

部分食源性多肽在运动营养领域的研究进展

曹光*

(河南财政金融学院体育学院, 郑州 450046)

摘要: 运动员一般都需要连续训练和比赛, 可能造成肌肉损伤和运动表现下降, 因此运动补充剂, 特别是蛋白质补充剂越来越受到人们的关注。与游离氨基酸和完整蛋白质相比, 当蛋白质被水解为小分子肽时吸收速率更快, 因此市场中很多产品是将蛋白质预先暴露在特定的消化酶中制备二肽、三肽、四肽。本文重点总结分析了食源性多肽包括大豆肽、小麦肽和胶原肽的结构功能、制备方法以及在运动营养领域的研究进展, 并对后续研究方向提出展望, 包括将大豆肽和小麦肽应用于临床研究, 重点研究胶原肽的有效肽段组成及作用机制。

关键词: 大豆肽; 小麦肽; 胶原肽; 运动营养

Research progress of some foodborne polypeptides in sports nutrition

CAO Guang*

(Henan University of Finance and Banking Physical Education Institute, Zhengzhou 450046, China)

ABSTRACT: Athletes generally need continuous training and competition, which may cause muscle damage and decreased locomotor performance. Sports supplements, especially protein supplements, have attracted more and more attention. Compared with free amino acids and intact proteins, the absorption rate of proteins is faster when they are hydrolyzed into small peptides. Therefore, many products in the market expose proteins to specific digestive enzymes to prepare dipeptides, tripeptides, and tetrapeptides. Among them, small molecule peptide products have been sought after by the market due to their fast absorption rate and high safety. This article summarized and analyzed the structure and function of food-derived peptides, including soybean peptides, wheat peptides and collagen peptides, preparation methods, and research progress in the field of sports nutrition, and put forward prospects for subsequent research directions, including the application of soybean peptides and wheat peptides to clinical research, focusing on the effective peptide composition and mechanism of collagen peptides.

KEY WORDS: soybean peptide; wheat peptide; collagen peptide; sports nutrition

0 引言

大多数运动都包括短跑、跳跃、加速、减速、方向改变等, 这些动作都可能造成肌肉损伤。另外肌肉损伤可能会导致下肢肌肉力量下降和反复的短跑能力下降, 这些能力下降一般伴随着肌肉酸痛、肌酸激酶活性和c反应

蛋白含量升高^[1]。特别是对于职业运动员, 连续比赛之间只有3~4 d的恢复期, 研究证明这段时间可能不足以让运动员恢复正常的体内稳态, 因此, 运动营养补剂方面的研究越来越受到人们的关注, 其中蛋白质补剂产品占据了运动补充剂的70%, 其被运动员和体育锻炼者广泛使用以增加其肌肉质量并增强运动后的恢复^[2]。人体经口摄

*通信作者: 曹光, 主要研究方向为运动康复。E-mail: xiaoxuedaa@163.com

*Corresponding author: CAO Guang, Henan University of Finance and Banking Physical Education Institute, Zhengzhou 450046, China. E-mail: xiaoxuedaa@163.com

入蛋白质后,首先通过咀嚼将蛋白质均质化,然后通过胃中的胃蛋白酶进行部分消化。此后肽、蛋白质和少量氨基酸的混合物被释放到小肠中,并被部分水解为长度为 2~8 个氨基酸的寡肽,或者被完全水解为单个氨基酸^[3]。研究表明^[4],与游离氨基酸和完整蛋白质相比,当蛋白质被水解为小分子肽时吸收速率更快,因此市场中很多产品是将蛋白质预先暴露在特定的消化酶中制备二肽、三肽、四肽。本文重点总结分析了部分食源性多肽包括大豆肽、小麦肽和胶原肽在运动营养领域的研究进展,以期为后续研制相关产品提供理论基础。

1 大豆肽

1.1 大豆肽的结构与功能

大豆蛋白主要有 2 个贮藏蛋白,分别为 β 大豆球蛋白和 α 大豆球蛋白,其含量占大豆总蛋白含量的 80%~90%。在通过肠胃消化、食品加工、发酵或酶促处理之后被水解为生物活性肽,这些活性肽通常有 2~20 个氨基酸,会通过肠道被吸收到血液中并循环到身体的各个靶器官中^[5-6]。在过去 10 年左右的时间里,对于大豆的研究重点已经转移到生物活性肽及其相应的生理功能的鉴定和表征上。现在已

