

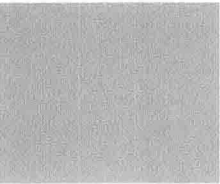
李伟 佟长青 金桥 曲敏 编著



牡蛎加工理论与技术

Theory and Technology of Oyster Processing

辽宁科学技术出版社



牡蛎加工 理论与技术

Theory and Technology of Oyster Processing

李 伟 佟长青 金 桥 曲 敏 编著

辽宁科学技术出版社
沈 阳

图书在版编目(CIP)数据

牡蛎加工理论与技术 / 李伟等编著. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2019.1

ISBN 978-7-5591-1016-9

I. ①牡… II. ①李… III. ①牡蛎科—食品加工 IV. ①TS254

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第259375号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路25号 邮编: 110003)

印刷者: 辽宁鼎籍数码科技有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 170 mm × 240 mm

印 张: 7.25

字 数: 120 千字

出版时间: 2019年1月第1版

印刷时间: 2019年1月第1次印刷

责任编辑: 陈广鹏

封面设计: 顾 娜

责任校对: 王春茹

书 号: ISBN 978-7-5591-1016-9

定 价: 32.00元

联系电话: 024-23280036

邮购热线: 024-23284502

http: //www.lnkj.com.cn

序言

preface

我国是拥有 300 万平方千米主张管辖海域, 1.8 万千米大陆海岸线的海洋大国。党的十九大报告中明确提出“坚持陆海统筹, 加快建设海洋强国”的海洋强国战略。如何壮大海洋经济、加强海洋资源环境保护、维护海洋权益事关国家安全和长远发展, 是助力海洋强国建设的关键。其中海洋资源的可持续利用是认知海洋、开发海洋、保护海洋的重要环节。而海洋生物加工和制品的开发与利用, 是海洋生物资源利用的主要形式, 也是海洋水产产业升级、产业链延长的必然发展趋势。

牡蛎作为海珍品, 肉味鲜美, 含有丰富蛋白质、脂肪和多糖, 可以鲜食或烹食, 也可加工制成蚝豉或蚝油等。因有独特的功效, 牡蛎在中药古籍中多有记载, 入药具有收敛、镇静、解毒、镇痛的作用。在化学组成方面, 牡蛎含有不饱和脂肪酸、多糖、牛磺酸、10 种必需氨基酸、谷胱甘肽、维生素及微量元素等, 其中所含的氨基酸、肽及多糖含量丰富, 是迄今为止所发现有效成分含量较高的海洋物种之一。基于牡蛎的特殊功效及其独特的化学组成, 围绕牡蛎加工与牡蛎功能成分提取的研究与报道较多, 但是将牡蛎功能成分从提取到加工成品的完整过程编写成书的情况仍属稀有。

本书作者在其团队研发的基础上, 并结合相关文献报道, 重点围绕牡蛎多糖等的提取与分离、多糖结构分析、药理活性表征、毒理学测试及其功能食品的加工等进行了系统、详细的阐述。同时, 在本书对牡蛎氨基酸、多肽、不饱和脂肪酸等的加工方法与技术也进行了综述, 使牡蛎加工的内容更加丰富。本书内容涉及的方法与技术为牡蛎活性成分的开发与利用提供了较好的参考与借鉴。

当前, 海洋生物加工已从传统的食品加工向功能成分提取与加工跨越, 其中涉及了化学、化工、生物化学、药学、临床等多个学科领域, 在此过程中, 会面临众多的科学问题与技术瓶颈。本书必将对牡蛎等海洋生物资源的

