

蚕蛹蛋白制备应用与功能特性的研究进展

季晓娇¹, 闫文杰¹, 张婧婕², 韩迪², 任广旭², 王靖^{2*}

1(北京联合大学 生物化学工程学院, 生物活性物质与功能食品北京市重点实验室, 北京, 100023)

2(农业农村部食物与营养发展研究所, 北京, 100081)

摘要 蚕蛹蛋白是一种优质的纯天然全价动物蛋白, 具有抗肿瘤、抗氧化、降血压和抗疲劳等功效, 市场前景广阔。该文对蚕蛹蛋白的营养指数、提取、精制、功能特性及在食品领域的应用进行综述, 以期为蚕蛹蛋白的进一步研究和开发提供参考。

关键词 蚕蛹蛋白; 营养指数; 提取; 精制; 功能特性; 应用

我国是世界桑蚕业的发源地, 至今已达 5 000 千年之久^[1], 占据并保持“养蚕大国”的地位。蚕蛹为蛾科昆虫家蚕蛾的蛹, 其资源丰富, 产量巨大。我国年产家蚕蛹约 30 万 t, 约占全世界总产量的 80%^[2]; 年产柞蚕蛹 4 万 t 以上, 占世界总产量的 90% 以上^[3]; 蚕茧年产量 65 万 t, 占世界总茧量的 70% 以上^[4]。蚕蛹营养价值丰富, 并且具有较高的药用价值。《本草纲目》记载蚕蛹“为末饮服, 治小儿疳瘦, 长肌, 退热, 除蛔虫; 煎汁饮, 止消渴”, 现代医学证明, 蚕蛹具有保护肝脏、延缓衰老、增强免疫力、降血糖、保护视力、提高智力等药理作用^[5-7]。

蚕蛹中富含蛋白质, 占干蛹质量的 45% ~ 50%^[8-9], 且为优质蛋白。研究表明, 蚕蛹蛋白具有增强免疫力、抗氧化、抗菌、抗疲劳等生物活性, 因此, 其在食品领域具有广阔的市场发展前景。本文就蚕蛹的营养指数、提取精制、功能特性及应用进展进行综述, 希望为蚕蛹蛋白的综合利用和后续开发提供参考。

1 蚕蛹蛋白营养指数

蚕蛹蛋白是一种完全蛋白, 其含有配比均衡的 18 种氨基酸, 且 8 种为必需氨基酸。必需氨基酸与非必需氨基酸之比为 0.73, 高于 WHO/FAO 提出的食品中必需氨基酸与非必需氨基酸之比为 0.6 的氨基酸组合模式^[10-11]。蚕蛹蛋白的 18 种氨基酸及其

含量见表 1; 蚕蛹蛋白中必需氨基酸含量与 WHO/FAO 评分模式比较见表 2。

表 1 蚕蛹蛋白的氨基酸含量^[12] 单位: mg/g

Table 1 Amino acid content of silkworm pupa protein

氨基酸	含量	氨基酸	含量	氨基酸	含量
脯氨酸	16.76	色氨酸▲	33.39	精氨酸	50.29
甘氨酸	16.79	异亮氨酸▲	37.94	亮氨酸▲	54.78
蛋氨酸▲	26.30	苯丙氨酸▲	41.16	半胱氨酸▲	63.36
组氨酸	26.39	丙氨酸	43.81	天门冬氨酸	84.07
丝氨酸	30.47	酪氨酸	45.22	谷氨酸	92.00
苏氨酸▲	30.62	缬氨酸▲	48.85	赖氨酸▲	127.10

注: ▲为人体必需氨基酸。

表 2 蚕蛹蛋白中必需氨基酸含量与 WHO/FAO 评分模式比较^[6]

Table 2 Comparison of essential amino acid content in silkworm pupa protein with WHO/FAO scoring model

项目	赖氨酸	缬氨酸	苏氨酸	亮氨酸	异亮氨酸	蛋氨酸 + 半胱氨酸	苯丙氨酸 + 酪氨酸
蚕蛹	46.7	41.0	30.4	55.4	41.1	26.4	74.9
评分模式	55.0	50.0	40.0	70.0	40.0	35.0	60.0
AAS	0.85	0.82	0.76	0.79	1.03	0.75	1.25

注: AAS-氨基酸评分, 为每克蛋白质中必需氨基酸与氨基酸参考值的比值。

由表 1 可知, 必需氨基酸如赖氨酸、亮氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸等在蚕蛹蛋白中的含量相对较高; 由表 2 可知, 蚕蛹蛋白中的苏氨酸以及含硫氨基酸的含量比评分模式稍低, 而苯丙氨酸 + 酪氨酸以及异亮氨酸高于评分模式。除此之外, 其他必须氨基酸的含量接近评分模式。