经研究出的大豆肽的结构及功能如表 1 所示。

1.2 大豆肽在运动营养领域的应用

1.2.1 抗运动疲劳

在厌氧条件下糖酵解会产生乳酸,运动过程中,由于乳酸的积累,人体的能量代谢及肌肉耐力会降低,从而让人感觉疲劳。当血糖水平较低时,肝糖原可以转换为葡萄糖为人体提供能量,因此血液中的乳酸和葡萄糖的含量可以判断运动疲劳的程度^[21]。CUI 等^[22]利用枯草芽孢杆菌、保加利亚乳杆菌及汉逊酵母发酵大豆,发现发酵后的大豆中含有丰富的大豆肽,对剧烈运动后的小鼠进行灌胃研究发现其可以显著提高小鼠血清和肝脏中肝糖原水平,显著降低血液中的乳酸含量,因此大豆肽可能可以通过调节乳酸和糖原的含量发挥抗运动疲劳的作用。NIHHO 等^[23]发现与对照组相比,大豆肽给药 60 min 后小鼠的疲劳恢复率显著提高,该研究证实了大豆肽在抗运动疲劳方面的作用。高绿莎^[24]发现在急性疲劳模型下,大豆肽可以显著提高小鼠肝糖原储存量,并降低血乳酸的含量,从而有效缓解小鼠的运动疲劳。从以上研究可以看出大豆肽可以抑制血液中乳酸的积累,加速乳酸清除,改善糖原储备,并减少运动中糖原的消耗,从而减轻运动疲劳。

表 1 大豆肽的结构与功能
Table 1 Structure and properties of soybean peptides

制备方法	大豆肽来源	肽序列	生理活性	实验模型	参考文献
胰蛋白酶与胃蛋白酶	β 大豆球蛋白	YVVNPDNDEN	降低胆固醇	HepG2 人肝细胞	[7]
商品		YVVNPDNNEN			[8]
瑞士乳杆菌 LB10 中分离蛋白酶,固定化后用于酶解	β 大豆球蛋白(α' -亚基)	LAIPVNKP, LPHF	抑制 ACE	体外 ACE 抑制活性测定	[9-10]
胰凝乳蛋白酶和胰蛋白酶		MITLAIPVNKPGR		雄性 ICR 小鼠	[11]
胰蛋白酶和胃蛋白酶水解	β 大豆球蛋白(α' -亚基)	MITLAIPVN	激活免疫系统	吞噬作用测定	[12]
齐藤曲霉, <i>A. oryzae</i> 和根霉中提取的蛋白酶,以及胰蛋白酶和胃蛋白酶		MITL			新生大鼠模型
胰蛋白酶和胃蛋白酶	β 大豆球蛋白(β -亚基)	YPFVV	降血糖	豚鼠回肠模型	[14]
胰蛋白酶和胃蛋白酶		YPFVVN	降低甘油三酸酯	糖尿病模型小鼠	[15]
合成	大豆球蛋白	IAVPGEVA		HMGR 活性测定	[16]
胰蛋白酶和胃蛋白酶		IAVPTGVA	降低胆固醇	HepG2 人肝细胞	[17]
胰蛋白酶和胃蛋白酶		LPYP		DPP-IV 活性测定	[18]
胰蛋白酶和胃蛋白酶		VLIVP			[19]
合成		WL	ACE 抑制	体外 ACE 抑制活性测定	[20]
胰蛋白酶和胃蛋白酶		SFGVAE			[21]

注: A: 丙氨酸; R: 精氨酸; N: 天冬酰胺; D: 天冬氨酸; C: 半胱氨酸; Q: 谷氨酰胺; E: 谷氨酸; G: 甘氨酸; H: 组氨酸; I: 异亮氨酸; L: 亮氨酸; K: 赖氨酸; M: 蛋氨酸; F: 苯丙氨酸; P: 脯氨酸; S: 丝氨酸; T: 苏氨酸; W: 色氨酸; Y: 酪氨酸; V: 缬氨酸。

1.2.2 抗氧化和抗炎作用

在剧烈的运动中自由基和反应性氧和氮物质(reactive oxygen and nitrogen species, RONS)的含量会显著增加,并可能抑制肌肉的收缩功能,从而导致肌肉疲劳和性能受损,甚至增强炎症反应并对细胞组织造成氧化应激伤害^[25-27]。因此,许多运动员会额外补充抗氧化剂来支持他们的训练和比赛,其中大豆肽也是抗氧化剂之一。DAN 等^[28]用蛋白酶和胰酶对大豆蛋白进行水解,得到了 2 种生物活性肽,分别为 RQRK 和 VIK,这 2 种肽可以抑制一氧化氮、白介素、一氧化氮合酶和环氧合酶-2 的生成,从而抑制脂多糖诱导的鼠巨噬细胞炎症。白海军等^[29]利用体外抗氧化实验探究了牛磺酸-水解大豆蛋白复合体系对于运动性疲劳大鼠的影响,结果发现饲喂该物质之后,大鼠的超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶的活力提高,丙二醛含量降低,相应实验组的大鼠耐力运动时间增多,血乳酸、血尿素氮含量较低,抗疲劳效果最佳,说明大豆肽具有一定的抗氧化能力,因此对于提高运动能力,减缓运动疲劳具有正面影响。

