

蚕蛹油保健功能的研究进展

王 健¹, 丁晓雯^{1,2,*}, 孙玉侠¹, 任美燕¹, 罗金凤¹

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2.重庆市农产品加工技术重点实验室, 重庆 400716)

摘 要: 蚕蛹油富含 α -亚麻酸等不饱和脂肪酸, 具有辅助降血脂、辅助降血糖、抗氧化等多种保健功能, 具有极高的营养和药用价值。本文综述蚕蛹油脂脂肪酸组成及保健功能的研究进展, 并对未来的发展方向进行展望, 旨在为蚕蛹的深加工、蚕蛹油保健功能的进一步开发利用提供一定的理论参考。

关键词: 蚕蛹油; 保健功能; α -亚麻酸

Research Progress in Healthy Functions of Silkworm Pupal Oil

WANG Jian¹, DING Xiao-wen^{1,2,*}, SUN Yu-xia¹, REN Mei-yan¹, LUO Jin-feng¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Chongqing 400716, China)

Abstract: Silkworm pupal oil is rich in α -linolenic acid and other unsaturated fatty acids. It can reduce plasma lipids and blood glucose, and has antioxidant activity and other healthy functions. Therefore, it has great nutritional and medicinal values. In this paper, the research progress in fatty acid composition and healthy functions of silkworm pupal oil is reviewed and its future development trend is also predicted with the purpose of providing a theoretical reference for comprehensive utilization of silkworm pupa and extensive application of silkworm pupa oil due to its extensive healthy functions.

Key words: silkworm pupal oil; healthy functions; alpha-linolenic acid

中图分类号: S886.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)13-0339-04

蚕蛹是缫丝工业的大宗副产品, 是卫生部批准的“作为普通食品管理的食品新资源名单”中唯一的昆虫类食品^[1], 也是一种传统中药材^[2], 具有极高的营养和药用价值。干蚕蛹中蛋白质含量高(约48%~60%)、油脂含量丰富(约25%~31%), 其中不饱和脂肪酸占油脂的68%以上^[3]。此外, 还含有糖类、甲壳素、多种微量元素及少量粗纤维、几丁质、多种维生素、磷脂、抗菌肽、干扰素、溶菌酶、腺嘌呤、次黄嘌呤、去甲肾上腺素等^[4-6]。现代医学研究表明, 蚕蛹具有降低血脂、保护肝脏、提高免疫力、促进生长等功效^[4-6]。

随着蚕蛹营养和病理方面的研究进一步加深, 蚕蛹在保健食品、医药化工、生物防治等领域的应用呈现出良好的发展态势^[7]。例如, 作为替代蛋白质和脂肪酸的膳食补充剂^[8], 平衡人体营养需求; 紫阳蚕蛹中提取富硒氨基酸, 用于研制抑制剂^[2]; 作为生物反应器成功表达并纯化出人粒细胞-巨噬细胞集落刺激因子, 用于生产医用蛋白^[9]; 作为天然的吸附剂, 用于去除C.I.碱性蓝41(染料)^[10]; 作为优质蛋白来源的食品, 供太空作业的宇航员食用^[11]。

我国是养蚕大国, 由于缺乏相应的深加工技术, 目前蚕蛹基本上用作饲料和肥料, 资源利用率和附加值低^[12]。蚕蛹中富含不饱和脂肪酸, 目前对蚕蛹的增值利用主要集中在蚕蛹蛋白^[1,13], 有关蚕蛹油保健功能的研究较少。本文综述蚕蛹油脂脂肪酸组成及保健功能的研究进展, 旨在为蚕蛹的深加工、蚕蛹油保健功能的进一步开发利用提供一定的参考。

