

部分植物蛋白肽在抗疲劳功能食品中的研究进展

李荣华^{1*}, 郑旗²

(1. 山西体育职业学院社会体育系, 太原 030006; 2. 山西师范大学体育学院, 临汾 041000)

摘要: 在我国大力推行全民健身理念的背景下, 人们通过运动锻炼来增强身体素质, 但由此引发的运动疲劳现象不容忽视。抗疲劳功能食品能够补充能量、缓解运动疲劳, 受到人们的关注与喜爱。植物蛋白肽是从小麦、玉米、大豆等谷物及豆类中提取的活性肽类物质, 因其独特的加工性能、抗疲劳作用等特点, 逐渐被应用于食品、医学、保健品等领域, 近年来在运动领域也展现出较大潜力, 在功能食品中的应用价值正被不断发掘。本文综述了抗疲劳功能性食品发展现状、部分植物蛋白肽结构组成、物理化学特性及其抗疲劳作用, 提出并阐述了运动疲劳产生机制、植物蛋白肽在抗疲劳功能食品中的抗疲劳作用机制, 并对其应用前景进行了展望, 为开发具有抗疲劳作用的植物蛋白肽功能性食品提供参考。

关键词: 植物蛋白肽; 功能食品; 运动疲劳; 加工性能; 抗疲劳特性

Study on the application of partial plant protein peptides in anti-fatigue functional food

LI Rong-Hua^{1*}, ZHENG Qi²

(1. Department of Social Sports, Shanxi Sports Vocational School, Taiyuan 030006, China; 2. Physical Education College, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China)

ABSTRACT: Under the background of vigorously promoting the concept of national fitness in our country, people exercise to enhance physical fitness, but the resulting exercise fatigue phenomenon can not be ignored. Anti-fatigue functional food can replenish energy and relieve exercise fatigue, which attracts people's attention and love. Plant protein peptides are active peptides extracted from wheat, corn, soybean and other cereals and legumes, due to their unique processing properties and anti-fatigue effects, they are gradually used in food, medicine and health care products. In recent years, it has also shown great potential in the field of sports, and its application value in functional foods is being continuously explored. This paper reviewed the development status of anti-fatigue functional foods, the structural composition and physical and chemical properties of some plant protein peptides and their anti-fatigue effects, proposed and explained the mechanism of sports fatigue, the mechanism of anti-fatigue effects of plant protein peptides in anti-fatigue functional foods and the prospect of their application, which could provide reference for the development of functional foods with anti-fatigue effects of plant protein peptides.

KEY WORDS: plant protein peptides; functional food; exercise fatigue; processability; anti-fatigue properties

*通信作者: 李荣华, 硕士, 副教授, 主要研究方向为运动营养。E-mail: 988spring@163.com

*Corresponding author: LI Rong-Hua, Master, Associate Professor, Department of Social Sports, Shanxi Sports Vocational School, Taiyuan 030006, China. E-mail: 988spring@163.com

0 引言

随着粮食工业的快速发展和人们生活水平的不断提高,人们对于精加工粮食的需求不断增加,谷物和豆类等植物作物已成为日常饮食的重要消费品^[1]。根据国家统计局2020年数据,我国谷物产量达到61674万t,同比增长超过0.5%,玉米及小麦产量实现13425万t和26067万t的突破,且小麦产量同比增加0.5%^[2]。从分类来看,谷物主要有禾谷类及豆类,禾谷类又分为玉米、小麦、大麦、燕麦、稻谷、荞麦等;豆类包括大豆、红豆、绿豆、豌豆、鹰嘴豆等豆类食品。上述植物作物均具有独特的生长环境与丰富的营养价值,其中蛋白质含量一般为7%~15%,脂肪为20%左右,还含有B族维生素、镁、铁和 γ -谷维素等抗氧化成分,近年来多作为功能性食品的原料^[3]。此外,植物作物加工副产品的利用率并不高,目前多用于饲料工业,造成蛋白质资源出现一定的浪费现象。因此,应用现代生物技术对其蛋白质进行综合利用,对于增强植物加工产物的利用率,促进行业可持续发展具有一定的意义。

随着生物技术的快速发展,生物活性肽已成为现如今生命科学研究领域主要的研究内容^[4]。目前,活性肽已逐渐用于食品、医药、化妆品、生物材料等多个重要领域^[5]。与谷物及豆类蛋白质相比,植物蛋白肽能直接参与消化、代谢及内分泌的调节,其吸收机制优于蛋白质和氨基酸,还能够改善不同元素吸收及矿物质的运输方式,对于促进生长、调节食品口感及风味发挥相应作用。作为分子量介于蛋白质和氨基酸之间的一类生物活性物质,植物蛋白肽制备常利用定向酶切分离及酶修饰技术、微生物发酵技术等新型活性肽制备方法^[6]。

