

蚕蛹的生物活性成分及药理作用研究进展

刘 静, 徐 立*, 黄先智
(西南大学生物技术学院, 重庆 400716)

摘 要: 蚕蛹是药食源性昆虫资源, 含有不饱和脂肪酸、稀有氨基酸、活性多肽、甲壳素等多种生物活性成分, 具有保肝、提高免疫、抗肿瘤、降血糖、降血脂、降血压、促进伤口愈合等功效。本文对蚕蛹活性成分的提取分离方法及其药理作用研究进行综述, 并对其进一步研究与开发进行展望。

关键词: 蚕蛹; 生物活性成分; 提取; 药理作用

Research Progress in Bioactive Ingredients and Pharmacological Functions of Silkworm Pupa

LIU Jing, XU Li*, HUANG Xian-zhi
(College of Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: Silkworm pupa is a medicinal and edible insect resource abundant in many bioactive constituents such as unsaturated fatty acids, rare amino acids, active peptides, chitins, etc. It has such functions as protecting liver, improving immunity, anti-tumor, decreasing blood sugar, blood fat and blood pressure, promoting wound healing and so on. This article summarizes extraction methods and pharmaceutical functions of bioactive compounds from silkworm pupa. Future trends in its research and development are also proposed.

Key words: silkworm pupa; active constituent; extraction; pharmaceutical functions

中图分类号: TS201.21

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)17-0303-05

蚕蛹(silkworm pupa)是鳞翅目、蚕蛾科昆虫蚕(*Bombyx mori* L.)的蛹^[1]。我国蚕丝产量居世界之首, 蚕蛹是蚕丝业的主要副产物之一, 年产蚕蛹 30 万 t 以上, 约占全世界总产量的 80%^[2]。蚕蛹是人类的一种新营养源, 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, 既是一种高营养的美食, 同时也是传统中药材, 《本草纲目》记载, 其可治疗风寒及劳瘦、恶疮、小儿疳瘦等疾病, 具有长肌退热、除蛔虫、止消渴等药用功效^[3]。

作为宝贵的药膳同源的资源, 蚕蛹自古以来就得到广泛的应用, 近年来随着研究的深入, 蚕蛹的生物活性成分及药理作用的相关研究引起了国内外专家学者的关注, 并对其进行了一系列的研究, 为进一步深化蚕蛹资源的综合利用和相关功能性食品的研制开发奠定了基础。

1 蚕蛹生物活性成分的研究

1.1 脂肪酸类化合物

蚕蛹中含有脂肪酸 25%~30%, 其中具有药理作用的游离脂肪酸占 8%~10%^[4]。脂肪酸是一类长链的羧酸, 可能呈饱和(没有双键)或不饱和(携有双键), 一般多为直链, 有的也会出现支链。蚕蛹油中饱和脂肪酸约占 20%, 不饱和脂肪酸含量高达 75%^[5], 不饱和脂肪酸是构成体内脂肪的一种人体必需脂肪酸。研究表明, 蚕蛹脂肪酸具有降胆固醇、改善肝脏功能、调整血脂、抗氧化等作用^[6-8]。

1.1.1 脂肪酸的成分分析

陈智毅等^[9]将超临界 CO₂ 萃取的蚕蛹油脂经甲酯化处理后, 通过气相色谱-质谱联用仪分析, 在蚕蛹油中分离鉴定出 14 种脂肪酸成分, 其中直链饱和脂肪酸(SPA)占 25.73%, 共 9 种, 包括棕榈酸、硬脂酸、花生酸、山俞酸、二十四酸、十三酸、十七酸、十九酸、十五酸; 单不饱和脂肪酸(MUFA)占 2.12%, 包括十六烯酸、二十碳烯酸和十二烷烯酸; 多不饱和脂肪酸(PUFA)占 72.25%, 包括 α -亚麻酸和亚油酸。为了测

