

蚕蛹资源化利用现状及其进展

马林林¹, 强西怀^{1,*}, 席星航²

(1. 陕西科技大学资源与环境学院, 陕西西安 710021;

2. 重庆航凡蚕丝技术开发有限公司, 重庆 400038)

摘要:在简述蚕蛹化学成分的基础上,详细论述了蛹蛋白、蛹油和蛹甲壳素等有效成分的提取和精制技术,并深入探讨了蚕蛹有效成分的生理功能及相关产品在食品、医药、化工和生物等领域的开发利用现状与前景,最后指出了蚕蛹资源化利用目前所面临的问题及其解决方法,为实现蚕蛹资源化利用的产业化提供理论依据。

关键词:蚕蛹, 蛹油, 蛹蛋白, 蛹甲壳素, 资源化利用

Research status of resource utilization and development for silkworm pupa

MA Lin-lin¹, QIANG Xi-huai^{1,*}, XI Xing-hang²

(1. College of Resource and Environment, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;

2. Chongqing Hangfan Silk Development Co., Ltd., Chongqing 400038, China)

Abstract:The chemical composition of silkworm pupa was outlined. The extraction and refining technology of effective ingredients such as pupa protein, pupa oil and pupa chitin were introduced in detail. Meanwhile, it was deeply discussed about the physiological function of silkworm pupa effective ingredients and the development prospects and utilization status of related products which were widely used in food, medicine, chemical, biological or other areas. Finally, the problems and solutions that existed in the resource utilization of silkworm pupa were put forward as a theoretical basis to realize the industrialization of silkworm utilization.

Key words: silkworm pupa; pupa oil; pupa protein; pupa chitin; resource utilization

中图分类号: TS201.2+1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)20-0394-04

蚕蛹是蚕茧抽丝后的主要副产物,富含蛋白质、脂肪、甲壳素及维生素等成分,具有很高的营养价值和保健功能,这就决定了蚕蛹具有很高的开发利用价值和广泛的应用途径。由于缺乏对蚕蛹深度资源化利用与开发技术,在蚕蛹油、蛋白质、甲壳素等有效成分的深加工方面,我国目前尚未实现产业化的系统技术。目前大量的蚕蛹经初级处理后,主要作为肥料和家禽饲料,附加值低,资源化利用程度不高^[1]。对新资源的开发和废弃资源的综合利用已成为近年来人们研究的热点之一,我国蚕蛹资源丰富,年产蚕蛹30万t以上,约占全世界总产量的80%^[2],因此,对蚕蛹的深度资源化利用,不仅具有原料优势,而且深加工产品的开发更具市场潜力。对蚕蛹有效成分进行科学的开发利用,实现蚕蛹资源的高质转化,可以激发蚕农从事蚕业的积极性,保护蚕农收益,同时还能促进蚕业资源向可持续性和节约型方向发展。

1 蚕蛹的化学成分

现代科学研究表明,蚕蛹富含蛋白质、脂肪、甲壳素和糖类以及多种蛋白激素、维生素、微量元素等生物活性成分,具有很高的营养、药用价值和广阔的市场前景。

蚕蛹有十分丰富的蛋白质,在所有成分中含量最高,达55%~60%(以干基蚕蛹计),属于酪蛋白一类^[3]。蚕蛹蛋白经水解后所得复合氨基酸中富含人体生长必需的18种氨基酸,其中8种必需氨基酸总含量超过40%,符合FAO/WHO提出的氨基酸模式^[3]。

干蚕蛹中油脂含量为25%~30%,蚕蛹油中含有8%~10%游离脂肪酸,其中人体所必需的油酸、亚油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸占游离脂肪酸含量的75%,此外还含有1%以上的 β -甾醇、胆固醇与菜油甾醇等不皂化物^[4]。干蚕蛹中含有2%~8%的甲壳素,少量的抗菌肽、溶菌酶和激素等生物活性物质,此外干蚕蛹中还含有微量的维生素A、维生素B₂、维生素D、叶酸和Mg、Ca、Zn、Fe、Cu、Se等微量元素^[5-6]。