2 蚕蛹蛋白提取

蚕蛹蛋白不仅是蚕蛹的活性成分, 并且集中表现

第一作者: 季晓娇(硕士研究生)与闫文杰(副教授)为共同第一作者(王靖研究员为通讯作者, E-mail: wangjing07@caas.cn)。
基金项目: 北京市科委首都食品质量安全保障专项重点项目 - 昆虫双蛋白营养食物开发与产业集成示范(Z191100009318015); 国家市场监督管理总局《保健食品原料目录研究专项课题》(ZBW-2018-BJ-07)
收稿日期: 2019-05-30, 改回日期: 2019-06-09

了蚕蛹的营养价值和生理功能。目前,蚕蛹蛋白的提取方法主要有酶水解法、碱水解法、酸水解法、发酵法等。酸水解法可彻底快速地水解蛋白质,且不会引起消旋作用,但后续的酸液会对环境产生污染,水解产物有异味。碱水解法耗时短、损失小、能耗低,但会使L型氨基酸变成D型,且两种水解方法都不存在专一

性。酶法水解过程温和、安全,且价格低廉,原料易取。与其他方法相比,酶水解法条件温和,蚕蛹蛋白的营养价值受损较小,水解过程易于控制,还能对蚕蛹蛋白质进行定位水解而产生特定生理活性肽,并且双酶水解法效果更好,产率更高。具体提取方法的工艺参数及产率见表3。

表 3 蚕蛹蛋白不同提取方法的分析比较

提取方法	工艺参数	产率/%	参考文献
碱催化半干微波法	加 NaOH 溶液静置 6 h;稀 HCl 中和为 pH = 6;70 ℃ 洗涤 3 次	47	[13]
酸水解法	4 mol/L H ₂ SO ₄ 溶液 110 ℃ 回流 24h;55 ~ 60 ℃ 离心 (3 500 ~ 4 000 r/min)15 min;加 Ca(OH) ₂ 调 pH = 10,加活性炭 80 ℃ 水浴脱色 30 min	9.05 (食用复合氨基酸粉) 3.45 (精制复合氨基酸粉)	[14]
酸催化半干微波法	加入 H ₂ SO ₄ 溶液,静置 6 h;微波;加 15% 石灰乳;调至 pH = 5	43.7	[15]
酶水解法	酶解温度 56 ℃;酶解液 pH 7.7;加酶量 3.9% (质量分数);料液比 1:12 (g : mL);酶解时间 2 h	70.61	[16]
双酶水解法	木瓜蛋白酶与纤维素酶反应温度 70 ℃;pH 6.0;反应时间 6 h	60	[17]

另外,吕兴梅等^[18]发明了一种蚕蛹蛋白的制备方法,创新采用离子液体对蚕蛹蛋白进行提取分离,且进行二次提取,将一次得到的蚕蛹蛋白和离子液体混合液通过再生沉淀剂洗脱离子液体得到再生蚕蛹蛋白。与表3中现有技术相比,此法操作简单无污染,避免了传统碱溶酸沉淀法对设备的腐蚀,蛋白纯化度高,且原料廉价易得,实现了蚕蛹蛋白的高效简便生产。

3 蚕蛹蛋白精制

由于蚕蛹油脂含量较高,增加了其蛋白的分离制备难度,并且蚕蛹本身色素以及腥味物质等也限制了其进一步开发与利用,因此制备蚕蛹蛋白的过程必须

要进行脱脂、脱色、除臭等精制处理。

3.1 脱脂

目前,常见的脱脂方法有溶剂浸出法、机械压榨脱脂法和机械离心脱脂法3种。蚕蛹中粗纤维含量很低,导致蚕蛹质地较软,不易压榨,而且机械压榨脱脂法易致蛹壳破碎,产生杂质;机械离心脱脂法的残油率高至8%~12%,资源浪费严重;溶剂浸出法残留油脂则在5%以下,故溶剂浸出法成为最广泛的脱脂方法。对于溶剂浸出法来说,选择合适的浸出溶剂是关键,浸出溶剂必须对蚕蛹中的脂肪有合适并且良好的溶解性,却不能溶解蚕蛹蛋白,并且有适中的沸点,可利用蒸馏去除溶剂。不同溶剂进行的脱脂工艺见表4。

