

胶原蛋白在运动食品中的应用及其对运动员的影响

刘建伟, 孟佳珩*

(黑龙江中医药大学体育教研部, 哈尔滨 150040)

摘要: 众所周知, 运动员在运动过程中会极大消耗体能, 但运动员摄入特殊的营养素, 可以发挥他们的最大运动能力。近年来运动营养研究发现, 胶原蛋白因具有高吸收利用率、提高免疫、锁住钙质、补充水分等特性而被格外关注。本文首先介绍了胶原蛋白的结构特点, 对胶原蛋白的生物学功能加以概述, 重点探讨了胶原蛋白对运动员的影响及在运动食品领域的应用, 从而为胶原蛋白功能产品的研究和开发提供理论参考。

关键词: 胶原蛋白; 运动食品; 运动员

Application of collagen in sports food and its effect on athletes

LIU Jian-Wei, MENG Jia-Heng*

(Department of Physical Education and Research, Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: It is well known that athletes use up a lot of energy during exercise, but athletes can get their maximum exercise ability by taking in special nutrients. In recent years, sports nutrition research has found that collagen has attracted special attention due to its high absorption and utilization efficiency, improved immunity, calcium lock, and moisture supplement. This paper first introduced the structural characteristics of collagen, and summarized the biological functions of collagen. It focused on the effects of collagen on athletes and its application in sports food, so as to provide a theory for research and development of collagen functional products reference.

KEY WORDS: collagen protein; sports food; athletes

1 引言

近年来, 随着胶原提取技术的发展, 人们对胶原蛋白及其水解多肽的结构、生物活性等的认识也随之加深, 胶原蛋白的研究与应用也成为一个新的热点^[1-3]。胶原蛋白(又称胶原)是动物组织细胞外基质的一种结构蛋白, 广泛存在于皮、骨、软骨、牙齿、肌腱及血管等部位, 起着支撑器官、保护机体的重要功能^[4,5]。源于功能特性的 2 个消费需求, 胶原蛋白有望成为食品应用的新宠。目前, 有关

对胶原蛋白在食品中的应用研究已有报道, 随着民众对健康理念的加深及健康生活方式的追求, 人们热衷于食品营养与运动健身, 尤其以专业运动员及运动人群为研究对象的运动营养学科及运动食品, 成为食品研究的一个新方向。鉴于此, 本文首先对胶原蛋白加以概述, 着重介绍其在运动食品中的应用进展, 并以其功能特点为基点总结分析胶原蛋白对运动员身体营养及运动机能的影响, 以期为体育运动保健、体育经济以及食品工业的发展提供理论参考。

*通讯作者: 孟佳珩, 硕士, 副教授, 主要研究方向为运动生理学、运动养生。E-mail: z18906@163.com

*Corresponding author: Meng Jia-Heng, Master, Associate Professor, Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine, Harbin 150040, China. E-mail: z18906@163.com

2 胶原蛋白概述

2.1 类型及组成结构

胶原蛋白是一个庞大的蛋白质家族,目前已发现至少 49 种不同的胶原蛋白多肽链,其类型增加至 28 种^[6],可分为 I、II 和 III 型胶原蛋白分子^[7],其中 II 型由软骨细胞产生,IV 型胶原蛋白分布于基底膜,V 型通常指细胞外周胶原蛋白,存在于结蹄组织中^[8]。根据其体内分布及功能特点,胶原蛋白分为间质胶原、基底膜胶原和细胞外周胶原,由于胶原蛋白多存在于细胞间质中,故间质胶原蛋白占整个机体胶原的绝大部分;按其应用可分为食品级、一般级与医药级,其中食用胶原多来源于动物皮、鱼鳞片与骨胶原。在组成上,胶原蛋白富含除色氨酸、半胱氨酸和酪氨酸外的 18 种氨基酸,包含 7 种人体必需的氨基酸;甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、谷氨酸含量较高,尤其甘氨酸含量约占总含量的 1/3;胶原蛋白中脯氨酸和羟脯氨酸的含量是各种蛋白质中含量最高的,约占总量的 1/4;胶原蛋白中存在的羟赖氨酸在其它蛋白质中不存在,所以胶原蛋白的来源和营养十分丰富^[9,10]。

