

胶原蛋白肽应用于运动营养食品中的研究进展

Research of Collagen Peptide in Sports Nutrition Food

◎ 王海燕¹, 刘爱青¹, 邹国庆¹, 闫 征^{1,2}

(1. 北京盛美诺生物技术有限公司, 北京 100062;

2. 北京电子科技职业学院, 北京 100176)

Wang Haiyan¹, Liu Aiqing¹, Zou Guoqing¹, Yan Zheng^{1,2}

(1.Beijing Semnl Biotechnology Co., Ltd., Beijing 100062, China;

2.Beijing Polytechnic, Beijing 100176, China)

摘 要: 本文论述了胶原蛋白肽在改善骨骼、改善关节、改善肌少症、促进伤口愈合等与运动营养领域相关方面的研究进展, 并分析了其目前在运动营养食品方面的发展状况。

关键词: 胶原蛋白肽; 运动营养食品; 研究进展

Abstract: This paper discusses the research progress of collagen peptide in improving bone, joint, sarcopenia, promoting wound healing and so on, and analyzes its global development in sports nutrition food.

Key words: Collagen peptide; Sports nutrition food; Research

中图分类号: TQ464.7

健康中国已经成为国家发展战略, 全面健身意识已深入人心。随着人们健康意识的改善, 越来越多的运动人群开始食用运动营养食品, 为身体提供充足的物质能量并增强体质。我国运动营养食品产业起步较晚, 但发展十分迅猛^[1]。运动营养食品中的有效成分很多, 可大致分为两类: 营养物质补充类, 活性或功能因子类。在营养物质补充类中, 蛋白质属于一大类, 其分解产物肽类成为当前研究热点。肽类比完整的蛋白质更容易消化吸收。运动后不久在消化系统还没有完全恢复正常工作的前提下补充肽类, 可加快肽的酶解和氨基酸的吸收利用, 有利于运动相关组织器官的快速修复以及增肌性合成代谢^[2]。我国 GB 24154-2015《食品安全国家标准 运动营养食品通则》中也有明确规定“运动后恢复类, 以肽类为特征成分, 是适用于中、高强度或长时间运动后恢复的人群使用的运动营养食品”。

胶原蛋白是很多结缔组织的结构性蛋白, 如皮肤、骨骼、关节和筋腱, 在哺乳动物蛋白质中含量达

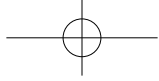
到 1/3^[3]。胶原蛋白肽是胶原蛋白的酶解产物。有研究表明人体口服胶原蛋白肽后, 其以小肽和游离氨基酸两种形式被人体吸收, 且一般在 1 ~ 2 h 后达到峰值^[4]。动物实验证实, 摄入放射性胶原蛋白肽后, 在股骨、胫骨、关节, 肌肉等组织中都检测到了放射性存在, 胶原蛋白肽参与了上述组织的生长合成^[5]。临床研究证明胶原蛋白肽可以促进骨骼关节健康, 缓解因运动导致的疼痛, 改善肌少症, 促进伤口愈合等, 适用于运动营养食品^[3,6]。

1 胶原蛋白肽在运动营养领域的研究进展

1.1 胶原蛋白肽改善骨骼的研究进展

目前研究已经证明胶原蛋白肽有提高骨密度, 促进骨骼生长, 防止骨流失, 增加骨力量, 加快骨折愈合等作用, 可以显著提高骨中有机质含量, 促进骨形成, 具有在不同的生理环境下(生长、骨丢失、愈合)维持平衡骨转换的能力, 可应用于骨骼的膳食补充剂中^[7-8]。

作者简介: 王海燕(1976—), 女, 博士, 高级工程师; 研究方向为生物活性肽提取及功效。



Xu 等的研究发现, 胶原蛋白肽可以促进生长中的雄性大鼠中长骨的发育^[9]。Leem 等也证实了分子量 < 3 kDa 的胶原蛋白肽可以促进青春期雄性大鼠纵向骨生长和生长板高度, 且成一定剂量相关性, 而明胶无此作用^[10]。