表 4 不同溶剂的蚕蛹脱脂工艺分析比较

溶剂/方法	工艺参数	残油率/%	参考文献
环己烷	含水量为 4.2% 的蚕蛹;固液比 (1:1.6);浸提温度 80 ℃;浸提时间 80 min	2.54 (一级) 0.49 (二级)	[19]
石油醚	液固比 (1:1.2);浸提温度 80 ℃;浸提时间 60 min	10.23 (一级),4.3 (二级), 2.23 (三级),1.23 (四级)	[20]
V (石油醚):V (丙酮)	V (石油醚):V (丙酮) = (1:1);固液比 (1:3);反应温度为 60 ℃;保温时间 2 h	14.9	[21]
正己烷	正己烷用量 5mL/g;脱脂温度 45 ℃;脱脂时间 60 min;连续脱脂 3 次	3.30	[22]
丙酮	固液比 > (2:1);回流 2 h 以上	接近 0	[23]
超临界 CO ₂ 萃取	萃取压力 25 MPa;萃取温度 40 ℃;CO ₂ 体积流量 25 kg/h	18.76	[24]
超临界 CO ₂ 萃取混合分子蒸馏	萃取温度 45 ℃;萃取压力 25 MPa.;萃取时间 3 h;180 ℃ 蒸馏	8.8	[25]

根据表4可知,单组分溶剂和混合溶剂都能达到较为满意的脱脂效果,后续溶剂的毒性及残留问题应着重考虑。另外,钱俊青^[19]证明了在采用极性溶剂的情况下,含水量越低脱脂效果越好,而在非极性溶

剂的情况下,此结论不能类推,需要一个较为精确合适的含水量。

随着研究的不断发展,出现了较传统压榨法和溶剂浸出法更优越的方法。超临界CO₂法对油脂类物

质具有较好的溶解能力,并且工艺简单、操作方便、无溶剂残留、对热敏感性和易挥发性物质具有良好保护作用。分子蒸馏技术存在蒸馏温度和压力低、物料受热时间短、分离程度及产品收率高和分离速度快等优点,被广泛应用于蚕蛹的脱脂工艺。

3.2 脱色

对于蛋白质下游产品的品质来说,外观色泽较为重要。因此,在蚕蛹蛋白精制过程中,脱色尤为必要。

表 5 蚕蛹蛋白不同的脱色工艺分析比较

Table 5 Analysis and comparison of different decolorization processes of silkworm pupa protein

方法(材料)	工艺参数	效果	参考文献
丙酮	固液比 > (2:1);回流 2 h	白色蚕蛹粉	[23]
活性炭	活性炭用量为 5%;温度 50 ℃ 左右;pH 8~9、脱色时间约 30 min	白色蚕蛹蛋白	[27]
碱性 H ₂ O ₂	H ₂ O ₂ 质量分数 14.00%;固液比 1:25;温度 75 ℃;pH 8.50;脱色时间 70 min	浅黄色蚕蛹蛋白 (白度 63.96%)	[28]
酸性乙酸酐法	蚕蛹蛋白:乙酸酐:H ₂ O ₂ = 1:1.25:1.50;温度 ≥80 ℃;时间 ≥30 min;pH 值 9.0~9.5	白色脱色物	[29]

从表 5 可以看出,有机溶剂法脱色效果较好,且操作简单,但对于潜存的 Strecker 反应及 Maillard 反应引起的褐色现象却难以避免;采用活性炭方法简便,易于控制,但目标产物损失较严重;采用 H₂O₂ 氧化法可进行脱色,但影响产物的活性;蛋白质修饰法可以将有色物质进行脱色,效果显著,为后续蚕蛹蛋白的商品化提供了技术支持。

表 6 蚕蛹蛋白的不同除臭方法分析比较

Table 6 Analysis and comparison of different deodorization methods of silkworm pupa protein

方法	工艺流程	优缺点	参考文献
微生物法	0.5%~1% 的红茶菌,进行发酵,然后常温干燥至含水量为 1%~5%	效果明显,菌株繁殖周期短,但微生物培养条件严格(需要规范化操作,严防污染)	[30]
吸附剂法	β-环糊精为吸附剂,利用其分子的疏水腔囊,吸附、络合臭味	灵敏度高、选择性好、样品用量少、操作简便	[27]
蒸馏法	低沸点的醋酸为脱腥剂与其形成易挥发物质,通过蒸馏脱除	方法简单易操作,应用面广	[31]
有机溶剂浸提法	有机溶剂丙酮,采用索氏提取法进行脱臭	操作简单,残留易去除	[23]
综合法	酸性范围,在鲜蛹浆中加入抗氧化剂,防止 Maillard 和 Strecker 反应的发生;提油阶段在全封闭方式、隔绝空气的条件下高效除油,低温、低碱性的蛋白质提取阶段缩短时间降低臭味;以有机溶剂洗脱除去蛋白质中的蛹臭味	蛋白损失小,但工艺复杂、成本较高	[32]
氧化法	用脱脂的蚕蛹,以臭氧脱臭 2h	方法简便,具有良好的潜力	[33]