目前,我国已成为全球大型功能性食品消费市场之一,2020功能食品行业产值突破2700亿,并保持3年内平均增速超过15%的发展趋势^[7]。同时,国家发展改革委与工业和信息化部联合发布《关于促进食品工业健康发展的指导意见》,意见中也明确指出“支持生物活性肽等健康食品的未来发展”^[8]。因此,以肽类为主要原料的功能性食品将在大健康产业中逐步占据较重要的市场格局。此外,随着大众对适应爆发式需求的花样产品的需求逐渐增多,功能性食品在全球范围内出现指数型增长。由此可见,以植物为原料制备活性肽产品并添加到抗疲劳功能食品中已成为当前的研究热点。本文综述了抗疲劳功能食品发展现状、部分植物蛋白肽结构组成、物化特性及其抗疲劳作用,提出并阐述了运动疲劳产生机制及植物蛋白肽抗疲劳功能食品对运动疲劳的作用方式,并对其应用前景进行了展望,为植物蛋白肽在运动营养行业的应用及开发具有抗疲劳作用的功能性食品提供一定的科学依据和理论支持。

1 抗疲劳功能食品概念及现状

功能性食品是指对人体具有增强机体防御功能、改善生理节律、预防疾病发生及促进机体健康等功能的食品,主要包括抗疲劳类、代餐类、药食同源类、口服美容类等多种形式,据《2020—2026年中国功能性食品行业市场需求前景及销售渠道分析报告》数据显示,我国功能性食品市场规模在2019年已达到3585.8亿元^[9]。在当前我国人民生活水平不断提高的背景下,身体健康问题显得尤为重要,再加之在我国逐步倡导全民健身的背景下,参加体育锻炼的人数也在不断攀升。运动性疲劳是一种由体育运动引发机体功能的暂时下降,可通过补充维生素、氨基酸等抗疲劳功能食品来逐步缓解,因此安全健康又有效的抗疲劳功能食品的研究与开发备受关注和推崇,为抗疲劳功能食品行业的发展带来了一定的发展机遇。目前在全世界范围内,各个国家对抗疲劳功能食品行业的重视程度正在逐步提高。根据功能因子种类不同,抗疲劳功能食品主要有蛋白质和多肽类食品、含维生素类、富含氨基酸、富含微量元素及活性多糖食品等^[10]。

2 部分植物蛋白肽概述

植物蛋白肽是从花生、燕麦、小麦、大豆、玉米等植物中提取的一种活性肽类物质,是一种非常有前途的功能性食品原料。作为食品原料,植物蛋白肽的优势在于其溶解性能良好,低分子植物蛋白肽的水溶性较强,不易因酸碱度与热处理而受到影响,且在较高浓度下进行热处理也不易出现黏稠,流动性较好,因而适用于喷雾、灌装及浓缩等食品加工方式。研究发现,许多植物蛋白肽具有缓解疲劳、提高肌肉力量及运动能力等良好效果^[11]。相比于因具有副作用而限量使用的咖啡因、激素等抗疲劳药物来说,植物蛋白肽具有生物效价高、营养丰富、安全低毒等优点,且来源广、种类多、成本低,可作为目前具有较大开发潜力的抗疲劳功能食品基料之一。

植物蛋白肽的另一突出加工特性是其良好的吸湿保湿性,生产产品时可达到软化效果、改善口感、保持水分,使品质和风味更佳。此外,部分植物蛋白肽在一定的水解度条件下具有良好的发泡性,例如大豆肽、大米肽等,在抗疲劳功能食品中可使产品呈现较好的口感状态^[11]。研究表明,植物蛋白肽具有减轻蛋白质凝胶性的特点,可在生产中起到调节蛋白食品的硬度、提高口感的作用。如一些运动能量棒等高蛋白食品,当向其中添加适量植物蛋白肽后,可增加抗疲劳功能食品的风味特性,显著改善产品品质^[12]。由于其具有特殊的加工性能及功能活性,在功能食品研发及生产等多个方面具有广阔的应用前景。

2.1 大豆肽

大豆蛋白是大豆种子中的主要物质,一般占比在40%

左右, 被视作是适合人类食用谷物的重要组成成分。大豆肽是指通过生物酶解等技术, 将大豆中的大豆蛋白转化为由 2~10 个氨基酸组成的小分子片段, 平均分子量小于 1 kDa, 大致分布在 300 Da 和 700 Da 的范围内, 其中主要包括少量的游离氨基酸、糖、无机盐等组分^[12]。水解过程中使用的酶类型、工艺条件及纯化条件均会影响大豆肽的分子量、肽链长度、理化性质及生物活性。目前, 已从大豆多肽的混合物中分离纯化出多种具有生理作用的活性肽, 上述活性肽在调节细胞生理和代谢功能等方面发挥着较为重要的作用。