收稿日期: 2011-08-01

基金项目: 2009 年度教育部博士点(新教师)基金项目(20090182120018); 国家现代农业(蚕桑)产业技术体系建设专项(nycytx-27-gw504)

作者简介: 刘静(1988—), 女, 硕士研究生, 主要从事蚕蛹生物活性物质的研究与开发。E-mail: liujing.1583@163.com

* 通信作者: 徐立(1976—), 男, 副教授, 博士, 主要从事植物化学研究。E-mail: mulberry@swu.edu.cn

定蚕蛹油脂酸成分的具体含量,明哲^[10]用气相色谱内标法测得超临界CO₂萃取的蚕蛹油脂酸中 α -亚麻酸54.51%、油酸10.69%、亚油酸8.46%、棕榈酸1.74%、硬脂酸5.17%、软脂酸18.63%,其中不饱和脂肪酸中的功能性成分 α -亚麻酸的含量高达72.3%。

1.1.2 不饱和脂肪酸的提取分离

张迎庆等^[11]采用冷冻结晶法将蚕蛹油中不饱和脂肪酸从母液中分离出来,并确定了相对最佳的工艺条件:10倍体积于蚕蛹油的0.5mol/L KOH乙醇溶液皂化2h, -30℃冷冻6h。在此工艺条件下,从蚕蛹油中提取的不饱和脂肪酸含量为47.0%。蒋艳忠^[12]利用尿素包合法分离得到多不饱和脂肪酸,在尿素:乙醇=1:3.2(m/V),尿素、脂肪酸质量比为1.5:1,包合温度5℃,时间2h的条件下,获得多不饱和脂肪酸达70.0%。

1.1.3 α -亚麻酸(ALA)的提取分离

α -亚麻酸是人体必需脂肪酸之一,在体内参与磷脂的合成,经脱氢和碳链延长可生成具有显著生理活性的二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)^[13-14],能维持大脑及视网膜的正常发育及功能^[15-16],此外在降血脂、降血压和抗血栓形成等方面具有特殊的作用^[17-19]。研究表明,蚕蛹油中含有较高含量的 α -亚麻酸。我国蚕蛹资源丰富,价格低廉,提供了大量的 α -亚麻酸来源,为蚕蛹在保健食品领域提供了广泛应用的可能。

宋燕青等^[20]采用尿素包合法富集 α -亚麻酸,用均匀设计法优化筛选出最佳工艺条件,并用气相色谱法测定了蚕蛹油中 α -亚麻酸的含量,经过尿素包合后,蚕蛹油中 α -亚麻酸的含量提高到了74.7%, α -亚麻酸质量浓度在0.125~4.000mg/mL范围内线性关系良好($r=0.9999$),平均回收率为99.8%。宋燕青等^[20]认为,尿素包合法能有效提高蚕蛹油中 α -亚麻酸含量,气相色谱法用于测定蚕蛹油中 α -亚麻酸的含量,方法简便、准确、可靠,可用于 α -亚麻酸及其制剂的质量控制。张春艳等^[21]研究了 α -亚麻酸(ALA)在负载银离子的D72大孔离子交换树脂上的吸附分离,蚕蛹混合脂肪酸中ALA经D72-Ag⁺树脂床吸附后,采用石油醚洗脱,经皂化酸解制得的蚕蛹油中ALA含量提高到92.0%,回收率为83.9%。蒋艳忠等^[22]采用硝酸银络合法对蚕蛹油中的 α -亚麻酸进行了富集,在AgNO₃ 2mol/L、体积分数40%的甲醇水溶液、0℃的络合条件下, α -亚麻酸收率为50%,纯度达99%。鲁仲辉等^[23]为获得更高纯度的 α -亚麻酸,采用了尿素脂肪酸包合结合银离子硅胶色谱技术分离,当脂肪酸、尿素质量比为0.3、尿素质量分数为30%,0℃结晶2h, α -亚麻酸质量分数提高到83.56%,二次尿素结晶包合提高 α -亚麻酸纯度的效果并不明显,回收率反而明显下降,对一次包合富