从表 6 可知,综合法脱臭效果好,但成本高、工艺复杂;微生物法效果明显,但培养条件较严格,须规范操作;蒸馏法、有机溶剂浸提法、氧化法、吸附法操作简单,样品用量少,应用广阔。

3.4 其他工艺

去除蚕蛹表面甲壳对于精制蛋白也是必不可少的,对于下游产品的开发尤为重要。倪红等^[32]采用 4% 的 NaOH,在 100 ℃ 下反应 1 h,实现了蚕蛹蛋白

对于蚕蛹蛋白的呈色,一般认为有 3 种原因,(1)食用桑叶所导致的叶绿素残留,较易去除;(2)蚕蛹体内的花青素在光和热的条件下发生缩聚反应所致;(3)蛋白质在提取加工等过程中发生的 Strecker 反应及 Maillard 反应^[26]。目前,蚕蛹蛋白的脱色方法主要有氧化剂氧化漂白、活性炭吸附法和蛋白质修饰法。具体脱色工艺见表 5。

3.3 脱臭

蚕本身腺体的分泌物以及在贮藏加工过程中产生的水溶性、能会发的酸性成分和胺类等碱性成分以及溶于有机溶剂中的酸、酚、醇、高级烷烃等物质,使蚕蛹具有特殊的臭味。除臭方法主要有有机溶剂浸提法、吸附剂法、蒸馏法、微生物法、氧化法和综合除臭法等。具体脱臭工艺见表 6。

与甲壳的分离。

当蛋白质水解物的分子质量 <6 000 Da 时,则会呈现苦味,其来源为苦味氨基酸和苦味肽。因此,为保证产品口感须除去味苦物质。陈静等^[34]利用质量分数为 3% 的活性炭,消除了酶解液产生的苦味,产生了较好的效果。

4 蚕蛹蛋白功能特性

蚕蛹经提取精制所得的蚕蛹蛋白已被研究证明具有抗肿瘤、抗氧化、降血压和抗疲劳等诸多功效,并且其营养价值与功能特性也逐渐被人们熟知。

4.1 抗疲劳

温红珊等^[35]利用爬杆实验和负重游泳实验观察了昆明小鼠的抗疲劳能力,发现蚕蛹蛋白明显延长了其爬杆时间和游泳时间,且生化指标结果表明,蚕蛹蛋白增加了小鼠体内肌糖原和肝糖原的含量,降低了运动过程产生的血清尿素氮以及血乳酸的含量,证明蚕蛹蛋白具有良好的抗疲劳作用。张丽萍等^[36]通过人体的抗疲劳试验发现,食用蚕蛹蛋白可升高最大耗氧量值,明显增加机体运动耐力,降低血乳酸,从而增加受试者的抗疲劳能力。周思敏等^[37]研究表明,蚕蛹蛋白可降低血乳酸含量,延长小鼠力竭游泳时间并提高肝糖原含量。

4.2 降血压

赵钟兴等^[38]研究发现,以体外血管紧张素转换酶(ACE)的抑制率作为降低血压的指标,通过碱性蛋白酶对蚕蛹蛋白进行酶解,其酶解产物对ACE的抑制率可达50.30%。证明蚕蛹蛋白具有降低血压的功效。路福平等^[39]通过对大鼠血清中ACE活性、一氧化氮合酶(NOS)活性、一氧化氮(NO)含量及内皮素(endothelin,ET)含量的研究发现,蚕蛹蛋白可以抑制ACE、NOS的活性,降低NO和ET的含量,证明了其降血压的作用。

4.3 抗氧化

肖燕平等^[40]研究发现,以苦基苯肼(DPPH)自由基清除率为指标,蚕蛹蛋白在pH 7.50、温度30℃、3.50%碱性蛋白酶、酶解20 min的条件下,分子质量≤5 ku蛋白组分抗氧化能力最强,DPPH自由基清除率可达79.90%。周菊香等^[41]通过动物喂养实验,对小鼠血清胆固醇、丙二醛(MDA)及超氧化物歧化酶(SOD)活力等生理指标进行检测,发现多肽+高胆固醇组与空白组相比,SOD酶活力显著升高,且降低了MDA水平;与高胆固醇组相比,血清胆固醇水平存在明显差异,证明了蚕蛹蛋白在抗氧化方面的作用。