产品研发, 海洋生物加工技术创新, 海洋生物资源开发利用产业提供借鉴与思路。

大连海洋大学海洋科技与环境学院



前言

preface

从 2007 年陈岚同学与毛首蕾同学的本科毕业论文《牡蛎多糖提取工艺的研究》以及《牡蛎多糖面霜的研制》算起，我们研究牡蛎已有 10 余年的历史了。2014 年承担的国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目“牡蛎多糖产品研发及产业化生产关键技术研究示范”（任务编号 201405017-03），使我们对牡蛎多糖的研究上了一个新台阶。2017 年 12 月，我们承担的国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目进入收尾阶段，因此，我们觉得很有必要将在这一项目执行过程中所取得的经验做一下总结，以期为后续的牡蛎多糖产业化提供有益的借鉴。在项目执行过程中，我们先后完成了牡蛎多糖的提取技术工艺的研究，研究了牡蛎多糖膜分离提取的条件，制定了牡蛎多糖工艺流程，完成了牡蛎多糖中试规模制备生产试运行、工艺稳定性研究，制定了牡蛎多糖产品标准，完成了牡蛎多糖中试规模试运行，进行了牡蛎多糖肝保护作用、降血糖作用、抗衰老作用等作用的研究，进行了牡蛎多糖急性毒性、三项遗传实验、28 天喂养等实验，形成了 4 项企业技术标准以及制定 1 项地方标准。在这些研究中，我们尽可能贴近生产实际，形成可行的牡蛎多糖制备关键技术。

在执行国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目过程中，马慧慧、石璇、蔡成呈、董毓卿、李欣遥、郑亚旭、王炫文、赵冠华、侯喜龙以及丁佳玉等 10 名硕士进行了牡蛎多糖的研究，发表了 21 篇相关研究论文，申报了 4 项发明专利，其中 2 项获得了授权。新的研究成果还在不断出现。通过对牡蛎多糖研究过程中取得的结果与经验进行归纳总结，可以使牡蛎多糖在食品、保健食品以及药品领域中有更多的应用。另外，我们还要特别感谢厦门市海洋与渔业局、国家海洋局第三海洋研究所洪专研究员在牡蛎多糖研究方面给予的支持，大连海洋大学科技处副处长苏延明教授在牡蛎多糖标准制定方面提供的建议和帮助，威海市宇王集团海洋生物工程有限公司白义化总经理在牡蛎多糖产业化方面以及上海中科新生命生物科技有限公司尚利明先

生在牡蛎多糖机制研究方面的支持，没有这些支持不可能将本书顺利出版发行。

本书仅就结合我们自己的研究工作及相关的文献资料编写而成，难免挂一漏万，有些观点和看法也只是管窥之见。书中之不足，还请同仁批评指正。

大连海洋大学食品科学与工程学院 李 伟

2018 年 4 月

目录

1 牡蛎简介	1
1.1 牡蛎的形态特征	1
1.2 牡蛎的化学成分	2
1.2.1 蛋白质和氨基酸	2
1.2.2 脂类成分	3
1.2.3 多糖	4
1.2.4 维生素与类胡萝卜素	6
1.2.5 无机盐与微量元素	6
2 牡蛎的药用价值	11
2.1 临床中医药中的应用	11
2.2 保健食品中的应用	12
3 牡蛎加工利用现状	15
3.1 牡蛎食品	15
3.2 牡蛎氨基酸及肽的加工	15
3.3 牡蛎多糖的加工	16
3.3.1 牡蛎多糖加工工艺	16
3.3.2 牡蛎多糖结构	32
3.3.3 牡蛎多糖抗氧化活性	42
3.3.4 牡蛎多糖对小鼠肝损伤的保护作用	45
3.3.5 牡蛎多糖抑制ACE作用及降血压作用	48
3.3.6 牡蛎多糖抗衰老作用	50
3.3.7 牡蛎多糖降血糖作用研究	56
3.3.8 牡蛎多糖安全性毒理学	63

3.3.9 牡蛎多糖果醋制备研究	72
3.3.10 牡蛎多糖啤酒的研制	83
3.3.11 牡蛎寡糖发酵饮料	90
3.3.12 牡蛎多糖牙膏	93
3.4 牡蛎牛磺酸	94
3.5 牡蛎壳的加工	95
后 记	103
附 录	104