集的产物采用银离子硅胶色谱柱进一步纯化, α -亚麻酸纯度提高至近100%,回收率86.2%,因此他们认为采用尿素包合结合银离子硅胶色谱法更能分离到高纯度的蚕蛹 α -亚麻酸。

1.2 氨基酸及多肽类

氨基酸是人体重要的营养成分,而且不少具有很强的药理活性,蚕蛹中的天门冬氨酸具有镇咳祛痰作用、谷氨酸有健脑作用、精氨酸有降压作用。脱脂蚕蛹中的蛋白质含量达55%~65%,含有18种氨基酸,生物效价与酪蛋白和大豆蛋白相当^[24-27],其中人体必需氨基酸含量为40%左右^[28]。蚕蛹中的天然复合氨基酸可促进外科手术伤口愈合、保肝降酶、提高免疫,可作为低蛋白血症和亚健康人群的营养保健食品。魏克民等^[29]将蚕蛹进行脱脂、酸水解、脱色、离子交换、薄膜浓缩、喷雾干燥等工艺流程提取出得率为40%的天然复合氨基酸;张燕等^[30]采用氨基酸自动分析仪测定了蚕蛹干品中的17种氨基酸,其中人体必需氨基酸总量为14.59%;金维维等^[31]以OPA及FMOC为柱前衍生化试剂,采用柱前衍生反相高效液相色谱法,在给定的色谱条件下测定了蚕蛹蛋白氨基酸的含量,这种方法具有快速灵敏、不需专用仪器等优点^[32];熊愈辉等^[33]从蚕蛹胰酶水解液中分离得到部分氨基酸单体,包括天门冬氨酸、谷氨酸、酪氨酸、亮氨酸、组氨酸、赖氨酸、精氨酸7种氨基酸,为水解制备氨基酸探索了一条新途径。

生物活性肽是由蛋白质水解产生的含有数个到数十个氨基酸组成的具有特殊生理功能的多肽类物质,其不仅能提供人体生长发育所需的营养物质,而且具有重要的生理功能,能清除自由基、提高机体免疫力、延缓衰老、降低血压、促进脂肪代谢、降低胆固醇等^[34-35]。张明春等^[36]将经胰蛋白酶解的蚕蛹蛋白水解液,通过截留相对分子质量10000超滤膜,得到活性肽,随后的活性研究发现,这些生物活性肽对糖分解代谢的丙酮酸生成有促进作用。闵建华等^[37]探讨了多种酶对蚕蛹蛋白的水解,其中碱性蛋白酶对蚕蛹蛋白有较好的水解效果,其水解产物有较高的抗氧化活性,对DPPH自由基、超氧阴离子自由基和羟自由基都具有较强的清除能力。杨安树等^[38]利用木瓜蛋白酶与风味蛋白酶(flavourzyme)所组成的复合酶水解蚕蛹蛋白,其多肽得率为32.16%,碳粒廓清实验表明这些蚕蛹水解小分子多肽可增强小鼠网状内皮系统吞噬功能,并建立了毛细管凝胶电泳测定蚕蛹多肽分子的检测方法。

1.3 多糖类化合物

蚕蛹中的多糖是由10个以上单糖通过糖苷键连接而成的聚糖,具有增强机体免疫、抗肿瘤、抗病毒、抗衰老、降血糖等多方面的生物活性^[39]。孙龙等^[40]对蚕蛹

中的多糖进行了碱液提取,在碱液浓度为0.02mol/L、提取温度80℃、提取时间3h的工艺条件下,提取出的蚕蛹多糖含量为27.9%。赖泰君等^[41]以热水浸提法提取蚕蛹多糖,提取率达93.78%。赖泰君等^[42]在传统热水浸提法的基础上采用超声波辅助提取法提取蚕蛹多糖,在超声功率750W、时间40min、料液比1:10(m/V)的工艺条件下,多糖提取率为95.61%,在热水浸提法的基础上大大缩短提取时间(由10h缩短至40min)。藏其中等^[43]将蚕蛹干粉经丙酮脱脂,沸水提取,乙醇沉淀分离制备出蚕蛹多糖,并用DEAE-Sephadex A25柱层析纯化后,其含糖量达91%。