1.2.3 增肌及降低肌肉损伤

对于从事力量训练或耐力训练的运动员,每日摄入足量的蛋白质十分重要,其中总蛋白和亮氨酸的摄入量至少要达到 20~40 g 和 2~4 g 才能达到促进肌肉合成的作用^[30]。大豆蛋白的亮氨酸百分比为 8%,运动后肌肉蛋白合成率可以达到乳清蛋白的 80%,大豆肽的分子量更低更好吸收,可以快速进入血液中增加氨基酸含量,同时快速转运到肌

纤维细胞中促进蛋白质合成,从而增加肌肉含量,并降低肌肉损伤^[31]。尤莉蓉^[32]利用大豆蛋白水解制成大豆肽,并选择健美爱好者和健身爱好者进行 6 个月的增肌实验,结果发现,与对照组相比,摄入大豆肽的实验者出现显著的肌肉重量增加和体脂减少。

2 小麦肽

2.1 小麦肽的结构与功能

小麦籽粒含有 8%~15%的蛋白质,其中 10%~15%是白蛋白/球蛋白,而 85%~90%是面筋^[33]。面筋又被称为小麦蛋白,是面团通过水洗去除淀粉颗粒和可溶性成分剩下的物质,其 75%~85%干重都是蛋白质,5%~15%为油脂,其余物质为淀粉及其他非淀粉类的碳水化合物^[34]。一般谷蛋白根据其 60%乙醇水溶液中的可溶性分为可溶性麦醇溶蛋白和不溶性谷蛋白。其中麦醇溶蛋白的一些肽序列对于胃肠道中的胃蛋白酶、胰蛋白酶和肠蛋白酶具有高度抵抗力,导致人体对于这些蛋白很难消化。而且麦醇溶蛋白中含有丰富的脯氨酸和谷氨酰胺,这些氨基酸残基可以产生紧密的结构,从而导致乳糜泻等不良免疫反应,因此小麦蛋白的利用受到了一定限制^[35]。而酶促修饰可以将小麦蛋白水解为大量不同分子量的小麦肽,可以在小肠内以完整肽段的形式被人体吸收^[36]。目前已经研究的小麦肽的结构及功能如表 2 所示。

表 2 小麦肽的结构和功能
Table 2 Structure and properties of wheat peptides

制备方式	肽结构	生理活性	实验模型	参考文献
蛋白酶 K 水解	MDATALHYENQK	抗氧化活性	体外抗氧化活性测定	[37]
	SGGSYADELVSTAK			
	VALTGDNGHSDHV			
	VDSLLTAAK			
	MDATALHYENQK			
双酶复合水解(胰蛋白酶与碱性蛋白酶)	IGGIGTVPVGR	抗氧化活性	体外肠道消化模拟、体外抗氧化活性测定	[38]
	SGGSYADELVSTAK			
三酶复合水解(胰蛋白酶、碱性蛋白酶以及木瓜蛋白酶)	WP	抗氧化活性	体外肠道消化模拟、体外抗氧化活性测定	[39]
	PWGH			
碱性蛋白酶水解	AWGH	抗氧化活性、吸收特性	DPPH 自由基清除活性、Caco-2 细胞模型	[40]
	GPEFGE			
小麦芽水醇提取	AGSMMC			[41]
	YMTVVAC			

2.2 小麦肽在运动营养领域的应用

2.2.1 抗运动疲劳

运动性疲劳通常是由于肌糖原耗竭引起的,而运动员一般每天都要训练2次,并可能连续几天参加比赛,因此肌糖原的快速恢复对于运动员快速恢复和提高运动表现具有重要意义。由于运动消耗肌糖原后,肌肉糖原的合成一般包括2个阶段。首先,在运动后的30~60 min内肌肉糖原快速合成,这时运动引起了肌肉细胞膜对葡萄糖的通透性增强,糖原合酶持续活化,因此在运动后早期恢复不需要依赖胰岛素。第二阶段的肌糖原的合成则需要依赖胰岛素,这一阶段的糖原合成速率比第一阶段低10%~30%。这时,胰岛素刺激肌肉葡萄糖的摄取和糖原合酶的活化,因此在运动恢复后期增加胰岛素浓度可以优化肌肉糖原贮积。虽然胰腺胰岛素的分泌主要受血糖浓度的影响,但是一些氨基酸和蛋白质可以加速胰岛素的释放^[42-44]。因此一些学者研究了小麦肽对肌肉糖原合成量的影响。VAN-HALL等^[44]对8位运动员进行了实验,结果发现摄入小麦水解产物(其中含有26%谷氨酰胺)和碳水化合物糖原合成率更高,但是在统计学上不显著。同样的,JENTJENS等^[43]研究发现小麦蛋白水解产物与碳水化合物组合可以有效增加血浆中的胰岛素含量,但是并没有增加肝糖原的合成量。而钱平等^[45]以60只8周龄的SD大鼠作为实验对象,用小麦肽进行灌胃,结果发现小麦低聚肽可以显著加快运动后肌糖原的合成。因此需要进一步对小麦肽蛋白质效应进行研究,以开发抗疲劳效果更好的小麦肽段。