研究表明, 大豆肽能够缓解运动疲劳、促进肌肉增长、修复机体损伤。通常来说, 过度运动会引起心肌缺血缺氧、自噬水平升高, 甚至造成组织器官的深度损伤或相关代谢疾病。谢永磊等^[13]研究大豆活性肽对力竭运动大鼠的影响后发现, 饲喂高剂量大豆肽组(500 mg/kg)力竭运动大鼠的心肌组织得到显著改善, 说明大豆肽能够改善力竭运动大鼠的血流动力学。同样, 机体在运动后摄入支链氨基酸(branched chain amino acid, BCAA)可进一步促进肌肉蛋白质的合成。张玉萍等^[14]利用高频交变的电磁场的电裂解作用制备大豆肽, 经真空干燥后得到大豆肽粉对小鼠进行负重游泳实验和爬杆实验, 结果表明高剂量(7.5 g/kg·d)、中剂量(5.0 g/kg·d)组小鼠的游泳和爬杆时间显著增加, 可减少小鼠疲劳后血乳酸的积累, 说明通过电裂解方法制备得到的大豆肽具有一定的抗疲劳功效。NAKANISHI 等^[15]发现当运动群体补充大豆肽后, 除色氨酸外, 血液中的支链氨基酸及芳香族氨基酸含量都有所提高, 因可以加速肌纤维细胞中的蛋白质合成, 具有修复肌肉损伤的作用效果。

人体较容易吸收大豆肽, 并可以快速将其利用起来, 有效降低和控制人体内部的“负氮平衡”等副作用。研究发现, 通过分析骨骼肌超微结构损伤的修复作用来看, 大豆活性肽的作用效果明显大于大豆分离蛋白, 且大豆活性肽促进运动后血清肌酸激酶的恢复效果也更显著, 使用活性肽也可减轻或消除运动后延迟性肌肉酸痛的现象产生^[15]。在人体运动的过程当中或者运动进行之前, 添加适量大豆肽能够有效控制肌肉蛋白的降解, 确保体内正常蛋白的持续性合成, 降低及延迟因为人体运动而导致的暂时性生理改变, 实现抗疲劳目的^[16]。与此同时, 大豆肽还可以应用在运动员的体重管理上, 不仅可以减少人体对脂肪的吸收, 并且还有助于“脂质代谢”。这对于部分搏击类、举重类等划分体重等级的运动员来说, 具有非常重要的意义。

2.2 豌豆肽

豌豆是世界各地广泛种植的主要豆类食品之一, 其不仅提供大量碳水化合物(淀粉含量介于 45%到 55%之间), 而且是人体获取蛋白质的主要来源之一(蛋白质含量大于

等于 20%)^[17]。豌豆籽粒的蛋白质含量在 16%~30%之间, 平均蛋白质含量为 25%。其中, 粗蛋白中的非蛋白含氮物质含量为 10%~15%; 籽粒中约有 70%~80%的粗蛋白是贮藏蛋白, 其他主要是酶、酶抑制剂、激素及输送蛋白、结构蛋白和识别蛋白等成分构成非贮藏蛋白^[18]。近年来, 欧美等发达国家学者对豌豆蛋白展开了深入研究, 豌豆蛋白的分离与浓缩已迈入工业性开发时期, 不过国内对豌豆蛋白的研究仍然较为浅层, 其应用局限于动物喂养等方面。作为食用蛋白添加剂之一, 其蛋白质营养取决于必需氨基酸的含量和比例及其在生物体的利用率^[19]。研究发现, 豌豆蛋白可作为一种必需氨基酸来源之一, 其组成相对较为平衡, 且接近联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization, FAO/World Health Organization, WHO)推荐的标准模式, 并富含赖氨酸, 含硫氨基酸较少, 类似其他的植物蛋白, 蛋氨酸和胱氨酸也是其中的限制氨基酸^[20]。

豌豆肽是一种优质食源性蛋白肽类物质, 具有分子量小、易吸收、支链氨基酸含量多的特点^[21], 不但能够为人体提供必需的营养元素, 且具有良好的理化指标和功能特性。宋明洋等^[22]通过双酶法制备豌豆肽, 确定最佳制备条件为底物浓度 10%、复合蛋白酶添加量 3.0%、酶解时间 3.5 h、pH 为 9.0、温度 55 °C; 而采用碱性蛋白酶进行酶解时的加酶量为 3.0%、酶解时间 4.0 h、pH 为 9.5、温度 50 °C, 依据上述条件酶解得到豌豆肽水解物, 并测得水解度为 39.61%。张敏佳等^[23]以小鼠为实验样本, 研究豌豆肽的免疫调节作用, 研究结果表明豌豆肽能够通过促进免疫器官发育、优化骨髓抑制状态、提高免疫球蛋白含量、增加 T 淋巴细胞亚群百分比和细胞因子水平等途径逐步改善环磷酰胺(cyclophosphamide, CTX)致免疫抑制小鼠的部分免疫功能。此外, 豌豆肽属于一种小分子蛋白, 人体吸收速度较快, 速度高达正常蛋白质的 20 倍左右, 是正常氨基酸的 3 倍以上, 适合需要快速恢复体力、补充能量的人员使用^[24]。

