

# 大鲵低聚糖肽的研究进展

佟长青, 余睿智, 赵菲, 金 桥, 曲 敏, 李 伟\*

(大连海洋大学食品科学与工程学院, 大连 116023)

**摘 要:** 近年来, 随着大鲵养殖业的发展, 对大鲵进行深加工成为大鲵产业发展的关键。大鲵体表黏液是一种有重要应用价值的生物资源。大鲵体表黏液主要含有蛋白质及多糖类物质。利用海洋微生物酸性蛋白酶 (*Aspergillus* sp. acid protease) 以及膜分离、纳滤膜除盐等步骤, 从大鲵体表黏液中制备出了分子量小于 3500 Da 的大鲵低聚糖肽。 $\beta$ -消旋反应、血凝集抑制试验结果表明大鲵低聚糖肽具有 O-连接糖肽键。大鲵低聚糖肽具有促进小鼠免疫功能的作用、体外抗氧化活性、抗疲劳作用、抗紫外线能力以及对  $\text{CCl}_4$  导致小鼠肝损伤具有保护作用。大鲵低聚糖肽在食品、保健食品以及药品领域有着广泛的潜在应用。本文对大鲵低聚糖肽这一新的生物活性物质的制备、特性及生物活性研究进行全面的论述总结, 以期为正确鉴定、研究及利用大鲵低聚糖肽提供方法与数据。

**关键词:** 大鲵低聚糖肽; 黏液; 鉴定; 应用

## Research progress of *Andrias davidianus* glycopeptides

TONG Chang-Qing, YU Rui-Zhi, ZHAO Fei, JIN Qiao, QU Min, LI Wei\*

(College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**ABSTRACT:** With the rapid growth of *Andrias davidianus* aquaculture, *Andrias davidianus* deep processing has been a key problem of development for *Andrias davidianus* aquaculture. The mucus of *Andrias davidianus* is one of important and valuable biological sources. It contains proteins and polysaccharides. By using *Aspergillus* sp. acid protease, membrane separation and nanofiltration membrane, *Andrias davidianus* glycopeptides with 3500 Da from mucus was prepared. According to  $\beta$ -elimination reaction and hemagglutination, the linkage between the polysaccharide moiety and peptide of glycopeptides might belong to O-glycosidic linkage. The immunological function of mice, antioxidant activity *in vitro*, anti-fatigue, anti-UV-ray and hepatoprotective effects were improved by *Andrias davidianus* glycopeptides. Therefore, *Andrias davidianus* glycopeptides had potential application in food, health food and drug fields. This article summarized the preparation, characteristics and biological activities of *Andrias davidianus* glycopeptides, which were used for identification, studies and utilization of *Andrias davidianus* glycopeptides.

**KEY WORDS:** *Andrias davidianus* glycopeptides; mucus; identification; application

基金项目: 湖南省战略性新兴产业科技攻关与重大科技成果转化项目(2013GK4100)

Fund: Supported by Strategic Emerging Industriesgreat, Technology Capture and Commercialization of Research Findings Project of Hunan Province (2013GK4100)

\*通讯作者: 李伟, 教授, 主要研究方向为食品科学。E-mail: aisingioro@hotmail.com

\*Corresponding author: LI Wei, Professor, College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, No.52, Heishijiao Street, Shahekou District, Dalian 116023, China. E-mail: aisingioro@hotmail.com

## 1 引言

大鲵(*Andrias davidianus*)是我国二级保护动物<sup>[1]</sup>。自 20 世纪 80 年代开始,为了保护这一珍稀物种,人们开始了大鲵繁育养殖实验,先后解决了培育大鲵亲本的方法以及大鲵亲本雌雄发育同步的技术难题,成功进行了野生大鲵驯养繁殖等方面的研究,形成了一批大鲵养殖企业<sup>[2-5]</sup>。随着大鲵养殖规模的扩大,大鲵产量的迅速增加,国家相关主管部门逐步放宽了子二代大鲵作为产品进入市场的禁令,获得经营大鲵产品资质的企业越来越多。大鲵养殖业已逐渐成为调整农业结构、促进农民增收的新兴养殖产业<sup>[6]</sup>。但是目前大鲵的养殖产量并没有和养殖效益成正比,这其中主要原因是大鲵深加工的科研成果不多,没有形成高值化利用的技术与产品。