胶原蛋白相对分子质量约为 30 万 Da,定义为含有一个或几个由 α -链组成的三螺旋结构的区域,即胶原域,其最普遍的结构特征为由 3 条肽链形成的三螺旋结构,即由 3 条 α 肽链以右手螺旋方式形成蛋白质^[11]。这些结构特征决定了胶原蛋白独特的纤维状结构,分子结构非常稳定,使其具有很好的生物相容性、可降解性和低抗原性,结构决定性质,性质决定用途,因此胶原蛋白产品将具有很好地应用前景^[12]。

2.2 胶原蛋白生物学功能

2.2.1 止血、抗氧化性

血管内膜损伤后暴露出的内膜下组织主要是胶原,可激活局部凝血过程,生成的由纤维蛋白多聚体构成与血小板一起组成牢固的血栓,控制出血,则天然的胶原聚集体可以作为很好的止血剂^[13]。胶原多肽是指胶原或明胶经一种或多种蛋白酶定向降解后的产物,相对分子量为 2000-30000 不等,研究证明一些水产胶原蛋白肽具有抗氧化性,对重金属清道夫与过氧化氢分解起促进作用,降低自氧化速率,减少脂肪过氧化氢含量与自由基的生成,且安全性可观^[14-16]。Morimura 等^[17]分别对阿拉斯加雪鱼皮明胶及黄尾鱼骨胶原进行酶解,并分离出抗氧化活性肽,对清除体内自由基及减少自由基诱发疾病对机体的伤害具有重要作用,延缓衰老进程。

2.2.2 改善骨骼、缓解眼睛干涩

骨骼中胶原蛋白含量约占 20%,占骨中总蛋白含量的 80%。胶原蛋白的特殊氨基酸—羟脯氨酸是血浆中运输钙至骨细胞的运载工具,使钙质与骨细胞结合,李彦春等^[18]发现,结合了钙的胶原蛋白制剂能够显著增强小鼠骨密度,

促进生长发育,说明添加胶原蛋白的补钙剂型要优于常规产品,有效改善骨质疏松。胶原蛋白的存在将骨骼与肌肉相连,形成立体骨架,使得运动时筋骨具有柔软度、弹性,保护膝盖、关节等软骨组织^[19]。此外,眼角膜的主要蛋白质成分是胶原蛋白,胶原蛋白纤维呈规则排列,正因为此种结构使得光线透过、眼角膜保持透明,目前以胶原蛋白为材料制成的隐形眼镜已出现,可预防诸如圆锥角膜等眼科疾病,提高眼睛保水力,起到保护眼睛的作用^[20,21]。

2.2.3 调节人体免疫力

胶原虽是大分子,但结构重复性大,具有亲和性、低免疫原性及可抗毒性,机体一般不会产生排斥反应,对胶原病(如关节炎)具有预防及治疗功效,对宿主细胞及组织的协调作用均表现出良好的生物相容性^[19]。Ravallec 等^[22]从鳕鱼胃蛋白酶水解产物中得到酸性肽,经研究具有刺激免疫活性;同时 Asbjorn 等^[23]研究发现 4 种鲑鱼酸性肽通过增加活性氧代谢产物或提高巨噬细胞吞噬活性与胞饮作用,提高非特异性免疫系统的防御功能,从而抑制癌细胞生长、防止癌细胞转移。其中 II 型胶原蛋白是类风湿性关节炎最主要的自身抗原之一,它是一种自身免疫性疾病,以适宜浓度的 II 型胶原蛋白诱导人体免疫耐受,可预防或缓解类风湿性关节炎病症^[24],Lugo 等^[25]研究也证明了 II 型胶原蛋白对此症状的改善且免疫耐受性良好。

3 胶原蛋白对运动员的影响

3.1 改善关节疼痛

运动员是骨关节损伤的高发人群,根据 2008 年一项对比研究,在新发膝关节不适的运动员中,急性膝关节扭伤的发生率显著高于非运动员,美国食品药品监督管理局(food and drug administration, FDA)认为胶原蛋白多肽是属于食品的营养素补充剂,能减少运动员关节疼痛,降低对镇痛剂的依赖,增强运动能力^[26]。近年来,对运动员补充胶原蛋白多肽减少关节疼痛的临床研究也较为关注。对于软骨代谢而言,充足的甘氨酸与脯氨酸是保证软骨再生的基本条件,若高强度运动后氨基酸供给不足,将会导致软骨受损。水解胶原主要由分子量在 300-20000 Da 之间的多肽组成,作为寡肽不需要消化、不易分解、完整地从小肠吸收,从而进入人体循环系统发挥其功能,在 1990 年开展的一项实验中,将 60 名男性体育爱好者分成两组,试验组每天口服 10 g 胶原蛋白,连续数月后,体内氨基酸含量为之前的 6 倍,尤其脯氨酸、甘氨酸、羟脯氨酸提高显著^[27];同时证实胶原类物质对软骨组织具有合成代谢作用,激发软骨细胞合成。因此,适当地补充高质量水解胶原肽,能够发挥保护关节的功能。研究证明每日摄入 10 克左右的水解胶原肽可预防和缓解运动性关节痛,并且适合人体吸收的产品分子量为 3000 道尔顿左右^[28]。