2 蚕蛹有效成分提取工艺技术

2.1 蚕蛹蛋白

蚕蛹蛋白水解制备多肽或氨基酸的技术主要有:有酸水解、碱水解和酶水解等。

酸水解技术成熟且成本低廉,常用的水解剂是

收稿日期:2012-05-28 * 通讯联系人

作者简介:马林林(1987-),女,在读研究生,研究方向:蛋白质阳离子改性。

基金项目:陕西科技大学科研创新团队(TD09-04);陕西科技大学博士科研启动基金(BJ09-15)。

盐酸和硫酸^[7]。采用盐酸水解蚕蛹蛋白粉, 所得水解液中氨基酸总量达到80%~85%, 必需氨基酸总量达60%以上; 采用硫酸水解法, 得到的复合氨基酸粉, 其氨基酸态氮含量达9.05%, 其中必需氨基酸达39.2%。水解液经离子交换树脂纯化, 可制得精炼复合氨基酸粉, 氨基酸态氮含量为13.45%, 是食品添加剂和生产高营养食品的理想原料^[8]。但酸水解对设备腐蚀严重, 对大气或水体污染大, 且会使色氨酸全部破坏, 丝氨酸、酪氨酸和苏氨酸部分破坏^[9]。

碱水解法利用蚕蛹蛋白主要为球蛋白能溶于稀碱的性质将蛋白质溶出, 再调节蛋白质溶液的pH达到蛋白质的等电点, 将蛋白质沉淀析出, 同时可回收甲壳素, 工艺简单, 提取率高, 但褐变和腥味无法克服, 且会引起消旋作用而降低营养价值^[10]。孙雁等^[11]研究了碱法制备蚕蛹蛋白浸提条件的优化, 利用优化工艺条件制备的蚕蛹蛋白, 其蛋白含量为96.70%, 必需氨基酸占总氨基酸含量的47.1%, 必需氨基酸与非必需氨基酸的比值为0.9, 具有较好的应用价值。

有关研究表明^[12]肠道对多肽中氨基酸的摄取大于来自等量氨基酸的混合物中氨基酸的摄取。多肽不仅吸收速度更快, 还有多种生理功能。因此采用酶法水解蚕蛹蛋白制备多肽成为开发蚕蛹蛋白的重点研究方向。李高扬等^[13]以DPPH自由基的清除能力作为酶解过程的分析指标, 采用蛋白酶、中性蛋白酶、胃蛋白酶、木瓜蛋白酶、胰蛋白酶酶解脱脂蚕蛹蛋白粉, 发现胃蛋白酶对蚕蛹蛋白有较好的酶解效果, 并对胃蛋白酶的酶解条件正交优化, 得到最优水解条件为: 50℃, pH1.5, 加酶量8000U/g, 时间6h, 底物蚕蛹蛋白质量分数4%, 水解度达25%。研究表明该酶解液有较高的抗氧化活性。赵鹏等^[14]探究了中性蛋白酶与动物蛋白酶结合水解蚕蛹蛋白工艺并对产物进行分析, 结果表明, 最佳酶解条件为: 温度50℃, pH7.0, 底物浓度(质量分数)1.0%, 动物蛋白加酶量150U/g, 中性蛋白酶/动物蛋白酶酶活比为4:1, 水解时间3h, 水解度27.36%, 酸溶性活性肽得率55.17%。综上可知, 酶水解蚕蛹蛋白反应条件温和, 效率高, 且产物抗氧化性能高, 但水解率较低。双酶水解对酶水解蚕蛹蛋白的水解度有一定程度的提高。由此, 笔者认为多酶水解将会成为酶法水解蚕蛹蛋白的一种有效途径。

