

“几种特殊食品产品开发及安全解决方案”特约专栏文章之五

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.04.010

大豆肽、小麦肽、胶原肽在运动营养领域的研究进展

强婉丽¹, 李静¹, 邰美丽¹, 李慧¹, 张连慧¹, 焦涵笑², 邹迪³

(1. 中粮营养健康研究院, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209;

2. 北京工商大学 食品与健康学院, 北京 100048;

3. 黄龙食品工业有限公司, 吉林 公主岭 136100)

摘要: 综述运动营养市场发展趋势和前景, 以及肽在运动营养领域中的研究进展及功能作用, 主要包括提供运动所需蛋白质和必需氨基酸(EAA)、缓解疲劳、促进肌肉损伤修复、促进脂肪代谢、提升运动表现能力等。重点阐述大豆肽、小麦肽和胶原肽的分子量分布、必需氨基酸组成和在运动表现中的功能作用, 以期运动营养类产品的应用开发提供一定参考和理论支持。

关键词: 大豆肽; 小麦肽; 胶原肽; 运动营养

中图分类号: TS218 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)04-0059-07

网络首发时间: 2020-06-18 16:55:45

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20200618.1633.003.html>

Research progress of soy peptide, wheat peptide and collagen peptide in sports nutrition

QIANG Wan-li¹, LI Jing¹, HUAN Mei-li¹, Li HUI¹, ZHANG Lian-hui¹, JIAO Han-xiao², ZOU Di³

(1. Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing Key Laboratory of Nutrition, Health & Food Safety, Beijing 102209, China; 2. College of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 3. Yellow Dragon Food Industry Co., Ltd., Gongzhuling, Jilin 136100, China)

Abstract: This paper reviews the development trend and prospect of sports nutrition market, as well as the research advance and functions of soy peptide, wheat peptide and collagen peptide in sports nutrition. The functions mainly include offering the required protein and essential amino-acid (EAA), relieving fatigue, repairing of exercise-induced muscle damage, promoting fat metabolism, elevating athletic ability and so on. The paper mainly describes the molecular weight distribution, essential amino acid composition and function of different peptides in sports performance which will provide some references and theoretical support for the application and development of sports nutrition products.

Key words: soy peptide; wheat peptide; collagen peptide; sports nutrition

近年来随着营养健康产业的推行和发展, 运动健身在社会上逐渐风靡, 不仅专业运动员和健

身爱好者希望通过努力训练提升运动能力, 越来越多的普通民众也开始养成规律运动的习惯, 并希望通过长期运动满足其健康诉求, 将适当运动作为一种健康生活方式的选择^[1]。

从运动营养学的角度分析, 疲劳缓解、能量恢复、肌肉增长和修复均需要大量的营养物质, 因此选择正确的运动补剂至关重要^[2]。除去水分,

收稿日期: 2020-02-13

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0400503)

作者简介: 强婉丽, 女, 1990年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为功能型食品研究与开发。

通讯作者: 张连慧, 女, 1977年出生, 博士, 高级工程师, 研究方向为蛋白加工及应用技术。

肌肉中蛋白质含量占 80%左右,研究表明运动后有效补充高质量氨基酸能促进肌肉合成,因此促进肌肉增长和提高肌肉力量均需摄取足量的蛋白质^[3-4]。肽是从动植物体内提取出来的蛋白质,经酶法水解、化学方法水解或微生物发酵后,分离纯化得到的一类化合物,由 10 个以上氨基酸残基组成的肽被称为多肽,含 10 个以下氨基酸残基的肽称为寡肽或短肽,具有消化吸收快、生物利用率高、具有一定生理活性等特点^[5-6]。目前,关于乳源生物活性肽在运动营养领域的研究较多,而关于大豆肽、小麦肽和胶原肽在此领域的报道较少。本研究总结了近年来国内外关于三种肽的研究进展,以期运动营养类产品的应用开发提供一定参考和理论支持,拓展产品开发思路。

