

抗疲劳功效的天然海洋活性物质研究进展

赵雨茜^{1,2}, 熊何健¹, 苏永昌², 刘淑集², 吴靖娜², 何传波^{1*}, 刘智禹^{2*}

(1. 集美大学食品与生物工程学院, 厦门 361021; 2. 福建省水产研究所, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 福建省海洋生物资源开发利用协同创新中心, 厦门 361013)

摘要: 随着社会快速的发展, 人们常常处于疲劳状态之中, 这个状态潜移默化影响着当代人的正常生活质量和社会生产, 若不及时消除或延缓疲劳感, 则会引发各种疾病。目前报道的具有抗疲劳功效的活性物质非常广泛, 尤其海星、海参、鱼类、虾类等从海洋生物中提取的活性物质引起学者的关注。本文综述了当代疲劳的现状、根据不同研究需要对疲劳的分类、疲劳感的产生机制、抗疲劳保健食品的功能性评价方法, 以及具有延缓和消除疲劳感的海洋生物的种类概述, 为开发具有抗疲劳作用的功能性食品提供参考。

关键词: 疲劳; 评价; 活性物质

Research progress of marine natural active substances with anti-fatigue properties

ZHAO Yu-Xi^{1,2}, XIONG He-Jian¹, SU Yong-Chang², LIU Shu-Ji², WU Jing-Na²,
HE Chuan-Bo^{1*}, LIU Zhi-Yu^{2*}

(1. College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources, Xiamen 361013, China)

ABSTRACT: With the rapid development of society, people are often in a state of fatigue. This state imperceptibly affects the normal quality of life and social production of contemporary people. If it does not eliminate or delay fatigue in time, it will cause various diseases. The active substances with anti-fatigue effects reported so far are very extensive, especially the active substances extracted from marine organisms such as sea stars, sea cucumbers, fish, and shrimps, have attracted the attention of scholars. This paper reviewed the current status of fatigue, the classification of fatigue according to different research needs, the mechanism of fatigue, the functional evaluation methods of anti-fat health foods, and the types of marine organisms with retardation and fatigue reduction, in order to provide a reference for functional foods that are resistant to fatigue.

KEY WORDS: fatigue; evaluation; active substance

基金项目: 福建省省属类科研院所专项(2017R1003-10)

Fund: Supported by Special research institutes in Fujian Province (2017R1003-10)

*通讯作者: 何传波, 副教授, 博士, 研究方向为多糖物质及其综合利用。E-mail: hcbcc@jmu.edu.cn

刘智禹, 高级工程师, 博士, 研究方向为水产品加工及其综合利用。E-mail: 272132622@qq.com

*Corresponding author: He Chuan-Bo, Associate Professor, Ph.D, Jimei University, Yindou Road, Xiamen 361021, China. E-mail: hcbcc@jmu.edu.cn

LIU Zhi-Yu, Senior Engineer, Ph.D, Fisheries Research Institute of Fujian, Dongdu Haishan Road, Xiamen 361013, China.

E-mail: 272132622@qq.com

1 引 言

疲劳作为 21 世纪影响人类健康的大敌, 不仅是医学问题更是社会问题。国外调查显示, 有 24% 都市人群具有疲劳症状, 其中症状持续 6 个月或 6 个月以上者占 2~4%^[1]。这种都市文明病发生之后, 如若不及时缓解常常会导致人们处于健康与疾病之间的亚健康状态, 经常处于亚健康状态不仅人们的工作效率降低, 还有可能导致机体发展到疾病状态^[2]。随着社会的进步与发展, 人们生活节奏不断加快, 同时工作压力也不断增强, 精神长时间高度集中、疲于奔命, 常常出现一些主观上不适的感觉, 如无精打采、眼花、乏力、头晕头痛、情绪低落且易怒、焦躁不安、口干舌燥等, 从而对正常工作或生活产生负面影响, 这样就容易引起一种常见的都市病症-疲劳^[3]。如果疲劳在机体内不断积累, 最终会发展为过劳, 甚至出现慢性疲劳综合症等。慢性疲劳综合症(chronic fatigue syndrome, CFS) 又称慢性疲劳免疫功能障碍综合征(chronic fatigue and immune dysfunction syndrome, CFIDS), 是机体维持长期严重的疲劳感并具有非特异性表现的功能紊乱症候群^[4], 突出表现为注意力不集中、反应能力下降、出错率升高、身体各部位酸痛及伴有低热、头痛等症状, 但进行一般常规性检查无明显异常^[5,6]。2002 年有专家推测, 我国处于亚健康状态的人已经超过 7 亿, 约是全国总人口的 60%^[7], 其中 CFS 的发病率不容小觑, 因此, 对疲劳的预防和治疗具有重大意义。