3.2 提高运动耐力

耐力性运动持续时间较长, 人体消耗营养较多, 此期间脂肪成为了人体主要的供能物质, 但脂肪只能氧化供能, 不能转化为葡萄糖, 血糖水平须由氨基酸转为葡萄糖来维持。因此蛋白质对耐力性运动十分重要, 在膳食总热量中应占到 12%-14%^[29,30]。正因如此, 适当、合理的对运动员进行营养干预会有益于运动员营养吸收及机能状况的改善, 有研究显示, 在夏季高温时, 运动员训练失水较多, 食欲降低, 营养摄入不足, 此时对运动员给予胶原蛋白、维生素等膳食补充, 可以提高运动员能量利用率及食欲, 有助于提高训练效果^[31]; 胶原的最小单元是胶原三肽(collagen tripeptide, CTP), 其结构可以表示为 Gly-X-Y, 是一种在 N 端带有甘氨酸的高纯度的三肽类物质, CTP 分子量小, 小肠吸收速度快, 可快速被人体所利用, 研究表明, 以小鼠为实验对象, 研究胶原三肽对小鼠爬杆时间的影响, 结果显示胶原三肽的小肠吸收率明显高于大分子的胶原肽和游离的氨基酸, 在一定程度上可极显著增加小鼠爬杆维持时间, 缓解体力疲劳、提高运动耐力^[32,33]。

3.3 促进创伤愈合

在专业体育训练及日常健身运动时, 人们难免会遇到肌肉、皮肤等组织创伤, 从生物学角度来说, 创伤修复涉及一系列复杂的生理学及生物学过程的协调与整合, 包括细胞迁移、增殖、细胞外基质沉积和重塑, 在此过程中, 成纤维细胞发挥非常重要的作用, 它能够刺激胶原合成, 促进各类生长因子、抗氧化剂、平衡基质的产生, 并对组织重塑起重要的推动作用, 在一定时间内, 创伤愈合部位组织中的胶原蛋白的含量会反映伤口的愈合程度^[34-36]。关于关节组织修复的实验证明, 通过补充水解胶原蛋白, 两种对于形成新的软骨和修复软骨的重要的结蹄组织-II 型胶原蛋白和蛋白多糖在软骨细胞中大量生成, 能够形成一种由反馈机制控制下的软骨微创自愈过程。目前关于胶原蛋白肽对创伤愈合作用的研究比较少, I 型胶原蛋白分子还可以通过整合素、盘蛋白(discoindin)结构域受体、糖蛋白等跨膜受体向细胞内传递不断变化的外源刺激信号, 同时胶原蛋白还具有信号“中转站”的功能, 它能够截留、贮存、运输生长因子, 从而在器官发育、伤口愈合和组织修复等过程中充当重要角色^[37,38]; 也有研究显示, 鹿茸胶原蛋白对小鼠坯布创伤愈合有促进作用, 并与其浓度相关^[39]。

3.4 其他方面

经有关动物实验与文献研究表明, 胶原蛋白有助于预防女运动员三重综合症, 女运动员三重综合症的概念为: 指膳食紊乱、月经失调和骨质疏松等 3 种病症, 容易引起应力性骨折^[40]。比如, Adam 等^[41]用降钙素或降钙素+胶原蛋白对 108 例绝经后骨质疏松症妇女治疗 24W, 结果显示: 降钙素+胶原蛋白复合治疗优于单纯降钙素治疗, 口