2.2.2 提高运动表现

由于小麦肽具有抗氧化活性、抗炎活性,因此小麦肽在原理上具有提高运动表现的潜力。潘兴昌等^[46]以散打运动员作为研究对象,研究了摄入不同剂量小麦肽对于其握力、腿部肌肉、反应时间的影响,结果发现在大负荷散打训练后,低剂量小麦肽可以显著增肌运动员的腿部肌力,中剂量和高剂量小麦肽可以显著增加运动员的握力和腿部肌力,该研究证明小麦肽可以加速运动性疲劳恢复并减轻肌肉损伤,从而提高训练效果。同样,钱平等^[45]发现小麦低聚糖可以显著延长大鼠力竭游泳的时间。目前国内外对于小麦肽对运动表现与训练恢复影响

的研究较少,而且大部分研究都没有对实验用小麦肽的结构进行深入探究,因此未来可以研究小麦肽的氨基酸组成及结构对运动表现的影响。

3 胶原肽

3.1 胶原肽的结构与制备

胶原蛋白是人体中最重要的蛋白质之一,是由3条 α 链组成的三链螺旋,每条 α 螺旋上有1014个氨基酸,主要是甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸,分子量为100 kDa左右。这些螺旋链为左旋螺旋,每匝由3个氨基酸组成,彼此缠绕成刚性结构,最终形成以超螺旋为代表的胶原结构,由于相邻链中甘氨酸之间的分子内氢键,这种胶原蛋白结构十分稳定^[47]。对胶原蛋白进行40℃的热处理后,由于氢键的解离,天然胶原蛋白可以变性产生3个无规则卷曲的 α 链,之后用碱性蛋白酶、胃蛋白酶、木瓜蛋白酶等进行水解后可以制备胶原肽,一般是3~5 Da的低分子量肽,其溶解性和功能活性都与水解酶的类型和水解程度有关。与天然胶原蛋白相比,胶原肽具有很多优势,由于其制备方法简单,因此成本较低,而且胶原肽很容易被吸收并分布于人体,并具有黏度低、无刺激性气味、稳定性强、成膜性强、溶解性好、分散性好、粉末可压缩及低变应原性等优点^[48]。胶原肽具有抗氧化活性和抗菌活性,因此目前被广泛应用于功能性食品补充剂,特别是护肤领域。在健康领域,胶原肽还有助于改善记忆功能,在食品科学领域,胶原肽可以大大减少冷冻室中细胞和组织的损坏^[49]。现在胶原肽应用如表3所示。

3.2 胶原肽在运动营养领域的应用

3.2.1 加强骨骼肌蛋白质的合成

骨骼肌是一种动态组织,会根据外界条件、短期长期的身体活动及膳食摄入情况发生相应的变化。维持骨骼肌的蛋白质含量对于运动员重复的高重量刺激的阻力训练恢复及肌肉质量的保持十分重要。胶原蛋白是人体中含量最多的蛋白质,约占全部蛋白质的30%,是骨骼肌和肌腱细胞外基质的重要组成部分,主要负责力传递、柔韧性和适应性方面的功能^[53]。一些研究证明补充胶原蛋白肽对于体内的胶原蛋白合成有一定作用。ZDZIEBLIK等^[54]对53名

表3 胶原肽的来源及应用
Table 3 Sources and applications of collagen peptides

胶原肽来源	制备方法	生理活性	实验模型	参考文献
鳕鱼皮	木瓜蛋白酶与碱性蛋白酶	抗氧化活性	体外自由基清除实验	[50]
羊皮	碱性蛋白酶、中性蛋白酶和风味蛋白酶	抗氧化活性	体外自由基清除实验	[51]
罗非鱼鳞	酸水解后,10 kD滤膜过滤	抗炎化和抑菌活性	体外自由基清除实验,枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和白色假丝酵母抑菌实验	[52]

老年男性(72.2岁±4.7岁)进行了为期12周的抵抗力训练干预,并分别补充了15g胶原蛋白和安慰剂,结果发现胶原蛋白组的骨骼肌蛋白质合成率更高。OERTZEN-HAGEMANN等^[55]对25名年轻人(24.2岁±2.6岁)进行了为期12周的培训,并每天在运动后的60min摄入15g胶原蛋白肽和安慰剂,结果发现胶原肽可以显著加快骨骼肌蛋白质合成并增强肌肉质量和力量。KIRMSE等^[56]对57名年轻男子进行了补充胶原肽和抵抗运动训练的研究,结果发现胶原肽组的体脂率显著降低,II型肌纤维横断面积显著增加,他们认为摄入胶原肽可以使被动结缔组织的适应性增强从而加快了肌肉组织的合成。JENDRICKE等^[57]对77名绝经前妇女进行了12周的抵抗训练,并每天摄入15g胶原肽或安慰剂,结果发现阻力训练和胶原肽补充结合可以有效提高实验对象的骨骼肌合成和增加手握力。这些研究都在临床上证实了经口摄入胶原肽可以显著加快骨骼肌的恢复,但是都没有对其机制进行研究解释,这也是未来的研究方向之一。