在运动医学、军事医学和航天医学等学科领域中, 促进疲劳的恢复和延缓疲劳的发生一直是众多学者研究的热点, 目前, 关于抗疲劳的功能食品以中草药见多, 我国海洋资源尤为丰富, 但针对具有抗疲劳功效的海洋物质的研究较少, 研发具有抗疲劳功效的海洋天然功能性食品引起越来越多学者的关注。本文概述了疲劳的分类, 简述了疲劳发生机制和抗疲劳功效的海洋天然活性物质的功能评价方法, 根据不同海洋生物的来源, 介绍了海参类、贝类、海洋鱼类等抗疲劳活性物质的相关研究进展, 以期开发

具有抗疲劳作用的功能食品提供参考。

2 疲劳概述

疲劳(fatigue)是一种十分复杂的生理现象, 前人对这一现象有多种定义, 如“当一定阶段时脑力或体力必然出现的一种正常的生理现象”^[8], “防止机体发生威胁生命的过度机能衰竭所产生的一种保护性反应”^[9], “在一定的运动强度下无法继续保持正常工作状态”^[10], “无法保持需要的或期望的力量”^[11]。从以上定义可以概括, 疲劳有 3 方面的释义: 第一, 劳苦困乏; 第二, 因运动过度或刺激过度, 细胞、组织或器官的机能或反应能力减弱, 如听觉疲劳、肌肉疲劳; 第三, 因外力过强或作用时间过久而不能继续其正常反应, 如弹性疲劳、磁性疲劳^[12]。

2.1 疲劳的分类

《现代医学百科全书》中对疲劳一词的解释在疲乏之下, 定义疲乏即疲劳, 其中包括 2 类—生理性疲乏和病理性疲乏。

2.1.1 生理性疲劳

生理性疲劳是指机体过于疲劳、体力透支、睡眠不足、长时间压力过大、精神状态集中等, 如高强度运动之后; 参加竞技比赛或大型考试之后; 睡眠严重缺乏; 女性月经期间等。将生理性疲劳可分 4 类: 体力疲劳、脑力疲劳、心理(精神)疲劳、混合性疲劳。具体定义如表 1^[13-15]所示。

2.1.2 病理性疲劳

病理性疲劳是指由于多种躯体性疾病或心理性疾病引起的, 原因多样且复杂, 出现的时间早晚和程度轻重均不相同, 常常由于各种疾病引起, 如: 精神性疾病、中毒性疾病、精神肌肉疾病、循环系统疾病、内分泌系统疾病、代谢和营养性疾病、慢性和感染性疾病、药物的毒副作用、术后疲劳等。恢复周期较长, 大多是疾病恢复过程中最后存在的症状, 有的甚至将伴随人的一生^[16]。

目前, 还有学者对疲劳做出更多分类, 根据发展阶段不同, 将疲劳分为 3 类: 急性疲劳、慢性疲劳和过度疲劳。

表 1 生理性疲劳的具体定义
Table 1 The concrete definition of physiological fatigue

名称	定义
体力疲劳	人体在持续长时间、大强度的体力活动时, 肌肉骨骼肌群持久或过度收缩, 在消耗肌肉内能源物质的同时, 产生乳酸、二氧化碳和水等代谢产物。
脑力疲劳	长时间用脑, 引起脑部血液和氧气供应不足而出现的疲劳。主要表现为疲乏的同时出现头昏脑胀, 记忆力下降, 思维迟钝, 注意力不集中等症状。
心理(精神)疲劳	心理疲劳多与精神压力过大及情绪低落有关, 个人的心理素质也占主要因素。主要表现为疲乏无力、精神不振、厌烦感、压抑感、低落感、失眠等, 既是疲劳又是精神上的痛苦。
混合性疲劳	混合性疲劳是几种疲劳同时存在。最常见的体力疲劳与脑力疲劳并存脑力疲劳与心理疲劳并存体力疲劳与心理疲劳并存。形成的原因复杂, 表现多样。

根据表现不同,将疲劳分为 2 类:躯体疲劳和心理疲劳。根据发生部位不同,有学者研究发现,疲劳可能发生在从大脑皮质到肌肉亚细胞结构这样一个广泛又复杂的区域^[17],在这片区域发生部位不同将疲劳分为 3 类:中枢疲劳、神经—肌肉接点疲劳和外周疲劳。

2.2 疲劳的产生机制

运动性疲劳产生原因在生物科学界有较多猜想,生物、医药等方面科学家们试图从各个方面对疲劳的产生作出合理并令人信服的解释,但是迄今为止仍然没有一个统一的定论^[18]。目前对于疲劳发生机制有如下几个假设:“能源耗竭”学说、代谢物质堆积学说、自由基学说、保护抑制学说、突变学说、内环境稳态失调学说等,目前研究中前 2 种假说受到较多学者认可^[19,20]。

能源耗竭学说认为,机体通过糖、脂肪、蛋白质 3 种代谢途径进行转化获得能量,在机体长时间运动或者工作劳动时,肌肉中的三磷酸腺苷、磷酸肌酸、肌糖原、肝糖原等能源物质大量消耗,对机体供能不足,导致工作效率降低,引起疲劳。与此同时,脂肪供能缓慢,蛋白质中各种酶、激素参与反应同样过度消耗,对机体能量补充不及时,也会引起疲劳^[21,22]。