1.4 甲壳素及其衍生物

蚕蛹中的甲壳素(chitin)是以N-乙酰基-D-氨基葡萄糖,通过 β -(1→4)糖苷键连接而成的均一多糖,又名甲壳质、几丁质、甲壳胺等。甲壳素经浓碱作用脱去分子中的乙酰基转变为可溶性的甲壳素,又名壳聚糖(chitosan),它是甲壳素最重要的一种衍生物。甲壳素和壳聚糖具有降低胆固醇、降压、降血糖、提高机体免疫力、强化肝脏机能、吸附体内有害物质、治疗烧烫伤和抑制肿瘤等作用^[44-45]。倪红等^[45]以提取蛹油和蛹蛋白后的蚕蛹壳为原料,在虾、蟹壳为原料制备壳聚糖工艺的基础上进行改进,采用黏度法、碱量法等分析方法,研究了碱的浓度、反应时间和温度对制备蛹壳聚糖的理化性质的影响。吴建一等^[46]采用两段碱煮法从蚕蛹壳中提取甲壳素,甲壳素的提取率最高可为4.5%,用甲壳素制备微晶甲壳素的得率为89.6%。朱新鹏等^[47]先以石油醚提取蚕蛹油脂,继而用盐酸和氢氧化钠进行脱蛋白质和无机盐,在其筛选出的最佳工艺条件下,其甲壳素的得率为4.6%。

1.5 其他活性成分

蚕蛹中的活性成分较多,除上述主要活性成分外,还含有磷脂、维生素、核苷酸、雄性激素样物质等^[48-49]。蛹油中含有4%的磷脂,蛹磷脂中含溶血卵磷脂、神经磷脂、磷脂酰肌醇、卵磷脂等^[50],可用于心脑血管疾病、肝病并加速创伤愈合。蚕蛹中的维生素主要包括VB₁、VB₂、VB₅、VA、VD和叶酸等^[51]。

2 蚕蛹提取物的药理作用

2.1 提高免疫

蚕蛹多糖能增强小鼠免疫功能,王国基等^[52]采用免疫质量法计算脾脏和胸腺指数、巨噬细胞测定法及溶血素测定法、MTT法、淋巴细胞转化实验研究了蚕蛹多糖对小鼠免疫功能的影响,蚕蛹多糖能明显增强B淋巴细胞和T淋巴细胞的增殖,促进小鼠巨噬细胞的吞噬活力和溶血素生成,表明蛹多糖能增强小鼠的细胞免疫和

体液免疫功能。蚕蛹复合氨基酸也能提高机体免疫器官功能,尹武英等^[53]通过小鼠的迟发型变态反应实验、血清抗体滴度实验及碳粒廓清实验,得到的蚕蛹氨基酸能提高免疫功能低下的小鼠的细胞免疫和体液免疫功能,免疫器官脾脏和胸腺的质量也较免疫功能低下时的小鼠增加,还能增强小鼠外周血单核吞噬细胞碳粒廓清的能力。此外,蚕蛹中丰富的 α -亚麻酸具有提高免疫机能的功效^[16]。

2.2 降血糖和血脂

朱奎奎等^[54]的实验表明,蚕蛹提取物可以有效地降低糖尿病大鼠的血糖及血脂水平,并且在降血糖方面具有一定的剂量依赖性。丁华等^[55]研究了蚕蛹油多烯脂肪酸对大鼠体内脂质代谢及多烯脂肪酸代谢的影响,采用高脂膳食喂养大鼠建立高脂模型,观察蚕蛹油(富含 α -亚麻酸)对大鼠血清中甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇与总胆固醇的比值(HDL-C/TC)、丙二醛(MDA)及超氧化物歧化酶(SOD)、二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)和肝脏中MDA含量的影响,实验结果表明蚕蛹油多烯脂肪酸可以降低大鼠血清中TC及MDA含量、升高HDL-C/TC比值、降低肝组织中MDA含量,并增加大鼠体内EPA和DHA合成,具有调整血脂、抗脂质过氧化作用。