1 牡蛎简介

牡蛎是世界上第一大养殖贝类,在世界范围内已发现的牡蛎品种有 100 种左右,牡蛎也是我国重要海洋养殖贝类。在我国沿海分布的牡蛎有 20 多种,主要有近江牡蛎 (*Crassostrea Rivularis*)、褶牡蛎 (*Crassostrea plicatula* Gmeline)、大连湾牡蛎 (*Crassostrea talienwhanensis*)、花缘牡蛎 (*Ostrea circumpecta*)、太平洋牡蛎 (长牡蛎) (*Crassostrea gigas*) 及密鳞牡蛎 (*Ostrea denselamellosa*)^[1]。牡蛎常固着栖息于低潮线以下以及 10 ~ 20m 深的浅海岩石上。山东、浙江、福建、广东以及广西是我国重要的牡蛎养殖区。

牡蛎在我国具有悠久的养殖和食用历史。很久以前人们就认识到了牡蛎的营养和药用价值。李时珍在《本草纲目》中记载牡蛎壳:“咸、平、微寒、无毒,主治伤寒寒热,温疟洒洒,惊恙怒气,除拘缓鼠痿,女子带下赤白。久服,强骨节,杀邪鬼,延年。除留热在关节营卫,虚热去来不定,烦满心痛气结,止汗止渴,除老血,疗泄精,涩大小肠,止大小便,治喉痹咳嗽,心胁下痞热。”而牡蛎肉则:“甘、温、无毒。煮食,治虚损,调中,解丹毒,妇人血气。以姜、醋生食,治丹毒,酒后烦热,止渴。炙食甚美,令人细肌肤,美颜色。”牡蛎含有 45%~47% 的蛋白质,7%~11% 的脂肪,19%~38% 的多糖,还含有多种维生素、牛磺酸以及微量元素^[2]。

牡蛎的消费方式和水平随着经济发展逐渐提高。在广东、福建、江苏、浙江、上海、辽宁、山东、北京等地都有牡蛎的消费市场。其消费途径主要是作为宾馆、饭店和家庭的食材。目前,也出现了一些牡蛎的深加工产品,如市场上常见的以牡蛎肉加工的胶囊、饮品、片剂。但总体上来讲,牡蛎深加工还不多,需要进一步深入研究与开发。

1.1 牡蛎的形态特征

牡蛎 (oyster) 是属于软体动物门、瓣鳃纲、牡蛎科 (*Ostreidae*, 真牡蛎) 或燕蛤科 (*Aviculidae*, 珍珠牡蛎) 的双壳类软体动物,又名蚝、海蛎子、蛎黄、蛎蛤或牡蛤 (图 1-1)^[3]。



图 1-1 牡蛎

太平洋牡蛎具有左右两个贝壳，以韧带和闭壳肌等相连，左壳凹，大而厚，能用来附着他物，壳表面有较多放射肋，清楚可数，右壳较小而平，表面有多层同心环状的鳞片，没有显著的放射肋^[4]。牡蛎内部主要构造包括壳、闭壳肌、鳃和外套膜，除壳以外的部分构成了牡蛎的整个软体组织，是食用和加工的主要部位（图1-2）。

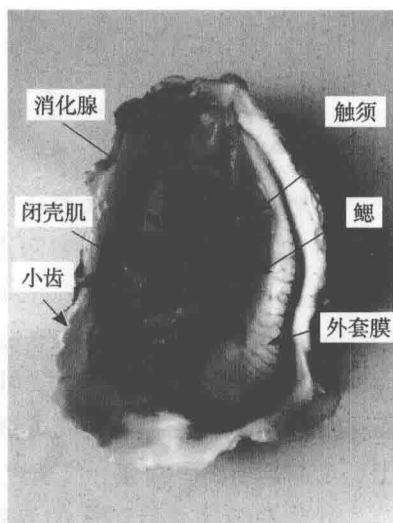


图 1-2 牡蛎构造

1.2 牡蛎的化学成分

牡蛎因肉质鲜美可口而备受人们的喜爱。牡蛎含有丰富的蛋白质，因此，又有“海里的牛奶”之称。除此之外，牡蛎肉还含有丰富的多糖、维生素、复合磷脂与二十二碳六烯酸（DHA）和二十碳五烯酸（EPA）等不饱和脂肪酸以及微量元素等营养成分^[5]。Dridi 等的研究表明，牡蛎中的化学成分组成随着其生长周期及环境条件的变化而发生改变^[6]。