4.4 抗肿瘤

胡德聪等^[42]以人肝癌细胞株SMMC-7721为模型,用MTT比色法分析发现蚕蛹多肽溶液对癌细胞具有明显抑制作用。闫琦涛等^[43]通过对人肺腺癌株

(A549)、肾癌株(Ketr-3)的研究发现,蚕蛹多肽溶液存在对肺癌细胞和肾癌细胞的周期特异性,可以损伤癌细胞DNA,降低癌细胞存活率,并且肿瘤细胞总蛋白的含量随着蚕蛹多肽溶液浓度的增加而降低($P < 0.01$),明显延长了EAC(艾氏腹水癌细胞)小鼠的生存时间,此结果充分表明了蚕蛹多肽蛋白存在明显的抗肿瘤作用。

4.5 抗菌

HARA等^[44]从家蚕中分离出一种新型抗菌肽-moricin,通过化学合成morcin基因并插入到2个表达载体pXa1和pMAL-c2中,研究结果表明,人工重组morcin与天然morcin的结构和分子质量相同,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌活性相当。罗富英等^[45]采用蚕蛹抗菌肽作为防腐液处理鲜猪肉,结果表明抗菌肽质量分数在0.05%时,对乳酸菌、微球菌、葡萄球菌的抑菌效果分别为89.0%、94.3%、98.9%,并且经蚕蛹抗菌肽进行防腐处理的鲜猪肉在室温中可贮存7d,是比较理想、安全的抗菌物质。

4.6 增强免疫力

刘隽彦等^[46]通过对免疫力低下小鼠的试验结果表明,蚕蛹多肽可显著提高其外周血细胞数量和免疫器官质量,促进B、T淋巴细胞的增殖。证明蚕蛹蛋白具有增强免疫力的功效。卢楠等^[47]研究表明,柞蚕蛹蛋白多肽显著调节了衰老小鼠的血液免疫细胞数和免疫器官指数,可提高小鼠的外周血白细胞数、脾指数和胸腺指数,缓解小鼠免疫低下状况,证明蚕蛹蛋白可增强免疫力、提高对外界的抵御能力。

5 蚕蛹蛋白在食品中应用

蚕蛹中含有生物活性物质,主要包括激素、抗菌肽及溶菌酶等,但蚕蛹中不含任何性激素^[48],而这一特点正是保健食品所需。蚕蛹蛋白富含氨基酸,可作为营养物质添加应用于面包、饼干等植物性食品中,改善其营养结构^[49]。蚕蛹本身存在机体营养补充、促进生长发育和提高人体免疫力等功能^[50-51],是一种较为受欢迎的食品原料,并且蚕蛹是卫生部批准的“作为普通食品管理的食品新资源名单”中唯一一个昆虫类食品。

近年来,随着对蚕蛹蛋白的深入研究,以蚕蛹蛋白活性成分作为食品原料的产品层出不穷。以蚕蛹蛋白氨基酸为原料的产品专利见表7,以蚕蛹水解氨基酸为原料的保健食品见表8。

表 7 以蚕蛹氨基酸为原料的产品专利表

Table 7 Patent table of products using silkworm pupa amino acid as raw material

专利名称	主要成分	公告号	参考文献
一种蚕蛹氨基酸降暑饮料及其制备方法	蚕蛹氨基酸、白糖、山梨醇、金银花、山楂、核桃油、牛油果、石斛、芹菜、柚子、蔓越莓、柠檬酸、Vc	CN106490418A	[52]
红球藻糖果片及其制备方法	雨生红球藻粉、蚕蛹氨基酸、硬脂酸镁、SiO ₂ 糊精、辅料	CN105918591A	[53]
一种牡蛎肽饮品	牡蛎肽、鱼胶原蛋白肽、蚕蛹氨基酸、人参提取液、低聚异麦芽糖、葡萄糖酸锌、白砂糖	CN105412911A	[54]
一种昆虫饮料	石榴浓缩汁、浓缩苹果清汁、蓝莓浓缩汁、红树莓浓缩汁、蔓越莓浓缩汁、紫胡萝卜汁、蚕蛹氨基酸粉、鱼胶原蛋白肽、蜂蜜味香精、森林果香精、水	CN108936106A	[55]
昆虫饮料	白砂糖、炒薏仁粒、滑燕麦米、蚕蛹氨基酸粉、鱼胶原蛋白肽、燕麦粉、薏米粉、果胶、水	CN108887543A	[56]