代谢物质堆积学说认为,在机体经历剧烈运动或者大量工作劳动后,体内肌肉发生糖酵解,产生大量乳酸,随着乳酸含量的积累,体内氢离子不断解离,导致内环境 pH 值下降,当肌肉中乳酸含量达到一定值之后,肌肉功能丧失,兴奋传递受到阻碍,内环境紊乱,供能代谢效率降低,引起疲劳。同时,高强度运动后血浆和肌肉中氨含量也会大幅度上升,来源于体内嘌呤核苷酸的降解或支链氨基酸在骨骼中的降解,高浓度的氨不仅直接影响肌肉,还影响兴奋和抑制中枢神经系统中神经介质的动态平衡,同样加剧疲劳的产生^[23,24]。

3 抗疲劳作用的功能学评价方法

目前查阅文献并结合实际,对抗疲劳作用的功能学评价方法概括为基本试验项目、试验原则和结果判定,通常规定如下:实验项目分为运动试验和生化指标,分别为负重游泳实验、爬杆实验和血乳酸、血清尿素实验、肝/肌糖原测定。除以上生化指标外,还可检测血糖、乳酸脱氢酶、血红蛋白以及磷酸肌酸等指标^[25,26],其中负重游泳实验与爬杆实验是最常见的评价抗疲劳作用的方法。

负重游泳实验^[27,28]:小鼠末次灌胃后休息 30 min,尾巴根部负重铅丝或回形针使小鼠落入水中由于本能挣扎,仅使头部鼻孔露出水面呼吸,计算小鼠自落入水中开始到鼻孔没入水中而下沉溺毙的时间,或者计算小鼠自落入水中开始到鼻孔没入水中 8 s 不再浮出水面的累计时间,记录小鼠负重游泳至力竭所用时间^[29,30]。这一方法设备简单,

可以多只小鼠同时进行实验,实验结果具有客观性,但实验工作量大,小鼠容易相互挤靠,或是四肢不动浮于水面休息等,影响实验数据准确性。同时还要注意游泳箱中水的温度,每一批小鼠下水前后均要测量水温,一般保持 25℃为宜。

爬杆实验:准备一根光滑并垂直固定的铁杆或有机玻璃棒,将动物悬空放在上面,使其迫于求生不能掉下而用尽全力爬在杆上,只能用四肢紧紧爬在杆上保持这唯一姿势,造成肌肉紧张和体力严重消耗的状态,记录动物自爬杆开始由于疲劳从杆上掉下来的时间,即爬杆时间^[31,32]。这一方法设备简单,通过爬杆时间的长短可以明显看出动物疲劳的程度^[33]。

采用运动实验与生化指标检测相结合的评价原则。在进行游泳、爬杆实验前,动物应进行初筛。试验结果中若 1 项以上(含 1 项)运动试验和 2 项以上(含 2 项)生化指标为阳性,即可以判断该受试物具有抗疲劳作用^[34]。

4 不同海洋生物来源的抗疲劳活性物质

4.1 海参类

海参(sea cucumber, *Ludwigothurea grisea*)又名海黄、海鼠等,属无脊椎动物棘皮动物门海参纲,自古以来被人们视为滋补养生的珍品^[35],其营养丰富、高蛋白、低脂肪、低胆固醇,富含多种维生素、矿物质元素、多种氨基酸,具有海参皂甙、海参多肽、海参多糖等多种生物活性物质^[36,37]。在全球范围内约有 1100 多种海参,其中约 40 多种人体可以食用,我国海参种类约 100 种,其中包括 20 种人体可食用^[38-41]。付学军等^[42]研究小分子量海参肽对小鼠的抗疲劳作用,通过游泳和转棒 2 项运动试验,发现服用海参肽可以明显延长小鼠游泳和转棒时间,其中低剂量和中剂量效果更为显著。生化指标中小鼠血尿素氮显著降低,肝糖原显著提高。说明小分子量海参肽可以增加小鼠运动耐力,具有抗疲劳功效。卢连华等^[43]观察海参肽能使小鼠抗疲劳能力显著增强,负重游泳时间明显延长,运动后小鼠血尿素氮和乳酸含量显著降低,肝糖原含量提高。何传波等^[44]以海参内脏为原料制备海参内脏酶解产物,发现其可以显著延长小鼠负重力竭游泳时间,但是海参内脏酶解产物浓度与力竭游泳时间并不成线性关系,可见适量剂量时抗疲劳表现最大化。同样对生化指标乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LD)、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)含量和肝糖原检测结果达极显著,证明海参内脏酶解产物可以有效缓解疲劳,增强耐力,具有抗疲劳作用。王奇等^[45]发现东海海参酶解液具有抗疲劳功效。刘昌衡等^[46]研究表明海参复方口服液可以有效延长小鼠力竭游泳时间,显著增加肝糖原含量,为机体储备更多能量,同时有效降低乳糖含量,消除乳糖在机体内的堆积,具有抗疲