1 蚕蛹油的脂肪酸组成

20世纪60年代开始, 各国学者对蚕蛹的脂肪酸组成进行了深入研究^[14-15]。研究发现, 蚕蛹油含有约75%的不饱和脂肪酸和20%的饱和脂肪酸。不饱和脂肪酸主要由人体所必需的油酸、亚油酸和 α -亚麻酸组成, 饱和脂肪酸主要为棕榈酸和硬脂酸, 还含有微量夹杂物, 如蛋白质、磷脂、糖类、色素等^[16], 其中 α -亚麻酸含量高达71.45%^[17]。陈智毅等^[18]在蚕蛹油中共分离鉴定出14种脂肪酸成分, 含量最高的是亚油酸(39.03%), 其次是 α -亚麻酸(33.22%), 其中直链饱和脂肪酸(SFA)占

收稿日期: 2011-07-13

作者简介: 王健(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品安全与质量控制。E-mail: wangjian871027@126.com

* 通信作者: 丁晓雯(1963—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品安全与功能食品。E-mail: xiaowend2001@yahoo.com

25.73%, 单不饱和脂肪酸(MUFA)占 2.12%, 多不饱和脂肪酸(PUFA)占 72.25%。

由于产地、生长环境、蚕蛹种类等影响因素不同, 所含的脂肪酸种类和含量也差异较大。潘文娟^[19]、Wei Zhaojun^[12]等研究不同蚕蛹油的脂肪酸种类和相对含量, 结果如表 1 所示。

表 1 不同蚕蛹油的脂肪酸种类及其相对含量
Table 1 Fatty acid composition of silkworm pupal oil

脂肪酸种类	柞蚕蛹油	蓖麻蚕蛹油	缂丝前家蚕蛹油	缂丝后家蚕蛹油	%
棕榈酸	19.92	27.79	22.77	29.15	21.77
棕榈油酸	4.77	0.94	0.60	0.95	—
十七酸	0.60	0.27	—	—	—
硬脂酸	1.99	4.90	6.69	9.35	7.02
油酸	30.97	9.13	26.01	39.20	33.26
亚油酸	6.89	6.46	5.90	3.92	7.12
α -亚麻酸	34.27	50.52	38.02	17.43	27.99
参考文献	[19]	[19]	[19]	[19]	[12]

注: —, 未检测出。

α -亚麻酸(alpha-linolenic acid, ALA)为全顺式十八碳-9,12,15-三烯酸, 分子式为 $C_{18}H_{30}O_2$, 是 $n-3$ 系列多不饱和脂肪酸, 属于必需脂肪酸。 α -亚麻酸具有降血压、降血脂、抗血栓、抗过敏、抑制癌症^[20]等功效, 能够预防心脑血管疾病、增强免疫力、增长智力和延缓衰老。 α -亚麻酸在人体内可转化为二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)^[21], 如果缺乏会影响智力发育和视力健康^[22]。因此, α -亚麻酸在医药、保健品等领域有广阔的发展前景。

2 蚕蛹油的保健功能

蚕蛹油富含 α -亚麻酸等 $n-3$ 多不饱和脂肪酸。 α -亚麻酸作为 $n-3$ 多不饱和脂肪酸的母体, 在碳链延长酶和脱氢酶的作用下, 经碳链延长和去饱和可以代谢产生多种高生物活性物质, 其中最重要的有 EPA 和 DHA。EPA 是三系前列腺素的前体物质, 在脂氧化酶和环氧化酶的作用下可生成前列腺素 E_5 (PGE₅)、前列环素 I₃(PGI₃)、白三烯 B₅(LTB₅)、血栓素 A₃(TXA₃)等活性物质, 而 DHA 则是大脑、神经、视网膜等组织的主要结构物质。因此, α -亚麻酸的许多生理功能大多是通过 EPA 和 DHA 起作用的。

2.1 辅助降血脂

随着物质生活水平的提高, 由于高脂膳食频繁摄入而引发一系列营养过剩的问题, 导致高脂血症等相关疾病发病率呈上升趋势。高脂膳食会引起脂代谢相关酶的活性降低, 造成代谢紊乱, 引发高脂血症^[23]。