1.2.1 蛋白质和氨基酸

研究表明，干牡蛎肉含蛋白质 50% 左右，为氨基酸组成完善的优质蛋白质。张晶晶等对湛江产的牡蛎进行了蛋白质分析发现，水溶性蛋白、盐溶性蛋白以及不溶性蛋白分别占总蛋白的 37.79%、31.10% 以及 26.44%，这 3 种蛋白的氨基酸组成中谷氨酸含量最高，其次为天冬氨酸，牡蛎蛋白中支链氨基酸含量也较高^[7]。通过 SDS-PAGE 研究表明，水溶性蛋白分布在 14~200kDa 之间，盐溶性蛋白分布在 10~200kDa 之间，不溶性蛋白的分子量分布在 29~200kDa 之间^[8]。郑惠娜等以湛江产的牡蛎全脏器为原料，利用 pH 调节法制备出牡蛎蛋白，发现其含有的必需氨基酸含量丰富，占 42.36%，风味氨基酸与支链氨基酸含量也较高，其蛋白质主要由肌球蛋白、肌动蛋白与副肌球蛋白等组成^[8]。Itoh 等利用分子生物学的方法，在太平洋牡蛎中发现了 2 种 β -葡聚糖结合蛋白 Cg- β GBP-1 和 Cg- β GBP-2，其中 Cg- β GBP-1 含有 555 个氨基酸残基并具有 2 个可能的整合素识别位点，而 Cg-

β GBP-2 含有 447 个氨基酸残基, 不含有整合素结合位点^[9]。He 等在香港牡蛎 (*Crassostrea hongkongensis*) 发现了一种唾液酸特异性的具有抗菌活性的糖结合蛋白 (凝集素), 含有 156 个氨基酸残基^[10]。

通过酶解等手段, 可以从牡蛎蛋白中获得种类及生物功能各异的肽类活性物质。如 Achour 等从牡蛎中发现的具有潜在 IL-2 作用的肽^[11]。Liu 等利用碱性蛋白酶和菠萝蛋白酶从牡蛎蛋白质中获得了富含半胱氨酸的抗菌肽, 该抗菌肽对革兰阳性菌、革兰阴性菌以及真菌都有较好的抑制作用, IC_{50} 值从 18.6 到 48.2 μ g/ml^[12]。

牡蛎中还存在大量的牛磺酸 (二氨基乙磺酸), 鲜牡蛎中牛磺酸含量可达 8 g/kg^[13]。高加龙等对南海不同产地的近江牡蛎中牛磺酸含量进行了检测, 发现汕头、汕尾、深圳、台山的牡蛎中牛磺酸含量 (干基) 在 12.55 ~ 13.82mg/g 之间, 而湛江、钦州、北海、阳江的牡蛎中牛磺酸含量 (干基) 在 16.81 ~ 19.83mg/g 之间^[14]。

牡蛎壳中也含有少量的蛋白质。邵江娟等从牡蛎壳中分离出了寡肽物质, 该寡肽物质具有很好的抗氧化活性^[15]。唐小华与宋文东分析了牡蛎壳中的氨基酸组成, 发现牡蛎壳中含有天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸等 16 种氨基酸^[16]。

1.2.2 脂类成分

贝类中脂类成分相对于其他水产品来讲含量较低, 但多为具有生理活性的复合磷脂、磷酸肌醇、二十碳五烯酸 (EPA) 以及二十二碳六烯酸 (DHA) 等^[17]。刘书成等对近江牡蛎的脂类成分进行了分析, 发现其粗脂肪含量在 1% 左右, 1g 牡蛎肉中胆固醇为 0.07mg、磷脂为 1.77mg, 在牡蛎中检测到的饱和脂肪酸主要有 C14: 0、C16: 0、C17: 0、C18: 0, 占脂肪酸总量的 34%, 单不饱和脂肪酸主要有 C16: 1、C18: 1、C20: 1, 占脂肪酸总量的 12%, 多不饱和脂肪酸主要有 C20: 3、C20: 5 (EPA)、C22: 2、C22: 5 (DHA), 占脂肪酸总量的 45%, 其中 EPA 与 DHA 的含量达到 14.6%^[18]。林洪等研究了褶牡蛎的磷脂组成, 发现 6 种常见的磷脂在牡蛎中均有发现, 心磷脂 (Cardiolipin CL)、磷脂酰肌醇 (Phosphatidyl inositol, PI)、磷脂酰丝氨酸 (Phosphatidyl sersine, PS)、磷脂酰乙醇胺 (Phosphatidyl ethanolamine, PE)、磷脂酰胆碱 (Phosphatidyl choline, PC)、溶血磷脂酰胆碱 (Lyso-phosphatidyl