大鲵作为我国珍贵的国家二级保护动物,除了具备的生物学和生态学的价值外,大鲵体内独特的营养成分等化学物质组成也使其具有较高的经济和药用价值。研究表明,大鲵的肌肉、皮肤、内脏、脂肪、血液等含有丰富的蛋白质、氨基酸、脂肪酸及微量元素等<sup>[7-11]</sup>。大鲵体表黏液也是大鲵中具有重要开发利用价值的一种资源<sup>[12]</sup>。自 2008 年 7 月起,张家界(中国)金驰大鲵生物科技有限公司就根据企业自身发展需要,开始了与大连海洋大学合作开始进行了大鲵体表黏液的研究。经过近两年多的研究,率先利用海洋微生物酸性蛋白酶(*Aspergillus sp. acid protease*)以及酶膜反应技术,从大鲵体表黏液中制备出分子量小于 3500 Da 的大鲵低聚活性糖肽<sup>[13]</sup>。2010 年 3 月申报了“大鲵低聚糖肽、制备方法及其在化妆品中的应用”的发明专利,于 2013 年 9 月获得了专利授权<sup>[14]</sup>。随后,大连海洋大学对大鲵低聚糖肽的制备工艺、结构、活性及其应用进行了深入研究,获得了许多关于大鲵低聚活性糖肽的研究结果<sup>[15-18]</sup>。这些研究结果为大鲵低聚活性糖肽在食品、保健食品、新资源食品、特殊医学用食品以及药品等领域的应用提供了重要的基础数据。令人感兴趣的是随后出现的其他一些研究者对大鲵低聚活性糖肽进行了研究,如陈丽萍等<sup>[19]</sup>研究了大鲵低聚糖肽抑菌、抗血小板聚集活性。王茁<sup>[20]</sup>研究了不同育龄大鲵皮肤黏液中低聚糖肽抗氧化活性。还有一些大鲵产业相关的公司准备进行大鲵低聚糖肽相关产品的研发。

## 2 大鲵低聚糖肽的研究

### 2.1 大鲵低聚糖肽的制备

大鲵体表黏液是制备大鲵低聚糖肽的原料。大鲵皮肤表面具有丰富的黏液腺和颗粒腺,颗粒腺分泌大量乳白色液体,黏液腺分泌的水样透明液,并且皮肤腺收缩时可排出腺腔中的黏蛋白类及多糖类物质,能保持皮肤湿润<sup>[21]</sup>。

在大鲵的生长过程中,它会不断分泌大鲵黏液,一条成年大鲵每年分泌的大鲵黏液可达 500 g。刘绍等<sup>[22]</sup>和 Li 等<sup>[23]</sup>对大鲵体表黏液的氨基酸组成进行了测定分析,发现其氨基酸组成全面,可以作为优质食物蛋白的来源。陈德经等<sup>[8]</sup>从大鲵体表黏液中提取了多糖,最高提取率为 4.23%,并发现不同的提取方法获得的多糖的单糖组成存在差异。金桥等整理了大鲵黏液氨基酸组成的摩尔比,发现摩尔百分比的最高的氨基酸是苏氨酸、天冬氨酸/天冬酰胺、谷氨酸/谷氨酰胺<sup>[24]</sup>。Guo 等<sup>[25]</sup>接着从大鲵黏液中分离出磷酸酯酶 A2,同时还发现大鲵黏液具有损伤活性和蛋白酶活性,经 SDS-PAGE 对大鲵黏液蛋白进行检测,发现其分子量分布较宽。王利锋等<sup>[26,27]</sup>利用 5%乙酸浸提、Sephadex G-50 及 Sephadex G-25 凝胶过滤层析,从电刺激法获得的大鲵黏液中获得了一种分子量为 4300 Da 的具有抗菌活性的肽,该肽对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌、铜绿假单胞菌、溶血性链球菌和白色念珠菌均有较强的抑菌作用,对这些菌的最小抑菌浓度分别为 12、16、16、22、16 及 18  $\mu\text{g/mL}$ 。因此,大鲵黏液是一种有价值的糖蛋白的来源。