Elam 等 2015 年研究发现, 人体服用胶原蛋白肽 +VD+ 钙后, 骨密度下降程度低于服用 VD + 钙的组合^[11]。Daniel 等研究了胶原蛋白肽对绝经后女性骨密度的影响。实验设计为随机双盲, 共 131 名女性参加。与安慰剂组相比, 口服胶原蛋白肽组中脊柱和股骨颈的骨密度分别提高了 4.2% 和 7.7%, 血液中骨形成标志性成分—I 型前胶原氨基端肽含量显著提高, 而安慰剂组中骨吸收标志性成分—I 型胶原 C 端肽 (CTX-1) 含量明显高于胶原蛋白肽组^[12]。

Song 等以老年鼠为研究对象, 分析了胶原蛋白肽对骨流失的预防效果和改善骨微观结构情况^[13]。实验结果显示摄入胶原蛋白肽后, 骨的机械强度, 骨密度和胶原含量显著提高, 骨小梁网状微观结构也明显改善。进一步研究发现, 胶原蛋白肽可以上调与胶原蛋白合成相关的 TGF- β 和 Smad3 水平, 下调 Smad7 水平。此外, 血清抗酒石酸酸性磷酸酶 (TRAP) 水平下降显著, TRAP 是破骨细胞的标志性成分, 其含量下降, 表明胶原蛋白肽可以通过降低破骨细胞活性来抑制骨吸收。结果证实摄入胶原蛋白肽通过提高胶原蛋白合成和抑制骨吸收来可以预防因年龄引起的骨流失, 改善骨微观结构。

Hata 等研究了胶原蛋白肽对胫骨损伤的大鼠骨修复过程的影响。胫骨皮质骨缺损 (直径 1 mm) 通过内侧皮质和髓质形成^[14]。结果发现对照组骨缺损区有血凝块, 缺损周围有一薄层结缔组织。而胶原蛋白肽组骨缺损区充满肉芽组织、血凝块和大量成骨细胞。研究结果证实饲喂胶原蛋白肽对骨愈合有一定的促进作用, 有助于大鼠皮质骨缺损后的骨愈合。

胶原蛋白肽改善骨骼的机理尚不明确, 目前的实验证明胶原蛋白肽可以促进人体成骨细胞增殖, 抑制破骨细胞活性, 提高成骨细胞分化和矿化骨基质形成, 刺激 I 型胶原蛋白 mRNA 表达和蛋白质生成, 增加碱性磷酸酶活性和骨钙素产生。从分子水平上看, 胶原蛋白肽可以提高 Runx2 的表达和活性, 激活成骨细胞信号转导通路 ERK1/2、JNK1/2、p38 和 ELK1 磷酸化; 即胶原蛋白肽可以通过 ERK1/2MAPK 信号通路促进 I 型胶原蛋白基因表达和胶原蛋白的合成^[8]。Song 等认为服用胶原蛋白肽后可以提高胶原蛋白含量, 而胶原蛋白在骨结构的维持和力的传递中起着重要的作用。更为重

要的是, 它决定了矿物沉积量, 所以口服胶原蛋白肽能够提高骨密度。此外, 胶原蛋白肽可以调节 TGF- β / Smad 信号转导途径。在成骨细胞中, TGF- β 是通过 Smad 信号转导途径刺激胶原合成的主要因素之一^[13]。

1.2 胶原蛋白肽改善关节的研究进展

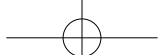
胶原蛋白肽改善关节炎的研究非常多, 主要集中在改善骨关节炎方面。Schauss 等进行了鸡胸软骨中取的胶原蛋白肽改善骨关节炎的临床研究, 实验设计为随机双盲, 采用 VAS 和 WOMAC 进行评估。实验结果显示, 实验组的疼痛、僵直和进行日常生活活动困难程度都有明显改善; 能够明显改善人体运动灵活性, 对骨关节炎患者有很好的康复效果^[15]。

McAlindon 等采用 dGEMRIC 方法研究临床口服胶原蛋白肽后对人体膝关节多糖的影响。结果发现口服胶原蛋白肽 24 周后, 与安慰剂组相比胫骨内侧和胫骨外侧 dGEMRIC 指数明显提高。dGEMRIC 指数可反映软骨中 GAG 的分布, 该值低说明此部位氨基葡萄糖缺失较严重。研究结果证明口服胶原蛋白肽有利于软骨中多糖的生成^[16]。