2.3 花生肽

花生含油量高、经济性良好, 是国内重要食用油来源, 我国花生年产量也长期位居世界榜首^[25], 不过现阶段对花生蛋白的运用仍然较少。部分学者的研究结果表明, 花生榨油后所产生的花生粕当中蛋白质的含量仍然超过 50%。因此, 花生蛋白成分是近年来的研究热点, 其蛋白质含量高达 25%, 具有 18 种氨基酸, 其中包括机体无法合成的 8 种必需氨基酸, 苯丙氨酸、亮氨酸、缬氨酸、色氨酸等含量相对较高, 其中花生肽是指从花生蛋白中以酶解技术提取的小分子肽, 具有降血压、抗氧化、抑菌等多种生物活性^[26]。利用定向酶切分离技术和酶修饰技术对花生蛋白进行酶解可制得花生多肽。侯利霞等^[27]选用风味酶、碱性内切蛋白酶和双酶来酶解花生蛋白, 采用超声波辅助酶解制备花生抗氧化肽, 酶解 8 h 时水解度最大值为 29.81%。此外, 花生多肽

中所含有的能量很高,可作为运动员迅速恢复和增强体力的食品,林晓光^[28]通过花生肽对小鼠运动能力及心肌抗氧化能力影响的研究,进一步验证花生肽通过增强心肌抗氧化能力,减轻了剧烈运动对心脏造成的损伤,发挥心脏保护作用。于晓晨等^[29]研究也表明,花生肽干预可以显著提高小鼠游泳后的乳酸脱氢酶水平,并能够减少血乳酸产生、减小血乳酸曲线下面积,具有改善运动疲劳的效果。

3 植物蛋白肽的抗疲劳作用机制

3.1 运动疲劳产生机制

运动疲劳产生的内在机制相对复杂,一般以诱发因素的作用位点、途径和方式将其分为外周疲劳和中枢疲劳,前者通常表示大脑无法维持产生所需动力,后者则一般被定义为肌肉功能受损^[30]。目前疲劳产生机制的几种主要方式分别为能量耗竭、代谢产物蓄积及氧化应激等,上述方式对肌肉和中枢神经系统的影响会造成疲劳现象的发生^[31-33]。缓解运动疲劳产生可体现为运动耐力的提高,并表现出能够较好地适应能量代谢应激和氧化应激。此外,基于抗疲劳的潜在分子靶点,筛选抗疲劳功效显著、特异性强的活性成分。目前,已有研究报道了部分抗疲劳活性成分,但部分物质并未明确阐释其抗疲劳的分子机制,仅初步评价了如血乳酸、尿素氮、肌酸激酶、抗氧化酶等指标的变化及抗疲劳效果^[34-36]。因此,经过再次筛选抗疲劳分子靶点,对于寻找安全高效、机制明确的抗疲劳活性成分是十分有效的,旨在开发具备效果显著、有助于恢复机体健康的抗疲劳产品。

3.2 植物蛋白肽的抗疲劳作用机制

研究表明,补充适量水解物蛋白肽,可以大幅度增强比赛当中运动员的肌肉力量和重量及血清当中的整体含钙量,进一步延缓、缩减体内“负平衡”的发生,确保人体内部正常蛋白可以较长时间地保持在正常状态,延缓因运动而导致的其他一系列生理转变,发挥出明显的抗疲劳功效^[37-38]。此外,植物蛋白肽按一定比例添加至功能性食品当中,能够极为有效地延缓运动当中人体的能源消耗及乳酸等一些代谢物的积累,降低对人体自由基的损害及移植人体中枢神经的疲劳等,对于调节身体各个部位的机能、消除疲劳、加速机能复原等来说效果非常显著^[39-40]。

因此,抗疲劳包括延缓疲劳产生和促进疲劳消除两大方面,植物蛋白肽在抗疲劳功能食品中的抗疲劳作用机制主要表现在以下几方面^[41-45]。

3.2.1 与细胞相关酶有关

活性肽能够有效加速人体红细胞的复原速度,大幅度提升红细胞本身的携氧水平。研究表明,大豆水解蛋白质能够有效提升耐力型运动选手的血色素水平,将血清肌酸激酶有效控制在合理水平,在降低肌细胞内肌酸激酶外

部渗透、保护人体细胞膜和加速运动过后骨骼肌受损组织复原上,具有非常明显的功效^[46-47]。活性肽能够显著控制重链肌球蛋白的分解速度、延缓钙激活蛋白酶的水解,避免由于运动过量而导致的骨骼肌蛋白质分解。人体在经过运动后,主要的症状表现为肌肉酸疼及延缓性的肌肉酸疼。与上述症状一起发生的是,人体血清肌酸激酶活性上升及丙二醛总含量的提升^[48-50]。肌酸激酶(creatine kinase, CK)升高说明肌细胞膜受损,通透性改变,CK从细胞内漏出到血液中;丙二醛(malondialdehyde, MDA)升高预示肌细胞膜产生了过氧化损伤。因此,植物蛋白肽在运动中能够保护骨骼肌,运动后加速骨骼肌超微结构损伤的修复^[51]。