2.3 抗肿瘤作用

蚕蛹蛋白多肽液有显著的抗肿瘤作用,闫琦涛等^[56]通过动物及细胞实验研究了蚕蛹蛋白多肽液的抗肿瘤作用,发现多肽质量浓度增加可使肺癌和肾癌肿瘤细胞存活率降低,肿瘤细胞总蛋白质含量随多肽质量浓度的增加逐渐降低($P < 0.01$),且在0.5~1.5g/L内呈剂量依赖性,蚕蛹蛋白多肽液在150~600mg/g内,对小鼠移植瘤(S180)和H22的抑瘤率分别达到28.72%~58.18%和27.64%~63.88%,明显延长EAC小鼠的生存时间。蚕蛹壳聚糖也有一定的抗肿瘤作用,应自忠等^[57]采用从蚕蛹壳中提取的壳聚糖灌胃对小鼠S180进行抑制,观察壳聚糖对荷瘤小鼠红细胞免疫功能的影响。结果表明壳聚糖能抑制瘤细胞生长、增强红细胞免疫黏附肿瘤细胞能力,对照组与壳聚糖组进行比较有差异显著性($P < 0.01$)。

2.4 促进创口愈合

蚕蛹天然复合氨基酸不仅可以提高免疫,而且能促进外科手术伤口愈合。浦锦宝等^[58]研究了蚕蛹复合氨基酸促进外伤大鼠创口愈合的作用和对自由基的影响,将大鼠造成外科创伤模型后,以蚕蛹复合氨基酸给药14d,观察动物一般情况、皮肤张力、创口皮肤羟脯氨酸含量、血清SOD、MDA、GSH-Px等指标,蚕蛹复合氨基酸能明显提高创伤大鼠皮肤张力、创口皮肤羟脯氨酸含量,升高SOD、GSH-Px含量,降低MDA

含量, 蚕蛹复合氨基酸能明显促进外伤大鼠创口愈合并具清除自由基作用。

2.5 其他药理作用

蚕蛹中胆固醇、精氨酸、 β -谷甾素及 β -蜕皮素能起到雄性激素样作用^[59]。蚕蛹油 α -亚麻酸具有促进肝细胞再生作用^[60], 复合氨基酸有降低实验性肝炎大鼠血清谷丙转氨酶作用^[61]。蚕蛹油中不饱和脂肪酸可通过调整脂质代谢, 具有十分显著的预防和治疗非酒精性脂肪肝形成的效果^[62]。蚕蛹蛋白中提取的核苷酸具有改善造血机能的作用^[63]。蚕蛹经超临界 CO_2 萃取等技术深加工后, 其提取物成分对抗运动性疲劳等方面具有较高的活性^[64]。

3 结 语

蚕蛹全身都是宝, 是一种利用价值颇高的生物资源, 富含脂肪酸、多糖、氨基酸及多肽等多种生物活性成分。近代药理学研究表明, 蚕蛹具有促进脂肪代谢、肝细胞再生、降血脂、降血糖、增长智力、保护视力、延缓衰老、提高免疫机能、保护肝脏、抗癌等多种功能^[65-66]。许多学者对蚕蛹中的活性成分进行了较为广泛的提取分离研究, 为蚕蛹的进一步开发利用奠定了一定的基础, 但是目前对蚕蛹的研究还存在一些问题, 目前人们大多只集中于对蚕蛹蛋白中的氨基酸、多肽, 蛹油中的脂肪酸等成分的研究, 很多活性成分尚未充分利用, 对一些活性成分的提取与分离纯化效率较低, 工艺条件需进一步优化, 例如, 对蚕蛹壳中甲壳素和壳聚糖的提取制备时, 酸和碱的消耗量较大; 至今尚未完全解决蚕蛹腐败、褐变而导致的气味、颜色的不良变化等。这些都严重制约了蚕蛹的开发利用, 急需找到科学的解决办法。