研究表明, $n-3$ 多不饱和脂肪酸能够使胆固醇进入

胆汁通过代谢进行排泄, 致使肝内胆固醇池的清空, 同时可通过刺激 β -氧化和抑制脂肪酸合成来降低肝脏脂质积聚, 达到降低血脂的目的^[24]。Sala-Vila 等^[25]研究来自西班牙的患心血管疾病的被试者体内 α -亚麻酸水平与颈动脉和股动脉粥样硬化的关系。结果表明, α -亚麻酸具有抗动脉粥样硬化的作用, 血清卵磷脂中 α -亚麻酸含量越高, 颈动脉和股动脉粥样硬化斑块负荷越低。

富含 α -亚麻酸等不饱和脂肪酸的蚕蛹油能够提高脂代谢酶的活性, 通过多途径、多靶点调节机体肝脏脂质代谢紊乱, 对动脉粥样硬化和心血管疾病的发生具有很好的预防作用。胡金鹿等^[26]研究发现, 脂代谢酶的改变早于血脂和脂蛋白的改变, 初步说明了蚕蛹油调节甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCH)、高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白(LDL)的机制, 即通过激活脂代谢酶, 如卵磷脂胆固醇酰基转移酶(LCAT)、肝脂酶(HL)、脂蛋白脂酶(LPL)而达到降低 TG、TCH、LDL, 提高 HDL 水平的目的, 也进一步验证了脂代谢酶活性与血脂水平紧密相关。胡金鹿等^[27]研究还发现, 蚕蛹油主要是通过提高载脂蛋白 ApoA-I/ApoB 值及脂代谢酶活性, 以抑制肠道内外源性血脂和脂蛋白的吸收、加速胆固醇的代谢和促进胆固醇的排泄来调节脂质代谢, 达到降血脂的效果。黄静等^[28]研究表明, 蚕蛹油能显著降低大鼠肝脏组织总胆固醇、甘油三酯的含量, 增加高密度脂蛋白胆固醇含量, 降低肝脏致动脉粥样硬化指数及脂质过氧化产物丙二醛含量; 同时显著提高脂蛋白脂酶和肝脂酶活性, 证明蚕蛹油具有调节脂质代谢、降血脂的作用。Mentang 等^[29]研究富含 $n-3$ 系 α -亚麻酸的蚕蛹油对 Wistar 大鼠脂代谢的影响。喂养 8 周之后, 蚕蛹油组的血浆甘油三酯和血糖水平较 7% 大豆油组和鱼油组显著降低, 7% 大豆油组的总胆固醇、血浆尿素氮和花生四烯酸(AA)的含量高于蚕蛹油组和鱼油组, 证明富含 $n-3$ 系 α -亚麻酸的蚕蛹油可改善高脂血症和高血糖。

2.2 辅助降血糖

糖尿病是一组以血糖水平升高为特征的代谢疾病群。高血糖是由于胰岛素分泌缺陷和(或)胰岛素作用缺陷而引起。由于人们生活方式的改变和人口老龄化的加剧, 糖尿病发病率及患者总数在全球范围内呈逐渐升高的趋势, 严重威胁人类健康^[30]。

对于糖尿病的治疗, 饮食控制至关重要。健康饮食推荐减少饱和脂肪酸摄入, 增加单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸摄入^[31]。临床和动物实验证明, $n-3$ 多不饱和脂肪酸摄入能降低心血管疾病死亡率^[32], 改善胰岛素抵抗等。流行病学研究表明, 高 α -亚麻酸摄入量可显著改善正常体质量的日本中年人的胰岛素抵抗^[33]。Zhang Wei 等^[34]研究发现, α -亚麻酸通过激活 PI3K/Akt/eNOS 信号通路可减缓高糖诱导的人脐静脉内皮细胞凋亡, 用于研制治疗糖尿病心血管并发症的药物。