3.2.2 促进能量代谢

研究表明,相对于原蛋白质,酶解后的植物蛋白肽具有多种功能特性^[46]。此外,小分子多肽与氨基酸、蛋白质相比更易被人体所分解吸收,可以加快人体大量运动后的恢复速度,降低人体骨骼肌蛋白质的负向平衡。支链氨基酸代谢也与运动疲劳存在必要联系,运动会通过改变人体血浆氨基酸谱进而导致中枢性疲劳^[47]。因此,运动后利用植物蛋白肽向人体补充支链氨基酸,可以显著改善运动疲劳,增加肌肉组织内部氨基酸利用水平,降低肌糖原的消耗,缩减肌肉分解率^[48]。具体而言,活性肽在我们人体的肌肉组织当中会出现氧化脱氮的情况,其一会生成与之相应的酮酸进入三羧酸循环氧化提供能量;其二,脱掉后的氨基和丙酮酸会发生偶联的现象,最终产生谷氨酸酰胺与丙氨酸,为人体提供必要的能量。在相对特别的禁忌状态下,能够以直接的方式向人体肌肉提供能量。因为多肽容易被人体所分析和吸收,也能够被人体快速地利用^[48]。当延缓或降低人体内部的“负平衡”问题,尤其在运动前和运动中添加一定量的肽,能够有效降低肌肉蛋白的分解,确保人体内部正常蛋白质的合成,延缓因为运动过量而导致的生理转变,实现抗疲劳的最终目的^[49-50]。

3.2.3 促进修复损伤组织

活性肽具备非常明显的抗氧化能力,可以延缓和控制人体金属离子、氧自由基等一系列具有催化作用的脂类氧化的发生,继而发挥出本身的抗疲劳功效和人体细胞的保护功效。研究表明,人体运动以后血液血管紧张素 AII 的浓稠度会快速增加,导致肾血流量大幅度降低^[52]。人体运动后肾脏器官易出现缺血问题,最终加速自由基产生,大幅度提升肾脏器官脂质过氧化现象,对人体肾脏器官的危害性非常大,也会导致原本正常的生物膜和技能被损坏。在线粒体遭受到进攻的时候,三磷酸腺苷(adenosinetriphosphate, ATP)的供给与制造水平也会降低,肌肉的工作水平大幅度缩减。现阶段,豌豆肽、大豆肽、米渣肽等普遍具备减缓运动疲劳的功效^[53-55]。植物蛋白肽独有的支链氨基酸可以有效降低运动所导致的人体自由基伤害,控制并降低运动后血乳酸的浓稠度。由于生物活性肽非常容

易被人体所吸收并加以利用,因此当人体内部由于消耗量较大而导致营养物质不足,机体发生环境不平衡时,服用一定量的植物蛋白肽可较为快速地补充营养及活性成分,优化细胞代谢水平,促使不平衡的机体环境达到平衡状态,达到消除疲劳的效果^[56-57]。

4 抗疲劳功能食品存在的问题与展望

当前我国的抗疲劳功能性食品尚处于起始阶段,抗疲劳活性成分的理论基础和物质来源研究对于开发抗疲劳功能性食品是十分必要的。从现代营养学的研究来看,植物蛋白肽富含亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸等支链氨基酸及抗氧化成分,在减少肌肉酸痛、快速恢复肌肉力量、修复运动损伤方面发挥着重要作用。在运动前后补充植物蛋白肽对于促进人体吸收、加速肌肉合成代谢及修复运动所致的骨骼肌细胞微细损伤均具有积极作用,同时还可以加快肌糖元的再合成,对运动后骨骼肌的疲劳消除起到十分关键的作用,对运动过程中身体健康的保持来说具有重要意义,已逐步成为抗疲劳功能食品生产的重要原料之一。但是,植物蛋白肽发挥抗疲劳作用的构效关系及分子机制仍需深入研究。因此,未来应进一步加强对天然植物蛋白肽的研究,并对其吸收代谢机制、科学使用剂量、配方及副作用等方面进行深入探讨;根据不同疲劳状况和不同人群的差异需求,研制安全高效的抗疲劳功能食品是今后的研究方向,同时建立并不断优化运动营养健康服务体系,拟定和落实与之相应的操作标准和行业规范。