Clark 等研究了 147 名运动员口服胶原蛋白肽改善关节疼痛的效果。结果发现与对照组相比, 实验组有 5 组参数疼痛感明显降低, 分别是休息时关节疼痛感, 行走时关节疼痛感, 站立时关节疼痛感, 负重时关节疼痛感, 举重时关节疼痛感。实验结果表明口服胶原蛋白肽有利于关节健康, 能够降低运动员这一关节病高风险人群发病的概率^[17]。Zdzieblik 等 2017 年也研究了胶原蛋白肽对运动员在运动中膝关节功能性疼痛的影响。实验共 139 名运动员参与, 实验周期为 12 周。研究结果发现, 与安慰剂组相比, 口服胶原蛋白肽可以降低 36% 因减轻运动导致的疼痛, 疼痛缓解率高达 88%^[18]。

国内也有学者探讨胶原蛋白肽对关节的改善作用。高路等对 120 例主诉为关节疼痛的 50 ~ 70 岁中老年骨质疏松患者, 分别补充钙剂, 胶原蛋白肽、钙剂和胶原蛋白肽。结果发现与空白组相比, 这 3 组的关节疼痛均有改善, 其中钙剂和胶原蛋白肽组改善最明显, 且症状缓解最快^[19]。蒋建新等的临床研究也证实口服胶原蛋白多肽能有效改善中老年女性膝骨关节炎患者的临床症状和功能, 缓解疼痛, 提高生活质量^[20]。

胶原蛋白肽能改善关节的作用机理尚不明确。从以往研究来看, 人体口服胶原蛋白肽后, 体内会有产生 Pro-Hyp, 这种二肽可以刺激滑膜细胞合成 HA。胶原蛋白肽还能刺激关节软骨中的 II 型胶原蛋白合成和多糖生成。这种刺激作用可以抵消软骨组织的磨损过程, 有助于修复微损伤, 从而降低细胞外基质的降解,



减少炎症的发生和疼痛刺激。这一假设目前已得到了临床实验的支持,证明补充胶原蛋白肽可以诱导甘氨酸介导的细胞因子释放抑制^[21]。

1.3 胶原蛋白肽改善肌少症的研究进展

Zdzieblik 等 2015 年以肌少症 I 或 II 级患者为研究对象,研究了胶原蛋白肽对肌少症的影响。实验选用了年龄 72.2 ± 4.68 的 53 名男性肌少症 I 或者 II 级患者进行抗阻训练 12 周,训练结束后 1 h 内,干预组每天口服 15 g 胶原蛋白肽,安慰剂组口服二氧化硅。实验前后分别用双能 X 线骨密度仪检测去脂体重 (FFM),脂肪重量 (FM),骨重量 (BM),并用等速测力法评估右腿股四头肌力量 (IQS),同时采用标准化单腿稳定性试验 (SMC) 调查感觉运动控制能力。通过抗阻训练,所有志愿者的 FFM, BM, IQS, SMC 都明显提高, FM 明显降低。其中干预组与对照组的结果如下: FFM (TG+4.2 (SD2.31) kg/PG+2.9 (SD1.84) kg; $P<0.05$); IQS (TG+16.5 (SD12.9) Nm/PG+7.3 (SD13.2) Nm; $P<0.05$); FM (TG-5.4 (SD3.17) kg/PG-3.5 (SD2.16) kg; $P<0.05$)。实验结果表明,与安慰剂组相比,胶原蛋白肽与训练相结合,能够更为有效提高去脂体重和肌肉力量,降低脂肪体重^[22]。

日本学者 Okiura 等 2016 年研究了胶原蛋白肽对 SAMP6 小鼠的胫骨前肌和股骨影响。研究结果表明,饲喂胶原蛋白肽 60 周后,胫骨前肌中肌纤维琥珀酸脱氢酶 (SDH) 染色强度和 SDH 活性,股骨头皮质密度、骨小梁密度及血清骨钙素水平平均高于对照组。这说明胶原蛋白肽可抑制 SAMP6 小鼠肌肉氧化能力和骨密度的下降,有降低年龄引起的肌肉骨骼系统退行性变化的可能^[23]。