服胶原蛋白可提高和延长降钙素作用时间, 对骨密度增加有益; 2010 年 Guillerminet 等^[42]用胶原蛋白 Peptan B(牛)、Peptan P(猪)和 Peptan F(鱼), 或者标准的牛血清白蛋白作为对照, 进行成骨细胞和破骨细胞培养的研究, 结果表明 Peptan 胶原蛋白可以增加蛋白质营养摄入, 有助于骨质疏松的预防和治疗, 对女运动员的运动生涯大有裨益。

4 胶原蛋白在运动食品的应用

4.1 运动食品分类

现今我国体育事业蒸蒸日上, 体育运动已慢慢渗入人们的日常生活, 由运动造成的机体损伤及人们对食品营养要求的不断提高, 让运动食品成为热点话题。运动食品, 又称运动营养食品, 我国于 2015 年发布的 GB 24154—2015《食品安全国家标准 运动营养食品通则》中对其定义为: “为满足运动人群(指每周参加体育锻炼 3 次及以上、每次持续时间 30 min 及以上、每次运动强度达到中等及以上的人群)的生理代谢状态、运动能力及对某些营养成分的特殊需求而专门加工的食品”, 根据运动食品中功能因子所起的主要作用, 可将其分为能量补充型、增强力量型、抗疲劳型、保护型、运动适应型, 不同类运动营养食品所含的特征功效成分有所差异^[43]。目前, 我国运动产品形式较为多样, 如液体饮料、粉末、胶囊、片剂等, 功效作用多集中在抗炎症、抗氧化以及增强免疫力等方面, 具有较大的发展空间。

4.2 在运动食品的应用

在运动营养食品行业飞速发展的过程中, 对其功能成分的研究也是必不可少的。近年来, 富含胶原蛋白的食品愈来愈受到人们青睐, 2001 年 12 月美国食品药品监督管理局(FDA)开展了对胶原产品的安全性研究, 并将其作为直接使用的食品添加成分并赋予其最高安全等级 GRAS^[44], 因此胶原蛋白有望将成为一种维持青春与健美的好营养源。通常胶原类成分主要存在于保护型运动食品, 功效主要是保护关节免于损伤、组织修复、增肌塑性等。食用级胶原通常外观为白色, 口感柔和, 味道清淡、易消化, 胶原蛋白既可单独作为功能性食品直接食用, 也可与其他原料复配制成复方产品, 如谷物蛋白棒、酸奶和果冻等。目前市场上的胶原类产品剂型大多为口服液、咀嚼片、颗粒及胶囊类等, 比如为人熟知的国珍胶原蛋白片、纽崔莱胶原蛋白片等, 取得了良好的市场效应^[45]。

4.2.1 功能性及运动饮料开发

据文献及市场调查, 近几年胶原蛋白在功能性及运动能量饮料中的应用越来越多, 2015 年三得利公司在日本就推出了一款名为 Precious 的胶原蛋白啤酒, 并逐步融入到饮料、奶昔等产品领域, 比如 Voda 气泡水饮料、红牛功能型果汁饮料、百事 Gatorade G Series 03 Recover 高蛋白

运动饮料,在其中添加胶原蛋白为追求健康生活方式的人群强化维生素和锌、改善关节,深受运动人士喜爱^[46]。胶原蛋白添加于饮料中,除了保健功效之外,也可作为沉降、澄清剂,在啤酒、果汁生产中应用广泛,胶原蛋白分子带有正负极性,与带负电荷的物质或与多酚、单宁类进行静电中和而形成络合物,使得分子量增加而凝聚下沉,产品汁液透明,口感较为甜润,能够维持产品质量的长期稳定^[47]。

4.2.2 新型乳及乳制品开发

鉴于胶原蛋白生物功能性多样、消化吸收性更高,将其作为功能添加剂用于发酵乳制品的生产加工,能够提高发酵乳的黏度与保水性,提高发酵乳中L-羟脯氨酸的含量,起到抗乳清析出、乳化稳定的作用,此外胶原蛋白的凝固力较弱,使得凝固物富有弹性,使发酵乳的风味更加香醇,口感更加细腻,降低营养损失^[48,49]。目前国内已有大型乳品厂生产添加活性胶原蛋白的牛奶上市,其中上海理工大学也利用胶原蛋白制得了胶原蛋白酸奶保健饮品,主要是利用发酵乳与胶原蛋白的营养互补与功能协同作用,促进钙质吸收、产生抗菌物质、降低胆固醇、增加维生素C含量等^[10]。与此同时,胶原蛋白粉单独或复配生产奶粉,既提高其营养价值,又可增强奶粉的保健功能,加速增强智力、骨骼发育、提高机体的免疫力,对运动员乃至普通民众均大有裨益。