蚕蛹油富含 α -亚麻酸等不饱和脂肪酸, 对于辅助

降血糖具有较好的功效。吴娱明等^[35]研究了蚕蛹油对四氧嘧啶诱导的糖尿病模型小鼠的降血糖作用并探讨了作用机制,结果表明,糖尿病模型小鼠的体重均明显增加,血糖较模型对照组显著降低,降血糖效果与格列苯脲相当;蚕蛹油低、高剂量组治疗糖尿病小鼠的胸腺指数和脾指数均比模型对照组有所提高,小鼠血清及肝脏超氧化物歧化酶(SOD)活性升高,丙二醛(MDA)产生得到抑制,提示增强机体免疫力和抗氧化作用可能是蚕蛹油降血糖的作用机制之一。毛童俊等^[36]研究蚕蛹油对糖尿病大鼠的血糖及氧化应激的影响,结果表明,蚕蛹油可显著提高胰腺组织中还原型谷胱甘肽(GSH)和总抗氧化能力(T-AOC),降低丙二醛(MDA)含量,糖尿病大鼠“三多一少”症状有明显改善。证明蚕蛹油具有剂量依赖性降血糖作用,并且能够提高糖尿病大鼠抗氧化能力。

2.3 抗氧化

自由基是新陈代谢的副产物,在体内稳态平衡失调的情况下,过多的自由基和活性氧的产生、反应会导致许多疾病的发生、发展及有机体的衰老过程。Xie Nianlin等^[37]研究发现, α -亚麻酸可显著增加高脂饲料-链脲佐菌素联合诱导的糖尿病大鼠的左心室收缩/舒张最大速率,减少梗死面积,降低血浆肌酸激酶和乳酸脱氢酶活性,减少细胞凋亡,同时提高糖尿病人心脏的抗氧化能力。进一步证实长期 α -亚麻酸摄入通过抗炎和抗氧化应激作用可减轻糖尿病大鼠心肌缺血/再灌注损伤。

富含 α -亚麻酸的蚕蛹油有清除过多自由基,阻断脂质过氧化作用。Manosroi等^[38]分别从5种泰国蚕蛹(Keawsakol、Nangnoi、Somrong、Nangleung和Noneruesee)中提取蚕蛹油。结果表明,所有的蚕蛹油均具有较高的自由基清除活性,是亚油酸的12~23倍。与其他油样相比,采用石油醚萃取法从Noneruesee提取的蚕蛹油清除DPPH自由基活性最高,可用于开发研制抗衰老、美白类化妆品。

2.4 辅助改善记忆

学习记忆过程可分为记忆的获得、巩固、重现等阶段,其中任何一个阶段出现障碍,都可使学习记忆功能减退。记忆作为大脑的高级神经活动之一,其过程与神经细胞间的信息传递关系密切。

α -亚麻酸与神经递质产生、离子通道中断以及各种认知、行为、运动功能损伤有关。Yavin等^[39]研究雌性大鼠怀孕后第2天且持续3周缺乏 α -亚麻酸,对刚出生和出生后的鼠大脑皮层和海马体神经元迁移的影响。结果表明,母鼠怀孕时 $n-3$ α -亚麻酸膳食缺乏,导致幼年大鼠脑发育阶段神经元细胞迁移延迟。Nguemeni等^[40]研究发现, α -亚麻酸具有神经保护作用,膳食补充富含 α -亚麻酸的菜籽油可预防中风。Kim等^[41]研究发现,红细胞 α -亚麻酸水平较高可显著降低韩国老年人患轻度痴呆的风险。

蚕蛹油富含 α -亚麻酸,经代谢可产生EPA和DHA,对于辅助改善记忆具有良好的功效。彭欣莉等^[42]按卫监发(1996)第38号《保健食品功能学评价程序和方法》中的改善记忆作用检验方法进行跳台实验和避暗实验。结果表明,蚕蛹油对动物记忆获得与巩固过程有一定的促进作用,能明显地提高小鼠跳台被动回避反应再现能力和提高避暗反应再现能力,进而证明蚕蛹油具有明显改善记忆作用。

2.5 其他作用

郑鸿雁等^[43]研究蚕蛹油对体内外血栓形成的影响,结果证明蚕蛹油具有抗血栓形成作用,其机制与降低血液黏度、降低血小板聚集性,改善血液流变性有关。何自立等^[44]研究蚕蛹油对高脂大鼠模型的非酒精性脂肪肝形成的影响,结果发现,蚕蛹油能降低大鼠肝质量系数、肝脏TG、TC、MDA含量,通过调节脂质代谢,降低脂质在肝内的沉积,并能够清除机体自由基,增强抗氧化能力,对大鼠非酒精性脂肪肝有一定的防治作用,且效果优于月见草油。