表 8 以蚕蛹氨基酸为原料的保健食品名称

Table 8 Patent table of products using silkworm pupa amino acid as raw material

产品名称	主要原料	保健功能	批准文号
氨基酸胶囊	蚕蛹水解氨基酸粉、淀粉、硬脂酸镁	增强免疫力	国食健字 G20160165
凯镛 R 氨基酸口服液	蚕蛹氨基酸粉、大豆氨基酸粉、甜橙香精、柠檬酸、山梨酸钾、甜菊素、纯化水	增强免疫力	国食健字 G20090045
瑞年牌氨基酸口服液	蚕蛹复合氨基酸粉、木糖醇、倍他环糊精、柠檬酸、焦糖色素、山梨酸钾、草莓香精、纯化水	增强免疫力	国食健字 G0090168
瑞年 R 螺旋藻氨基酸胶囊	螺旋藻粉、蚕蛹复合氨基酸粉、硬脂酸镁	增强免疫力	国食健字 G20140776
黄金牌氨基酸加锌口服液	蚕蛹复合氨基酸、葡萄糖酸锌、木糖醇、倍他环糊精、山梨酸钾、纯化水	增强免疫力	国食健字 G20060390
蚕蛹氨基酸片	蚕蛹复合氨基酸、麦芽糊精、玉米淀粉、蔗糖、CaCO ₃ 、硬脂酸镁、羟丙甲纤维素、三乙酸甘油酯、聚山梨酯 80、聚乙烯吡咯烷酮、聚乙二醇	增强免疫力	国食健字 G20120028
纽斯康牌氨基酸片	蚕蛹复合氨基酸、淀粉、糊精、微晶纤维素、SiO ₂ 、硬脂酸镁、乙烯醇、滑石粉、聚乙二醇、吐温 80	增强免疫力	国食健字 G20100583
聪尔壮牌铁锌钙杞芪氨基酸口服液	葡萄糖酸钙、醋酸钙、葡萄糖酸锌、葡萄糖酸亚铁、复合氨基酸(蚕蛹水解物)、枸杞子、黄芪、蔗糖、蜂蜜、柠檬酸、阿斯巴甜(含苯丙氨酸)	增强免疫力	国食健字 G20060419
万基牌多维氨基酸口服液	蚕蛹蛋白水解氨基酸、VB ₁ 、VB ₂ 、VB ₆ 、VB ₁₂ 、牛磺酸、枸杞子、冰糖	免疫调节	卫食健字(2002)第 0428 号
十八宝胶囊	灵芝、枸杞子、金樱子、淫羊藿、五味子、杜仲、补骨脂、牛磺酸肌醇、蚕蛹氨基酸、VB ₆ 等	抗疲劳	卫食健字(1999)第 0481 号
生宝养生液	山楂、大枣、枸杞子、酸枣仁、蚕蛹复合氨基酸、速溶珍珠粉、葡萄糖酸锌、蔗糖、柠檬酸、山梨酸钾	延缓衰老	卫食健字(1999)第 138 号

6 结论

我国蚕蛹资源丰富,蚕蛹蛋白含量高,氨基酸种类丰富,且平衡性好,是一种极具经济价值和开发价值的自然资源。目前,国内外已经对蚕蛹蛋白进行了大量研究,但大部分都集中在实验室阶段,未形成大的产业化模式,工业化产品较少。作为一种优质的生物蛋白资源,蚕蛹蛋白具有抗肿瘤、抗氧化、提高机体免疫力等诸多功效,市场发展前景广阔。因此,应加快蚕蛹蛋白分离纯化技术的研究,切实解决其生产加工问题,注重开发高附加值产品,以求获得良好的经济效益和社会效益。

参 考 文 献

[1] ZOU Y X, LIAO S T, LIU F, et al. Potential medicinal and nutritional resources from the sericultural ondustry[J]. Med Chem, 2014, 4: 784 – 783.

[2] 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.

[3] 吕继业, 李金志. 柞蚕资源综合利用研究进展及市场前景展望[J]. 中国蚕业, 2008, 29(2): 4 – 10.