酶解技术是利用蛋白质、多糖类资源的一种有效的技术。酶解技术的优点是可以将水不溶的蛋白质、多糖类化合物酶解成具有可溶性小分子的肽、寡糖类化合物,使其具有更好的生物活性。大鲵分泌出的体表黏液,在空气及水环境中,很快凝固形成透明片状物。实验表明,大鲵黏液在乙醇浓度较低时,溶解度较小,在乙醇浓度达到 70% 时,浓度略有上升,在 EDTA、EDTA/甲醇中,大鲵黏液溶解度略有增加<sup>[28]</sup>。因此,选择合适的酶进行酶解成为利用大鲵黏液的关键。经过反复实验,利用海洋微生物酸性蛋白酶(*Aspergillus sp. acid protease*)以及膜分离、超滤膜除盐等步骤,从大鲵体表黏液中制备出了分子量小于 3500 Da 的大鲵低聚活性糖肽<sup>[13]</sup>。

### 2.2 大鲵低聚糖肽结构

大鲵低聚糖肽的红外光谱表明,其具有 3275.2、1653.3 和 1454.9  $\text{cm}^{-1}$  的酰胺官能团、3063.8  $\text{cm}^{-1}$  的咪唑官能团以及 2962.3、1402.3  $\text{cm}^{-1}$  的羟基特征峰<sup>[16]</sup>。 $\beta$ -消旋反应是鉴定糖肽的一种常用的方法,与 O-糖肽键连接的丝氨酸生成  $\alpha$ -氨基丙烯酸,苏氨酸生成  $\alpha$ -氨基丁烯酸,这种不饱和氨基酸的形成,使糖肽在 240 nm 波长处紫外吸收增强<sup>[29]</sup>。 $\beta$ -消旋反应前后大鲵低聚糖肽在 240 nm 处的紫外吸收显著增强,说明大鲵低聚糖肽中存在 O-连接糖肽键<sup>[16]</sup>。海绵凝集素(*craniella australiensis lectin*, CAL)可以专一识别别-Gal $\beta$ 1-3 GalNAc  $\alpha$ -O-Ser /Thr 结构<sup>[30]</sup>。利用 CAL 的血凝活性测试证实了大鲵低聚糖肽中存在 O-连接糖肽键<sup>[16]</sup>。Kong 等<sup>[31]</sup>利用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)( $\text{NH}_2$ , 150 mm $\times$ 4.6 mm ID)从大鲵

糖肽中分离出 15 个含有糖链的化合物, 质谱检测其分子量小于 3500 Da。

### 2.3 大鲵低聚糖肽的生物活性

对于大鲵低聚糖肽的生物活性也进行了大量的研究。曲敏等<sup>[18]</sup>研究了大鲵低聚糖肽对小鼠免疫功能的影响, 饲喂大鲵低聚糖肽的小鼠血清中的 IgG 含量、吞噬鸡红细胞的巨噬细胞数以及 T 淋巴细胞活性均显著提高。曲敏<sup>[32]</sup>研究了大鲵低聚糖肽体外抗氧化活性, 大鲵低聚糖肽具有较好的清除自由基的活性。大鲵低聚糖肽对血管紧张素转换酶(angiotensin-converting enzyme, ACE)具有较好的抑制活性, 因此可以作为潜在的抗高血压药物进行深入研究<sup>[28]</sup>。大鲵低聚糖肽抗疲劳作用研究表明, 大鲵低聚糖肽具有显著抗疲劳作用<sup>[33]</sup>。大鲵低聚糖肽具有较强的抗紫外线能力, 因此被用来开发成化妆品<sup>[34]</sup>。大鲵低聚糖肽还对 CCl<sub>4</sub> 导致的小鼠肝损伤具有保护作用<sup>[15]</sup>。研究表明, 大鲵低聚糖肽与 Caco-2 细胞、HaCaT 细胞相互作用后, 大鲵低聚糖肽可以进入到细胞内部<sup>[28]</sup>。HaCaT 细胞模型具有人正常的皮肤上皮结构, 一般用来模拟人的皮肤细胞, 广泛应用于研究化妆品对于皮肤受损的修复以及紫外线保护作用等方面的研究。

### 2.4 大鲵低聚糖肽鉴定

糖肽(glycopeptide)即由短糖链和短肽连接而成所得到的化合物。近年来, 在动物、植物及微生物中都有大量的糖肽被发现。比如从植物中获得的有魔芋甘露聚糖肽<sup>[35]</sup>、板蓝根糖肽<sup>[36]</sup>以及云芝糖肽<sup>[37]</sup>等。从动物中获取的糖肽有文蛤糖肽<sup>[38]</sup>、马鹿茸降血糖肽<sup>[39]</sup>、大鲵低聚糖肽<sup>[13]</sup>以及海蜇糖肽<sup>[29]</sup>等。微生物和病毒表面往往具有糖肽结构<sup>[40-43]</sup>。进行糖肽的鉴定, 首先需要进行糖肽的富集。糖肽富集的方法有化学方法<sup>[44]</sup>、超支化聚合物富集方法<sup>[45]</sup>、二氧化钛结合超滤膜富集方法<sup>[46]</sup>、氧化铝富集方法<sup>[47]</sup>等。