choline, LPC) 含量分别为 13.0、35.0、7.5、136.0、144.5、37mg/g, 褶牡蛎的 EPA+DHA 为 20.07%^[19]。刘程惠等利用超临界 CO₂ 萃取大连湾产的牡蛎中的 DHA、EPA 及 γ -亚麻酸 (γ -Linoleic acid, GLA), 发现采用夹带剂乙醇、夹带剂用量百分比为 25%、萃取压力为 20MPa、萃取温度为 35℃、萃取时间 120min、收集压力 30MPa 以及收集温度 50℃的条件下, 牡蛎干粉提油率为 8.14%, DHA、EPA 及 GLA 提取率达到 22.26mg/g^[20]。劳邦盛等发现存放过程中牡蛎中所含有的脂肪酸稳定性与其不饱和度有关, 在放置 90 天以后, 牡蛎中所含有的 EPA 及 DHA 质量分数分别由 16.94%、9.25% 降至 5.43%、2.86%^[21]。佟蕾等利用超临界 CO₂ 萃取及气相色谱-质谱分析了大连湾牡蛎 (*Crassostrea talienwhanensis*) 脂质, 发现了其脂质中分别含有 (22Z)-26, 27-二降-麦角甾-5, 22-二烯-3 β 醇、胆甾-5, 22-二烯-3 β 醇、胆甾醇、胆甾烷醇、(22E, 24S)-麦角甾-5, 22-二烯-3 β 醇、麦角甾-5, 22-二烯-3 β 醇、豆甾醇、22, 23-二氢-豆甾醇、豆甾烷醇、岩藻甾醇的质量百分数为 1.9%、4.4%、39.4%、4.9%、16.1%、13.3%、0.9%、12.2%、0.7%、6.4%^[22]。Pennarun 等研究发现太平洋牡蛎中脂肪酸组成与牡蛎摄食的两种微藻 *Skeletonema costatum* 及 *Tahitian isochrysis* 有密切关系, 牡蛎的风味品质主要由其脂肪酸组成决定, 因此, 摄食微藻的变化影响牡蛎的风味品质^[23]。

1.2.3 多糖

牡蛎多糖是牡蛎的重要活性成分。由于牡蛎多糖具有的多种多样的生物活性, 目前已经得到食品行业及医药行业的广泛关注^[24]。牡蛎多糖的分离制备及药理作用的研究已经有很多报道。王俊等采用 1% 甲醇浸泡匀浆后的牡蛎肉过夜除脂, 抽滤后溶于 1% NaOH 溶液中沸水浴 10h, 取上清液, 用 Sevage 法除蛋白, 分别用乙醇分级沉淀, 得牡蛎多糖 (OPs) 粗品, 浓度为 2.5mg/mL 的 OPs 能有效增加正常小鼠的脾淋巴细胞的转化率, 对小鼠迟发型超敏反应、NK 细胞活性、抗体形成细胞活性溶血空斑形成细胞实验、小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞能力、荷瘤小鼠脾细胞活性起正向调节作用^[25]。胡婷与陈琼华从牡蛎中提取了多糖, 发现牡蛎多糖具有明显的心血管病防治功能, 还具有降血脂、抗凝血、提高机体免疫功能的活性^[26]。Shi 等采用热水浸提的方法从太平洋牡蛎中分离出分子量为 6.5×10^6 Da 的由葡萄糖聚合而成的牡蛎多糖, 进一步研究发现牡蛎多糖对急性和慢性模型小鼠肝损伤具有保护作用^[27]。牡蛎多糖从本质上来说是从牡蛎体内能源物质的贮存形式, 因此