鉴于此, 笔者认为今后可加强对蚕蛹中的黄酮、生物碱等小分子活性成分进行挖掘性的系统研究, 将蚕蛹生物活性成分的提取分离、药理作用分析与保健性食品开发结合起来, 同时对一些如腐败、褐变等关键性问题进行攻关, 对一些重要生物活性物质的工业提取工艺进行重点研究, 尽可能挖掘其潜在的保健作用, 提升其经济价值, 从而物尽其用。

参考文献:

- [1] 王伟, 何国庆, 金英哲, 等. 蚕蛹蛋白的综合利用现状分析和开发前景展望[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(9): 112-115.
- [2] 浦锦宝, 陈锡林. 蚕蛹的理化性质及农药残留量的研究[J]. 中国中药杂志, 2002, 27(5): 381-383.
- [3] 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.
- [4] 张岫美, 邓树海, 魏欣冰, 等. 蚕蛹油 α -亚麻酸提取工艺研究和成分分析[J]. 中国生化药物杂志, 2003, 24(5): 222-223.
- [5] 路萍, 赖炳森, 颜小林, 等. GC-MS 分析蚕蛹油中脂肪酸的成分[J]. 中国药学杂志, 1998, 33(3): 138-140.
- [6] 国家药典委员会. 中国药典: 二部[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 附录 53.
- [7] 赵文英, 侯振荣. 哈蟆油的化学成分[J]. 沈阳药科大学学报, 1996, 13(4): 276-277.
- [8] 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): 9699-9711.
- [9] 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.
- [10] 明哲. 蚕蛹油的脂肪酸成分分析[J]. 吉林农业科技学院学报, 2008, 17(2): 1-3.
- [11] 张迎庆, 马丽, 陈腾飞. 冷冻结晶法提取蚕蛹油不饱和脂肪酸[J]. 湖北工学院学报, 2000, 15(1): 58-60.
- [12] 蒋艳忠. 尿素包合法分离蚕蛹油中多不饱和脂肪酸[J]. 化学研究与应用, 2008, 20(3): 363-366.
- [13] 刘冬, 石山, 杨玉梅. 植物来源的 ω -3 脂肪酸- α -亚麻酸[J]. 中草药, 1992, 23(9): 495.
- [14] 范文洵. α -亚麻酸及其代谢产物 EPA 和 DHA[J]. 生理科学进展, 1988, 19(2): 110.
- [15] EZAKI O, TAKAHASHI M, SHIGEMATSU T, et al. Long-term effects of dietary alpha-linolenic acid from perilla oil on serum fatty acids composition and on the risk factors of coronary heart disease in Japanese elderly subjects[J]. Journal of Nutrition Science and Vitaminology, 1999, 45(6): 759-772.
- [16] GRAHAM C B, YVONNE E F, ANNE M M, et al. Effect of altered dietary n-3 fatty acid intake upon plasma lipid fatty acid composition, conversion of [^{13}C] α -linolenic acid to longer-chain fatty acids and partitioning towards β -oxidation in older men[J]. British Journal Nutrition, 2003, 90(2): 311-321.
- [17] 张克坚. 二十碳五烯酸的药理作用及作用机制的研究进展[J]. 中国药理学通报, 1992, 6: 416.
- [18] CLEMENS V O N. Prophylaxis of atherosclerosis with marine omega-3 fatty acids[J]. Ann Intern Med, 1987, 107(6): 890-899.
- [19] FENY M, MASASHI M, HIDEKI U, 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.
- [20] 宋燕青, 邓树海, 张四喜, 等. 蚕蛹油中 α -亚麻酸的尿素包合法纯化与含量测定[J]. 中国生化药物杂志, 2007, 28(5): 330-332.
- [21] 张春艳, 田友维, 龙云飞, 等. 利用负载银离子的 D72 树脂分离纯化蚕蛹油中 α -亚麻酸[J]. 中国油脂, 2009, 34(8): 36-39.
- [22] 蒋艳忠, 胡小明, 杨克迪. 硝酸银络合法浓缩蚕蛹油中 α -亚麻酸的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(4): 205-209.
- [23] 鲁仲辉, 潘秋月, 孟祥河, 等. 桑蚕蛹中高纯度 α -亚麻酸的分离研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(11): 74-77.
- [24] 王宝贵, 孙晓霞, 赵林伊, 等. 柞蚕蛹蛋白质营养价值研究[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(5): 575-576.
- [25] 胡滨, 陈一资, 胡惠民. 食用蚕蛹蛋白的开发研究[J]. 食品科技, 2007(8): 184-187.
- [26] 杨雪锋, 黄边珍, 郝丽萍. 桑蚕蛹蛋白质营养价值的评价[J]. 食品科学, 2001, 22(7): 64-66.
- [27] 张燕, 陈业高. 蚕蛹氨基酸成分及营养价值[J]. 云南化工, 2002, 12(6): 22-25.
- [28] 林步文. 蚕蛹的化学和生物学评价[J]. 食物农业科学, 1983, 34(8): 896.
- [29] 魏克民, 浦锦宝, 祝永强, 等. 蚕蛹提取天然复合氨基酸的研制和应用研究[J]. 医学研究杂志, 2009, 38(12): 44-45.
- [30] 张燕, 陈业高, 海丽娜, 等. 蚕蛹氨基酸成分及营养价值[J]. 云南化工, 2002, 29(6): 22-23.