Opez 等研究了鸡软骨来源的胶原蛋白肽对健康人群肌肉和结缔组织的作用。实验结果证明口服胶原蛋白肽后可以具有更强健的肌肉恢复性和适应性,对结缔组织具有很好的保护作用,有助于从事常规抗阻训练者和心血管锻炼者的恢复^[24]。

研究者分析了胶原蛋白肽能够改善肌肉的作用机理:①已有研究表明,与乳清蛋白相比,在低蛋白质膳食中,胶原蛋白肽能更好地维护氮平衡和体重,这可能是因为胶原蛋白肽的分子量低,或者是因为其氨基酸组成中含有更多的氮原子。②蛋白质补充的时间和吸收的速度也会影响其有效性。有研究表明,快速消化和吸收蛋白质能够提高肌肉增大,运动后 90 ~ 120 min 服用蛋白质是最佳窗口期。在上述研究中胶原蛋白肽在训练后 60 min 内摄入,因此很可能会快速消化吸收。③胶原蛋白肽中富含精氨酸和甘氨酸,

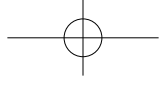
这两种氨基酸是合成肌酸的重要物质,有研究证明肌酸能够增大增强肌肉,减少肌少症。④有研究证明胶原蛋白肽可以血液微循环,因此有利于服用蛋白质后氨基酸运输,提高厌氧反应,因此与其他蛋白质相比,更有利于肌肉的增长。⑤同时有研究表明,胶原蛋白肽可以改善骨关节炎,缓解关节疼痛。因此补充胶原蛋白肽后,有利于获得更好地阻力训练效果^[22]。此外 Kitakaze 等研究发现,胶原蛋白肽中特征性二肽 Hyp-Gly 可以显著提高成肌细胞融合成肌管,增加肌管短轴的直径,促进重链肌球蛋白和原肌球蛋白的表达。而单独的羟脯氨酸和甘氨酸仅能增加重链肌球蛋白水平,对其他因素无影响。这说明 HYP-GLY 可以促进成肌细胞分化,提高肌管尺寸,而单独的氨基酸无此效果。实验结果还表明 HYP-GLY 通过激活 PI3K/Akt/mTOR 信号通路来促进成肌细胞分化^[25]。

1.4 胶原蛋白肽促进伤口愈合的研究进展

Hu 等研究发现,罗非鱼来源分子量 < 5 kDa 的胶原蛋白肽对实验兔子烫伤后的伤口有明显的愈合效果,尤其是烫伤后第 11 d,胶原蛋白肽组伤口愈合率达到 $38.8\% \pm 22.8\%$,明显高于模型组 $8.7\% \pm 17.2\%$ 和阳性对照组 $19.5\% \pm 35.0\%$,第 18 d 模型组愈合率达到仅为 $72.1\% \pm 13.9\%$,而胶原蛋白肽组基本完全愈合^[26]。Felician 等研究发现胶原蛋白肽对全层皮肤切伤小鼠的伤口收缩有积极影响。组织学评估显示显著的再上皮化、组织再生和胶原沉积增加等迹象,皮肤切片免疫结果表明胶原蛋白肽能促进 β -成纤维细胞生长因子 (β -FGF) 和转化生长因子 $\beta 1$ (TGF- $\beta 1$) 表达显著增加。实验结果证实胶原蛋白肽可以加速伤口愈合过程,未来可以应用于伤口愈合的产品中^[27]。Wang 等的研究结果也与上述研究类似^[28]。

1.5 胶原蛋白肽与运动营养领域相关的其他研究进展

已有临床发现口服胶原蛋白肽可以提高血液中 NO 含量,有利于血液循环,提高动脉弹性^[22]。Matsuda 等研究了口服胶原蛋白肽对跟腱细胞外基质的影响。饲喂兔 56 d 后,与空白组相比,胶原蛋白肽组可以显著增加胶原纤维直径,影响跟腱中糖蛋白组成,有提高跟腱功能的可能^[29]。Lee 等研究了胶原蛋白肽对高脂肪饲喂的模型鼠肥胖症中的脂肪细胞分化和体重增加的影响。结果显示胶原蛋白肽能够通过控制降低脂肪细胞的 C/EBP- α 和 PPAR- γ 基因表达,抑制 3T3-L1 脂肪前细胞的分化和转化为脂肪细胞,从而降低体重,并提高血液中 HDL 含量,降低 LDL 含量,改变体内脂肪细胞的大小^[30]。研究证实胶原蛋白肽还具有促进血液循环,改善跟腱功能和降低体重等作用。