1 分子量分布

分子量分布是肽类产品的重要特性指标,对肽的功能特性和理化性质均起到决定性作用。有研究表明,随着分子量的减小,多肽的抗氧化能力和清除自由基能力明显增高,多数具有生理活性的肽片段主要集中在分子量<5 000 Da 的肽中^[7]。机体摄入蛋白质并经消化道后大部分蛋白质被分解成小肽时(特别是二肽、三肽)能够快速被机体消化吸收,并且直接作用于皮肤、骨骼、肝脏和其他组织等,发挥特殊的生理活性^[8-9]。而且,小肽的吸收被证明比游离氨基酸的吸收更为迅速^[10]。如果仅从分子量比较,小麦肽是吸收速度最快的肽,其次是大豆肽和胶原肽。三种肽的分子量见表 1。

表 1 三种肽的分子量

肽	分子量
大豆肽	1 000 Da 以下,以 300~700 Da 为主
小麦肽	200~300 Da
胶原肽	2 000~5 000 Da

2 必需氨基酸组成

EAA 含量是评价蛋白质及肽质量的一个重要参考指标。研究表明,人体抵抗运动后,摄入支链氨基酸(BCAA,由缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸组成)可刺激肌肉蛋白质合成;亮氨酸是肌肉蛋白合成的底物,也是启动肌肉蛋白质合成(MPS)步骤的信号^[11]。三种肽的 EAA 组成、

BCAA 组成、亮氨酸含量见表 2。大豆蛋白是唯一的氨基酸营养价达到 100 的植物性蛋白质,PDCAAS 几乎为 1^[12],EAA 含量、BCAA 含量、亮氨酸含量为三者之最。近年来,由于植物基趋势大热,大豆蛋白及大豆肽也越来越成为研究热点,市场前景非常乐观。小麦肽的 EAA 总质量分数为 22.95,低于大豆蛋白,其含有较高含量的苏氨酸。胶原肽因其不含色氨酸和异亮氨酸同时其他 EAA 含量较少,因此 EAA 总质量分数较低,在促进肌肉蛋白质合成方面效果低于大豆肽和小麦肽。

表 2 必需氨基酸含量及其总质量分数 g/100g 蛋白质

必需氨基酸 EAA	大豆肽 ^[13] soy peptide	小麦肽 ^[14] wheat peptide	胶原肽 ^[15] collagen peptide
赖氨酸(Lys)	5.18	2.81	3.8
色氨酸(Trp)	0.40		
苯丙氨酸(Phe)	3.22	2.41	2.1
甲硫氨酸(Met)	0.66	3.79	0.9
苏氨酸(Thr)	2.91	8.78	1.8
异亮氨酸(Ile)	3.29	1.64	
亮氨酸(Leu)	5.70	1.56	2.7
缬氨酸(Val)	3.58	1.96	2.4
EAA 的总质量分数	24.94	22.95	13.7
BCAA 的总质量分数	12.57	5.16	5.1

不同氨基酸组成导致不同类型肽在运动营养领域发挥的作用有所差别。研究表明,补充 BCAA 可通过 mTOR 途径刺激肌肉合成代谢、抑制运动诱导的肌肉蛋白分解,并在组织生长和修复中起重要作用^[16]。亮氨酸是启动蛋白质合成的信号分子,能够增加肌肉质量和肌肉力量。在体外,亮氨酸抑制甘油三酸酯合成(脂肪生成),促进脂肪细胞分解(脂解),并增加肌肉细胞中的脂肪氧化^[16]。苏氨酸是人体的 EAA,具有恢复疲劳的作用^[17]。因此,肽(尤其是小麦肽)的抗疲劳作用可能与其含有较高含量的苏氨酸有关。胶原肽 EAA 的含量较低,但是其甘氨酸(22.1)、脯氨酸(12.1)和羟脯氨酸(11.3)质量分数远高于其他蛋白,这可能与胶原肽具有促进结缔组织再生、减轻运动造成的结缔组织损伤有关^[18]。