- [31] 金维维, 赵钟兴, 刘旭辉, 等. 蚕蛹蛋白氨基酸含量的高效液相色谱法测定[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(3): 537-539.
- [32] 丁永胜, 牟世芬. 氨基酸的分析方法及其应用进展[J]. 色谱, 2004, 22(3): 210-215.
- [33] 熊愈辉, 徐华义, 余梅芳, 等. 胰酶水解脱脂蚕蛹分离部分氨基酸的研究[J]. 湖州师范学院学报, 2001, 23(6): 39-43.
- [34] KITTS D D, WEILER K. Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery[J]. Current Pharmaceutical Design, 2003, 9(16): 1309-1323.
- [35] 王梅, 洗辉. 食物蛋白酶解物中的生物活性肽[J]. 氨基酸和生物资源, 1997, 19(1): 40-43.
- [36] 张明春, 韩克勤, 张媛, 等. 酶解与膜法联用制备蚕蛹生物功能活性肽[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 156-158.
- [37] 闵建华, 李建科, 陈婷, 等. 蚕蛹多肽的制备工艺及其体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2009, 30(14): 123-126.
- [38] 杨安树, 陈红兵, 郑功源, 等. 酶法水解蚕蛹蛋白制备免疫活性肽工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(1): 225-227.
- [39] 王玉华, 袁久荣. 中药多糖的化学研究概况[J]. 中成药, 2004, 26(6): 496-498.
- [40] 孙龙, 冯颖, 何钊, 等. 蚕蛹多糖的碱液提取及免疫活性初步研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(6): 782-786.
- [41] 赖泰君, 刘旭辉, 孙建华, 等. 蚕蛹多糖提取工艺的研究[J]. 中药材, 2009, 32(7): 1137-1139.
- [42] 赖泰君, 刘旭辉, 孙建华, 等. 蚕蛹多糖的分离研究[D]. 南宁: 广西大学, 2009.
- [43] 藏其中, 万淑莹, 何光星, 等. 蚕蛹多糖的分离和分析[J]. 中成药, 1992, 14(3): 35-36.
- [44] ZHANG M, HAGA A, SEKIGUCHI H, et al. Structure of insect chitin isolated from beetle larva cuticle and silkworm (*Bombyx mori*) pupa exuvia[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2000, 27(1): 99-105.
- [45] 倪红, 陈怀新, 杨艳燕, 等. 桑蚕蛹甲壳素及壳聚糖的提取与制备工艺研究[J]. 湖北大学学报, 1998, 20(1): 94-96.
- [46] 吴建一, 谢林明. 蛹壳中提取甲壳素及微晶化晶体结构的研究[J]. 蚕业科学, 2003, 29(4): 399-403.
- [47] 朱新鹏, 方琼, 樊明涛, 等. 蚕蛹甲壳素提取工艺优化研究[J]. 中国林副特产, 2009, 100(3): 27-29.