2.2 蚕蛹油

传统常用提取蚕蛹油的方法为有机溶剂浸出法, 该方法具有出油率高、蛋白质不变性的优点。影响有机溶剂浸出法的主要因素有: 溶剂、溶剂用量、浸提时间、浸提温度、浸提次数和振荡速度等。常用的有机溶剂有正己烷、环己烷、丙酮、石油醚、无水乙醇及两者以上的混合溶剂等。

杨梅琳等^[15]采用了溶剂浸提法研究了从新鲜蚕蛹中提取蛹油的工艺。实验首先选取了丙酮等5种溶剂浸提蚕蛹油, 发现正己烷的提取效果为最佳, 后采用单因素实验并通过正交实验法优化了蚕蛹油的提取工艺, 得到最优工艺条件为: 溶剂用量为4mL/g, 浸出时间为30min, 浸出温度38℃, 振荡速度80r/min, 得蚕蛹的出油率为94.78%。鄂旭等^[16]采用环己烷-石油

醚混合溶剂提取蚕蛹毛油, 通过单因素及正交实验确定了皂化法精制蚕蛹油的最佳工艺, 并对精制的蚕蛹油进行了成分分析。结果表明: 在80℃、固液比为1:3条件下蒸馏3h, 毛油提取率为36.4%; 在碱浓度14%、超碱量74.4%条件下精制毛油, 其精制率为68%。

由于传统的有机溶剂浸出法得到的蚕蛹油存在溶剂残留量较高、时间长等缺点, 新型的提取工艺应运而生, 目前有超声波辅助萃取法和超临界CO₂萃取法及微波辅助萃取法。

吴晓霞等^[17]研究了蚕蛹油超声波辅助萃取的最佳工艺, 通过二次回归模型响应曲面分析得出超声波辅助萃取蚕蛹油的最佳工艺条件为: 超声功率102W, 超声时间20min, 超声温度40℃, 在此条件下, 蚕蛹油提取率为96.3%, 不饱和脂肪酸相对含量为74.2%, 其中油酸相对含量为38.3%, α-亚麻酸相对含量为30.2%, 亚油酸相对含量为4.3%, 棕榈油酸相对含量为1.0%, 花生酸相对含量为0.4%。

廖爱美^[18]同时利用正己烷浸提工艺和超临界CO₂流体萃取方法优化了蚕蛹油提取工艺并对所得蛹油各项化学常数进行对比, 研究发现, 正己烷浸提在最优工艺条件下蚕蛹油的出油率达28.76%; 超临界CO₂流体萃取时最优条件下, 蚕蛹出油率为29.73%。且超临界CO₂萃取得到的蚕蛹油的不饱和脂肪酸的含量更高, 蛹油的过氧化值较低, 品质更好。

2.3 蚕蛹甲壳素

蚕蛹经脱脂和提取蛋白的残渣富含甲壳素, 是制备甲壳素的良好原料。甲壳素溶解性较差, 经脱乙酰化反应转化为壳聚糖后溶解性增强, 甲壳素及其衍生物壳聚糖具有无毒、可被生物体分解和生物活性高等优点, 在食品、医药、化工、环境等行业有广泛的应用前景。王济强^[19]以蚕蛹皮为原料, 用4%~8%盐酸初脱盐后, 以5%~10%的氢氧化钠溶液脱除残留的蛋白质, 再用盐酸进一步脱除无机盐, 得到甲壳素。对甲壳素脱色处理后, 加入40%~50%氢氧化钠、60~95℃脱乙酰基得到壳聚糖。从原料(蚕蛹皮)制备到甲壳质的得率为42%, 制备到可溶性壳聚糖产品的得率为18%。吴力克^[20]发明一种从蚕蛹、蝇蛆皮壳制取甲壳素/壳聚糖方法, 并申请专利。该专利将蚕蛹、蝇蛆皮壳通过干法或湿法破碎细粉化处理: 将得到细粉体经来自微生物脂肪酶粗酶液和蛋白酶粗酶液进行共酶解反应, 充分脱除蛹皮/蛆皮原料中脂肪和蛋白质; 采用两步法脱色; 收集脱色后物料, 洗涤、干燥后制成甲壳素产品; 通过米根霉全细胞固定化生物反应器进行循环脱乙酰反应, 得到壳聚糖。这为蚕蛹壳聚糖生产提供了一种高效、清洁、经济新方法。