3 肽与运动营养

近些年来,人们发现很多小分子肽在经人体消化道时可以被不被水解成氨基酸,直接通过小肠

绒毛上皮细胞, 快速消化吸收, 生物利用率高, 并且一些寡肽和多肽被证实具有一定生物活性, 对人体生命活动有一定健康益处^[19]。在运动营养领域, 国内外已有诸多研究表明, 补充小分子肽可以达到快速缓解疲劳、恢复体力、预防运动造成的氧化损伤、减少肌细胞破坏、快速促进肌肉修复等作用。

3.1 大豆肽在运动营养中的功能作用

大豆肽通常是由 3~6 个氨基酸组成的低分子量肽的混合物, 相对分子质量主要分布在 1 000 Da 以下, 以 300~700 Da 为主, 被人体的吸收速度比蛋白质和氨基酸要快, 其必需氨基酸 (EAA) 组成与大豆蛋白质完全相同, 同时含有少量的游离氨基酸、糖类、水分和无机盐等成分^[20]。大豆肽具有低渗透压、受热不凝固性、酸性条件下不沉淀、低黏性、高流动性、良好的乳化性等独特的理化性质, 尤其是具有抗氧化、降血压、抗疲劳、降血脂减肥、免疫调节、血糖调节^[21-22]等独特的生理功能, 且安全无毒, 不显示遗传毒性和亚遗传毒性的作用^[23]。实验表明在摄入大豆肽后 30~60 min 内则被人体完全吸收^[24]。已有研究表明, 在运动前后补充大豆多肽, 可以减轻肌肉蛋白质的降解, 维护体内正常蛋白质的合成, 从而起到增强运动者的体力、耐力并且迅速消除疲劳、恢复体力、提升运动表现力的作用^[25]。

3.1.1 抗疲劳作用

运动中无论是走路还是跑步, 都是由于骨骼肌收缩才能够完成的运动动作, 随着运动时间的增加, 运动能力是逐渐下降的, 这种现象在运动学上称之为“肌肉疲劳”或“运动疲劳”。人们在运动过程中经常感受到的肌肉疲劳的一种情况被称作迟发性肌肉酸痛, 一般在偶尔运动后几天内产生的酸痛感, 这种酸痛感主要是由于肌肉纤维经反复的高强度收缩拉伸产生的轻微损伤所引起, 肌肉纤维的损伤程度可以通过检测血液中磷酸酶肌酸 (CPK) 的活性来判断, CPK 值越低, 则表明肌纤维损伤程度越小^[26-28]。Masuda K 等早在 2007 年就着手研究大豆肽对运动疲劳恢复和肌肉损伤修复的影响, 研究结果表明运动后立即摄取等量大豆肽和大豆蛋白, 18 h 后摄取大豆肽组血液中磷酸酶肌酸 (CPK) 的活性显著低于摄

取大豆蛋白组和空白组, 肌肉酸痛感显著降低, 疲劳感快速恢复^[28]。同时大豆肽可延长运动时间, 提高肌糖原和肝糖原的含量, 减少血液中乳酸的含量, 具有缓解疲劳的作用^[29]。剧烈运动时, 机体内氧化作用大大加强, 产生一系列氧自由基, 可导致肌肉和肝脏中脂质过氧化产物增多而引起细胞或组织损伤, 也是机体疲劳的原因之一, 而大豆肽可以清除自由基, 这也可能是能够抗疲劳的原因之一^[30-31]。近几年, 国内关于小分子大豆肽有效缓解疲劳的研究也颇为广泛。尹军杰开展大豆肽分子量与缓解疲劳作用关系的研究, 实验结果表明相对分子质量为 875 u 和 500 u 的大豆肽对缓解疲劳指标影响显著。大豆肽分子量越小, 缓解疲劳效果越明显^[32]。