3 蚕蛹油的开发利用

3.1 提取 α -亚麻酸

我国居民膳食中 $n-6$ 脂肪酸丰富,如肉、禽、蛋、鱼及食用植物油等食品,而 $n-3$ 脂肪酸来源缺乏,二者比例严重失调。蚕蛹油中 $n-3/n-6$ 不饱和脂肪酸含量丰富,且比例适当。因此,应最大限度的利用蚕蛹资源,大力开发亚麻酸油源,提高油脂的营养价值。张海祥等^[45]采用响应曲面法对尿素包合富集蚕蛹油 α -亚麻酸进行工艺优化,制得 α -亚麻酸纯度达70.28%。

3.2 制备微胶囊

蚕蛹油富含不饱和脂肪酸,不利于长期贮存;在常温下呈液态,作为食品和药品的原料或配料也有很大局限性。因此,将蚕蛹油制成颗粒状的微胶囊,可显著改善蚕蛹油的加工性能,并延长保质期。施英等^[46]以大豆蛋白和 β -环状糊精为壁材,采用喷雾干燥法制备蚕蛹油微胶囊,在最佳工艺条件下制备蚕蛹油微胶囊的包埋率为91.2%。

4 结 语

蚕蛹是我国一种传统的昆虫资源,具有极高的营养和药用价值。从蚕蛹中提炼的蚕蛹油含有大量不饱和脂肪酸、少量饱和脂肪酸及微量夹杂物,尤其 α -亚麻酸含量丰富。研究发现,蚕蛹油具有辅助降血脂、辅助降血糖、抗氧化、辅助改善记忆、抗血栓及预防非酒精性脂肪肝等多种营养保健功能。