3 蚕蛹精制技术

3.1 蚕蛹脱臭

蚕蛹由于其异臭味在各行业的应用受到限制, 其臭味主要来源有: 加工储存过程中产生的多胺类化合物以及低级脂肪酸; 蚕蛹自身分泌的异味物质。蚕蛹除臭的主要方法有: 汽提法、吸附法、包合法、氧化法、离子交换树脂法、微生物法、综合除臭法和有

机溶剂提取法等。

a.汽提法:钱俊青^[21]采用乙醇及醋酸与蛹粉共混加热,结合水蒸气蒸馏的方法,取样200g,醋酸用量2mL,温度80℃,加热20min,蒸馏20min,感官品评已无腥味,除臭效果良好,经脱腥后的蚕蛹粉可广泛用于食品体系中。

b.吸附法^[22]:金明晓等^[23]用次氯酸钠、 β -环糊精、活性炭、硅胶、 α -环糊精、活性白土等5种吸附剂和复合纤维法对蚕蛹蛋白粉脱臭,在5种吸附剂中 β 环糊精较其他四种脱臭效果较好。在以上所有脱臭法中,复合纤维的脱臭效果最好,具有工业化生产层次的适用性和广泛性。

c.氧化法:吴建一等^[24]发明了一项利用氯气/臭氧脱臭制备无臭蚕蛹蛋白粉的方法,实验先将蚕蛹加水磨浆,经机械脱脂后加氧化剂除臭,脱水干燥得到无臭蚕蛹粉。此方法工艺简单且除臭效果好。

d.离子交换树脂法:周小华等^[25]用NAK-12树脂脱除蚕蛹复合氨基酸异味及褐变物质的研究,发现了蚕蛹复合氨基酸异味产生的原因。经实验发现:当流速为3BV/h时,1mL NAK-12吸附树脂能吸附1.75g蚕蛹复合氨基酸中的异味物质;能吸附1.45g蚕蛹复合氨基酸中的褐变物质,是有效控制蚕蛹氨基酸品质的新方法。

e.微生物法:乔明珩^[26]采用少孢根霉SPT菌株添加生长促进剂Rn,用固体发酵工艺制成脱臭蚕蛹粉。由此分离制备脱臭蚕蛹蛋白和脱臭蚕蛹油。微生物脱臭法较好的保存了蚕蛹原有的营养价值,为蚕蛹的高值综合开发利用提供了一条切实可行的新途径。

3.2 蚕蛹脱色

蚕蛹自身的颜色也是限制其在各行业应用的因素之一,常用蚕蛹脱色的方法有:氧化脱色法、吸附脱色法和蛋白质修饰法。氧化脱色法用 H_2O_2 对蚕蛹漂白达到脱色的效果^[27]。吸附脱色法,活性炭用量以5%为宜,在50℃左右,调节pH为8~9,脱色时间30min,脱色效果较好,用量过多会对产物造成损失。周小华等^[28]发现蚕蛹褐变可能是由于赖氨酸的氨基与氨基葡萄糖发生了美拉德反应,故在实验中采用乙酸酐和硫酸钙对赖氨酸的氨基进行修饰已达到脱色的效果。

4 有效成分的功能性及资源化利用技术

4.1 蚕蛹蛋白的功能性及资源化利用

蚕蛹蛋白水解多肽具有很高的抗氧化活性,对自由基有较强的清除能力,能够降低血清胆固醇,增加机体抗疲劳能力^[29-30]。同时具有降血压的作用,能够抑制阻碍ACE酶化水解血管紧张素I成为血管紧张素II。此外,在增强非特异性免疫、抗肿瘤、促进脂肪代谢等方面也有一定功效^[31]。