劳功效。李冰等^[47]对北方养殖刺参体壁中富含酸性黏多糖、胶原蛋白、药效和支链氨基酸、糖脂和磷脂等主要活性成分进行研究,采用雄性 Balb/c 小鼠进行负重游泳实验,结果表明游泳时间显著延长,运动耐力增强,肝糖原含量显著升高,延缓疲劳的产生,表明养殖刺参体壁中含有全面的抗疲劳活性物质。

4.2 贝类

贝类(shellfish),属软体动物门瓣鳃纲或双壳纲,一般体外披有1~2块贝壳。常见的牡蛎、蛤、贻贝、蛭等都属此类,现存种类一万多种,其中绝大多数生活于海洋中^[48,49]。近年来研究发现,贝类普遍外观美丽、味美肉鲜、营养价值和药用价值丰富。吉宏武等^[50]研究近江牡蛎肉水解物的抗疲劳效果,发现该水解物具有高蛋白,富含矿物质元素锌,丰富的氨基酸,尤其是牛磺酸和支链氨基酸等具有抗疲劳作用的营养成分。动物实验与生化试验相结合,不仅延长小鼠力竭游泳时间,且显著降低运动后小鼠血清尿素氮含量,肝糖原含量储备能力有所提高,该水解物具有抗疲劳作用。方富永等^[51-53]发现经菠萝蛋白酶、木瓜蛋白酶、中性蛋白酶复合酶解后的翡翠贻贝肉复合酶解产物具有较明显的抗疲劳功效,且浓度较高的酶解物效果更好,同样长牡蛎肉三酶水解物也具有较好抗疲劳功效。郭丽莉等^[54]用雌性皱纹盘鲍性腺为原料,提取鲍鱼性腺粗多糖(abalone gonad crude polysaccharide, CAGP)进行抗疲劳活性研究,结果表明 CAGP 可以有效延长小鼠负重游泳时间,肝糖原、肌糖原和血清乳酸脱氢酶活力均有极显著提高,血清乳酸降低,说明 CAPC 具有抗疲劳活性。陈骞^[55]从太平洋牡蛎中提取出牡蛎糖原,每天对小鼠灌胃,结果表明,牡蛎糖原可以有效增加小鼠体内糖原的储备、增强乳酸脱氢酶活性、延缓疲劳的产生。李丹^[56]研究发现文蛤提取液可显著延长高运动量组和低运动量组小鼠的游泳力竭时间。常格^[57]发现牡蛎蛋白酶解产物可以延长小鼠力竭游泳时间,提高肝糖原含量、降低血清尿素氮和血乳酸。

4.3 海洋鱼类

海洋鱼类生活范围广阔,从海岸直至大洋,从南北两极直至赤道海域,种类繁多却复杂。目前研究发现,海洋鱼类资源利用仍有很大上升空间,人口增加和人类对健康的要求更高,有利用价值的海洋鱼类资源受到广泛关注,同时增加了对鱼类和水产品方面的需求。海洋鱼类中富含蛋白质、不饱和脂肪酸和矿物质等,是开发功能性低聚肽的优质原料。彭汶铎等^[58]发现海马酶解提取物(enzymatic extract of hippocampus, EEH)可以降低运动后血清乳酸、尿素氮和过氧化物的产生,且具有促进清除的作用,说明 EEH 具有提高机体适应能力,延缓和消除疲劳的功效。施佳慧等^[59]对低值小型海鱼酶解产物进行抗疲劳实验,发现低值海鱼酶解产物可以延长小鼠转棒时间和小鼠负重游泳

力竭时间,并且加速机体乳酸和尿素氮的代谢速率,增加糖原储备,具有抗疲劳的作用。陈义明等^[60,61]发现南海产圆鲀鲢普通肉酶解物和暗色肉酶解物均具有抗疲劳的功效。王雪芹^[62]发现鲈鱼多肽具有较好的抗疲劳功效,可以增长小鼠负重游泳时间,增加机体中肝糖原的储备,降低小鼠体内乳酸和血尿素氮的含量。Anley^[63]发现 Koroso 鱼的热水提取物可以明显提高小鼠的游泳耐力,并可以防止体力消耗过度而造成的疲劳。

4.4 其他

除以上具有抗疲劳活性的海洋生物有较多的研究外,虾类、海带、海藻等海洋生物来源的活性物质也有抗疲劳功效,均可以延缓疲劳的发生和加速疲劳的恢复,提高机体运动能力,还有其他来源的海洋生物活性物质有待研究。徐恺等^[64,65]证明南极磷虾肽可以增强机体耐力,提高肝糖原储备能力,减少或消除乳酸和尿素氮,具有抗疲劳活性。刘芳等^[66]研究发现海带多糖可以延长小鼠游泳时间,增强小鼠抗疲劳能力。陈小峰^[67]发现海带水提物和海带多糖,可以有效延长小鼠力竭游泳时间,优化血糖变化率、乳酸、尿素氮水平和肝/肌糖原含量,具有抗疲劳作用。王书全等^[68]发现螺旋藻多糖可以延长小鼠的爬杆和负重游泳时间,对明显提高体内糖原的储备,加速乳酸分解,降低运动后小鼠血清尿素氮含量,说明螺旋藻多糖的抗疲劳功效显著。