在确定其是否来自大鲵, 最准确的办法就是使用 PCR 技术<sup>[48]</sup>。除此之外, HPLC、红外光谱、 $\beta$ -消旋反应、质谱等等也是可以选择的手段。如江静等利用亲水相互作用色谱结合串联质谱对完整的糖肽进行了分离纯化以及鉴定<sup>[49]</sup>。 $\beta$ -消旋反应可以鉴定糖肽键连接类型。 $\beta$ -消旋反应前后, 具有 N-连接糖肽键的糖肽在 240 nm 波长处紫外吸收不发生变化, 而 O-连接糖肽键在 240 nm 处的紫外吸收显著增强<sup>[16]</sup>。对大鲵低聚糖肽进行纳升电喷雾-四极杆-飞行时间串联质谱分析, 串联质谱图经 Micromass 专用软件处理后, 用 Spectrum List 通过 Mascot 查询 NCBI、SWISSPROT 等数据库, 经 MasSeq 软件分析, 得到 3 个序列为: KAPILSDSSCKSC、KLQGTVSWGSGCQAKNC 和 VVHSLVQVTANKVMVRM。这 3 个肽序列与肽数据库(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>)中肽无同源性<sup>[28]</sup>。

化学方法测定大鲵低聚糖肽中总蛋白含量较高为

80.01%, 总糖含量为 15.15%<sup>[28]</sup>。总糖中盐酸氨基葡萄糖最高, 半乳糖醛酸其次, 之后依次为葡萄糖醛酸和唾液酸, 分别占大鲵低聚糖肽 3.39%、2.45%、0.65%、0.60%, 占总糖含量的 22.38%、16.17%、4.29%和 3.69%, 不含硫酸糖<sup>[28]</sup>。从不同产地、不同季节、不同生长阶段获得的大鲵低聚糖肽其糖的组成不同, 但是组成多糖的单糖单元比较多<sup>[28]</sup>。

血凝活性测试方法是比较简单快捷的方法<sup>[16]</sup>。这种方法需要利用海绵凝集素 CAL 的糖识别特性<sup>[30]</sup>。CAL 是一种专一识别 O-连接糖肽键的凝集素。对大鲵低聚糖肽的 O-连接糖肽键特异性识别, 大鲵低聚糖肽的分子结构与 CAL 的糖结合位点正好相符。

## 3 结论与展望

大鲵自古以来就是传统的药用动物, 在《本草纲目》<sup>[50]</sup>、《草本纲目拾遗》<sup>[51]</sup>等经典医著中均有描述。中医认为大鲵性甘平, 有补气、养血、益智、滋补、强壮等功效。主治神经衰弱, 病后体虚, 贫血, 痢疾等<sup>[52]</sup>。1978 年出版的《全国中草药汇编》将大鲵列为药品, 主治神经衰弱、病后体虚、贫血、痢疾等<sup>[53]</sup>。大鲵的皮肤、肌肉、脏器、骨骼等均可入药, 可见其在中药学中的地位<sup>[53]</sup>。在传统医学中, 大鲵一般去除内脏后全体入药, 每次用量为 15~30 g<sup>[54]</sup>。民间有以大鲵皮肤拌桐油治疗烫伤、以其胆汁用以解热明目、以胃治疗小孩消化不良、以皮肤黏液预防麻风病的方法, 疗效明确<sup>[27]</sup>。大鲵作为中药, 其确切的疗效已经为人们所公认。但中药的疗效往往有很多未解之谜, 需要运用化学、生物等手段进行分析, 以便解开中药药理作用的秘密。大鲵作为中药, 同样存在着许多的未解之谜。

大鲵低聚糖肽作为一种新的具有生物活性的物质, 一经出现就引起了人们的极大关注。通过对大鲵低聚糖肽结构及生物活性的深入研究, 有助于促进大鲵药理作用的深入研究, 也有助于大鲵的高值化在食品、保健食品以及药品领域的应用。