2 胶原蛋白肽在运动营养食品中的应用

根据 INNOVA 数据显示, 2015—2019 年, 全球共发布了约 4.8 万件运动营养食品。2019 年美国发布新产品数为 2 300 多件, 为全球发布运动营养食品最多的国家, 中国发布了 200 多件新产品, 排名第 10; 其中有 3 200 多件新产品中添加了胶原蛋白肽, 约占总量的 6.7%。Myprotein 公司 5 年内共发布了 813 件添加了胶原蛋白肽的运动营养食品, 为全球数量发布最多的公司。美国和德国是发布添加了胶原蛋白肽的运动营养食品最多的国家。胶原蛋白肽在运动营养食品中的形式多为营养棒, 占到 50% 以上的比例, 其次为固体饮料, 比例大约为 23%。中国康比特开发了针对青少年高考体育生保护关节软组织的骨胶原蛋白片, 里面添加了水解胶原蛋白, 骨胶原蛋白。

2018 年胶原蛋白肽的食品安全国家标准发布, 标志该产品有了统一的产品质量标准。胶原蛋白肽在本世纪初在国内开始兴起, 目前发展已经初具规模, 但大部分都是应用于美容食品中。而胶原蛋白肽具有易吸收, 提高免疫力, 保护骨骼关节健康, 改善肌少症, 促进伤口愈合等功效, 非常适用于运动营养食品。随着中国运动营养食品市场的兴起, 胶原蛋白肽也将逐步应用其中, 势必会以其优良的加工性和科学的功效性推动中国运动营养食品市场的健康发展。

参考文献:

- [1] 邓陶陶, 焦颖, 李奇庚, 等. 运动营养食品产业现状和未来发展 [J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(2): 208-212.
- [2] 艾华, 常翠青. 运动营养食品中营养成分和功能因子研究进展 [J]. 食品科学技术学报, 2017, 35(3): 16-24, 49.
- [3] Song H, Li B. Beneficial Effects of Collagen Hydrolysate: A Review on Recent Developments [J]. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research, 2017, 1(2): 458-461.
- [4] Shigemura Y, Suzuki A, Kurokawa M, et al. Changes in Composition and Content of Food-Derived Peptide in Human Blood after Daily Ingestion of Collagen Hydrolysate for 4 weeks [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2018, 98(5): 1944-1950.
- [5] Watanabe-Kamiyama M, Shimizu M, Kamiyama S, et al. Absorption and effectiveness of orally administered low molecular weight collagen

hydrolysate in rats [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(2): 835-841.

[6] Maya R, Gopakumar K. Fish Collagen and its Applications in Food and Pharmaceutical Industry: A Review [J]. EC Nutrition, 2018, 13: 752-767.

[7] Guillerminet F, Beaupied H, Fabien-Soule V, 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): 827-834.

[8] Daneault A, Prawitt J, Fabien V, et al. Biological effect of hydrolyzed collagen on bone metabolism [J]. C R C Critical Reviews in Food Technology, 2017, 57(9): 1922-1937.

[9] Xu Y J, Han X L, Li Y. Effect of marine collagen peptides on long bone development in growing rats [J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(9): 1485-1491.

[10] Leem K. H, Lee S., Jang A., et al. Porcine skin gelatin hydrolysate promotes longitudinal bone growth in adolescent rats [J]. J Med Food, 2013, 16(5): 447-453.

[11] Elam M L, Johnson S A, Hooshmand S, et al. A Calcium-Collagen Chelate Dietary Supplement Attenuates Bone Loss in Postmenopausal Women with Osteopenia: A Randomized Controlled Trial [J]. Journal of Medicinal Food, 2015, 18(3): 324.

[12] Daniel K, Steffen O, Stephan S, et al. Specific Collagen Peptides Improve Bone Mineral Density and Bone Markers in Postmenopausal Women—A Randomized Controlled Study [J]. Nutrients, 2018, 10(1): 97.