参考文献

- [1] 赵芑,郭斐,董笑晨,等. 全谷物食品行业概况和发展趋势[J]. 现代食品, 2018, (15): 8-12.
ZHAO P, GUO F, DONG XC, *et al.* Overview and development trend of whole grain food industry [J]. Mod Food, 2018, (15): 8-12.
- [2] 国家统计局关于2020年粮食产量数据的公告[J]. 现代面粉工业, 2021, 35(1): 15.
Announcement of the National Bureau of statistics on grain production data in 2020 [J]. Mod Flour Mill Ind, 2021, 35(1): 15.
- [3] LIU X, HUANG YQ, CHEN XW, *et al.* Whole plant protein-based pickering emulsions prepared by zein-gliadin complex particles [J]. J Plant Sci, 2019, 87: 46-51.
- [4] BERGMANN C, EHMANN R, JORDAKIEVA G, *et al.* Correction to: Targeted micronutrition for allergic patients-possible applications of a food for special medical purposes [J]. Allergo J Int, 2021, 30: 150-153.
- [5] 曹慧英,柴媛,肖志刚,等. 玉米活性肽的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(19): 6587-6591.
CAO HY, CAI Y, XIAO ZG, *et al.* Research progress of corn active peptide [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(19): 6587-6591.
- [6] 许婷婷,齐宏涛,于丽娜,等. 抑制 α -葡萄糖苷酶的花生蛋白活性肽制备工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(8): 2885-2891.
XU TT, QI HT, YU LN, *et al.* a-study on preparation technology of peanut protein active peptide of glucosidase [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(8): 2885-2891.
- [7] 胡万明. 功能性食品研究现状及发展前景[J]. 现代食品, 2018, (13): 1-3.
HU WM. Research status and development prospect of functional food [J]. Mod Food, 2018, (13): 1-3.
- [8] 沈圆圆,于福田,赵笑颖,等. 食源性抗炎活性肽对肠道炎症的作用研究进展[J/OL]. 食品科学: 1-18. [2021-12-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20210628.1515.012.html>
SHEN YY, YU FT, ZHAO XY, *et al.* Research progress of food-derived anti-inflammatory peptides on intestinal inflammation [J/OL]. Food Sci: 1-18. [2021-12-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20210628.1515.012.html>
- [9] 刘建伟,孟佳珩. 胶原蛋白在运动食品中的应用及其对运动员的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(10): 3081-3086.
LIU JW, MENG JH. Application of collagen in sports food and its effect on athletes [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(10): 3081-3086.
- [10] 王文军. 运动营养食品的现状和未来发展探讨[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(6): 1411-1415.
WANG WJ. Discussion on the present situation and future development of sports nutrition food [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(6): 1411-1415.
- [11] DHAVAL A, YADAV N, PURWAR S. Potential applications of food derived bioactive peptides in management of health [J]. Int J Peptide Res Ther, 2016, 22(3): 377-398.
- [12] 王露露,史茜茜,王雨桐,等. 大豆肽的功能活性及其在食品加工中的应用[J]. 农产品加工, 2021, (2): 59-63.
WANG LL, SHI XX, WANG YT, *et al.* Function of soybean bioactive peptides and its application in food processing [J]. Farm Prod Process, 2021, (2): 59-63.
- [13] 谢永磊,崔明辰,黄亚男,等. 大豆肽对力竭运动大鼠血流动力学及心肌自噬水平的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(22): 316-320.
XIE YL, CUI MC, HUANG YN, *et al.* Effects of soybean peptides on hemodynamics and myocardial autophagy levels in exhausted exercising rats [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(22): 316-320.
- [14] 张玉萍,罗艳玲,曹柏营. 电裂解大豆肽抗疲劳作用的实验研究[J]. 食品安全导刊, 2012, 5(6): 76-78.
ZHANG YP, LUO YL, CAO BY. Experimental study on the anti-fatigue effect of electrolyzed soybean peptides [J]. Chin Food Saf Magaz, 2012, 5(6): 76-78.
- [15] NAKANISHI Y, SHIRAKAWA S, MAEBUCHI M, *et al.* Effect of soy protein intake in peptide form on delayed-onset musclesoreness induced by eccentric exercise [J]. Ann Nutr Metab, 2009, (5): 439-442.
- [16] KIA B, DJ C, IDNB D, *et al.* Bioinformatics and chemometrics for discovering biologically active peptides from food proteins [J]. Compr Foodomics, 2021: 482-494. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22878-3>
- [17] INTIQUILLA A, JIMÉNEZ-ALIAGA K, GUZMÁN F, *et al.* Novel antioxidant peptides obtained by alcalase hydrolysis of *Erythrina edulis* (pajuro) protein [J]. J Sci Food Agric, 2019, 99: 2420-2427.
- [18] XU X, YU M, RAZA J, *et al.* Study of the mechanism of flavor compounds formed via taste-active peptides in bovine bone protein extract [J]. LWT-Food Sci Technol, 2020, 137(2): 110371.
- [19] YU Y, HU Q, LIU J, *et al.* Isolation, purification and identification of immunologically active peptides from *Hericium erinaceus* [J]. Food Chem