3.2.2 改善关节不适

运动性扭伤是运动员最常见的运动伤害之一,有31%~41%的关节扭伤运动员遭受了永久性的损伤。复发性关节扭伤症状和残留症状包括慢性让步、疼痛、虚弱和全身不稳定等症状,会影响运动员的日常生活、ongoing活动和体育锻炼。关节受影响的目标组织中大概包含70%胶原蛋白,主要负责肌腱、韧带和结缔组织的弹性和牢固性,因此胶原蛋白肽经常被用作改善关节不适的营养补充剂^[58]。ZDZIEBLIK等^[59]以139名患有功能性膝关节疼痛的运动员为研究对象,让其每天摄入5g生物活性胶原蛋白肽,持续12周,结果发现摄入胶原肽的运动员运动性疼痛强度和静息条件下的疼痛感都明显降低。DRESSLER等^[60]以50名患有运动性扭伤的运动员为研究对象,在6个月内每天口服5g胶原蛋白肽或安慰剂,结果发现摄入胶原蛋白的运动员认为自己的关节不适明显改善,且随访期间关节扭伤的再损伤率明显降低。

4 结论与展望

多肽具有高度的有效性、低敏性及安全性,因此人们对于肽的药物研究和开发日益增加。我国实施的运动营养食品国家标准GB 24154—2015《运动营养食品通则》中明确指出在运动后恢复类产品开发中,以肽类为特征性成分,适用于中、高强度或长时间运动后恢复的人群。大豆肽具有抗疲劳、抗氧化、抗炎症、增强运动表现等方面的作用。小麦肽目前的研究较少,主要集中在抗疲劳作用及加强运动表现方面作用的研究。对于胶原肽的研究较多,在运动营养领域的应用主要有加强骨骼肌蛋白质的合成及改善关节不适。

目前对于大豆肽和小麦肽的研究主要是体外模型研

究,缺少临床研究,在后续研究中可以将大豆肽和小麦肽应用于临床,从而为大豆肽和小麦肽的产品研发提供更多有效的数据参考。对于胶原肽的研究,虽然有很多临床数据,但是较少研究其有效肽段组成及作用机制,这可能是后续研究的方向。

参考文献

- [1] HUECKER M, SARAV M, PEARLMAN M, *et al.* Protein supplementation in sport: Source, timing, and intended benefits [J]. *Current Nutr Report*, 2019, 8(4): 382–396.
- [2] WANG J, XIAO JX, WU DX, *et al.* Research on formula of sport protein beverage [J]. *Nutrition*, 2019, (12): 13–20.
- [3] SYMONS GF, CLOUGH M, O'BRIEN WT, *et al.* Shortened telomeres and serum protein biomarker abnormalities in collision sport athletes regardless of concussion history and sex [J]. *J Concussion*, 2020, (5): e205970022097560.
- [4] JOHANSSON-ÅKHE I, MIRABELLO C, WALLNER B. Predicting protein-peptide interaction sites using distant protein complexes as structural templates [J]. *Sci Report*, 2019, 9(1): 20–26.
- [5] 钟国防, 石磊, 张彦俊. 大豆肽产品替代鱼粉对凡纳滨对虾生长性能、消化酶活力及肠道组织结构的影响[J/OL]. *中国粮油学报*, 1-8. [2021-05-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.ts.20210416.1551.026.html>
- ZHONG GF, SHI L, ZHANG YJ. Effects of soy peptide products replacing fish meal on growth performance, digestive enzyme activity and intestinal tissue structure of *Litopenaeus vannamei* [J/OL]. *J China Cere Oils Assoc*, 1-8. [2021-05-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.ts.20210416.1551.026.html>
- [6] 方磊, 王雨辰, 马永庆, 等. 牡蛎肽与大豆肽、胶原肽、紫苏籽肽复配促进睾丸间质细胞生成雄性激素[J/OL]. *现代食品科技*: 1-8. [2021-05-01]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.1074>.
- FANG L, WANG YC, MA YQ, *et al.* The combination of oyster peptides, soybean peptides, collagen peptides, and perilla seed peptides promotes the production of male hormones in testicular stromal cells [J/OL]. *Mod Food Technol*: 1-8. [2021-05-01]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.1074>.
- [7] LAMMI C, ZANONI C, ARNOLDI A. Iavpgeva, iavptgva, and lpyy, three peptides from soy glycinin, modulate cholesterol metabolism in HepG2 cells through the activation of the LDLR-SREBP2 pathway [J]. *J Funct Foods*, 2015, (14): 469–478.
- [8] LAMMI C, ZANONI C, ARNOLDI A. Two peptides from soy beta-conglycinin induce a hypocholesterolemic effect in HepG2 Cells by a statin-like mechanism: Comparative in vitro and in silico modeling studies [J]. *J Agric Food Chem*, 2015, (63): 7945–7951.
- [9] KUBA M, TANA C, TAWATA S, *et al.* Production of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from soybean protein with *Monascus purpureus* acid proteinase [J]. *Process Biochem*, 2005, (40): 2191–2196.
- [10] YOSHIKAWA M. Bioactive peptides derived from natural proteins with respect to diversity of their receptors and physiological effects [J]. *Peptides*, 2015, (72): 208–225.
- [11] WANG W, DE-MEJIA EG. A new frontier in soy bioactive peptides that