目前国内外对蚕蛹蛋白的研究较多,对蚕蛹油保健功能方面的研究报道较少。蚕蛹油本身含有多种生物活性成分,除 α -亚麻酸外,还有微量的磷脂、蛋白质、

糖类、色素等,具体是由哪种单体发挥的保健作用很难确定,不同单体之间的相互影响、确切的作用机理及其在保健食品研制中的应用等方面均有待进一步研究。

总的来说,蚕蛹油具有极大的开发潜力和研究价值,在医药化工、保健食品等领域有广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] ZHOU Jun, HAN Dingxian. Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) Pupae[J]. Food and Chemical Toxicology, 2006, 44(7): 1123-1130.
- [2] HU Decong, LIU Qiong, CUI Hairong, et al. Effects of amino acids from selenium-rich silkworm pupae on human hepatoma cells[J]. Life Science, 2005, 77(17): 2098-2110.
- [3] 魏兆军, 廖爱美, 胡海梅, 等. 蚕蛹油的成分、营养价值及提取工艺研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(30): 9699-9700.
- [4] RAO P U. Chemical composition and nutritional evaluation of spent silkworm pupae[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(10): 2201-2203.
- [5] ZHOU Jun, HAN Dingxian. Proximate, amino acid and mineral composition of pupae of the silkworm *Antheraea pernyi* in China[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(8): 850-853.
- [6] DATTA R N, MAJUMDAR S K, KAR R, et al. Pupae waste may be a source for amino acid preparation[J]. India Silk, 1993, 32(1): 4-5.
- [7] 雷荣爱, 宋二颖. 柞蚕蛹脂肪酸的成分研究[J]. 中成药, 1998, 20(5): 34; 52.
- [8] PEREIRA N R, FERRARESE-FILHO O, MATSUSHITA M, et al. Proximate composition and fatty acid profile of *Bombyx mori* L. chrysalis toast[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2003, 16(4): 451-457.
- [9] CHEN Jian, WU Xiangfu, ZHANG Yaozhou. Expression, purification and characterization of human GM-CSF using silkworm pupae (*Bombyx mori*) as a bioreactor[J]. Journal of Biotechnology, 2006, 123(2): 236-247.
- [10] NOROOZI B, SORIAL G A, BAHRAMI H, et al. Equilibrium and kinetic adsorption study of a cationic dye by a natural adsorbent: silkworm pupa[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 139(1): 167-174.
- [11] YANG Yunan, TANG Liman, TONG Ling, et al. Silkworms culture as a source of protein for humans in space[J]. Advances in Space Research, 2009, 43(8): 1236-1242.
- [12] WEI Zhaojun, LIAO Aimei, ZHANG Haixiang, et al. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of silkworm pupal oil applying the response surface methodology[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(18): 4214-4219.
- [13] MISHRA N, HAZARIKA N C, NARAIN K, et al. Nutritive value of non-mulberry and mulberry silkworm pupae and consumption pattern in Assam, India[J]. Nutrition Research, 2003, 23(10): 1303-1311.
- [14] SRIDHARA S, BHAT J V. Lipid composition of the silkworm *Bombyx mori* L.[J]. Journal of Insect Physiology, 1965, 11(4): 449-462.
- [15] NAKASONE S, ITO T. Fatty acid composition of the silkworm, *Bombyx mori* L.[J]. Journal of Insect Physiology, 1967, 13(8): 1237-1246.
- [16] 陈清爱. 蚕蛹功能及其应用[J]. 蚕桑通报, 2010, 41(2): 42-43.
- [17] 魏兆军, 廖爱美, 于力涛, 等. 家蚕蛹油提取工艺优化研究[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 248-251.
- [18] 陈智毅, 刘学铭, 吴娱明, 等. GC-MS 法分析蚕蛹油与蚕蛹油的脂肪酸组成[J]. 食品科学, 2010, 31(12): 182-184.
- [19] 潘文娟, 方婷婷, 廖爱美, 等. 不同蚕蛹油中脂肪酸的性状及组分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 148-151.
- [20] IGARASHI M, MIYAZAWA T. Preparation and fractionation of conjugated trienes from alpha-linolenic acid and their growth-inhibitory effects on human tumor cells and fibroblasts[J]. Lipids, 2005, 40(1): 109-113.
- [21] RIEDIGER N D, OTHMAN R A, SUH M, et al. A systemic review of the roles of *n*-3 fatty acids in health and disease[J]. American Dietetic Association, 2009, 109(4): 668-679.
- [22] BEGG D P, SINCLAIR A J, STAHL L A, et al. Hypertension induced by omega-3 polyunsaturated fatty acid deficiency is alleviated by alpha-linolenic acid regardless of dietary source[J]. Hypertension Research, 2010, 33(8): 808-813.
- [23] 赵清, 舒为群, 高京生. 饮用纯净水对大鼠脂质代谢酶及载脂蛋白的影响[J]. 第四军医大学学报, 2004, 25(10): 945-947.