### 参考文献

- [1] 雒林通, 万红玲, 兰小平, 等. 中国大鲵资源现状及保护遗传学研究进展[J]. 广东农业科学, 2011, (17): 100-103.  
Luo LT, Wan HL, Lan XP, *et al.* Research advances in resource and conservation genetics of Chinese Giant salamander [J]. Guangdong Agric Sci, 2011, (17): 100-103.
- [2] 罗庆华, 刘英, 张庆云. 张家界市大鲵资源保护·增殖现状与对策[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(19): 9023-9025.  
Luo QH, Liu Y, Zhang QY. The status and countermeasure of protection and augment for Chinese giant salamander resources in Zhangjiajie City [J]. J Anhui Agri Sci, 2009, 37(19): 9023-9025.
- [3] 罗庆华, 谢文海, 王朝群, 等. 张家界市大鲵产业发展战略分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(23): 39-43.  
Luo QH, Xie WH, Wang CQ, *et al.* Analysis of development strategy for

- Chinese giant salamander industry in Zhangjiajie City [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2013, 29(23): 39–43.
- [4] 唐秀锋, 邬永忠, 刘本祥, 等. 大鲵人工繁殖技术初探[J]. *重庆水产*, 2008, (4): 19–20.
- Tang XF, Wu YZ, Liu BX, *et al.* The technology of fertility for giant salamander [J]. *Chongqing Aquat Prod*, 2008, (4): 19–20.
- [5] 苇萍. 中国大鲵生物科技馆—娃娃鱼的温馨家园[J]. *今日科苑*, 2010, (17): 90–92.
- Wei P. Chinese giant salamander museum-The warm home for giant salamander [J]. *Mod Sci*, 2010, (17): 90–92.
- [6] 高峰. 大鲵产业:“崩盘”还是“洗牌”[J]. *当代水产*, 2013, (5): 34–38.
- Gao F. Chinese giant salamander industry: Successful or not [J]. *Mod Aquat Prod*, 2013, (5): 34–38.
- [7] 曹洁, 余龙江, 崔永明, 等. 纯大鲵粉对小鼠抗疲劳作用及免疫功能的影响[J]. *四川动物*, 2008, 27(1): 149–152.
- Cao J, Yu LJ, Cui YM, *et al.* Antifatigue effect and immunological function of *Andrias davidianus* on mice [J]. *Sichuan J Zool*, 2008, 27(1): 149–152.
- [8] 陈德经. 大鲵黏液、皮肤及肉中氨基酸分析[J]. *食品科学*, 2010, 31(18): 375–376.
- Chen DJ. Analysis of amino acids in mucus, skin and flesh of giant salamander [J]. *Food Sci*, 2010, 31(18): 375–376.
- [9] 陈曦, 王杨科, 陈德经. 大鲵皮肤药膏和大鲵黏液药膏烫伤药理学试验研究[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(13): 2797–2800.
- Chen X, Wang YK, Chen DJ. The pharmacological research of cure burn by the ointment of giant salamander's skin and mucus [J]. *Hubei Agric Sci*, 2012, 51(13): 2797–2800.
- [10] 成芳. 大鲵胃蛋白酶与金属硫蛋白制备与性质研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2013.
- Cheng F. The studies on the preparation and properties of pepsin from stomach and Metallothionein from liver of *Andrias davidianus* [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2013.
- [11] 成芳, 闫欣, 李伟, 等. 大鲵胃蛋白酶分离纯化及其性质的研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(1): 125–128.
- Cheng F, Yan X, Li W, *et al.* Purification and characterization of pepsin from stomach of *Andrias davidianus* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(1): 125–128.
- [12] 黄正杰, 崔建云, 任发政. 大鲵粗提物延缓秀丽线虫衰老的研究[J]. *食品工业*, 2013, 31(1): 122–125.
- Huang ZJ, Cui JY, Ren FZ. Study on anti-aging effects of crude extract of giant salamander on *Caenorhabditis elegans* [J]. *Food Ind*, 2013, 31(1): 122–125.
- [13] Qu M, Kong L, Wang W, *et al.* Preparation and characterization of skin secretion hydrolysates from giant salamander (*Andrias davidianus*) [C]. 2011 International Conference on New Technology of Agricultural Engineering, Zibo, China, 2011.