- may prevent age-related chronic diseases [J]. *Comp Rev Food Sci Food Saf*, 2005, (4): 63–78.
- [12] PAK VV, KOO M, KWON DY, *et al.* Design of a highly potent inhibitory peptide acting as a competitive inhibitor of HMG-CoA reductase [J]. *Amino Acids*, 2012, (43): 2015–2025.
- [13] PAK VV, KOO MS, KASYMOVA TD, *et al.* Isolation and identification of peptides from soy 11S-globulin with hypocholesterolemic activity [J]. *Chem Nat Comp*, 2005, (41): 710–714.
- [14] 崔云云, 王正全, 沈菊泉, 等. 发酵大豆豆粕水提物分离纯化 ACE 抑制活性小肽[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(11): 74–79.
- CUI YY, WANG ZQ, SHEN JQ, *et al.* Separation and purification of small ACE inhibitory peptides from fermented soybean meal water extract [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2018, 39(11): 74–79.
- [15] LAMMI C, ZANONI C, ARNOLDI A. Three peptides from soy glycinin modulate glucose metabolism in human hepatic HepG2 Cells [J]. *Int J Mol Sci*, 2015, 16(11): 23–28.
- [16] CARMEN L, CHIARA Z, ANNA A. Three peptides from soy glycinin modulate glucose metabolism in human hepatic HepG2 Cells [J]. *Int J Molecul Sci*, 2015, 16(11): 37–41.
- [17] CARMEN L, CHIARA Z, ANNA A. IAVPGEVA, IAVPTGVA, and LPYP, three peptides from soy glycinin, modulate cholesterol metabolism in HepG2 cells through the activation of the LDLR-SREBP2 pathway [J]. *J Funct Foods*, 2015, (14): 27–35.
- [18] MARTINEZ-VILLALUENGA C, RUPASINGHE SG, SCHULER M, *et al.* Peptides from purified soybean beta-conglycinin inhibit fatty acid synthase by interaction with the thioesterase catalytic domain [J]. *FEBS J*, 2010, 277(6): 46–52.
- [19] OHINATA K, AGUI S, YOSHIKAWA M. Soymorphins, novel mu opioid peptides derived from soy beta-conglycinin beta-subunit, have anxiolytic activities [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2007, 71(10): 65–72.
- [20] YOSHIKAWA M, KISHI K, TAKAHASHI M, *et al.* Immunostimulating peptide derived from soybean protein [J]. *Ann NY Acad Sci*, 1993, (685): 375–376.
- [21] CAI M, XING HY, TIAN BM, *et al.* Characteristics and antifatigue activity of graded polysaccharides from *Ganoderma lucidum* separated by cascade membrane technology [J]. *Carbohydr Polym*, 2021, 269: 456–471.
- [22] CUI J, XIA P, ZHANG L, *et al.* A novel fermented soybean, inoculated with selected *Bacillus*, *Lactobacillus* and *Hansenula* strains, showed strong antioxidant and anti-fatigue potential activity [J]. *Food Chem*, 2020, (15): e127527.
- [23] NIIHO Y, YAMAZAKI T, HOSONO T, *et al.* Pharmacological studies on small peptide fraction derived from soybean. The effects of small peptide fraction derived from soybean on fatigue, obesity and glycemia in mice [J]. *Yakugaku Zasshi*, 1993, 113(4): 334–342.
- [24] 高绿莎. 大豆肽缓释体力疲劳活性研究与产品研制[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- GAO LS. Research on the activity of soy peptides to relieve physical fatigue and product development [D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [25] 邢丽杰, 王远, 刘帅光, 等. 黑果枸杞中活性成分的研究进展[J]. *农产品加工*, 2021, (10): 66–69, 72.