- [24] MURASE T, AOKI M, TOKIMITSU I. Supplementation with alpha-linolenic acid-rich diacylglycerol suppresses fatty liver formation accompanied by an up-regulation of β -oxidation in Zucker fatty rats[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2005, 1733(2/3): 224-231.
- [25] SALA-VILA A, COFÁN M, NÚÑEZ I, et al. Carotid and femoral plaque burden is inversely associated with the α -linolenic acid proportion of serum phospholipids in Spanish subjects with primary dyslipidemia[J]. Atherosclerosis, 2011, 214(1): 209-214.
- [26] 胡金鹿, 陈伟平, 卓玛丽. 蚕蛹油对高脂膳食大鼠血脂及脂代谢相关酶的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(11): 343-346.
- [27] 胡金鹿, 陈伟平. 蚕蛹油对高脂血症大鼠载脂蛋白及脂代谢相关酶的影响[J]. 中草药, 2011, 42(2): 300-306.
- [28] 黄静, 廖爱美, 潘文娟, 等. 家蚕蛹油对大鼠肝脏脂质代谢及相关酶活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 273-276.
- [29] MENTANG F, MAITA M, USHIO H, et al. Efficacy of silkworm (*Bombyx mori* L.) chrysalis oil as a lipid source in adult Wistar rats[J]. Food Chemistry, 2011, 127(3): 899-904.
- [30] BAVARVA J H, NARASIMHACHARYA A V. Antihyperglycemic and hypolipidemic effects of *Costus speciosus* in alloxan induced diabetic rats[J]. Phytotherapy Research, 2008, 22(5): 620-626.
- [31] WOODS V B, FEARON A M. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: a review[J]. Livestock Science, 2009, 126(1): 1-20.
- [32] WANG Chencheng, HARRIS W S, CHUNG M, et al. *n*-3 fatty acids from fish or fish-oil supplements, but not alpha-linolenic acid, benefit cardiovascular disease outcomes in primary and secondary-prevention studies: a systematic review[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2006, 84(1): 5-17.
- [33] MURAMATSU T, YATSUYA H, TOYOSHIMA H, et al. Higher dietary intake of alpha-linolenic acid is associated with lower insulin resistance in middle-aged Japanese[J]. Preventive Medicine, 2010, 50(5/6): 272-276.
- [34] ZHANG Wei, WANG Rui, HAN Shufang, et al. α -Linolenic acid attenuates high glucose-induced apoptosis in cultured human umbilical vein endothelial cells via PI3K/Akt/eNOS pathway[J]. Nutrition, 2007, 23(10): 762-770.
- [35] 吴娱明, 邹宇晓, 廖森泰, 等. 蚕蛹油的降血糖机制初探[J]. 蚕业科学, 2007, 33(4): 694-697.
- [36] 毛童俊, 陈伟平, 高秋萍, 等. 蚕蛹油对糖尿病大鼠血糖及氧化应激的影响[J]. 营养学报, 2010, 32(3): 253-256.
- [37] XIE Nianlin, ZHANG Wei, LI Jia, et al. α -Linolenic acid intake attenuates myocardial ischemia/reperfusion injury through anti-inflammatory and anti-oxidative stress effects in diabetic but not normal rats[J]. Archives of Medical Research, 2011, 42(3): 171-181.
- [38] MANOSROI A, BOONPISUTTINANT K, WINITCHAI S, et al. Free radical scavenging and tyrosinase inhibition activity of oils and sericin extracted from Thai native silkworms (*Bombyx mori*)[J]. Pharmaceutical Biology, 2010, 48(8): 855-860.
- [39] YAVIN E, HIMOVICHI E, EILAM R. Delayed cell migration in the developing rat brain following maternal omega 3 alpha linolenic acid dietary deficiency[J]. Neuroscience, 2009, 162(4): 1011-1022.
- [40] NGUEMENI C, DELPLANQUE B, ROVÈRE C, et al. Dietary supplementation of alpha-linolenic acid in an enriched rapeseed oil diet protects from stroke[J]. Pharmacological Research, 2010, 61(3): 226-233.
- [41] KIM M, NAM J H, OH D H, et al. Erythrocyte α -linolenic acid is associated with the risk for mild dementia in Korean elderly[J]. Nutrition Research, 2010, 30(11): 756-761.
- [42] 彭欣莉, 郑鸿雁, 吕友权, 等. 蚕蛹油改善小鼠记忆作用的实验研究[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 490-493.
- [43] 郑鸿雁, 吕友权, 曲红光. 蚕蛹油抗血栓形成作用研究[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 484-486.
- [44] 何自立, 陈伟平, 单巍. 蚕蛹油对大鼠非酒精性脂肪肝形成的影响[J]. 中国微生态学杂志, 2007, 19(6): 483-485.
- [45] 张海祥, 方婷婷, 潘文娟, 等. 响应曲面法优化尿素包富集蚕蛹油 α -亚麻酸的工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 74-77.
- [46] 施英, 吴娱明, 廖森泰, 等. 蚕蛹油微胶囊的制备[J]. 蚕业科学, 2010, 36(5): 875-878.