3.1.2 促进肌肉增长和损伤修复作用

有研究表明运动后血液中氨基酸水平较运动前呈现下降趋势, 其中蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸等含量均下降 10% 左右, Nakanishi Y 等对运动后人群补充大豆肽, 研究结果表明摄取大豆肽后血液中 BCAA、芳香族氨基酸 (除色氨酸) 水平均有所提高, 这是由于大豆肽分子量小好吸收, 能够快速进入血液中增加氨基酸含量, 同时可以快速转运到肌纤维细胞中促进蛋白质合成, 从而降低肌肉损伤、促进肌肉损伤修复^[33]。对于一些专业训练运动员, 不仅需要提升运动表现力、有更高的运动水平, 还需要有足够的肌肉含量及较低的脂肪含量。国内外诸多研究表明大豆肽不仅有补充基础蛋白质的作用, 还有阻碍肠道内胆固醇的再吸收、促进脂肪代谢、提高机体基础代谢率的功效, 且分子量较小的大豆肽不会带来类似牛乳蛋白或大豆蛋白引起的过敏反应。尤莉蓉研究大豆肽营养补充剂对肌肉增长的促进作用, 研究结果表明在增肌训练 6 个月的时间里, 每日补充 600 mL 浓度为 30% 的大豆肽补充剂, 6 个月后所有训练员肌肉含量都得到了有效提升 (肌肉重量平均增加 (8.11 ± 0.10) kg), 并且训练员的体脂平均含量降减少 ($5.18\% \pm 0.11\%$), BMI 值得到有效改善^[34]。

3.1.3 提升运动表现力

Kovacs-Nolan J 等在研究大豆肽对中老年人肌肉衰减症时发现大豆肽不仅可以降低肌肉衰减

率,同时可以提高运动表现能力。每日给参加运动人员补充大豆肽补充剂(4瓶/日,8g/瓶),12周后,分别给对照组和摄取大豆肽补充剂组人员进行步行速度、膝屈曲力和血液中白细胞水平检测,实验结果表明摄取大豆肽组其步行速度提高10.7%左右,对照组步行速度提高4.5%左右,摄取大豆肽组其膝屈曲力提高33%左右,对照组其膝屈曲力提高20%左右,摄取大豆肽组人员的步行速度、膝屈曲力提高程度均大于对照组,摄取大豆肽组其白细胞数量下降18%左右,对照组白细胞数量没有显著性差异,摄取大豆肽组人员的白细胞数量降低程度明显大于对照组^[35]。身体在运动过程中会发生炎症反应,导致血液中白细胞数量增加,而摄取大豆肽后可以显著降低血液中白细胞水平,则表明大豆肽可降低运动训练过程中身体的炎症反应^[36-37]。

3.2 小麦肽在运动营养中的功能作用

小麦蛋白是小麦淀粉加工的副产物,主要由麦醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,小麦蛋白含有丰富的疏水氨基酸和不带电荷的氨基酸,导致其分子内大面积疏水,在水中的溶解性差,因此阻碍了小麦蛋白的利用^[38]。酶促修饰可提高小麦蛋白的溶解度,进而改善小麦蛋白的加工性能和功能特性,酶解小麦蛋白会生成大量不同分子量的小麦肽。小麦肽具有多种生物活性,如抗氧化、抗癌、血管紧张素转化酶(ACE)抑制、提高免疫力等,平均分子量为200~300 Da^[39]。目前,国外关于小麦肽在运动营养中的应用和功能特性的研究报道较少,国内的研究相对较多,主要集中小麦肽抗疲劳及调节免疫方面的作用。高强度运动会导致肌肉、肠、血液和神经系统发生一系列生理和生化变化,从而导致疲劳和免疫力下降,主要表现为糖原含量的下降、氧化应激反映增加、肠黏膜通透性降低、肌肉损伤以及炎症反应等^[40]。下文将重点阐述小麦肽缓解运动疲劳以及调节免疫的相关作用。

3.2.1 抗疲劳作用

运动疲劳与体内自由基增加有关,因此,清除体内自由基对运动引起的疲劳和消除体内氧化应激损伤的程度非常重要^[41]。Zheng Z等选取了60只SD大鼠,每天灌胃小麦肽溶液,结果显示,

高剂量运动组大鼠感到疲劳的时间大于运动对照组和低剂量运动组,同时,高剂量运动组和低剂量运动组大鼠骨骼肌中超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性明显高于运动对照组^[40]。这些结果表明,补充小麦肽能够清除体内长时间运动产生的自由基,进而缓解运动疲劳。潘兴昌等研究不同剂量小麦肽对扬州大学33名运动员运动后肌肉损伤的作用,研究表明,6周大负荷训练期间补充不同剂量的小麦肽(3、6、9g)都能明显减轻肌肉损伤,加快运动后疲劳的恢复,其中,补充6g小麦肽的效果最佳^[42]。