蚕蛹蛋白应用于食品领域中,可以制做各类蚕蛹蛋白营养品、运动饮料^[32],用作食品添加剂等;将蚕蛹蛋白水解液制成多肽、氨基酸类胶囊、口服液^[33]等用于医药领域有很大的研究价值;在工业领域蚕蛹蛋白应用十分广泛,主要有开发蚕蛹蛋白纤维制

作内衣和运动服,制备蚕蛹蛋白类表面活性剂^[34]用作化妆品、皮革、纺织、染整等,也可加工蛋白类粘胶剂;同时,蚕蛹蛋白还可以用作生物反应器^[35]和生物培养基^[36]。

4.2 蚕蛹油的功能性及资源化利用

蚕蛹油富含脂肪酸,特别是油酸、亚油酸和亚麻酸等多种人体必需的不饱和脂肪酸,具有很高的营养价值,可以精制为食用油、微胶囊蛹油颗粒^[37]以及加工为具有药用价值的营养品。油酸能有效地降低体内的LDL(低密度胆固醇),具有预防动脉硬化的效果;亚油酸可以在体内转化后合成前列腺素,可用于治疗心血管疾病和预防心肌梗死。而 α -亚麻酸具有降血脂、降血压和抗癌等多种生物活性^[38-40]。

目前,人们已经利用蚕蛹油生产出了营养酱油^[41],拓宽了仅以传统的发酵法获得酱油等的局面;并用蚕蛹油中亚油酸制成的“肝脉乐”,治疗肝炎、动脉硬化、高血脂症,也能够生产抗血脂药物—亚麻酸助剂;此外蚕蛹油还可分离高级脂肪酸,并可加工高级润滑油、肥皂、甘油、磺化蛹油、环氧蛹油、聚酰胺、蛹油磷脂等。

4.3 蚕蛹甲壳素的功能性及资源化利用

甲壳素被确认为人体除蛋白质、脂肪、糖类、纤维素、矿物质之外的第六生命要素。甲壳素及其衍生物壳聚糖都具有免疫活性^[42],抗自由基的能力^[43]且其具有清除力随甲壳素脱乙酰度的增加而增强、抗肿瘤和无毒、耐高温等优点。其中,衍生物—壳聚糖具有更好的生物相容性,可用于制作人造皮肤和人造血管等;同时,还可制成外科手术缝合线,这种手术线是生物可降解的材料,可免除病人拆线的痛苦^[44]。用甲壳素经盐酸水解制成的D-氨基葡萄糖盐酸盐,是合成抗癌新药氯脲霉素的主要原料,也是治疗关节炎的药物和抗生素增效剂^[45-46]。此外,壳聚糖还可以用作食品防腐剂、果蔬保鲜剂、液体澄清剂、金属螯合剂等^[47]。

5 展望

蚕蛹具有很高的开发利用价值和广泛的应用途径。随着科学技术的发展,蚕蛹资源的综合利用已经日益受到社会的重视,其研究开发内容涉及医疗、化工、食品、环保、生物等有关学科和专业。但目前,我国对蚕蛹资源的开发尚未实现产业化生产。究其原因主要有两个方面:首先是蚕蛹在贮存过程中容易发生褐变及产生异味物质,导致蚕蛹的营养成分流失,品质下降;其次是目前蚕蛹相关加工产品的生产工艺单一,生产效率低,无法提高蚕蛹的附加值,经济效益低下。其中,蚕蛹的在贮存过程中的质量变化是阻碍其工业化加工的关键因素,因此,对蚕蛹的开发利用不仅要着重于对深加工技术的研发,更要重视蚕蛹产品存储新技术研究和监控储存期品质变化的技术创新,也要加强对蚕蛹从丝绸加工企业到蚕蛹资源开发企业的物流过程监控,重视企业之间的合作,依靠生物技术和新型分离技术,更好地开发利用蚕蛹的营养成分,形成完整的产业化生产结构链。

