织工程皮肤

Table 1 Cutis of collagen tissue

产品名称	厂家	真皮细胞	上皮成分
Apligraf	Organogenesis	含异体成纤维细胞的	异体角化细胞
	公司	胶原蛋白凝胶	
Dow			
Biobrane	Hickam/Bertek	胶原涂层的尼龙网	凝胶层
制药公司			
Integra	Integra 生命	胶原/糖胺聚糖膜	硅塑料涂层
科学公司			
Orcel	Ortec 国际公	含异体成纤维细胞的	异体角化细胞
	司	胶原海绵	
CSS	未标明公司	含自体成纤维细胞的	自体角化细胞
	(正在研制)	胶原/糖胺聚糖海绵	

2.2.3 药物缓释胶

以胶原蛋白为主要成分的给药系统应用非常广泛，可以把胶原蛋白水溶液塑造成各种形式的给药系统，如眼科方面的胶原蛋白保护物、烧伤或创伤使用的胶原海绵、蛋白质传输的微粒、胶原蛋白的凝胶形式、透过皮肤给药的调控材料以及基因传输的纳米微粒等<sup>[20]</sup>。此外，还可作为组织工程包括细胞培养系统的基质、人工血管和瓣膜的支架材料等<sup>[21]</sup>。

胶原蛋白的临床应用形式有水溶液、凝胶、颗粒剂、海绵和薄膜等。同样这些形状都可用于药物缓释，已获准上市和正在研发的胶原蛋白药物缓释应用大都集中在眼科中抗感染和青光眼治疗，创伤中的局部治疗及伤口修复的控制感染，妇科的宫颈发育异常和外科的局部麻醉等<sup>[22]</sup>。

2.3 饲料用胶原蛋白的应用

饲料用胶原蛋白粉是以制革的残次皮料、皮边角余料等副产物为原料，运用物理、化学或生物技术方法处理得到的蛋白质产品。制革厂鞣革后匀削和剪裁产生的固体废弃物统称为鞣革废渣，其干物质的主要成分为胶原蛋白。水解胶原蛋白作为一种动物源性蛋白营养添加剂，替代或部分替代进口鱼粉，用于混、配合饲料的生产，具有较好的饲喂效果和经济效益<sup>[23]</sup>。

饲料用胶原蛋白粉是一种新型的饲料蛋白质添加剂，具有很高的营养价值。其蛋白质含量高，富含18种以上氨基酸，含有钙、磷、铁、锰、硒等矿物质元素。饲料用胶原蛋白粉含粗蛋白质50%以上，为米黄色的粉末，并带有芳香味。其主要营养成分见表2和

表3。

表2 饲料用胶原蛋白粉得营养成分

Table 2 Ingredients of collagen protein powder

成分	含量/%	成分	含量/%
水分	7.7	粗蛋白质	52.0
粗脂肪	1.0	粗纤维	10.0
粗灰分	8.5	无氮浸出物	32.4
钙	0.73	磷	0.35
总铬(三价铬, mg/kg)	5.29		

表3 饲料用胶原蛋白粉中氨基酸种类及相对含量/%

Table 3 The amino acid and relative content of collagen protein powder

氨基酸	相对含量	氨基酸	相对含量	氨基酸	相对含量
天门冬氨酸	3.79	蛋氨酸	0.55	苏氨酸	0.63
异亮氨酸	0.90	丝氨酸	0.91	亮氨酸	2.27
谷氨酸	5.83	酪氨酸	1.41	脯氨酸	7.82
苯丙氨酸	2.28	甘氨酸	10.92	赖氨酸	1.77
丙氨酸	4.67	组氨酸	0.36	胱氨酸	0.62
精氨酸	2.93	缬氨酸	1.65	色氨酸	0.11

刘秀琼等人<sup>[24]</sup>研究表明，水解胶原蛋白粉可部分或全部替代生长肥育猪日粮中的鱼粉或豆粕，但添加比例不能超过6%，当含量达8%时则显著降低生产性能及日粮消化率，增加饲养成本。