3.2.2 调节免疫作用

过度运动可能会诱发机体氧化应激,致使机体免疫功能下降。小麦肽中谷氨酸(Glu)、谷氨酰胺(Gln)含量丰富,亮氨酸(Leu)和酪氨酸(Tyr)含量也较多,其中Gln是细胞快速分裂增殖的主要燃料,具有免疫调节作用^[39]。代卉等采用给小鼠灌胃小麦肽溶液后用环磷酰胺诱导小鼠发生免疫抑制,结果显示,小麦肽能够恢复SRBC抗体(溶血素HC50)的水平以及巨噬细胞的吞噬能力,增加SOD活力、过氧化氢酶(CAT)活力及其总抗氧化能力(T-AOC),降低丙二醛(MDA)含量,表明小麦肽能够显著调节应激状态引起的机体免疫功能降低^[14]。肠道免疫功能对人体的免疫系统中扮演着重要的角色,Zheng Z等研究表明,在强迫负荷游泳的SD大鼠中,长期补充小麦肽可抑制肠道上皮细胞凋亡、改善静息状态下肠道sIgA抗体水平并有效减轻肠道和血液中的炎症反应^[39]。

3.3 胶原肽在运动营养中的功能作用

胶原肽主要是从动物(猪、牛、鱼、鸡等)的皮肤、骨骼和软骨组织中提取的胶原蛋白,经过酶水解工艺制备而成,一般胶原肽的分子量为2000~5000 Da,胶原肽除了具有一般蛋白肽小分子、易吸收的特性外,还具备其独特的生理功能^[43]。胶原肽中含有人体所需的EAA,并且和其他类型蛋白肽不同的是,胶原肽含有较高含量的甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸,同时精氨酸和羟赖氨酸含量相对也较高,这些氨基酸已被证明是人体中肌酸合成的重要物质,同时对皮肤、骨骼和关节也具

有一定益处,可以帮助预防和缓解关节炎、骨质疏松症和肌肉衰减症^[15,18]。

3.3.1 促进成骨细胞增殖

随着年龄的增长,人体中会产生过多的自由基,而骨胶原蛋白的合成会逐渐被衰老产生的过多自由基所破坏,因此人体骨骼中骨胶原蛋白的含量随年龄增加而减少,从而降低骨密度,引起骨质疏松症,尤其对于绝经后妇女,其骨胶原和矿物质流失更加迅速。近年来国内外许多动物实验和人体试验研究结果都表明,I型胶原蛋白及其水解物有促进成骨细胞数量增加,抑制破骨细胞活性,帮助维持骨密度的功能作用^[43]。中国解放军第 306 医院刘俊丽等研究不同浓度的牛骨胶原肽对成人成骨细胞增殖的影响,实验结果表明浓度为 0.375、0.75 和 1.5 mg/mL 牛骨胶原肽都能够对成骨细胞的增殖具有一定促进作用,而浓度为 0.375 mg/mL 时,作用最强,表明胶原肽对成骨细胞的增殖具有促进作用^[44]。湛红珊等以社区中老年人作为研究对象,通过骨胶原肽的饮食行为干预,监测中老年人摄入前后运动能力、骨密度值和骨质疏松症检出率的变化,从而评估骨胶原肽对骨骼健康状况的作用。研究结果表明骨胶原肽的饮食干预对研究对象有明显积极作用,主要表现在其关节肌肉的疼痛、肿胀状况明显改善,抽筋次数减少,爬楼梯更轻松,骨质疏松症(OP)检出率为女性干预后降低 1.5%,男性降低 8.1%,干预后 49.3%的研究对象骨密度有明显改善^[45]。