5 结 论

我国海洋资源非常丰富,针对目前都市生活压力大、精神状态不佳、容易倦怠没效率等,研究具有抗疲劳功效的海洋生物显得尤为重要。综上所述,很多海洋天然活性物质具有延缓和消除人体疲惫感的功效,主要因为这些海洋抗疲劳生物能通过增强机体内糖原的储备,减少运动后疲劳机体中血乳酸浓度和血尿素氮产生。因此,充分有效利用种类各样是海洋生物可以延缓和消除疲劳这一功能特性,研发相应的功能性食品,不仅可以有效缓解人体疲劳状态,天然海洋生物制备抗疲劳类产品更具有良好的市场开发前景。

参考文献

- [1] 施璐霞,毛广平.慢性疲劳综合征研究进展[J].云南中医学院学报,2006,29(6):49-52.
Shi LX, Mao GP. Research progress of chronic fatigue syndrome [J]. J Yunnan Coll Trad Chin Med, 2006, 29(6): 49-52.
- [2] Xu J, Li Y, Regenstein J, et al. In vitro and in vivo anti-oxidation and anti-fatigue effect of monkfish liver hydrolysate [J]. Food Biosci, 2017, (18): 9-14.
- [3] Maclaren DP, Gibson H, Parry BM, et al. An review of metabolic and physiological factors in fatigue [J]. Exerc Sport Sci Rev, 1989, 17(1):