冷向军等人<sup>[25]</sup>进行了生长试验和消化试验以评价水产饲料中胶原蛋白替代鱼粉的效果。生长试验是在基础饲料(对照组，含鱼粉12%)中分别以2%、4%胶原蛋白等重量替代鱼粉饲养平均体重6.5g的异育银鲫(共315尾)35d，各组鱼体增重率分别为71.3%、70.9%、71.9%，各组间没有显著差异(p>0.05)；消化试验是采用平均体重110g的异育银鲫，按套算法测定了异育银鲫对胶原蛋白的蛋白质消化率为97.3%。研究结果表明，胶原蛋白具有很高的消化吸收率，可部分替代鱼粉而对异育银鲫的增重无影响。

2.4 胶原蛋白改性涂饰材料的应用

利用皮胶原进行化学改性研制蛋白类皮革涂饰剂，既是对胶原蛋白进行高值转化，也为研制蛋白类涂饰材料提供了新的原料来源，从而替代酪素，大大降低成本，对废物利用，减少环境污染，具有十分重要的意义。

范浩军等人<sup>[26]</sup>通过溶胶-凝胶法，制备了胶原蛋白/SiO<sub>2</sub>有机-无机纳米杂化材料。FT-IR研究表明：正硅酸乙酯(前驱体)水解产生的高表面活性微粒和精氨酸、组氨酸、色氨酸侧基的-CN基团发生了键

合反应,并生成了新的化学键 Si—C,同时前驱体水解产生的 Si—OH 和蛋白质分子的侧基 CH—OH 间,也可发生缩合反应,因而在有机相和无机相之间产生强烈的相互作用,前驱体水解后产生的 SiO<sub>2</sub> 粒子在蛋白质中分散均匀,未发现明显的团聚现象。无机纳米粒子的引入,使得胶原蛋白的水溶性降低,耐酸碱稳定性、耐酶水解稳定性和耐热稳定性,均得到了明显的提高。

张美云等人<sup>[27]</sup>通过碱法—酶法从废皮屑中提取胶原蛋白,与羧甲基纤维素(CMC)和甘油共混制成复合膜,并对复合膜力学性能的影响因素进行了研究。结果表明:在共混体系中加入一定的羧甲基纤维素,有利于提高膜的强度,膜的力学性能有了显著提高。

### 2.5 胶原蛋白类皮革鞣填充材料的应用

为了实现生皮资源的合理利用和制革固体废弃物的处理,并有利于环境保护和制革工业的持续发展,近几年来科研人员做了大量的研究。他们利用生皮或铬革的边角废料、削匀铬屑等固体废弃物,经水解制取明胶,再通过化学改性制作皮革复鞣填充材料,取得了较好效果。

王坤余等人<sup>[28]</sup>采用碱水解和酶水解的方法,对铬革屑水解后的残渣—铬泥进行二次水解提取胶原蛋白,用甲醛对胶原蛋白进行改性制备蛋白鞣剂回用于制革生产中。试验结果表明:用 12%的甲醛(以胶原重计)改性得到的蛋白鞣剂用于猪皮鞣制,可使坯革收缩温度达 85℃,其填充性能好,革坯色白,存放过程中基本不变色。

张伟等人<sup>[29]</sup>用丙烯酸和十二醇马来酸单酯,对从废旧皮革中提取的胶原多肽进行接枝改性,研制出一种蛋白复鞣剂。将其用于铬鞣革的复鞣填充,吸收较完全,不影响染料吸收,坯革颜色鲜艳,革身丰满富有弹性;革样的增厚率可达 20%,而面积收缩率小于 10%,表明该蛋白复鞣剂具有优良的选择填充性。

## 3 发展前景

随着我国科学技术的进步、经济的发展和生活质量的普遍提高,人们崇尚绿色、回归自然的意识的加强,以胶原蛋白为原料和添加剂的化妆品以及生物医用材料将会受到人们的欢迎,这是因为胶原蛋白具有特殊的化学组成及结构,天然蛋白具有合成高分子材料不可比拟的生物相容性和生物降解性。随着对胶原的进一步研究,人们的生活中将会越来越多地接触到含有胶原蛋白的产品,胶原蛋白产品将会越来越广泛地被应用于医药、工业、生物材料等方面。