3.3.2 促进结缔组织再生

关节炎产生的主要原因是由于软骨、韧带、肌腱和骨骼中的结缔组织遭到破坏或发生退行性病变所引起的,结缔组织的主要成分为胶原蛋白,胶原蛋白的流失会使软骨组织变薄、变得更透明且逐渐失去弹性,因此补充胶原蛋白及其水解物对于运动员的表现很有益处,尤其对于关节和连接组织有保护作用,可以预防运动损伤,降低关节的机械磨损作用^[18]。II型胶原蛋白主要存在于人体软骨组织中,且其所含的羟赖氨酸含量是I型胶原蛋白的 2~4 倍,且大部分糖基化,国内外近年来已有相关研究表明,水解II型胶原蛋白能够减轻骨关节炎患者的疼痛,可以作为辅助治疗关节炎的膳食补充剂^[46]。Skov K 等进行了一项随

机双盲交叉研究,实验招募十名健康男性受试者连续三天接受 35 g 酶水解胶原蛋白(EHC)、35 g 非酶水解胶原蛋白(NC)或安慰剂(250 mL 水)。结果发现,摄入胶原蛋白水解产物会在 240 min 内增加餐后血浆中氨基酸的浓度,而酶水解会增加富含甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸的胶原蛋白的吸收率和生物利用度^[47]。Nikolaeva TI 等研究牛软骨来源的水解胶原蛋白肽对预防和治疗关节疾病的功能作用,研究结果表明由 2~8 个氨基酸分子组成的、分子量为 250~780 Da 的胶原肽可以快速促进结缔组织再生,有效保护关节^[18]。

3.3.3 提高肌肉质量

研究表明,在耐力运动过程中,肌肉蛋白质会发生分解^[48]。已经证明,从饮食中摄入蛋白可以提高运动后净肌蛋白的合成速率,并减少抗阻运动后肌蛋白的分解^[49-51]。Zdzieblik D 等招募了 53 名患有肌少症的男性受试者,所有受试者均接受为期 12 周的抗阻训练(每周三节),并补充胶原肽(15 g/d)或安慰剂,结果发现,与安慰剂组相比,胶原肽补充剂结合抗阻训练可通过增加瘦体组织含量、肌肉力量和骨量来进一步增加受试者的肌肉质量和肌肉强度,并改善人体成分^[15]。

4 小结与展望

近年来,多肽因其分子量小,能够快速被人体吸收利用,且具有极强的生理活性和多样性,已经成为功能食品界研究开发热点。我国实施的运动营养食品国家标准 GB24154—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、小麦肽和胶原肽因其特殊的氨基酸组成和肽链结构,已经被证实具有抗疲劳、免疫调节、促进肌肉损伤修复、提升运动表现能力和缓解运动疲劳等生理功能。同时因其良好的耐酸性、耐热性和水溶性,将其作为功能食品配料添加到运动营养食品中,未来会产生较大的经济及商业价值。目前由于酶解技术尚不成熟,蛋白质经酶解处理后,会产生一些疏水性的肽类,导致多肽普遍产生苦涩的味道,且分子量越低,肽的苦味越严重,如大豆肽具有大豆特有的豆腥味且

因其分子量较小苦涩味严重,颜色呈现深黄色。小麦低聚肽呈暗黄色且同样具有苦涩味道。胶原肽具有动物皮特有的腥臭味和骨头特有的微腥味。将其应用到产品中适口性较差,因此在食品领域中的应用受到一定限制。如何通过提高酶解技术、脱苦技术和风味遮蔽技术改善肽的不良风味,仍是当今食品企业和研究人员需要关注和努力的方向。

参考文献:

- [1] 宋平,高彩琴,李佐惠.我国健美运动发展研究[J].体育文化导刊,2015,(2):91-94.
- [2] 张国清,李萍,张勇.高校健身健美运动现状的研究[J].体育科技文献通报,2012,20(10):95-96.
- [3] 任广旭,伊素芹,卢林纲,等.“牛乳与大豆”双蛋白运动营养功能的研究进展[J].中国食品学报,2015,15(6):154-161.
- [4] KHAIRALLAH R J, O'SHEA K M, WARD C W, et al. Chronic dietary supplementation with soy protein improves muscle function in rats[J]. PloS One, 2017, 12(12): e0189246.
- [5] GÓMARA M J, SÁNCHEZ-MERINO V, PAÚS A, et al. Definition of an 18-mer synthetic peptide derived from the GB virus C E1 protein as a new HIV-1 entry inhibitor[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 2016, 1860(6): 1139-1148.
- [6] LACOU L, LÉONIL J, GAGNAIRE V. Functional properties of peptides: From single peptide solutions to a mixture of peptides in food products[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 57: 187-199.
- [7] 余广宇.多肽与生命科学[M].北京:人民卫生出版社,2017.
- [8] WEBB J K, DIRIENZO D B, MATTHEWS J C. Recent developments in gastrointestinal absorption and tissue utilization of peptides: A review[J]. Journal of Dairy Science, 1993, 76(1): 351-361.
- [9] 庞广昌,陈庆森,胡志和,等.蛋白质的消化吸收及其功能评述[J].食品科学,2013,34(9):375-391.
- [10] 郑明.多功能植物小分子肽的研究[D].南昌大学,2010.
- [11] JACKMAN S, WITARD O C, PHILP A, et al. Branched-chain amino acid ingestion stimulates muscle myofibrillar protein synthesis following resistance exercise in humans[J]. Frontiers in Physiology, 2017, 8: 390.
- [12] KESHUN L.大豆功能食品与配料[M].北京:中国轻工业出版社,2009.
- [13] 李志忠,袁惠君,赵萍.大豆多肽产品的主要成分分析[J].兰州理工大学学报,2005,(1):88-89.
- [14] 代卉,施用晖,韩芳,等.小麦肽免疫活性及抗氧化作用的研究[J].天然产物研究与开发,2009,21(3):473-476.
- [15] ZDZIEBLIK D, OESSER S, BAUMSTARK M W, 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]. British Journal of Nutrition, 2015, 114(8): 1237-1245.
- [16] KERI M N. Therapeutic applications of whey protein[J]. Alternative Medicine Review, 2004, 9(2): 136-156.
- [17] 冯志彬,王东阳,徐庆阳,等.氮源对L-苏氨酸发酵的影响[J].中国生物工程杂志,2006,26(11):54-58.
- [18] NIKOLAEVA T I, LAURINAVICIUS K S, KAPTSOV V V, et al. Collagen peptides from hyaline cartilage for the treatment and prevention of joint diseases: Isolation and characteristics[J]. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 2019, 167(2): 242-246.
- [19] 郭锦欣,马永轩,张名位,等.不同种类活性短肽的理化与功能特性比较[J].中国粮油学报,2016,31(6):57-62.
- [20] 李善仁,陈济琛,胡开辉,等.大豆肽的研究进展[J].中国粮油学报,2009,24(7):142-147.
- [21] 郭玉华,李钰金,吴新颖.大豆多肽的应用进展及前景[J].粮食加工,2010,35(5):57-60.
- [22] 张连慧,贺寅,刘新旗.大豆肽的研究进展及其发展前景[J].食品工业科技,2012,33(22):374-376+381.
- [23] 郭婕,王爱华,程东,等.大豆多肽的毒性研究[J].齐鲁药事,2008,27(11):692-695.
- [24] 李倩楠,张月晓,张正涵.运动营养食品配料与人体健康[J].科技资讯,2017,15(12):222-223.
- [25] SHULI G. A research summary of soy peptide and the application in sports drink[J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30: 112-117.
- [26] WHEELER A A, JACOBSON B H. Effect of whole-body vibration on delayed onset muscular soreness, flexibility, and power[J]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2013, 27(9): 2527-2532.
- [27] KOCHAŃSKI B, KAŁUŻNY K, KAŁUŻNA A, et al. Assessment of knowledge on delayed onset muscle soreness in sports[J]. Journal of Education, Health and Sport, 2016, 6(1): 241-250.
- [28] MASUDA K, MAEBUCHI M, SAMOTO M, et al. Effect of soy-peptide intake on exercise-induced muscle damage[J]. The Journal of Japanese Society of Clinical Sports Medicine, 2007, 15(2): 228-235.
- [29] 李文,陈复生,丁长河,等.大豆肽生理功能的研究进展[J].食品工业科技,2013,34(4):360-362+367.
- [30] 郑哲君,李晓莉,王朔.抗疲劳功能食品的研究进展[J].食品科技,2006,31(2):4-7.
- [31] KIME R, MURASE N, OSADA T, et al. Effects of low quantities of soy peptide supplementation on central fatigue recovery[J]. Advances in Exercise and Sports Physiology, 2006, 12(3): 116.
- [32] 尹军杰.大豆肽分子量与缓解疲劳作用关系的研究[J].粮食与油脂,2017,30(7):42-44.
- [33] NAKANISHI Y, SHIRAKAWA S, MAEBUCHI M, et al. Effect of soy protein intake in peptide form on delayed-onset muscle soreness induced by eccentric exercise[J]. Annals of Nutrition and Metabolism, 2011, 13: 9-19.
- [34] 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):173-175.