也可以称作牡蛎糖原。宋荪阳等采用酶解醇沉的方法从新鲜牡蛎中提取了牡蛎糖原,并利用 DEAE-52 离子交换柱层析、Sephadex G-100 分子筛层析获得了纯化的牡蛎糖原,它对补体具有较强的抑制作用^[28]。李萌等研究了牡蛎多糖对 I 型单纯疱疹病毒感染小鼠腹腔巨噬细胞免疫功能的影响,发现牡蛎多糖能显著提高 I 型单纯疱疹病毒感染小鼠胸腺指数和脾脏指数,增强小鼠腹腔巨噬细胞吞噬能力^[29]。华岩等发现牡蛎多糖可以显著改善力竭运动导致的小鼠免疫球蛋白 IgG、IgA、IgM 的含量和 CD³⁺、CD⁴⁺、CD⁴⁺/CD⁸⁺、NK、NKT 显著下降的趋势^[30]。

针对牡蛎多糖制备和结构的研究,也是人们关注的热点。张艳军等研究了牡蛎多糖的提取工艺,利用 L₉ (3⁴) 正交实验对牡蛎多糖提取工艺进行了优化,发现最佳提取工艺为在 75℃、pH 为 6 时提取 5h,提取 3 次效果最佳^[31]。田振华等研究了牡蛎多糖的提取工艺的同时还研究了牡蛎多糖体外抑菌活性,发现最佳提取工艺为在 65℃、pH 为 8 时提取 4h,提取 3 次,料液比为 1:15 (mg/mL) 的效果最佳,获得的牡蛎多糖对大肠埃希菌、枯草芽孢杆菌及金黄色葡萄球菌均有抑制作用^[32]。张辉研究了采用不同提取方法从牡蛎中提取牡蛎糖原的得率,发现水提法获得的牡蛎糖原含量最高,为 48.46%^[33]。陈骞等研究表明,牡蛎多糖是由葡萄糖聚合而成的同多糖,它具有结构复杂,相对分子质量大的特点,分子量一般在数百万至数千万之间^[34]。高蒙蒙等研究了水溶性牡蛎多糖 MC-11 的结构,发现其为→4)-α-D-Glc-(1→为主链,含有→3,4)-β-D-Glc-(1→和→2,4)-β-D-Glc-(1→分支的 D-吡喃型葡聚糖,相对分子量为 1299kDa^[35]。一般来讲,提取牡蛎多糖大多采用水提醇沉的方法,所提取的牡蛎多糖结构也多种多样。只有 Shi 等的方法是不用乙醇沉淀法。提取牡蛎多糖的关键在于去除蛋白质成分。不同的提取方法,可以获得分子量及结构各不相同的牡蛎多糖。

从牡蛎中发现的另一种多糖物质是糖胺聚糖。糖胺聚糖也称为酸性黏多糖或氨基多糖。糖胺聚糖也具有多种生物活性。胡雪琼等对近江牡蛎全脏器进行了酶解、醇沉、脱色和等电点除蛋白以及超滤浓缩、DEAE-52 层析、Sephadex G-200 层析等步骤得到了 3 种糖胺聚糖,对其中的 CGIa 及 CGIa 进一步研究发现它们是由糖醛酸、氨基葡萄糖按一定比例组成,含有硫酸基,相对分子量分别是 5.17×10^5 Da 及 2.64×10^5 Da,它们均能促进正常小鼠免疫细胞分泌 TNF-α、TNF-γ、IL-2 和 NO^[36]。胡雪琼等还研究了近江牡蛎糖胺聚糖酶解提取工艺,发现先用枯草杆菌中性蛋白酶 1.0% (质量分数),在