- Toxicol, 2021, 151: 112111.
- [20] FAN SH, LIU TT, WAN P, *et al.* Enrichment of the umami-taste-active amino acids and peptides from crab sauce using ethanol precipitation and anion-exchange resin [J]. *J Food Process Pres*, 2021, 45(5): 15390.
- [21] 徐忠, 王友健, 陈晓明, 等. 响应面法优化超声波辅助酶解豌豆蛋白工艺研究[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(10): 121–125.
XU Z, WANG YJ, CHEN XM, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted enzymatic digestion of pea protein by response surface testing [J]. *J Cere Oils*, 2021, 34(10): 121–125.
- [22] 宋明洋, 刘晓兰. 双酶法制备豌豆肽及其抗氧化活性[J]. *食品工业*, 2020, 41(4): 108–112.
SONG MY, LIU XL. Preparation and antioxidant activity of pea peptides by two-stage enzymatic hydrolysis [J]. *Food Ind*, 2020, 41(4): 108–112.
- [23] 张敏佳, 刘文颖, 贾福怀, 等. 豌豆肽对环磷酸腺苷免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(8): 135–140.
ZHANG MJ, LIU WY, JIA FH, *et al.* Effects of pea peptide on immune function in immunosuppressed mice induced by cyclophosphamide [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(8): 135–140.
- [24] ZHANG H, CHEN Y, GUO Y, *et al.* Label-free quantification proteomics reveals the active peptides from protein degradation during anaerobic fermentation of tea [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, (39): 111950.
- [25] 王龔, 管乐, 韩紫怡, 等. 我国花生黄曲霉毒素污染影响因素分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(19): 7818–7825.
WANG Y, GUAN L, HAN ZY, *et al.* Analysis of factors influencing aflatoxin contamination in peanuts in China [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(19): 7818–7825.
- [26] 穆静, 于小磊. 花生蛋白粉的成分测定及其性质[J]. *食品工业*, 2021, 42(7): 163–168.
MU J, YU XL. Determination of the composition and properties of peanut protein powder [J]. *Food Ind*, 2021, 42(7): 163–168.
- [27] 侯利霞, 王晓坤, 王金水, 等. 超声波辅助酶解制备花生抗氧化肽的研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2012, 33(2): 15–18.
HOU LX, WANG XK, WANG JS, *et al.* Preparation of peanut antioxidant peptides by ultrasonic assisted enzymatic hydrolysis [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2012, 33(2): 15–18.
- [28] 林晓光. 花生肽对小鼠运动能力及心肌抗氧化能力影响的研究[J]. *山东体育科技*, 2013, 35(5): 75–77.
LIN XG. Effects of peanut peptide on sport activity and myocardial antioxidant capacity of mice [J]. *Shandong Sports Sci Technol*, 2013, 35(5): 75–77.
- [29] 于晓晨, 李臻, 胡佳妮, 等. 花生肽对小鼠的抗疲劳作用研究[J]. *中国食物与营养*, 2021, 27(4): 5.
YU XC, LI Z, HU JN, *et al.* Anti-fatigue effects of peanut peptides in mice [J]. *Food Nutr China*, 2021, 27(4): 5.
- [30] 李依娜, 余元善, 肖更生, 等. 植物蛋白肽的研究开发概况[J]. *中国果菜*, 2020, 40(11): 48–54.
LI YN, YU YS, XIAO GS, *et al.* Overview of the research and development of plant-derived active peptides [J]. *China Fruit Veget*, 2020, 40(11): 48–54.
- [31] YE Q, CHEN K, YANG X, *et al.* Facile and moderate immobilization of proteases on SPS nanospheres for the active collagen peptides [J]. *Food Chem*, 2020, 335(3): 127610.
- [32] SOLEYMANZADEH N, MIRDAMADI S, MIRZAEI M, *et al.* Novel β -casein derived antioxidant and ACE-inhibitory active peptide from camel milk fermented by *Leuconostoc lactis* PTCC1899: Identification and molecular docking [J]. *Int Dairy J*, 2019, 97: 201–208.
- [33] YANG J, BAI W, ZENG X, *et al.* Gamma glutamyl peptides: The food source, enzymatic synthesis, kokumi-active and the potential functional properties [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2019, 91: 339–346.
- [34] HEYMICH ML, FRIEDLEIN U, TROLLMANN M, *et al.* Generation of antimicrobial peptides Leg1 and Leg2 from chickpea storage protein, active against food spoilage bacteria and foodborne pathogens [J]. *Food Chem*, 2020, 347(3): 128917.
- [35] HUANG E, HUSSEIN WE, CAMPBELL EP, *et al.* Applications in food technology: Antimicrobial peptides [J]. *Biol Act Peptides*, 2021: 745–770. DOI: 10.1016/B978-0-12-821389-6.00006-6
- [36] KOVAI A, GYS C, GULIN MR, *et al.* The migration of bisphenols from beverage cans and reusable sports bottles [J]. *Food Chem*, 2020, 46(7): 127326.
- [37] PARK SY, KIM HS, KANG DS, *et al.* Isolation of an antioxidant peptide from krill protein hydrolysates as a novel agent with potential hepatoprotective effects [J]. *J Funct Foods*, 2020, 67: 103889.
- [38] OLA A, MOURAD J, RIM N, *et al.* Rheological and structural properties of *Hemiramphus* far skin gelatin: Potential use as an active fish coating agent [J]. *Food Hydrocoll*, 2018, 87: S0268005X18309378.
- [39] SONKLIN C, ALASHI MA, LAOHAKUNJIT N, *et al.* Identification of antihypertensive peptides from mung bean protein hydrolysate and their effects in spontaneously hypertensive rats [J]. *J Funct Foods*, 2019, 64: 103635.
- [40] KONDRASHINA A, BRODKORB A, GIBLIN L. Dairy-derived peptides for satiety [J]. *J Funct Foods*, 2020, 66: 103801.
- [41] ALUKO RE. Antihypertensive foods: Protein hydrolysates and peptides [J]. *Encycl Food Chem*, 2019: 237–247. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21755-1>
- [42] ZHU L, XIE Y, WEN B, *et al.* Porcine bone collagen peptides promote osteoblast proliferation and differentiation by activating the PI3K/Akt signaling pathway [J]. *J Funct Foods*, 2019, 64: 103697.
- [43] SU L, ZHOU F, YU M, *et al.* Solid lipid nanoparticles enhance the resistance of oat-derived peptides that inhibit dipeptidyl peptidase IV in simulated gastrointestinal fluids [J]. *J Funct Foods*, 2020, 65: 103773.
- [44] CAMBEIRO-PÉREZ N, HIDALGO-CANTABRANA C, MORO-GARCÍA MA, *et al.* In silico and functional analyses of immunomodulatory peptides encrypted in the human gut metaproteome [J]. *J Funct Foods*, 2020, 70: 103969.
- [45] LIU H, HUANG L, WANG J. Effects of loach skin collagen peptides in reducing osteoporosis in mice [J]. *J Funct Foods*, 2020, 75: 104228.
- [46] PIMENTEL TC, KLOSOSKI SJ, ROSSET M, *et al.* Fruit juices as probiotic foods [J]. *Sport Energy Drink*, 2019: 483–513. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815851-7.00014-0>
- [47] KUMAR S, PANDEY G. Biofortification of pulses and legumes to enhance nutrition [J]. *Heliyon*, 2020, 6(3): 3682.
- [48] TKACZEWSKA J, JAMRÓZ E, KULAWIK P, *et al.* Evaluation of the potential use of a carp (*Cyprinus carpio*) skin gelatine hydrolysate as an antioxidant component [J]. *Food Funct*, 2019, 10: 2492.
- [49] ZHANG L, YU D, REGENSTEIN JM, *et al.* A comprehensive review on natural bioactive films with controlled release characteristics and their