- [14] 李伟, 孔亮, 金桥, 等. 大鲵低聚糖肽、制备方法及其在化妆品中的应用: 中国, ZL201010134998.6 [P]. 2013.
- LI W, Kong L, Jin Q, *et al.* Preparation of *Andrias davidianus* glcopenide and its application in cosmetics: China, ZL201010134998.6 [P]. 2013..
- [15] 曲敏, 田丽冉, 佟长青, 等. 大鲵低聚糖肽对四氯化碳致小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(14): 350–352, 369.
- Qu M, Tian LR, Tong CQ, *et al.* Hepato protective effects of giant salamander glycopeptides against carbon tetrachloride (CCl<sub>4</sub>)-induced hepatic injury in mice [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(14): 350–352, 369.
- [16] 冯叙桥, 曲敏, 于新莹, 等. 大鲵低聚糖肽性质初步研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(6): 128–131.
- Feng XQ, Qu M, Yu XY, *et al.* Study on properties of glycopeptides from *Andrias davidianus* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(6): 128–131.
- [17] Li W, Qu M, Tong C, *et al.* Antioxidant properties of Chinese giant salamander skin secretion glycopeptides [J]. *Pac Med J*, 2012, (1): 57–59.
- [18] 曲敏, 闫欣, 李伟, 等. 大鲵低聚糖肽对小鼠免疫功能调节作用研究[J]. *北京农学院学报*, 2012, 27(1): 2–4.
- Qu M, Yan X, Li W, *et al.* Regulation of glycopeptides of giant salamander on immune function of mice [J]. *J Beijing Univ Agric*, 2012, 27(1): 2–4.
- [19] 陈丽萍, 蔡剑雄, 王剑. 大鲵黏液低聚糖肽抑菌、抗血小板聚集活性研究[J]. *亚太传统医药*, 2015, 11(1): 11–13.
- Chen L, Cai J, Wang J. Research on the antiplatelet aggregation and antibacterial of the giant salamander mucin oligosaccharide peptide [J]. *Asia-Pac Tradit Med*, 2015, 11(1): 11–13.
- [20] 王茁. 不同育龄大鲵皮肤粘液中低聚糖肽抗氧化活性研究[J]. *陕西农业科学*, 2015, 61(8): 34–36.
- Wang Z. The antioxidant activity of the different childbearing age giant salamander mucin oligosaccharide peptide [J]. *Shaanxi J Agric Sci*, 2015, 61(8): 34–36.
- [21] Lan S, Li D, Jiang J. Call and skin glands secretion induced by stimulation of midbrain in urodele (*Andrias davidianus*) [J]. *Brain Res*, 1990, 528: 159–161.
- [22] 刘绍, 孙麟, 阳爱生, 等. 饲养中国大鲵氨基酸组成分析[J]. *氨基酸和生物资源*, 2007, 29(4): 53–55.
- Liu S, Sun L, Yang AS, *et al.* Analysis of amino acid composition and content in *Andrias davidianus* [J]. *Amino Acids Biotic Resour*, 2007, 29(4): 53–55.
- [23] Li W, Qu M, Tong C, *et al.* Antioxidative activity of glycopeptides from skin glands secretion of *Andrias davidianus* [C]. Vladivostok: Materials VI of Scientific Conference on Basic Science for Medicine, 2011.
- [24] 金桥, 成芳, 曲敏, 等. 大鲵的开发研究现状[J]. *广州化工*, 2012, 40(2): 9–10, 35.
- Jin Q, Cheng F, Qu M, *et al.* Research and utilization of Chinese Giant salamander (*Andrias davidianus*) [J]. *Guangzhou Chem Eng*, 2012, 40(2): 9–10, 35.
- [25] Guo W, Ao M, Li W, *et al.* Major biological activities of the skin secretion of the Chinese giant salamander, *Andrias davidianus* [J]. *Z Naturforsch C*, 2012, 67(1/2): 86.
- [26] 王利锋, 李学英, 王大忠. 大鲵皮肤分泌液中抗菌肽的鉴定及生物活性研究[J]. *中国生化药物杂志*, 2011, 32(4): 269–272.
- Wang LF, Li X, Wang D. Characterization and bioactivity of antimicrobial peptides from the skin secretions of the *Andrias davidianus* [J]. *Chin J Biochem Pharm*, 2011, 32(4): 269–272.
- [27] 王利锋, 李学英, 王大忠. 大鲵皮肤分泌液中抗菌肽对铜绿假单胞菌感染小鼠创面的抗菌作用[J]. *华西药理学杂志*, 2011, 26(4): 336–339.