- 29–66.
- [4] 闵瑞欣. 基于代谢组学与运动干预对中学生慢性疲劳综合征的代谢机制探究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2018.
- Min RX. Study on metabolic mechanism of chronic fatigue syndrome in middle school students based on metabolomics and exercise intervention [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018.
- [5] Holmes GP, Kaplan JE, Gantz NM, *et al.* Chronic fatigue syndrome: A working case definition [J]. *Ann Inter Med*, 1988, 108(3): 387–389.
- [6] Fukuda K, Straus SE, Hickie I, *et al.* The Chronic fatigue syndrome: A comprehensive approach to definition and study [J]. *Ann Inter Med*, 1994, 121(12): 953–959.
- [7] 袁萍, 梁伯衡. 慢性疲劳综合征的流行病学特征[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2003, 30(2): 70–74.
- Yuan P, Liang BH. The epidemiologic feature of chronic fatigue syndrome [J]. *For Med Sci (Sec Hyg)*, 2003, 30(2): 70–74.
- [8] 郭时印. 辣椒素抗疲劳作用及其机理研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- Guo SY. Studies on the antifatigue effects of capsaicin on mice and its mechanisms [D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [9] 张颖捷, 杜万红. 国内外抗疲劳研究进展[J]. 实用预防医学, 2012, 19(7): 1112–1116.
- Zhang YJ, Du WH. Domestic and foreign research progress on anti-fatigue [J]. *Pract Prev Med*, 2012, 19(7): 1112–1116.
- [10] Booth FW, Thomason DB. Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: Perspectives of various models [J]. *Phys Rev*, 1991, 71(2): 541–585.
- [11] Edwards RH. Human muscle function and fatigue [J]. *Human Muscl Fatig: Physiol Mechan*, 1981, (1): 1–18.
- [12] 罗竹风. 汉语大词典[M]. 上海: 汉语大词典出版社, 1991.
- Luo ZF. Chinese dictionary [M]. Shanghai: Publishing House of Unabridged Chinese Dictionary, 1991.
- [13] 李永超. 肉苁蓉有效部位抗疲劳作用机制研究[D]. 北京: 中国协和医科大学, 2007.
- Li YC. Study on anti-fatigue mechanism of effective parts of *Cistanche deserticola* [D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2007.
- [14] 王佳. 人参多糖抗疲劳和抗抑郁作用及其机制的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2010.
- Wang J. Anti-fatigue and antidepressant effects of the polysaccharides from panax ginseng C. A. meyer and their mechanisms [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2010.
- [15] 涂通今. 现代医学百科全书[M]. 北京: 万国学术出版社, 1992.
- Tu TJ. Encyclopedia of modern medicine [M]. Beijing: International Academic Publishers, 1992.
- [16] 周宝宽. 中医疲劳和亚健康研究[D]. 沈阳: 辽宁医学院, 2003.
- Zhou BK. Study on fatigue in traditional chinese medicine and subhealth [D]. Shenyang: Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2003.
- [17] 李志军, 李八方. 抗疲劳功能食品研究与开发[J]. 食品科技, 2010, (2): 25–27.
- Li ZJ, Li BF. Research and development of anti-fatigue functional food [J]. *Food Sci Technol*, 2010, (2): 25–27.
- [18] 石展望. 运动疲劳产生机制研究进展[J]. 南阳师范学院学报, 2009, 8(3): 93–96.
- Shi ZW. Research progress on the mechanism of motor fatigue [J]. *J Nanyang Norm Univ*, 2009, 8(3): 93–96.
- [19] Glaister M. Multiple sprint work [J]. *Sport Med*, 2005, 35(9): 757–777.
- [20] 金宗谦. 保健食品的功能评价与开发[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- Jin ZL. Functional evaluation and development of health food [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [21] Goldfarb AH. Nutritional antioxidants as therapeutic and preventive modalities in exercise induced muscle damage [J]. *J Appl Physiol*, 1999, (24): 249–266.
- [22] Sjodin B, Westing YH, Apple FS. Biochemical mechanisms for oxygen free radical formation during exercise [J]. *Sport Med*, 1990, (10): 236–254.
- [23] Brouns F, Van VG. Utilization of lipid during exercise in human subjects: Metabolic and dietary constraints [J]. *British J Nutrition*, 1998, (79): 117–128.
- [24] Banister EW, Cameron BJ. Exercise-induced hyperammonemia: peripheral and central effects [J]. *Inter J Sport Med*, 1990, (11): 129–142.
- [25] 宋俊奇. 杏鲍菇多肽活性功能评价及多肽口服液的研制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- Song JQ. Evaluation of *Pleurotus eryngii* peptid activity and development of ply peptide oral liquid [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018.
- [26] 常格. 牡蛎蛋白酶解产物抗疲劳作用研究及新产品研发[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2016.
- Chang G. The anti-fatigue effect and of protein hydrolysates from oyster a new related product is investigated [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2016.
- [27] 金宗谦, 文镜, 唐粉芳. 功能食品评价原理及方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 1995.
- Jin ZQ, Wen J, Tang FF. Principles and methods of functional food evaluation [M]. Beijing: Peking University Press, 1995.
- [28] 保健食品功能学评价程序和检验方法[S].
- Health food functional evaluation procedures and test methods [S].
- [29] Gao H, Zhang WC, Wang BS, *et al.* Purification, characterization and anti-fatigue activity of polysaccharide fractions from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) [J]. *Food Func*, 2018, (9): 1088–1101.
- [30] Tun XX, Zheng SL, Jiang B, *et al.* The effect and mechanism of concentrated blueberry juice on anti-fatigue in mice [J]. *Prog Mod Biomed*, 2018, (5): 826–831.
- [31] 邓炳楠, 孙景然, 金宏, 等. 网纹甜瓜对游泳小鼠抗疲劳作用的影响[J]. 解放军预防医学杂志, 2018, 36(8): 974–976.
- Deng BN, Sun JR, Jing H, *et al.* Influence of muskmelon on antifatigue effects in swimming mice [J]. *J Prev Med Chin PLA*, 2018, 36(8): 974–976.
- [32] 周思敏, 张钢, 田怀军, 等. 银杏叶片对模拟高原暴露小鼠抗疲劳作用的实验研究[J]. 西南国防医药, 2011, 21(1): 1–3.
- Zhou SM, Zhang G, Tian HJ, *et al.* Experimental study on the anti-fatigue effect of ginkgo leaves on mice exposed to altitude [J]. *Med J Southwest Natl Def*, 2011, 21(1): 1–3.
- [33] 李振宇, 孙志新, 舒尊鹏. 三参颗粒对小鼠耐缺氧及抗疲劳能力的影响[J]. 中医药信息, 2016, 1(33): 5–7.
- Li ZY, Sun ZX, Shu ZP, *et al.* Effect of sanshen granules on the ability of