胶原虽以其优良的性质得到重视,但不可避免的弱点也限制了它的应用。例如经过制备后的胶原蛋白产品,拉伸强度较弱;纯胶原蛋白在体内降解较快,以及存在潜在的抗原性等。此外,由于胶原蛋白粉的来源、加工工艺和原料配比的差异,产品的营养成分及饲用价值也不相同,且皮料在加工过程中不仅要接触许多化学物质,且易受到细菌的感染。

因此,大家都在探索解决这些问题的方案。我们认为可从以下 2 个方面考虑:其一,用化学或物理的方法对胶原蛋白进行交联或修饰,不仅能增强纯化后天然胶原的性能,并且能提高和改善其它性能。其二,将胶原蛋白与其它生物材料复合,如其它蛋白质、多糖类以及无机盐或有机高分子生物材料等,不仅能改善胶原蛋白的各项性能,而且能拓宽胶原蛋白基生物材料的临床应用。制备胶原高分子复合材料,使其同时具有两种材料的共同优点,取长补短,从而向实现发展“理想”的生物材料的目标迈进了一步,并将为医用生物材料的变革性发展提供广阔的前景。

## 参考文献

- [1] 薛新顺,罗发兴,罗志刚,等.胶原的化学交联改性技术研究进展[J].皮革科学与工程,2006,16(6):55-59
- [2] 崔福斋,冯庆玲.生物材料学[M].北京:清华大学出版社,2004
- [3] Li ST. Biological biomaterial : tissue-derived biomaterials (collagen). In: Park JB and Brongino J. Biomaterials principles and applications. Marcel Dekker. Inc-USA, 2003, 117-140
- [4] 顾其胜.胶原蛋白的临床应用[J].中国修复重建外科杂志,2006,20(10):1052-1058
- [5] 顾其胜,侯春林,徐政.实用生物医用材料学[M].上海:上海科学技术出版社,2005.140-147,273-286
- [6] Gelse K, paschl E, Aigner T. Collagens-structure, function, and biosynthesis[J].Advanced Drug Delivey Reviews,2003, 55(20):1531-1546
- [7] 李卫林,曹健,汤克勇,等.胶原蛋白结构和稳定性关系研究[J].中国皮革,2005, 34(23):14-16
- [8] Giudici G, Viola M, et al. Molecular stability of chemically modified collagen tripple helices[J].Federation of European Biochemical Societies,2003,547 (3):170-176
- [9] Berisio R, Granata V, Luigi. Vitagliano, Imino Acids and Collagen Triple Helix Stability: Characterization of Collagen—like Polypeptides Containing Hyp—Hyp—Gly Sequence Repeats. JACS, 2004: 11402-11403

[10] 汪建根,张新强,杨奎.胶原蛋白改性及其应用研究的进展[J].中国皮革,2007,36(5):52-55

[11] 薛艳丽.胶原蛋白与美容[J].中国实用医药,2006,1(9):84

[12] 任俊莉,付丽红,邱化玉.胶原蛋白的应用及其发展前景[J].中国皮革,2004,33(4):36-38

[13] 王学川,任龙芳,强涛涛,等.胶原蛋白的研究进展及其在化妆品中的应用[J].日用化学工业,2005,35(6):388-391

[14] 薛新顺,罗发兴,何小维,等.胶原蛋白作为给药系统载体的研究进展[J].医药导报,2006,25(12):1297-1299

[15] 王永胜,侯春林,陈爱民,等.胶原海绵止血功能的实验研究[J].中国修复重建外科杂志,2001,15(3):140-143

[16] 顾其胜,严凯.胶原蛋白在组织工程及临床中的应用[J].上海生物医学工程,1999,20(3):35-38

[17] Wakitani S, Goto T, Young RG, et al. Repair of large full-thickness articular cartilage defects with allograft articular chondrocytes embedded in a collagen gel[J]. Tissue Eng, 1998, 4(4): 429-444

[18] Orwin EJ, Hubel A. In vitro culture characteristics of corneal epithelial, endothelial and keratocyte cells in a native collagen matrix[J]. Tissue Eng, 2000, 6(4): 307-319.