- [35] KOVACS-NOLAN J, ZHANG H, IBUKI M, et al. The PepT1-transportable soy tripeptide VPY reduces intestinal inflammation[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2012, 1820(11): 1753-1763.
- [36] SHINKAI S, KIM H, WATANABE N, et al. Randomized controlled trial on the effects of resistance training with or without nutritional supplementation of soy peptide for the frail elderly[J]. *Japanese Journal of Nutrition & Dietetics*, 2009, 67(2): 76-83.
- [37] DRAGANIDIS D, KARAGOUNIS L G, ATHANAILIDIS I, et al. Inflammaging and skeletal muscle: Can protein intake make a difference?[J]. *Journal of Nutrition*, 2016, 146(10): 1940-1952.
- [38] WIESER H. Chemistry of gluten proteins[J]. *Food microbiology*, 2007, 24(2): 115-119.
- [39] 柳小军, 刘国琴, 李琳. 小麦源生物活性肽研究进展及其应用[J]. *农产品加工(学刊)*, 2009, (3): 83-86+98.
- [40] ZHENG Z, YANG X, LIU J, et al. Effects of wheat peptide supplementation on anti-fatigue and immunoregulation during incremental swimming exercise in rats[J]. *RSC Advances*, 2017, 7(69): 43345-43355.
- [41] REID M B. Free radicals and muscle fatigue: Of ROS, canaries, and the IOC[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2008, 44(2): 169-179.
- [42] 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. *中国运动医学杂志*, 2015, 34(2): 74-78.
- [43] 刘海英. 胶原肽及其产业发展[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(12): 391-394.
- [44] 高璐. 明胶与胶原蛋白不同[N]. *证券时报*, 2013-05-28(A12).
- [45] 湛红珊. 基于骨胶原肽的饮食干预对中老年人骨转换指标的影响研究[D]. 山东大学, 2015.
- [46] SCHAUSS A G, STENEHJEM J, PARK J, et al. Effect of the novel lowmolecular weight hydrolyzed chicken sternal cartilage extract, BioCell Collagen, on improving osteoarthritis-related symptoms: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2016, 60(16): 4096-4101.
- [47] SKOV K, OXFELDT M, THØGERSEN R, et al. Enzymatic hydrolysis of a collagen hydrolysate enhances postprandial absorption rate—a randomized controlled trial[J]. *Nutrients*, 2019, 11(5): 1064.
- [48] DOHM G L, TAPSCOTT E B, KASPEREK G J. Protein degradation during endurance exercise and recovery[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1987, 19(5 Suppl): S166-171.
- [49] CANDOW D G, FORBES S C, LITTLE J P, et al. Effect of nutritional interventions and resistance exercise on aging muscle mass and strength[J]. *Biogerontology*, 2012, 13(4): 345-358.
- [50] PHILLIPS S M, TANG J E, MOORE D R. The role of milk- and soy-based protein in support of muscle protein synthesis and muscle protein accretion in young and elderly persons[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2009, 28(4): 343-354.
- [51] WALKER D K, DICKINSON J M, TIMMERMAN K L, et al. Exercise, amino acids and aging in the control of human muscle protein synthesis[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2011, 43(12): 2249-2258. 完