- XING LJ, WANG Y, LIU SG, *et al.* Research progress of active ingredients in *Lycium ruthenicum* [J]. *Acad Period Farm Prod Process*, 2021, (10): 66–69, 72.
- [26] 阮治寰, 杜丝雨, 张桓硕, 等. 当归提取物对小鼠抗疲劳抗氧化作用的研究[J]. *黄河科技学院学报*, 2021, 23(5): 73–77.
- RUAN ZH, DU SY, ZHANG HS, *et al.* Research on anti-fatigue and anti-oxidation effects of *Angelica sinensis* extract on mice[J]. *J Huanghe Inst Sci Technol*, 2021, 23(5): 73–77.
- [27] BENTLEY DJ, ACKERMAN J, CLIFFORD T, *et al.* Antioxidants in Sport Nutrition. 1st ed [M]. Boca Raton FL: CRC Press, 2015.
- [28] DAN VP, BRINGE NA, DE-MEJIA EG. Peptides in pepsin-pancreatin hydrolysates from commercially available soy products that inhibit lipopolysaccharide-induced inflammation in macrophages [J]. *Food Chem*, 2014, (152): 423–431.
- [29] 白海军, 李志江. 牛磺酸-水解大豆蛋白复合体系对运动性疲劳大鼠的影响[J/OL]. *食品科学*, 2020: 1-9. [2021-05-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200831.1010.024.html>.
- BAI HJ, LI ZJ. The effect of taurine-hydrolyzed soybean protein compound system on exercise-induced fatigue rats [J/OL]. *Food Sci*, 2020: 1-9. [2021-05-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200831.1010.024.html>.
- [30] MACNAUGHTON LS, WARDLE SL, WITARD OC, *et al.* The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein [J]. *Physiol Rep*, 2016, 4(15): 120–130.
- [31] HERTZLER SR, LIEBLEIN-BOFF JC, WEILER M, *et al.* Plant proteins: Assessing their nutritional quality and effects on health and physical function [J]. *Nutrients*, 2020, 12(12): 3704–3714.
- [32] 尤莉蓉. 大豆肽运动补剂的研发及其促肌肉增长作用分析[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(8): 163–165.
- YOU LR. Research and development of soybean peptide sports supplement and analysis of its effect on promoting muscle growth [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(8): 163–165.
- [33] BIESIEKERSKI JR. What is gluten? [J]. *J Gastroenterol Hepatol*, 2017, (32): 78–81.
- [34] WIESER H. Chemistry of gluten proteins [J]. *Food Microbiol*, 2007, (24): 115–119.
- [35] ZHANG C, YANG YH, ZHAO XD, *et al.* Assessment of impact of pulsed electric field on functional, rheological and structural properties of vital wheat gluten [J]. *LWT*, 2021, (147): 123–127.
- [36] 王倩倩, 杜鹏, 陈鸣, 等. 小麦肽的抗氧化与抗疲劳作用研究[J/OL]. *食品工业科技*: 1-13. [2021-05-03]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100066>.
- WANG QQ, DU J, CHEN M, *et al.* Study on the antioxidant and anti-fatigue effects of wheat peptides [J/OL]. *Food Ind Sci Technol*: 1-13. [2021-05-03]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100066>.
- [37] KARAMI Z, PEIGHAMBARDOUST SH, HESARI J, *et al.* Identification and synthesis of multifunctional peptides from wheat germ hydrolysate fractions obtained by proteinase K digestion [J]. *J Food Biochem*, 2019, 43(4): e12800.
- [38] YANG X, YANG LG, PAN D, *et al.* Wheat peptide protects against ethanol-induced gastric mucosal damage through downregulation of TLR4 and MAPK [J]. *J Funct Foods*, 2020, (75): 34–40.
- [39] 岳颖, 严斌, 刘丽娅, 等. 小麦蛋白水解物对肠道上皮细胞抵御氧化应激损伤的作用[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(10): 68–75.
- YUE Y, YAN B, LIU LY, *et al.* Effects of wheat protein hydrolysate on