[19] Award H, Butler DL, Boivin GP, et al. Autologous mesenchymal stem cell-mediated repair of tendon[J]. Tissue Eng, 1999, 5(3): 267-277

[20] Lee C H, Shngla A, Lee Y. Biomedical application of collagen[J]. Int J Pharm, 2001, 221 (12): 1-22.

[21] Kemp P D. Tissue engineering and cell populated collagen matrices[J]. In Streuli C Giant M(Eds) Meth Mole Bio, 2000, 139: 287-293

[22] Friess W. Collagen-biomaterial for drug delivery[J]. Eur J Pharm Biopharm, 1998, 45(2): 113-136

[23] 薛新顺,罗发兴,何小维,等.饲料用胶原蛋白粉的制备及应用研究进展[J].中国饲料,2006,(12):30-31

[24] 欧秀琼,钟正泽,黄健,等.水解胶原蛋白粉在生长肥育猪日粮中的应用研究[J].2000,27(5):26-27

[25] 冷向军,王冠,闫大伟,等.胶原蛋白部分替代鱼粉饲养异育银鲫的试验[J].水产科学,2005,24(5):31-33

[26] 范浩军,石碧,段镇基.蛋白质-无机纳米杂化制备新型胶原蛋白材料[J].功能材料,2004,3(35):373-375

[27] 张美云,刘鉴,申前锋,等.胶原蛋白/羧甲基纤维素(CMC)膜的制备及其力学性能研究[J].中国皮革,2006,35(13):9-12

[28] 王坤余,潘志娟,尹洪雷.蛋白鞣剂的研制与应用[J].皮革科学与工,2001,11(3):12-17

[29] 张伟,于淑贤,丁志文,等.利用废旧皮革胶原多肽制备 KFC 蛋白复鞣填充剂[J].中国皮革,2006,35(17):25-29

(上接第 282 页)

建立了茶叶中苯并(α)芘残留量的高效液相色谱-荧光测定方法,苯并(α)芘在 0.2 μg/L~50 μg/L 范围内呈线性,线性方程为  $y=3.85 \times 10^4 x + 7.47 \times 10^3$ , 相关系数为 0.9991。分别对绿茶和红茶进行添加回收

试验,回收率在 76.9%~86.9%之间,相对标准偏差在 2.0%~4.0%之间,方法检出限为 0.4 μg/kg。结果表明该法简便、灵敏、安全性好、线性范围宽、精确度高,适用于茶叶中苯并(α)芘的残留分析。

表 1 样品中不同添加浓度苯并芘的回收率 (n=5) 和变异系数

Table 1 The recoveries and coefficients of variation of BAP in kinds of tea fortified with different concentrations (n=5)

样品	样品本底值/(μg/kg)	添加量/(μg/kg)	回收率/%					平均回收率/%	相对标准偏差/%
绿茶	<0.4	0.4	80.7	72.6	77.5	76.3	79.4	77.3	4.0
		2	81.2	84.5	79.8	78.5	83.1	81.4	3.0
		50	85.9	89.1	86.7	84.4	88.3	86.9	2.2
红茶	<0.4	0.4	80.4	73.1	77.1	78.2	75.8	76.9	3.5
		2	79.8	82.7	80.7	76.5	83.5	80.6	3.4
		50	80.9	85.4	82.1	82.3	83.1	82.8	2.0

参考文献

[1] 王丹,曹维强,王静.食品安全隐患—苯并(α)芘的研究进展[J].食品研究与开发.2006,27(1):132-135.

[2] 杨红梅,王浩,等.高效液相色谱法测定肉类食品中苯并芘残留的研究[J].食品研究与开发,2006,27(10):124-126.

[3] 刘宏程,黎其万,刘家富.基质固相分散-高效液相色谱法测定植物油中的痕量苯并(α)芘[J].色谱,2006,24(4):415.

[4] 杨洪彪,王惠芝.大米中苯并(α)芘的液相色谱测定方法[J].辽宁城乡科技.16(5):36-38.

[5] 王秀梅,张宁慧.液相色谱仪测定水中苯并(α)芘方法应用[J].陕西化工,1999,28(3):32-33