pH 为 7.0 时 50℃ 的条件下酶解 5h, 再加胰蛋白酶 1.0% (质量分数), 在 pH 为 8.0 时 50℃ 的条件下酶解 5h 可以获得较高的糖胺聚糖得率为 2.4%, 其总糖胺聚糖含量为 13.6%, 总糖含量为 61.3%, 进一步研究发现在 500 μ g/mL 和 600 μ g/mL 剂量时, 近江牡蛎糖胺聚糖对 Hela 细胞的抑制活性为 43.1% 及 55.8%^[37]。吴红棉等研究发现近江牡蛎糖胺聚糖分级组分均可抑制 K562、CNF-2Z、Hela 细胞的生长, 近江牡蛎糖胺聚糖 CG 与环磷酰胺 (CTX) 合用后能延长 L1210 腹水瘤小鼠和荷 EAC 小鼠的生命^[38]。王海桃和刘赛发现牡蛎糖胺聚糖可以提高受损血管内皮细胞的抗氧化能力以及合成释放 NO 的功能^[39]。李萌等研究发现牡蛎糖胺聚糖 (O-GAG) 能显著降低 HSV-1 感染小鼠的死亡率, 延长其生存时间, 并显著提高病毒感染小鼠的胸腺指数和脾指数, 增强巨噬细胞的吞噬能力^[40, 41]。

对牡蛎多糖构效关系的深入研究, 将极大促进牡蛎多糖在食品与药品领域的应用与提高牡蛎的经济价值。

1.2.4 维生素与类胡萝卜素

牡蛎含有丰富的维生素 A、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 D^[42]。张红雨等对渤海湾密鳞牡蛎的营养成分, 分析结果表明, 维生素 B₆、维生素 B₁₂、烟酸、维生素 K、 β -胡萝卜素含量较丰富, 其中, 维生素 B₁₂ 较一般的食物中含量高, 达 2.69mg/100g 湿重^[43]。

1.2.5 无机盐与微量元素

研究表明, 100g 鲜牡蛎中含有约 147.9mg 的 Zn 和 233 μ g 的 Se, 100g 牡蛎肉 (干品) 中分别含有 Ca、P、Mn、Mg、Na、K、Co、Fe、Cu、Zn 为 61.5mg、5.72mg、1.17mg、233mg、1840mg、1630mg、0.012mg、5.49mg、3.7mg、18.3mg^[44]。牡蛎中 Zn 含量居各种食物之首, Zn 具有促进机体发育以及骨骼生长、增强免疫机能、提高食欲以及防止老化等作用^[45]。

牡蛎壳中最主要的无机成分为碳酸钙, 占牡蛎壳质量的 90% 以上^[46]。Kwon 等的测定表明, 牡蛎壳中 Ca 约占 37%, 其他元素, Na、Mg、K、Fe、Al、Mn、Cu、Zn、Sr、Si 等分别占 0.594%、0.269%、0.012%、0.034%、0.036%、0.011%、0.001%、0.011%、0.091%、0.023%^[47]。

参考文献

- [1] 滕瑜, 王彩理. 牡蛎的营养保健与综合利用 [J]. 齐鲁渔业, 2006, 23 (2): 31-32.
- [2] 董晓伟, 姜国良, 李立德, 等. 牡蛎综合利用的研究进展 [J]. 海洋科学, 2004, 28 (4): 62-65.
- [3] 颜海燕, 陈新蓉, 王一农. 几种海洋动物的药用及其在临床上的应用 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 1999, 1: 67-70.
- [4] 李振琼. 食疗药用动物 [M]. 广州: 广州出版社, 2001.
- [5] 毛文君, 李翊. 海洋功能食品的研究开发 (二) [J]. 中国海洋药物, 1907, (3): 50-53.
- [6] Dridi S., Romdhane M.S., Elcafsi M. Seasonal variation in weight and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in relation to the gametogenic cycle and environmental conditions of the Bizert lagoon, Tunisia[J]. Aquaculture, 2007, 263: 238-248.
- [7] 张晶晶, 郑惠娜, 章超桦, 等. 牡蛎蛋白分离及其基本组成分析 [J]. 食品与发酵工业, 2013, 39 (9): 195-199.
- [8] 郑惠娜, 张晶晶, 周春霞, 等. pH 调节法提取牡蛎蛋白及氨基酸、蛋白组成分析 [J]. 中国食品学报, 2014, 14 (7): 230-235.
- [9] Itoh N., Kamitaka R., Takahashi K.G., et al. Identification and characterization of multiple β -glucan binding proteins in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*[J]. Developmental and Comparative Immunology, 2010, 34: 445-454.
- [10] He X., Zhang Y., Yu F., et al. A novel sialic acid binding lectin with anti-bacterial activity from the Hong Kong oyster (*Crassostrea hongkongensis*) [J]. Fish and Shellfish Immunology, 2011, 31: 1247-1250.
- [11] Achour A., Lachgar A., Astgen A., et al. Potentialization of IL-2 effects on immune cells by oyster extract (JCOE) in normal and HIV-infected individuals[J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 1997, 51: 427-429.
- [12] Liu Z., Dong S., Xu J., et al. Production of cysteine-rich antimicrobial peptide by digestion of oyster (*Crassostrea gigas*) with alcalase and bromelain[J]. Food Control, 2008, 19: 231-235.
- [13] 谭乐义, 章超桦, 薛长湖, 等. 牛磺酸的生物活性及其在海洋生物中的分布 [J]. 湛江海洋大学学报, 2000, 20 (3): 75-79.
- [14] 高加龙, 章超桦, 邱伟佳, 等. 南海不同产地近江牡蛎中牛磺酸含量检测 [J]. 食品科学, 2013, 34 (10): 164-168.