- Wang LF, Li XY, Wang DZ. Antibacterial effect of antimicrobial peptide from skin secretions of *Andrias davidianus* on the wound of *Pseudomonas aeruginosa* infection in mice [J]. West Chin J Pharm Sci, 2011, 26(4): 336–339.
- [28] 李伟. 子二代养殖大鲵加工理论与技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2016.
- Li W. Theory and technology of cultured giant salamander processing [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2016.
- [29] 任国艳, 李八方, 侯玉泽, 等. 海蜇头糖蛋白基本组成及结构[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(7): 121–125.
- Ren GY, Li BF, Hou YZ, et al. Composition and structure analysis of glycoprotein from jellyfish oral-arms [J]. Food Res Dev, 2009, 30(7): 121–125.
- [30] Xiong C, Li W, Liu H, et al. A normal mucin-binding lectin from the sponge *Craniella australiensis* [J]. Comp Biochem Physiol, 2006, C143: 9–16.
- [31] Kong L, Wu X, Luo B, et al. Glycopeptides isolated from skin glands secretion of *Andrias davidianus* [J]. Glycobiology, 2010, 20(11): 1503.
- [32] 曲敏. 大鲵黏液低聚糖肽的制备、性质和生物活性及应用研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- Qu M. Preparation, properties, bioactivities and applications of giant salamander glycopeptides [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012.
- [33] 李伟, 于新莹, 佟长青, 等. 大鲵粘液酶解产物的制备及其抗疲劳作用研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(6): 146–151.
- Li W, Yu XY, Tong CQ, et al. Study on the enzymatic hydrolysates of skin mucous from *Andrias davidianus* and its anti-fatigue effect [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, 32(6): 146–151.
- [34] 王睿, 李伟, 孔亮, 等. 大鲵糖肽润肤霜的制备及性能评价[J]. 广州化工, 2011, 39: 27–49.
- Wang R, Li W, Kong L, et al. Preparation and evaluation of cream containing the glycopeptides from *Andrias davidianus* [J]. Guangzhou Chem Ind, 2011, 39: 27–49.
- [35] 毛跟年, 贾莹, 张诗韵. 魔芋甘露聚糖肽的分离纯化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 243–246, 251.
- Mao GN, Jia Y, Zhang SJ. Separation and purification of konjac mannate [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(24): 243–246, 251.
- [36] 胡坪, 陈焯, 杨子峰, 等. 板蓝根糖肽的组成测定[J]. 中成药, 2015, 37(2): 336–342.
- Pan Z, Mao Q, Jiang ZF, et al. Discrimination of *Lamiophlomis rotata* by means of <sup>1</sup>H-NMR spectroscopy [J]. Chin Tradit Pat Med, 2015, 37(2): 336–342.
- [37] 林丽, 吴超, 刘勇, 等. 灵芝糖肽对健康人外周血淋巴细胞的体外免疫调节作用[J]. 现代中西医结合杂志, 2015, 24(3): 248–250, 253.
- Lin L, Wu C, Liu Y, et al. Immune regulation effect of polysaccharopeptide on human peripheral blood lymphocytes *in vitro* [J]. Mod J Integr Tradit Chin West Med, 2015, 24(3): 248–250, 253.
- [38] 张铂, 吴梧桐. 抗肿瘤文蛤糖肽(MGP0405)的分离纯化及性质研究[J]. 中国天然药物, 2006, 4(3): 230–233.
- Zhang B, Wu WT. Isolation and characterization of glycopeptide MGP0405 from *Meretrix meretrix* [J]. Chin J Nat Med, 2006, 4(3): 230–233.
- [39] 包美丽, 杨添植, 张立钢, 等. 双酶法制备马鹿茸降血糖肽工艺优化及其对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制效果[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 88–95.
- Bao ML, Yang TZ, Zhang LG, et al. Optimization of preparation of hypoglycemic peptides from red deer (*Cervus elaphus*) antlers by two-step enzymatic hydrolysis and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity [J]. Food Sci, 2017, 38(6): 88–95.
- [40] Hansen JE. Carbohydrates of human immunodeficiency virus [J]. Apmis Supplementum, 1992, 27(27): 96.