4.2.3 肉制品应用

研究发现,胶原蛋白及其水解产物还可应用于运动肉制品改良剂、制造肠衣等可食用包装材料,胶原蛋白的水解产物—明胶,通过破坏胶原蛋白分子内的氢键,破坏原有的紧密超螺旋结构,形成结构较为松散的小分子,添加肉制品中可以改善结缔组织的嫩度,增加蛋白质含量,口感好、营养高,有助于运动员增肌塑性^[50]。

4.2.4 其它功能食品开发及应用

除了运动饮料及运动营养补充剂之外,胶原蛋白在减重代餐、营养棒、减肥片和低碳水化合物食物中的应用也十分活跃^[51]。有研究显示,摄入足量的胶原蛋白可以提高人体必需微量元素的含量,从而起到降低甘油三酯和胆固醇的效果,这一作用被广泛应用于减肥降血脂类产品中,尤其是胶原蛋白与果胶、麦麸类膳食纤维搭配服用,可以起到很好地减肥降脂效果^[30]。

5 结论与展望

综上所述,胶原蛋白具有独特的理化性质和优良的生物相容性、丰富的营养价值及活性功能,尤其在保护软骨、骨骼保健方面具有较大影响,并且其特有的三重螺旋结构使分子较为稳定,且有低免疫原性和良好的生物可降解性。近些年来,胶原蛋白的重要性和可开发性受到越来越多的关注。2013年以来,国内外专家学者对胶原蛋白做

了大量的研究,7480多篇专利,10万多篇科技文献,以胶原蛋白为主要成分研发运动产品的专利数量也日益剧增,诸如以关节改善的胶原蛋白功能营养食品^[52]、旨在提高免疫力与降血糖的富硒胶原蛋白菊粉产品等^[53],由此看来胶原蛋白行业符合国家关于健康产业导向,在运动营养食品方面的应用将进一步扩大。然而,从源头上讲,胶原蛋白行业面临的主要问题在于提取胶原蛋白的原料的安全性,原料的质量得不到保证,其安全性也会遭到质疑,为此应加强对其安全性的监督力度。

参考文献

- [1] Zhu J, Kaufman L. Collagen I self-assembly: Revealing the developing structures that generate turbidity [J]. *Biophys J*, 2014, 106(8): 1822–1831.
- [2] Riichiro O, Tomoaki D. Physiological functions of enzymatic hydrolysates of collagen or keratin contained in livestock and fish waste [J]. *Food Sci Technol Res*, 2003, 9(1): 91–93.
- [3] Kumar S, Sugihara F, Suzuki K, *et al.* A double-blind, placebo-controlled, randomised, clinical study on the effectiveness of collagen peptide on osteoarthritis [J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(4): 702–707.
- [4] 林春通, 柯欣欣, 郭建辉, 等. 胶原蛋白与胶原蛋白肽的抗氧化关系初探[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(10): 44–50.
Lin CT, Ke XX, Guo JH, *et al.* Preliminary antioxidant relationship of collagen and collagen peptides [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2017, 17(10): 44–50.
- [5] 陈诗妍. 胶原蛋白在食品中的应用分析[J]. *现代食品*, 2019, (18): 27–28, 31.
Chen SY. Application analysis of collagen in food [J]. *Mod Food*, 2019, (18): 27–28, 31.
- [6] Marion K, Gordon, Rita A, *et al.* Collagens [J]. *Cell and Tissue Res*, 2010, 339(1): 247–257.
- [7] 宋芹, 陈封政, 颜军, 等. 胶原蛋白研究进展[J]. *成都大学学报(自然科学版)*, 2012, 31(1): 39–42.
Song Q, Chen FZ, Yan J, *et al.* Research progress in collagens [J]. *J Chengdu Univ (Nat Sci)*, 2012, 31(1): 39–42.
- [8] 曹荣安, 李浩, 李良玉, 等. 胶原蛋白的生理功能特性及其应用[J]. *肉类工业*, 2010, (1): 12–14.
Cao RA, Li H, Li LY, *et al.* Physiological function property and applications of collagen protein [J]. *Meat Ind*, 2010, (1): 12–14.
- [9] 廖艳阳. 胶原蛋白在食品中的应用[J]. *黄冈师范学院学报*, 2009, (3): 57–60.
Liao YY. Application of collagen in food [J]. *J Huanggang Normal Univ*, 2009, (3): 57–60.
- [10] 陈金明, 冯洁, 温升南. 胶原蛋白在食品中的应用及发展趋势[C]. *中国国际食品添加剂和配料展览会学术*, 2010.
Chen JM, Feng J, Wen SN. Application and development trend of collagen in food [C]. *China Food Additives*, 2010.
- [11] 安锋利, 王建林, 权美平, 等. 胶原蛋白的应用及其发展前景[J]. *贵州农业科学*, 2011, 39(1): 8–11.
An FL, Wang JL, Quan MP, *et al.* The application and development prospects of collagen [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2011, 39(1): 8–11.
- [12] 李昀. 胶原蛋白在食品和化妆品中的应用[J]. *天津农学院学报*, 2005, 12(2): 54–57.