[4] YANG R, ZHAO X, KUANG Z, et al. Optimization of antioxidant peptide production in the hydrolysis of silkworm (*Bombyx mori* L.) pupa protein using response surface

- methodology[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2013, 11(1): 952-956.
- [5] 张燕, 陈业高, 海丽娜, 等. 蚕蛹氨基酸成分及其营养价值[J]. 云南化工, 2002, 29(6): 22-23.
 - [6] 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.
 - [7] 王彦平, 刘洁, 吴予明, 等. 蚕蛹的营养成分分析[J]. 郑州大学学报(医学版), 2009, 44(3): 638-641.
 - [8] MAITI R K, OCEJIO A P, MASTRETA P. Note on edible insects as protein source in underdeveloped countries[J]. Proceedings of the Zoological Society (Calcutta), 2001, 54(2): 43-46.
 - [9] 钱俊青. 蚕蛹的化学成份及其利用[J]. 食品工业, 1997(5): 42-43.
 - [10] 赵钟兴, 秦伟佳, 孙建华, 等. 响应面法优化蚕蛹粕酸水解制备复合氨基酸工艺[J]. 大众科技, 2012, 14(6): 131-133.
 - [11] 李国荣, 张华峰, 李建科, 等. 蚕蛋白质资源的研究现状及其在食品工业中的应用[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 396-401.
 - [12] 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.
 - [13] 陈光全, 蒋先明, 卢汝梅. 碱催化半干微波法水解蚕蛹蛋白质的研究[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 1995, 13(4): 45-48.
 - [14] 徐彭, 刘建华. 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(4): 9-11.
 - [15] 卢汝梅, 蒋先明. 酸催化半干微波法水解蚕蛹蛋白的研究[J]. 天然产物研究与开发, 1998, 10(2): 71-74.
 - [16] 周爱梅, 彭凯文, 张桂珍, 等. 酶解蚕蛹蛋白及其应用研究[J]. 现代食品科技, 1995(2): 11-14.
 - [17] 王金华, 李冬生, 夏服宝. 纤维素酶对蚕蛹蛋白酶解的促进作用[J]. 食品科学, 2003, 24(7): 101-104.
 - [18] 吕兴梅, 张文, 贾彩, 等. 一种使用离子液体提取分离蚕蛹中蚕蛹蛋白的方法: 中国, CN201510847769.1[P]. 2016-02-24.
 - [19] 钱俊青. 蚕蛹油脂提取的研究[J]. 浙江工业大学学报, 1996, 24(2): 166-171.
 - [20] 徐胜华, 吴建一. 浸出法脱蚕蛹油脂和蚕蛹蛋白的提取[J]. 嘉兴学院学报, 2002, 14(S1): 118-122.
 - [21] 张迎庆, 余东霞, 钟晓凌, 等. 溶剂萃取法提取蚕蛹油研究[J]. 现代商贸工业, 2003(8): 47-49.
 - [22] 马林林. 蚕蛹蛋白的提取与阳离子化改性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
 - [23] 郑仕远, 谢志刚, 曹优明, 等. 蚕蛹的溶剂法一步脱脂、脱色、除臭工艺研究[J]. 食品科技, 2003(8): 49-50; 62.
 - [24] 魏文毅, 孙益娜, 管健. 超临界 CO₂ 流体萃取蚕蛹油脂研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(5): 77-80.
 - [25] 夏春雨, 孙巍, 刘学铭, 等. 超临界 CO₂ 萃取及分子蒸馏技术提取缫丝蚕蛹油[J]. 广东蚕业, 2008, 42(4): 29-32.
 - [26] 穆利霞, 廖森泰, 肖更生, 等. 蚕蛹蛋白综合利用研究进展[J]. 广东农业科学, 2011, 38(23): 106-109.
 - [27] 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: 自然科学版, 1995, 15(1): 67-70.
 - [28] 朱新鹏, 蔡晓华, 谢香洁, 等. 蚕蛹蛋白脱色精制工艺研究[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(4): 13-16.
 - [29] 周小华, 汤正延. 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, 2002, 14(3): 30-35.
 - [30] 周时庆, 刘再茂, 陆昌存, 等. 蚕蛹蛋白臭味的去除方法: 中国, CN201611142014.2[P]. 2017-04-26.
 - [31] 钱俊青. 脱脂蚕蛹粉的汽提除腥工艺研究[J]. 氨基酸和生物资源, 2002, 24(1): 15-16.
 - [32] 倪红, 陈怀新, 杨艳燕. 柞蚕蛹综合利用技术[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2003, 25(3): 263-266.
 - [33] 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.
 - [34] 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.
 - [35] 温红珊, 昌友权, 曹柏营. 蚕蛹蛋白多肽抗疲劳作用的实验研究[J]. 食品科学, 2009, 30(19): 291-293.
 - [36] 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.
 - [37] 周思敏, 王锐军, 张钢, 等. 蚕蛹蛋白对模拟高原环境下小鼠的抗疲劳作用[J]. 现代预防医学, 2012, 39(6): 1497-1498.
 - [38] 赵钟兴, 廖丹葵, 孙建华, 等. 蚕蛹蛋白酶解产物体外抗氧化和降血压活性筛选及响应面工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 186-191.
 - [39] 路福平, 钱磊, 鄂旭, 等. 蚕蛹多肽 ACE 抑制活性的研究[C]. 全国生化与生物技术药物学术年会. 2007.
 - [40] 肖燕平, 黄培霞, 董烨平, 等. 蚕蛹蛋白抗氧化肽的制备及其纯化[J]. 农产品加工(学刊), 2011(3): 11-13.
 - [41] 周菊香, 熊燕飞. 蚕蛹多肽保健功能的研究[J]. 武汉市职工医学院学报, 2001, 29(3): 4-5.
 - [42] 胡德聪, 刘琼, 王红, 等. 富硒蚕蛹氨基酸诱导人肝癌细胞 SMMC-772 凋亡的研究[J]. 中国药理学通报, 2004, 20(11): 1287-1292.
 - [43] 闫琦涛, 曹柏营, 昌友权. 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.