- applications in foods and pharmaceuticals [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2021, 112: 690–707.
- [50] ZANELA J, CASAGRANDE M, RADAELLI JC, *et al.* Active biodegradable packaging for foods containing *baccharisdracunculifolia* leaf as natural antioxidant [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2021, 14(7): 1301–1310.
- [51] TIRLONI E, VASCONI M, CATTANEO P, *et al.* A possible solution to minimisescotta as a food waste: A sports beverage [J]. *Int J Dairy Technol*, 2019, 73: 421–428.
- [52] 田京歌, 陈海霞, 陈书涵. 玉米肽的制备及其生物活性研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 4(3): 753–759.
TIAN JG, CHEN HX, CHEN SH. Advancement of the preparation and bioactivity studies on bioactive corn peptides [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 4(3): 753–759.
- [53] 秦于思, 程明, 韦海涛, 等. 高 F 值寡肽的功能特性研究进展[J]. *轻工学报*, 2021, 36(3): 28–35.
QIN YS, CHENG M, WEI HT, *et al.* Research progress in functional characteristics of high fisher ratio oligopeptides [J]. *J Light Ind*, 2021, 36(3): 28–35.
- [54] 王倩倩, 杜鹃, 陈鸣, 等. 小麦肽的抗氧化与抗疲劳作用的研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(17): 357–365.
WANG QQ, DU J, CHEN M, *et al.* Study on the antioxidant and anti-fatigue effect of wheat peptides [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(17): 357–365.
- [55] 李良, 苏浩. 运动后联合补充糖与蛋白质对肌糖原合成效果的研究进展[J]. *体育科学*, 2015, 35(9): 84–89.
LI L, SU H. Research advancement of the effects of the co-ingestion of carbohydrate and protein on muscle glycogen synthesis after exercise [J]. *China Sport Sci*, 2015, 35(9): 84–89.
- [56] MOHANTY DP, MOHAPATRA S, MISRA S, *et al.* Milk derived bioactive peptides and their impact on human health-A review [J]. *Saud J Biol Sci*, 2016, 23(5): 577–583.
- [57] HUANG CC, LIU CC, TSAO JP, *et al.* Effects of oral resveratrol supplementation on glycogen replenishment and mitochondria biogenesis in exercised human skeletal muscle [J]. *Nutrients*, 2020, 12(12): 3721–3725.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介

李荣华, 硕士, 副教授, 主要研究方向为运动营养。
E-mail: 988spring@163.com