- Li Y. Application of collagen to food and cosmetic industry [J]. *J Tianjin Agric Coll*, 2005, 12(2): 54–57.
- [13] 郭伟, 李荣文, 董燕. 医用胶原蛋白海绵在骨科中的应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2003, 11(1): 4.
- Guo W, Li RW, Dong Y. Application of medical collagen sponge in orthopedics [J]. *Orthop J Chin*, 2003, 11(1): 4.
- [14] 郭恒斌, 曾庆祝. 鱼皮胶原蛋白及胶原活性多肽的研究进展[J]. *食品与药品*, 2007, 9(8): 43–46.
- Guo HB, Zeng QZ. Research progress of fish skin collagen and collagen active polypeptides [J]. *Food Drug*, 2007, 9(8): 43–46.
- [15] 郭瑶, 曾名勇, 崔文莹. 水产胶原蛋白及胶原多肽的研究进展[J]. *水产科学*, 2006, 25(2): 101–104.
- Guo Y, Zeng MY, Cui WX. Aquatic collagen and active polypeptide [J]. *Fish Sci*, 2006, 25(2): 101–104.
- [16] 王成成, 姜卉, 吴海涛, 等. 罗非鱼皮明胶酶解物及其模拟消化产物的抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(24): 20–26.
- Wang CC, Jiang H, Wu HT, *et al*. Antioxidant activity of tilapia(*Oreochromis niloticus*) skin gelatin hydrolysates and its simulated digestive products [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(24): 20–26.
- [17] Morimura S, Nagata H, Uemura Y, *et al*. Development of an effective process for utilization of collagen from livestock and fish waste [J]. *Process Biochem*, 2002, 37(12): 1403–1412.
- [18] 李彦春, 祝德义, 靳丽强, 等. 胶原多肽钙的制备及小鼠应用试验[J]. *中国皮革*, 2005, (15): 40–45.
- Li YC, Zhu DY, Jin LQ, *et al*. Preparation of collagen polypeptide calcium and application experiments by small mice [J]. *Chin Leather*, 2005, (15): 40–45.
- [19] 王沥浩, 王文慧, 郭咏昕, 等. 胶原蛋白功能概述[J]. *黑龙江农业科学*, 2014, (3): 156–162.
- Wang LH, Wang WH, Guo YX, *et al*. Summary on the function of collagen [J]. *Heilongjiang Agric Sci*, 2014, (3): 156–162.
- [20] Kontadakis G, Kymionis G, Portaliou D, *et al*. Effect of corneal collagen crosslinking on corneal sensitivity, tear function and innervation: a clinical and confocal microscopic study [J]. *Acta Ophthalmol*, 2009, 87(S244): 1.
- [21] Wollensak G, Spoerl E, Seiler T. Long-term biomechanical properties of rabbit sclera after collage crosslinking using riboflavin and ultraviolet A [J]. *Acta Ophthalmol*, 2009, 87(2): 193–198.
- [22] Ravallec PR, Van AW. Secretagogue activities in cod (*Gadus morhua*) and shrimp (*Penaues aztecus*) extracts and alcalase hydrolysates determined in AR4-2J pancreatic tumour cells [J]. *Comparat Biochem Physiol Part B*, 2003, 134(4): 669–679.
- [23] Asbjorn G, Jarl B, Audny J, *et al*. Isolation of acid peptide fractions from a fish protein hydrolysate with strong stimulatory effect on Atlantic salmon (*Salmo solar*) head kidney leucocytes [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1996, 114B: 97–101.
- [24] Xu MH, Guo QY, Wang SJ, *et al*. Anti-rheumatoid arthritic effects of *Saussurea involucrata* on type II collagen-induced arthritis in rats [J]. *Food Funct*, 2015, 7(2): 763–770.