- [41] Jørgensen BR, Huss HH. Growth and activity of *Shewanella putrefaciens* isolated from spoiling fish [J]. Inter J Food Microbiol, 1989, 9(1): 51–62.
- [42] Bony M, Thines-Sempoux D, Barre P, et al. Localization and cell surface anchoring of the *Saccharomyces cerevisiae* flocculation protein Flo1p [J]. J Bacterio, 1997, 179(15): 4929–4936.
- [43] Smits GJ, Kapteyn JC, Van DEH, et al. Cell wall dynamics in yeast [J]. Curr Opin Microbiol, 1999, 2(4): 348–352.
- [44] 张丽霞, 杜秀芳, 曾盈. 糖蛋白/糖肽分离富集中的化学[J]. 化学学报, 2016, 74: 149–154.
- Zhang LX, Du XF, Zeng Y. Chemistry in separation and enrichment of glycoproteins/glycopeptides [J]. Acta Chim Sin, 2016, 74: 149–154.
- [45] 邓珊珊, 王明超, 曹琦琛, 等. 超支化聚合物新材料富集糖肽方法的研究[J]. 中国生物工程杂志, 2014, 34(8): 67–73.
- Deng SS, Wang MC, Cao QS, et al. Glycopeptides extraction using hyperpolymer-assisted hydrazide functionalized microspheres [J]. China Biotechnol, 2014, 34(8): 67–73.
- [46] 李娟, 姜武辉, 徐晓颖. 二氧化钛结合超滤膜富集和分离肿瘤患者唾液中的磷酸化肽和唾液酸化糖肽[J]. 高等学校化学学报, 2014, 35(10): 2073–2077.
- Li J, Jiang W, Xu X. Novel method coupled TiO<sub>2</sub> with ultrafiltration membrane to enrich and separate phosphopeptides and sialic acid-containing glycopeptides from saliva of cancer patient [J]. Chem J Chin Univ, 2014, 35(10): 2073–2077.
- [47] 赵旭, 姜武辉, 于龙, 等. 氧化铝富集糖肽的研究[J]. 化学学报, 2013, 71: 343–346.
- Zhao X, Jiang WH, Yu L, et al. Selective enrichment of glycopeptides using aluminum oxide [J]. Acta Chim Sin, 2013, 71: 343–346.
- [48] 白卫滨, 黄亚东, 柳忠玉, 等. 利用荧光定量 PCR 技术快速检测转基因产品的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(1): 193–195.
- Bai WD, Huang YD, Liu ZY, et al. A rapid method capable of detecting genetically modified organisms with fluorescence quantitative polymerase chain reaction PQ-PCR [J]. Sci Technol Food Ind, 2006, 27(1): 193–195.
- [49] 江静, 应万涛, 钱小红. 亲水相互作用色谱结合串联质谱多重碎裂模式在完整糖肽研究中的应用[J]. 分析化学, 2014, 42(2): 159–165.
- Jiang J, Ying WT, Qian XH. Characterization of intact glycopeptides by a combination of hydrophilic interaction liquid chromatography and multiple fragmentation tandem mass spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2014, 42(2): 159–165.
- [50] 李时珍. 本草纲目[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005.
- Li S. Compendium of materia medica [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005.
- [51] 赵学敏. 本草纲目拾遗[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2007.

Zhao X. A supplement to the compendium of materia medica [M]. Beijing: Chinese Medicine Press, 2007.

[52] 张神虎. 大鲵的药用价值及人工养殖[J]. 特种经济动植物, 2003, 6(2): 16.

Zhang SH. The medicinal value and artificial breeding of *Andrias davidianus* [J]. Spec Econ Anim Plants, 2003, 6(2): 16.

[53] 谢宗万. 全国中草药汇编[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1978.

Xie Z. National herbal medicine assembly [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1978.

[54] 李莉, 王锡昌, 刘源, 等. 中国养殖大鲵的食用、药用价值及其开发利用研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 33(9): 454-458.

Li L, Wang X, Liu Y, *et al.* Edible value, medical value and research progress in exploitation and utilization of the farmed breeding Chinese gaint salamander (*Andrias davidianus*) [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 33(9): 454-458.

(责任编辑: 姜 姗)

## 作者简介



佟长青, 博士, 副教授, 主要研究生物活性物质。

E-mail: changqingdong@dlou.edu.cn



李 伟, 博士, 教授, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: aisingioro@hotmail.com