参考文献

- [1] WEI Z J, LIAO A M, ZHANG H X, et al. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of silk-worm pupa oil applying the response surface methodology[J]. *Bioresour Technol*, 2009, 100(18):4214-4219.
- [2] 陈清爱. 蚕蛹功能及其应用[J]. *桑蚕通报*, 2010, 41(2):42-43.
- [3] P Udayasekhara Rao. Chemical composition and nutritional evaluation of spent silk worm pupae[J]. *Food Chem*, 1994, 42: 2201-2203.
- [4] 林高堂, 蒋立文. 蚕蛹综合利用研究进展[J]. *蚕桑通报*, 2006, 37(2):1-4.
- [5] 钱俊青. 蚕蛹的化学成分及其利用[J]. *食品工业*, 1997(5): 42-43.
- [6] 王天予. 蚕丝副产物的综合利用[M]. 重庆:重庆大学出版社, 1990:88-90.
- [7] 颜新培, 林高堂, 蒋立文. 蚕蛹蛋白水解技术研究进展[J]. *广东蚕业*, 2006, 40(1):43-45.
- [8] 刘建华, 徐彭, 张梓英, 等. 酸水解蚕蛹制备复合氨基酸的研究[J]. *氨基酸和生物资源*, 1995, 17(4):9-11.
- [9] 蒋立文, 林高堂, 李丽蓉. 双酶水解蚕蛹蛋白工艺条件研究[J]. *广东蚕业*, 2008, 42(4):33-37.
- [10] 沈芸. 蚕蛹油脂与蛋白的开发利用[D]. 上海:上海大学, 2010.
- [11] 孙雁, 任发政, 范金波, 等. 碱法制备蚕蛹蛋白浸提条件的优化[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2):285-289.
- [12] 葛文光. 大豆多肽的生理功能及作用效果[J]. *无锡轻工业大学学报*, 1996, 15(3):272-276
- [13] 李高扬, 崔堂兵, 陈亮. 蚕蛹蛋白酶解制备抗氧化肽的初步研究[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(7):810-814.
- [14] 赵鹏, 董秀萍, 叶楠, 等. 酶解蚕蛹蛋白工艺的研究及产物分析[J]. *大连轻工业学院学报*, 2005, 24(2):123-127.
- [15] 杨梅琳, 成玉梁. 正交实验对蛹油提取工艺的优化[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(1):79-83.
- [16] 鄂旭, 路福平, 王海宽, 等. 蚕蛹油提取和精制工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(4):32-35.
- [17] 吴晚霞, 李建科, 张研宇. 蚕蛹油超声波辅助萃取及其抗氧化稳定性[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(8):1677-1687.
- [18] 廖爱美. 蚕蛹油的提取工艺优化、组分分析及其功能评价[D]. 合肥:合肥工业大学, 2009.
- [19] 王济强. 蚕蛹皮制备甲壳质和壳聚糖的研究[J]. *丝绸*, 2003, 47(10):46-48.
- [20] 重庆百奥帝克微生态科技有限公司. 一种从蚕蛹、蝇蛆的皮壳中制取甲壳素/壳聚糖的方法[P]. 中国专利:200710107079. 2007-11-28.
- [21] 钱俊青. 脱脂蛹粉的汽提除腥工艺研究[J]. *氨基酸与生物资源*, 2002, 24(1):15-16.
- [22] 敬承衡, 张素清. 蚕蛹蛋白脱色、脱臭的研究[J]. *云南师范大学学报*, 1995, 15(1):67-70.
- [23] 金明晓, 曲红光, 昌有权, 等. 蚕蛹蛋白粉脱臭工艺研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(9):291-294.
- [24] 吴建一, 魏克民. 低脂无臭蛹蛋白粉的制备方法[J]. *蚕业科学*, 2003, 29(3):314-317.