- [25] Lugo JP, Saiyed ZM, Lane NE. Efficacy and tolerability of an undenatured type II collagen supplement in modulating knee osteoarthritis symptoms: A multicenter randomized, double-blind, placebo-controlled study [J]. *Nutr J*, 2016, 15(1): 1–15.
- [26] 周建烈, 陈悦. 胶原蛋白多肽改善运动员关节疼痛的临床观察介绍[J]. *中华临床营养杂志*, 2012, 20(2): 128–129.
- Zhou JL, Chen Y. Information of clinical studies on the effect of collagen peptides on joint pain in athletes [J]. *Chin J Clin Nutr*, 2012, 20(2): 128–129.
- [27] Milan A, Kristine C, Heinrich K, *et al*. Collagen hydrolysate and its relationship to joint health [Z]. 2004.
- [28] 王正平. 水解胶原质, 一种增强骨健康、改善皮肤保湿性能的功能添加剂[J]. *中国食品工业*, 2007, (5): 48–49.
- Wang ZP. Hydrolyzed collagen, a function that enhances bone health and improves skin moisturizing performance Energy additives [J]. *Chin Food*, 2007, (5): 48–49.
- [29] 艾华. 当前运动营养研究评述[J]. *中国运动医学杂志*, 2010, (3): 228.
- Ai H. Review of current sports nutrition research [J]. *Chin J Sports Med*, 2010, (3): 228.
- [30] 赵原. 运动性疲劳的诊断及其恢复手段[J]. *河池师专学报*, 2001, (6): 98.
- Zhao Y. The diagnosis and recovery of exercise fatigue [J]. *J Hebei Normal Univ*, 2001, (6): 98.
- [31] 罗琼. 营养干预对高温训练运动员营养和机能状况的影响[J]. *包头医学院学报*, 2018, 34(1): 65–66.
- Luo Q. Effect of nutrition intervention on nutrition and function of athletes training under high temperature [J]. *J Baotou Med Coll*, 2018, 34(1): 65–66.
- [32] 杨国燕, 陈栋梁, 余承高, 等. 胶原三肽的小肠吸收及提高运动耐力作用初探[J]. *中国食品工业*, 2010, (11): 63–64.
- Yang GY, Chen DL, Yu CG, *et al*. A preliminary study on the small intestine absorption of collagen tripeptide and the effect of improving exercise endurance [J]. *Food Bever Ind*, 2010, (11): 63–64.
- [33] 林煌映. 小肽吸收机制研究进展[J]. *畜牧市场*, 2005, (8): 79–81.
- Lin HY. Research progress on small peptide absorption mechanism [J]. *Stockbreed Mark*, 2005, (8): 79–81.
- [34] Shen Y, Xian L. Collagen peptides improve knee osteoarthritis in elderly women: A 6-month randomized, double-blind, placebo-controlled study [Z]. *Agro Food Ind Hi-Tech*, 2014.
- [35] Han SK. *Advances in wound repair* [M]. Korea: Koonja Publishing Inc, 2013.
- [36] Jurk K, Ritter MA, Schriek C, *et al*. Activated monocytes capture platelets for heterotypic association in patients with severe carotid artery stenosis [J]. *Thromb Haemost*, 2010, 103(60): 1193–1202.
- [37] 张达江, 王亮. I型胶原蛋白的结构、功能及其应用研究的现状与前景[J]. *生物技术通讯*, 2006, 17(2): 265–269.
- Zhang DJ, Wang L. Structure and function of type I collagen and the situation and prospect of exploratory development [J]. *Lett Biotechnol*, 2006, 17(2): 265–269.
- [38] Verrecchia F, Mauviel A. TGF- β and TNF- α : Antagonistic cytokines controlling type I collagen gene expression[J]. *J Cell Sig*, 2004, 16: 873.
- [39] 车爽, 程然, 蒋薇, 等. 鹿茸胶原蛋白对创伤愈合作用的试验研究[J]. *吉林农业*, 2017, (13): 62–63.
- Che S, Cheng R, Jiang W, *et al*. Experimental Study on the Effect of Antler Collagen on Wound Healing [J]. *Jilin Agric*, 2017, (13): 62–63.
- [40] 周建烈. 胶原蛋白肽的运动营养研究进展[J]. *食品与营养科学*, 2017, 6(4): 209–214.
- Zhou JL. Update on collagen peptide in sports nutrition [J]. *Food Nutr Sci*,