- intestinal epithelial cells against oxidative stress damage [J]. *Chin J Food Sci*, 2020, 20(10): 68–75.
- [40] ZHANG J, WEN C, LI C, *et al.* Antioxidant peptide fractions isolated from wheat germ protein with subcritical water extraction and its transport across caco-2 cells [J]. *J Food Sci*, 2019, 84(8): 2139–2146.
- [41] LUCCI P, PACETTI D, CALZUOLA I, *et al.* Characterization of phospholipid molecular species and peptide molecules in wheat sprout hydroalcoholic extract [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(47): 11453–11459.
- [42] SUI H, WANG F, WENG Z, *et al.* A wheat germ-derived peptide YDWPGRN facilitates skin wound-healing processes [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2020, 524(4): 943–950.
- [43] JENTJENS RL, VAN-LOON LJ, MANN CH, *et al.* Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis [J]. *J Appl Physiol*, 2001, 91(2): 839–846.
- [44] VAN-HALL G, SARIS WH, VANDE-SCHOOR PA, *et al.* The effect of free glutamine and peptide ingestion on the rate of muscle glycogen resynthesis in man [J]. *Int J Sports Med*, 2000, 21(1): 25–30.
- [45] 钱平, 邵剑钢, 刘晋, 等. 小麦低聚肽抗疲劳活性研究[J]. *中国食物与营养*, 2019, 25(12): 64–68.
- QIAN P, SHAO JG, LIU J, *et al.* Research on anti-fatigue activity of wheat oligopeptides [J]. *China Food Nutr*, 2019, 25(12): 64–68.
- [46] 潘兴昌, 胡要娟, 谷瑞增, 等. 补充小麦肽对预防散打运动员发生过度训练的作用[J]. *中国运动医学杂志*, 2015, 34(2): 170–174.
- PAN XC, HU YJ, GU RZ, *et al.* The effect of supplementing wheat peptides on preventing overtraining of Sanda athletes [J]. *Chin J Sports Med*, 2015, 34(2): 170–174.
- [47] LEÓN-LÓPEZ A, MORALES-PENALOZA A, MARTÍNEZ-JUÁREZ VM, *et al.* Hydrolyzed collagen-sources and applications [J]. *Molecules*, 2019, 24(22): 4031–4040.
- [48] HONG H, FAN H, CHALAMAIAH M, *et al.* Preparation of low-molecular-weight, collagen hydrolysates (peptides): Current progress, challenges, and future perspectives [J]. *Food Chem*, 2019, (301): e125222.
- [49] WANG J, PEI X, LIU H, *et al.* Extraction and characterization of acid-soluble and pepsin-soluble collagen from skin of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, (106): 544–550.
- [50] BENJAKUL S, CHANTAKUN K, KARNJANAPRATUM S. Impact of retort process on characteristics and bioactivities of herbal soup based on hydrolyzed collagen from seabass skin [J]. *J Food Sci Technol*, 2018, (55): 3779–3791.
- [51] 王贝贝, 于哲, 李强, 等. 模拟胃肠消化对羊皮胶原肽抗氧化活性的影响及其消化保护分析[J/OL]. *食品科学*: 1-15. [2021-05-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210430.1550.024.html>.
- WANG BB, YU Z, LI Q, *et al.* The effect of simulated gastrointestinal digestion on the antioxidant activity of sheepskin collagen peptide and its digestive protection analysis [J/OL]. *Food Sci*: 1-15. [2021-05-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210430.1550.024.html>.
- [52] 郭洪辉, 陈晖, 赵雪, 等. 罗非鱼鳞胶原肽螯合锌抗氧化及抑菌活性研究[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-8. [2021-05-06]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.026675>
- GUO HH, CHEN H, ZHAO X, *et al.* Study on the antioxidant and antibacterial activity of tilapia scale collagen peptide chelated with zinc [J/OL]. *Food Ferment Ind*: 1-8. [2021-05-06]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.026675>
- [53] MORTON RW, MURPHY KT, MCKELLAR SR, *et al.* A systematic review, metaanalysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults [J]. *Br J Sports Med*, 2018, (52): 376–384.
- [54] ZDZIEBLIK D, OESSER S, BAUMSTARK MW, *et al.* Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: A randomised controlled trial [J]. *Br J Nutr*, 2015, (114): 1237–1245.
- [55] OERTZEN-HAGEMANN V, KIRMSE M, EGGERS B, *et al.* Effects of 12 weeks of hypertrophy resistance exercise training combined with collagen peptide supplementation on the skeletal muscle proteome in recreationally active men [J]. *Nutrients*, 2019, 11(5): 134–143.
- [56] KIRMSE M, OERTZEN-HAGEMANN V, DE-MARÉES M, *et al.* Prolonged collagen peptide supplementation and resistance exercise training affects body composition in recreationally active men [J]. *Nutrients*, 2019, 11(5): 1154–1162.
- [57] JENDRICKE P, CENTNER C, ZDZIEBLIK D, *et al.* Specific collagen peptides in combination with resistance training improve body composition and regional muscle strength in premenopausal women: A randomized controlled trial [J]. *Nutrients*, 2019, 11(4): 892–900.
- [58] KJAER M, LANGBERG H, HEINEMEIER K, *et al.* From mechanical loading to collagen synthesis, structural changes and function in human tendon [J]. *Scandinavian J Med Sci Sports*, 2009, 19(4): 500–510.
- [59] ZDZIEBLIK D, OESSER S, GOLLHOFER A, *et al.* Improvement of activity-related knee joint discomfort following supplementation of specific collagen peptides [J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2017, 42(6): 588–595.
- [60] DRESSLER P, GEHRING D, ZDZIEBLIK D, *et al.* Improvement of functional ankle properties following supplementation with specific collagen peptides in athletes with chronic ankle instability [J]. *J Sports Sci Med*, 2018, 17(2): 298–304.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介

曹 光, 主要研究方向为运动康复。
E-mail: xiaoxuedaa@163.com