- [44] HARA S, YAMAKAWA M. Production in *Escherichia coli* of moricin, a novel type antibacterial peptide from the silkworm, *Bombyx mori* [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 1996, 220(3): 664 – 669.
- [45] 罗富英, 宁学林, 吴桂枝, 等. 天然蚕蛹抗菌肽对鲜猪肉的防腐抑菌效果研究 [J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 117 – 118.
- [46] 刘隽彦, 陶秋萍, 孙继红, 等. 柞蚕蛹多肽溶液对小鼠免疫影响的研究 [J]. 北方蚕业, 2010, 31(2): 10 – 12.
- [47] 卢楠, 毛恺, 廖鲜艳, 等. 蚕蛹多肽提高 *D*-半乳糖致衰老小鼠的抗氧化及免疫能力 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(12): 331 – 334.
- [48] 张恭勤, 施鼎方, 黄令玲, 等. 蚕蛹蛋白粉用于儿童食品的研究—蚕蛹蛋白粉对幼鼠性发育的影响 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 1993, 21(2): 249–254.
- [49] 熊燕飞, 陈怀新. 蚕蛹的综合利用 [J]. 天然产物研究与开发, 1999, 11(1): 82 – 86.
- [50] NG T B, WANG H X. Pharmacological actions of Cordyceps, a prized folk medicine [J]. J Pharm Pharmacol, 2005, 57(12): 1 509 – 1 519.
- [51] ZHOU X, GONG Z, SU Y, et al. Cordyceps fungi: natural products, pharmacological functions and developmental products [J]. Journal of Pharmacy & Pharmacology, 2010, 61(3): 279 – 291.
- [52] 汪屹. 一种蚕蛹氨基酸降暑饮料及其制备方法: 中国, CN201611052728.4 [P]. 2017-03 – 15.
- [53] 张露引. 红球藻糖果片及其制备方法: 中国, CN201610321135.7 [P]. 2016-09 – 07.
- [54] 朱红, 杜勇, 李冉冉, 等. 一种牡蛎肽饮品: 中国, CN201510881318.X [P]. 2016-03 – 23.
- [55] 万子路. 一种昆虫饮料: 中国, CN201810647809.1 [P]. 2018 – 12 – 07.
- [56] 万子路. 昆虫饮料: 中国, CN201810647771.8 [P]. 2018 – 11 – 27.

Preparation, application and functional properties of silkworm pupa protein: A review

JI Xiaojiao¹, YAN Wenjie¹, ZHANG Jingjie², HAN Di²,
REN Guangxu², WANG Jing^{2*}

¹(Beijing Key Laboratory of Bioactive Substances and Functional Food, College of Biochemistry and Engineering, Beijing Union University, Beijing 100023, China)

²(Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China)

ABSTRACT Silkworm pupa protein is a high-quality natural nutritious animal protein with a broad market prospect, due to its properties of anti-tumor, anti-oxidation, blood pressure-lowering and anti-fatigue. The nutrient index, extraction, refining, and functional properties of silkworm pupa protein, as well as its applications in foods were summarized. This review provides some references for further researches and development of silkworm pupa protein.

Key words silkworm pupa protein; nutrient index; extraction; refining; functional properties; application