- [15] 邵江娟, 姚忠, 吴昊, 等. 牡蛎抗氧化寡肽的提取分离研究 [J]. 中药材, 2013, 36 (9): 1395-1397.
- [16] 唐小华, 宋文东. 紫贻贝壳与牡蛎壳及珍珠的氨基酸和微量元素比较分析 [J]. 农村经济与科技, 2016, 27 (1): 109-110, 113.
- [17] 陈惠源, 蔡俊鹏. 牡蛎的营养药用价值及其开发利用 [J]. 中药材, 2005, 28 (3): 172-174.
- [18] 刘书成, 李德涛, 高加龙, 等. 近江牡蛎等 3 种贝类的脂类成分分析 [J]. 水产学报, 2009, 33 (4): 666-671.
- [19] 林洪, 吕青, Khalid Jamil, 等. 贻贝等六种软体动物磷脂的比较 [J]. 水产学报, 2000, 24 (2): 175-179.
- [20] 刘程惠, 张聪, 胡文忠, 等. 超临界 CO₂ 萃取牡蛎中多不饱和脂肪酸的工艺研究 [J]. 食品工业科技, 2010, 31 (10): 316-319.
- [21] 劳邦盛, 盛国英, 傅家谟, 等. 牡蛎中脂肪酸在储藏过程中的稳定性 [J]. 色谱, 2000, 18 (4): 340-342.
- [22] 佟蕾, 朱蓓薇, 周大勇, 等. 牡蛎脂质的超临界 CO₂ 萃取及气相色谱-质谱分析 [J]. 大连工业大学学报, 2011, 30 (4): 242-245.
- [23] Pennarun A-L, Prost C, Haure J, et al. Comparison of two microalgal diets. 1. Influence on the biochemical and fatty acid compositions of raw oysters (*Crassostrea gigas*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51, 2006-2010.
- [24] 陈惠源, 蔡俊鹏. 牡蛎的营养药用价值及其开发利用 [J]. 中药材, 2005, 28 (3): 172-174.
- [25] 王俊, 姚滢, 张建鹏, 等. 牡蛎多糖的制备和生物学活性研究 [J]. 医学研究生学报, 2006, 19 (3): 217-220.
- [26] 胡婷, 陈琼华. 牡蛎多糖防治心血管病及其他生物活性 [J]. 中国生化药物杂志, 1993, (1): 53-56.
- [27] Shi X, Ma H, Tong C, et al. Hepatoprotective Effect of a Polysaccharide from *Crassostrea gigas* on Acute and Chronic Models of Liver Injury [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 78: 142-148.
- [28] 宋荪阳, 朱蓓薇, 杨静峰, 等. 牡蛎糖原的提取、纯化及补体活性研究 [J]. 大连工业大学学报, 2011, (5): 353-356.
- [29] 李萌, 王磊, 张立, 等. 牡蛎多糖对小鼠腹腔巨噬细胞免疫功能的影响 [J]. 中国药业, 2013, (17): 15-16.