- anoxia endurance and anti-fatigue in mice [J]. Inform Trad Chin Med, 2016, 1(33): 5-7.
- [34] 苏艳丽, 韦隆华, 何钰英, 等. 黔产野生水芹提取物对小鼠的抗疲劳作用[J]. 贵州医科大学学报, 2017, 42(3): 292-295.
- Su YL, Wei LH, He YY, *et al.* Study on the effect of wild othanthe javanica on anti-fatigue ability of mice [J]. J Guizhou Med Univ, 2017, 42(3): 292-295.
- [35] Jin HM, Wei P. Anti-fatigue properties of tartary buckwheat extracts in mice [J]. Intern J Mol Sci, 2011, 12(8): 4770-4780.
- [36] 陈星星, 胡晓, 李来好, 等. 抗疲劳肽的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 365-369.
- Chen XX, Hu X, Li LH, *et al.* The research progress of anti-fatigue peptides [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(4): 365-369.
- [37] 洪佳敏, 陈丽娇, 梁鹏, 等. 海参生物活性成分及其加工现状的研究进展[J]. 食品与加工, 2014, (3): 75-77.
- Hong JM, Chen LJ, Liang P, *et al.* Research progress of bioactive ingredients and processing of sea cucumber [J]. Food Proc, 2014, (3): 75-77.
- [38] 何丽霞, 李勇. 海参肽生物学功能研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(9): 215-218.
- He LX, Li Y. Biological functions and applications of sea cucumber peptide [J]. Food Sci, 2015, 36(9): 215-218.
- [39] Sara B, Anwar F, Saari N. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods: A review [J]. Marin Drug, 2011, 9(10): 1761-1805.
- [40] 王婧媛, 王联珠, 孙晓杰, 等. 海参加工工艺、营养成分及活性物质研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2749-2755.
- Wang JY, Wang LZ, Sun XJ, *et al.* Research progress on processing technology, nutritive components and active substances of sea cucumber [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(11): 2749-2755.
- [41] 王伟, 丛丽娜, 黄君, 等. 海参肠道中乳酸菌的分离鉴定及活性物质研究[J]. 工业微生物, 2018, 48(4): 24-29.
- Wang W, Cong LN, Huang J, *et al.* Isolation and identification of lactic acid bacteria in sea cucumber and analysis of active substances [J]. Ind Microbiol, 2018, 48(4): 24-29.
- [42] 付学军, 崔志峰. 小分子量海参肽对小鼠的抗疲劳作用[J]. 食品科技, 2007, 32(4): 259-262.
- Fu XJ, Cui ZF. Anti-fatigue effects of lower polypeptide from sea cucumber on mice [J]. Food Sci Technol, 2007, 32(4): 259-262.
- [43] 卢连华, 周景洋, 颜薇, 等. 海参肽对小鼠免疫调节及抗疲劳能力的影响[J]. 山东医药, 2009, 49(25): 35-37.
- Lu LH, Zhou JY, Yan Y, *et al.* Effect of sea cucumber peptide on immune regulation and anti-fatigue ability of mice [J]. Shandong Med J, 2009, 49(25): 35-37.
- [44] 何传波, 魏好程, 熊何健, 等. 海参内脏酶解产物抗氧化和抗疲劳活性[J]. 食品科学, 2017, (21): 201-206.
- He CB, Wei HC, Xiong HJ, *et al.* Antioxidant and anti-fatigue activities of enzymatic hydrolysis products of sea cucumber viscera [J]. Food Sci, 2017, (21): 201-206.
- [45] 王奇, 李妍妍, 芦红艳, 等. 东海海参酶解液提高小鼠记忆力和抗疲劳功能的研究[J]. 营养学报, 2011, 33(6): 580-588.
- Wang Q, Li YY, Lu HY, *et al.* Study on memory improvement and fatigue resistance of enzymatic hydrolysate from *Acaudina Leucoprocta* [J]. J Nutr, 2011, 33(6): 580-588.
- [46] 刘昌衡, 王小军, 袁文鹏, 等. 复方海参口服液的抗疲劳和免疫功能的研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(20): 1115-1119.
- Liu CH, Wang XJ, Yuan WP, *et al.* Anti-fatigue and immune functions of sea cucumber oral liquid [J]. Mod Food Sci Technol, 2009, 25(20): 1115-1119.
- [47] 李冰, 王静凤, 傅佳, 等. 刺参对运动小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 244-247.
- Li B, Wang JF, Fu J, *et al.* Anti-fatigue effect of sea cucumber *Stichopus japonicus* in mice [J]. Food Sci, 2010, 31(15): 244-247.
- [48] 章超桦, 薛长湖. 水产食品学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- Zhang CY, Xue CH. The aquatic food science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010.
- [49] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- The Fishery Bureau of the Ministry of Agriculture. China fisheries statistics yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.
- [50] 吉宏武, 苗建银, 邵海艳, 等. 近江牡蛎肉水解物的营养成分及抗疲劳作用研究[J]. 食品科技, 2010, (2): 70-73.
- Ji HW, Miao JY, Shao HY, *et al.* Study on the nutritional components and the anti-fatigue effects of hydrolysates of *ostrea rivularis* meat [J]. Food Sci Technol, 2010, (2): 70-73.
- [51] 方富永, 苗艳丽, 程诚, 等. 翡翠贻贝肉复合酶解物的抗疲劳作用[J]. 中国食品学报, 2012, 12(11): 20-23.
- Fang FY, Miao YL, Cheng C, *et al.* Anti-fatigue effect derived from compound enzyme hydrolysates of *Perna viridis* meat [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2012, 12(11): 20-23.
- [52] 方富永, 苗艳丽, 劳秋燕, 等. 长牡蛎肉三酶水解工艺优化及水解物抗疲劳实验[J]. 中国药理学杂志, 2011, 46(8): 579-584.
- Fang FY, Miao YL, Lao QY, *et al.* Optimization of three-enzyme hydrolysis process of *Ostrea gigas* Thunberg meat and anti-fatigue experiment of the hydrolysates [J]. Chin J Pharm, 2011, 46(8): 579-584.
- [53] 刘勇军, 李江滨, 黄迪南, 等. 两种双壳贝提取物抗疲劳作用比较[J]. 中国临床康复, 2006, 10(7): 93-95.
- Liu YJ, Li JB, Huang DN, *et al.* Comparison of anti-fatigue effects between extractions from two kinds of bivalves [J]. Chin J Clin Rehabil, 2006, 10(7): 93-95.
- [54] 郭丽莉, 朱蓓薇, 孙黎明, 等. 鲍鱼性腺多糖抗血栓及抗疲劳活性的研究[J]. 大连工业大学学报, 2011, 30(4): 250-252.
- Guo LL, Zhu BW, Sun LM, *et al.* Antithrombotic and antifatigue activities of polysaccharide conjugates extracted from abalone gonad [J]. J Dalian Polytechnol Univ, 2011, 30(4): 250-252.
- [55] 陈睿. 牡蛎糖原的提取和抗疲劳活性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- Chen Q. Studies on extraction and antifatigue of oyster glycogen [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005.
- [56] 李丹. 文蛤提取液对力竭小鼠抗氧化和抗运动性疲劳的作用研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2011.
- Li D. Wen Ge extract to exhaustion mice anti-oxidation and the role of exercise-induced fatigue resistance [D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2011.
- [57] 常格. 文牡蛎蛋白酶解产物抗疲劳作用研究及新产品开发[D]. 湛江:

- 广东海洋大学, 2016.
- Chang G. The anti-fatigue effect and of protein hydrolysates from oyster a new related product is investigated [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2016.
- [58] 彭汶铎, 陈启亮. 海马酶法提取物的抗疲劳作用[J]. 中国食品卫生杂志, 2005, 17(5): 404–407.
- Peng WZ, Chen QL. Anti-fatigue effect of enzymatic extract of hippocampus [J]. Chin J Food Hyg, 2005, 17(5): 404–407.
- [59] 施佳慧, 薛亮, 陈雁虹, 等. 低值海洋鱼类酶解产物抗疲劳作用研究[J]. 食品科技, 2016, 41(6): 149–152.
- Shi JH, Xue L, Chen YH, et al. Anti-fatigue effect of low-value marine fish hydrolysates [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(6): 149–152.
- [60] 陈义明, 曹文红, 章超桦, 等. 圆鲈暗色肉蛋白酶解物的抗疲劳作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 315–323.
- Chen YM, Cao WH, Zhang CY, et al. Anti-fatigue effect of enzymatic hydrolysates from *Auxis tapeinosom* dark muscle protein [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(10): 315–323.
- [61] 苏阳. 南海产 3 种金枪鱼营养成分分析及肌肉蛋白酶解物抗疲劳活性的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015.
- Su Y. Analysis of nutritional components in three species of tuna from south china sea and anti-fatigue activity of the muscle protein hydrolysates [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015.
- [62] 王雪芹. 鲑鱼多肽的抗氧化活性和抗疲劳作用研究[D]. 青岛: 中国科学院大学, 2014.
- Wang XQ. Study on the antioxidant activity and antifatigue effect of mackerel peptides [D]. Qingdao: The University of Chinese Academy of Sciences, 2014.
- [63] Anley T. Exercise performance improvement and anti-fatigue effect of hot water extract of koroso fish (*Oreochromis Niloticus*) [D]. Addis Ababa: Addis Ababa University, 2017.
- [64] 徐恺. 南极磷虾肽抗疲劳、耐缺氧以及抗衰老、提高免疫力实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Xu K. Experimental study of the functions of Antarctic krill peptide on fatigue resistance, anti-hypoxia, anti-aging and immunity improvement [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [65] Atkinson A, Siegel V, Pakhomov EA, et al. A re-appraisal of the total biomass and annual production of *Antarctic krill* [J]. Deep-Sea Res I, 2009, (56): 727–740.
- [66] 刘芳, 李卓能, 庞雅琴, 等. 海带多糖对小鼠动脉血气影响及其抗疲劳作用[J]. 中国公共卫生, 2003, 19(12): 1462–1463.
- Liu F, Li ZN, Pang YQ, et al. Effect of kelp polysaccharide on arterial blood gas and its antifatigue effect in mice [J]. Chin J Publ Heal, 2003, 19(12): 1462–1463.
- [67] 陈小峰. 玛咖和海带的抗疲劳生理活性分析与应用[D]. 厦门: 集美大学, 2015.
- Chen XF. The anti-fatigue activity analysis of maca and kelp and their application [D]. Xiamen: Jimei University, 2015.
- [68] 王书全, 李丽. 螺旋藻多糖抗疲劳作用研究[J]. 食品工业科技. 2013, 34(22): 328–330.
- Wang SQ, Li L. Study on anti-fatigue effect of *Spirulina* polysaccharide [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(22): 328–330.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



赵雨茜, 硕士, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: 871669406@qq.com

何传波, 副教授, 博士, 研究方向为多糖物质及其综合利用。

E-mail: hcbcc@jmu.edu.cn

刘智禹, 高级工程师, 博士, 研究方向为水产品加工及其综合利用。

E-mail: 272132622@qq.com