- [25] 周小华, 江涛, 何世勇. NAK-12树脂脱除蚕蛹复合氨基酸异味及褐变物质的研究[J]. *离子交换与吸附*, 2001, 18(4): 327-334.
- [26] 乔明珩, 李德芳. 微生物法脱臭蚕蛹粉的研制[J]. *江苏食品与发酵*, 1997, 24(1):12-14.
- [27] 汪涛, 李晓琴, 吴大洋. 家蚕蛹甲壳素的H₂O₂脱色及冷冻溶解研究[J]. *研究与技术*, 2010, 6(6):1-8.
- [28] 周小华, 汤正廷. 褐变蚕蛹分离蛋白脱色与改性研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2001, 14(3):30-35.
- [29] 闵建华, 李建科, 陈婷. 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(7):123-126.
- [30] 张丽萍, 曲红光, 昌友权, 等. 蚕蛹蛋白抗疲劳作用人群试食实验[J]. *食品科学*, 2005, 26(9):462-465.
- [31] 李勇, 王文昕. 蚕蛹蛋白提取及其多肽生理功能研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2010, 23(10):44-46.
- [32] 陈静, 郑明珠, 王浩. 蚕蛹蛋白肽的制备及其运动饮料研制[J]. *食品科学*, 2009, 30(14):318-320.
- [33] 吴坤, 宋莲军. 蚕蛹氨基酸口服液的研制[J]. *郑州轻工业学院报*, 1999, 14(4):72-74.
- [34] 粟晖, 刘柳, 李军生, 等. 由蚕蛹蛋白合成N-月桂酰基复合氨基酸表面活性剂[J]. *广西轻工业*, 2008, 24(6):11-12.
- [35] Jian Chen, Xiang-Fu Wu, Yao-Zhou Zhang. Expression, purification and characterization of human GM-CSF using silkworm pupae (*Bombyx mori*) as a bioreactor [J]. *Biotechnology*, 2006, 123(2):236-247.
- [36] 胡建平, 刘可桃. 蚕蛹蛋白的提取工艺及综合利用研究进展[J]. *安徽农学通报*, 2011, 17(11):185-186, 223.
- [37] 施英, 吴娱明, 廖森泰. 蚕蛹油微胶囊的制备[J]. *蚕业科学*, 2010, 36(5):875-878.
- [38] 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, 9711.
- [39] YANIV Z, SCHAFFERMAN D, SHANMIR I, et al. Cholesterol and triglyceride reduction in rats fed manihola incana seed oil rich in (n-3) fatty acids [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47(2): 637-642.
- [40] 毕艳兰. 油脂化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
- [41] 吴海龙, 徐梅珍, 董开发. 蚕蛹酿制酱油的研究[J]. *江西农业大学学报*, 2001, 23(3):393-395.
- [42] 王金华, 干信. 蚕蛹甲壳素的开发和应用[J]. *现代商贸工业*, 2003, 15(4):22-24.
- [43] 赵维, 李建科. 不同脱乙酰度蚕蛹壳聚糖结构分析及其清除自由基能力的比较研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(8):90-93, 97.
- [44] 唐丽娟. 蚕蛹的综合开发利用及紫外辐照油酸接枝改PBT血液滤材研究[D]. 上海:上海交通大学, 2007.
- [45] 刘流, 刘晓岚. 甲壳素、壳聚糖在医药领域的应用[J]. *辽宁化工*, 2001, 30(12):30-34.
- [46] 黄光佛, 卿胜波. 多糖类生物医用材料-甲壳素和壳聚糖的研究及应用[J]. *高分子通报*, 2000, 8(4):25-29.
- [47] 赵维, 李建科. 蚕蛹壳聚糖及其在食品工业应用[J]. *粮食与油脂*, 2010, 23(9):44-47.