- [48] 杨海霞, 朱祥瑞, 陆洪省. 蚕蛹在医学上的应用研究进展[J]. 科技通报, 2002, 18(4): 318-322.
- [49] MI Y A, SANG H S, HYE K J, et al. Purification of a dimethyladenosine compound from silkworm pupae as a vasorelaxation substance[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2008, 117(1): 115-122.
- [50] 施觉民, 张文娟, 胡阳. 中药蚕蛹的营养药理研究[J]. 中药药理与临床, 1988, 4(1): 60.
- [51] 张锐. 蚕桑副产物与人体免疫[J]. 蚕桑通报, 2000, 31(1): 51-53.
- [52] 王国基, 殷伟芬, 王俊, 等. 蚕蛹多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. 江苏大学学报, 2007, 17(5): 373-375.
- [53] 尹武英, 彭力. 蚕蛹氨基酸对小鼠免疫功能影响[J]. 卫生毒理学杂志, 1998, 12(1): 63.
- [54] 朱奎奎, 陈伟平, 何自立. 蚕蛹提取物对糖尿病大鼠血糖和血脂水平的影响[J]. 浙江预防医学, 2008, 20(8): 9-13.
- [55] 丁华, 张岫美, 魏欣冰, 等. 蚕蛹油多烯脂肪酸对大鼠血脂及血清 EPA、DHA 含量的影响[J]. 山东医科大学学报, 2001, 39(5): 455-459.
- [56] 闫涛琦, 曹柏营, 昌友权, 等. 蚕蛹蛋白多肽液抗肿瘤作用的实验研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 588-590.
- [57] 应自忠, 张慧, 韩志红, 等. 壳聚糖对荷瘤小鼠红细胞免疫功能的影响[J]. 中国公共卫生, 2000, 16(9): 831.
- [58] 浦锦宝, 魏克民, 祝永强, 等. 蚕蛹复合氨基酸对创伤大鼠创口愈合及自由基影响[J]. 医学研究通讯, 2004, 33(3): 43-45.
- [59] 夏末铭. 我国蚕蛹综合开发现状与前景[J]. 中国蚕业, 2003, 24(1): 12-15.
- [60] 王洪欣. 蚕蛹生物活性成分现代研究进展[J]. 齐鲁药事, 2007, 26(6): 355-358.
- [61] 施觉民, 谢重兴, 张文娟, 等. 蚕蛹对血清总蛋白、血红蛋白谷丙转氨酶及血糖的影响[J]. 现代应用药学, 1990, 7(2): 1-3.
- [62] 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.
- [63] 陈卫东, 肖更生, 廖森泰. 蚕桑资源物质药用研究和开发进展[J]. 中药材, 1999, 22(9): 481-484.
- [64] 孙桂芳. 超临界萃取蚕蛹提取物在抗运动性疲劳方面的作用[J]. 山东体育科技, 2010, 32(1): 26-28.
- [65] 宋燕青, 邓树海, 隋志义, 等. 蚕蛹药用成分及其提取工艺研究概况[J]. 中国生化药物杂志, 2006, 27(5): 307-309.
- [66] DECONG H, QIONG L, HAIRONG C, et al. Effects of amino acids from selenium-rich silkworm pupas on human hepatoma cells[J]. Life Sciences, 2005, 77(17): 2098-2110.