[13] Song H D, Zhang S Q, Zhang L, et al. Ingestion of collagen peptides prevents bone loss and improves bone microarchitecture in chronologically aged mice [J]. Journal of Functional Foods, 2019, 52: 1-7.

[14] Hata S, Hayakawa T, Okada H, Hayashi, K., Akimoto, Y., & Yamamoto, H. Effect of Oral Administration of High Advanced-Collagen Tripeptide (HACP) on Bone Healing Process in Rat [J]. Journal of hard tissue biology, 2008, 17(1): 17-21.



行业综述 Industry Review

- [15]Schauss A G, Stenehjem J, Park J, et al.Effect of the Novel LowMolecular Weight HydrolyzedChicken Sternal Cartilage Extract, BioCell Collagen, on Improving Osteoarthritis-Related Symptoms: A Randomized, Double-Blind, Placebo-ControlledTrial[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60 (16): 4096-4101.
- [16]Mcalindon T E, 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 & cartilage, 2011, 19 (4): 399-405.
- [17]Clark K L, Sebastianelli W, Flechsenhar K R, et al.24-Week study on the use of collagen hydrolysate as a dietary supplement in athletes with activity-related joint pain. [J].Current Medical Research & Opinion, 2008, 24 (5): 1485-1496.
- [18]Zdzieblik D, Oesser S, Gollhofer A, et al.Improvement of activity-related knee joint discomfort following supplementation of specific collagen peptides[J].Applied Physiology Nutrition & Metabolism, 2017, 42 (11): 1-8.
- [19] 高路, 岳婷婷, 卢媛媛, 等. 胶原蛋白对骨质疏松患者关节疼痛的影响 [J]. 中国临床研究, 2012, 25 (9): 877-878.
- [20] 蒋建新, 张先龙, 金东旭, 等. 服用胶原蛋白多肽对中老年女性膝关节关节炎患者关节疼痛和功能的临床效果研究 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2013, (11): 1184-1186, 1199.
- [21]Boonmaleerat K, Wanachewin O, Phitak T, et al.Fish Collagen Hydrolysates Modulate Cartilage Metabolism[J].Cell Biochemistry and Biophysics, 2018, 76 (1-2): 279-292.
- [22]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.
- [23]Okiura T, Oishi Y, Takemura A, et al.Effects of collagen hydrolysate on the tibialis anterior muscle and femur in senescence-accelerated mouse prone 6[J].Journal of musculoskeletal & neuronal interactions, 2016, 16 (2): 161-167.
- [24]Lopez H L, Ziegenfuss T N, Park J.Evaluation of the Effects of BioCell Collagen, a Novel Cartilage Extract, on Connective Tissue Support and Functional Recovery From Exercise[J].Integrative Medicine, 2015, 14 (3): 30-38.
- [25]Kitakaze, T, Sakamoto, T, Kitano, T, et al.The collagen derived dipeptide hydroxyprolyl-glycine promotes C2C12 myoblast differentiation and myotube hypertrophy[J].Biochem. Biophys. Res. Commun, 2016, 478 (3): 1292-1297.
- [26]Hu Z, Yang P, Zhou C X, et al.Marine Collagen Peptides from the Skin of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): Characterization and Wound Healing Evaluation[J].Marine Drugs, 2017, 15 (4): 102.
- [27]Felician F F, Yu R H, Li M Z, et al.The wound healing potential of collagen peptides derived from the jellyfish rhopilema esculentum[J].Chinese Journal of Traumatology, 2019, 22 (1): 12-20.
- [28]Wang J B, Xu M H, Liang R, et al.Oral administration of marine collagen peptides prepared from chum salmon (*Oncorhynchus keta*) improves wound healing following cesarean section in rats[J].Food & Nutrition Research, 2015, 59 (1): 26411
- [29]Matsuda N, Koyama Y I, Hosaka Y, et al.Effects of ingestion of collagen peptide on collagen fibrils and glycosaminoglycans in the dermis[J].Journal of Nutritional ence & Vitaminology, 2006, 52 (3): 211-215.
- [30]Lee E J, Hur J, Ham S A, et al.Fish collagen peptide inhibits the adipogenic differentiation of preadipocytes and ameliorates obesity in high fat diet-fed mice[J].International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 104: 281-286.