- 2017, 6(4): 209–214.
- [41] Adam M, Spacek P, Galianova A, *et al.* Postmenopausal osteoporosis. Treatment with calcitonin and a diet rich in collagen proteins [Z].
- [42] Guillerminet F, Hélène Be, Véronique FS, *et al.* Hydrolyzed collagen improves bone metabolism and biomechanical parameters in ovariectomized mice: An *in vitro* and *in vivo* study [J]. *Bone*, 2010, 46(3): 830–834.
- [43] GB 24154-2015 食品安全国家标准 运动营养食品通则[S].
GB 24154-2015 National food safety standard-General rules for sports nutrition [S].
- [44] 郭兆锋, 刘爱青. 水解胶原蛋白在保健食品和化妆品中的应用进展(一)[J]. *中国生物美容*, 2009, (4): 70–73.
Guo ZF, Liu AQ. Application of collagen hydrolysate in the fields of functional foods and cosmetics(I) [J]. *Chin Bio-Beauty*, 2009, (4): 70–73.
- [45] 尹利端, 石丽花, 王桐, 等. 海洋胶原蛋白肽在功能性食品中的应用[J]. *明胶科学与技术*, 2013, 33(2): 4–7.
Yin LD, Shi LH, Wang T, *et al.* The application of ocean collagen peptide in the fields of functional foods [J]. *Sci Technol Gelat*, 2013, 33(2): 4–7.
- [46] 彭青. 品牌联合效果影响因素研究-以青岛啤酒、三得利株式会社为例[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
Peng Q. Research on the factors affecting the joint effect of brands: tsingtao beer and suntory Co., Ltd. [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [47] 陈甜甜. 有关胶原蛋白在食品中的应用分析[J]. *中外食品工业*, 2014, (11): 69–70.
Chen TT. Analysis of the application of collagen in food [J]. *Sino-foreign Food Ind*, 2014, (11): 69–70.
- [48] 武建新, 苏东海, 刘成玉, 等. 胶原蛋白酸奶的研制[J]. *中国乳品工业*, 2011, (12): 43–45.
Wu JX, Su DH, Liu CY, *et al.* Research of production process of collagen yoghurt [J]. *Chin Dairy Ind*, 2011, (12): 43–45.
- [49] Israelowitz M, Rizvi SWH, Kramer J, *et al.* Computational modeling of type I collagen fibers to determine the extracellular matrix structure of connective tissues [J]. *Protein Eng Des Sel*, 2005, 18(7): 329–335.
- [50] Elam ML, Johnson SA, Hooshmand S, *et al.* A calcium-collagen chelate dietary supplement attenuates bone loss in postmenopausal women with osteopenia: A randomized controlled trial [J]. *J Med Food*, 2015, 3(3): 324–331.
- [51] 刘俊佳. 胶原蛋白肽产业现状及发展趋势[J]. *养生保健指南*, 2019, (7): 321.
Liu JJ. Current situation and development trend of collagen peptide industry [J]. *Health Guide*, 2019, (7): 321.
- [52] Mcalindon TE, Nuite M, Krishnan N, *et al.* Change in knee osteoarthritis cartilage detected by delayed gadolinium enhanced magnetic resonance imaging following treatment with collagen hydrolysate: A pilot randomized controlled trial [J]. *Osteoarthritis Cartil*, 2011, 19(4): 399–405.
- [53] 周建烈, 蒋建新, 黄琪仁. 胶原蛋白肽防治老年骨关节炎和骨质疏松症的研究进展[J]. *中华临床医师杂志(电子版)*, 2015, (24): 4698–4702.
Zhou JL, Jiang JX, Huang QR. Update on effects of collagen peptides on the prevention and treatment of osteoarthritis and osteoporosis [J]. *Chin J Clin (Electron Ed)*, 2015, (24): 4698–4702.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

刘建伟, 实验师, 主要研究方向为运动营养学、运动生理学。

E-mail: z55433@163.com

孟佳珩, 硕士, 副教授, 主要研究方向为运动生理学、运动养生。

E-mail: z18906@163.com