

蚯蚓的化学成分与应用价值研究进展

涂清波, 林颖, 苏鹏亮, 陆冬莺, 马宇凡, 王赛男, 徐丹* (南京中医药大学翰林学院, 江苏泰州 225300)

摘要 综述了蚯蚓的化学成分及应用价值, 旨在为蚯蚓的综合开发利用提供依据。

关键词 蚯蚓; 化学成分; 应用价值

中图分类号 S899.8 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)34-0109-03

Research Progress on Chemical Constituents and Application Values of Earthworms

TU Qing-bo, LIN Ying, SU Peng-liang, XU Dan* et al (Hanlin College, Nanjing University of Chinese Medicine, Taizhou, Jiangsu 225300)

Abstract The chemical constituents and application values of earthworm were reviewed, in order to provide basis for the comprehensive development and utilization of earthworm.

Key words Earthworm; Chemical constituents; Application value

蚯蚓俗称地龙, 又名曲蟾, 为环节动物门寡毛纲代表性动物, 在世界各地分布有 12 科 6 000 多种, 我国境内资源丰富, 共记录 8 科 305 种, 全国各地广泛分布的品种有环毛蚓、爱胜蚓、异唇蚓、杜拉蚓等^[1]。蚯蚓营养丰富, 生物活性广泛, 可以改善土壤环境, 是我国一味传统中药, 在《神农本草经》和《本草纲目》已有记载, 1837 年达尔文称其为地球上最有价值的动物。笔者综述了蚯蚓的化学成分及其在医药、环保、农牧等方面的应用价值, 旨在为其进一步开发利用提供依据。

1 化学成分

蚯蚓干体的主要化学成分如下: 蛋白质 53.5% ~ 65.1%, 脂肪 4.40% ~ 17.38%, 碳水化合物 11.0% ~ 17.4%, 灰分 7.8% ~ 23.0%^[2]。

1.1 氨基酸类 蚯蚓干体中, 氨基酸含量为 63.69%, 由 17 种氨基酸组成, 其中谷氨酸 9.62%、天冬氨酸 6.64%、亮氨酸 5.13%、精氨酸 4.50%、赖氨酸 5.03%、缬氨酸 3.14%、丙氨酸 3.70%、甘氨酸 3.33%、苯丙氨酸 2.72%、苏氨酸 3.24%、酪氨酸 2.22%、丝氨酸 3.36%、蛋氨酸 1.09%、脯氨酸 3.72%、组氨酸 1.76%、半胱氨酸 0.67%、异亮氨酸 2.84%, 包含人体必需的 9 种氨基酸, 且含量较高^[3]。

1.2 脂肪酸类 蚯蚓粉和蚯蚓体腔液的脂肪中脂肪酸的含量比例分别为油酸 40.76%、41.11%, 亚油酸 20.98%、6.16%, 棕榈酸 19.74%、18.43%, 十三酸 7.10%、11.8%, 硬脂酸 4.12%、1.84%, 豆蔻酸 2.16%、1.68%, 10-甲基十二酸 1.38%、7.43%, 月桂酸 1.05%、3.58%, 癸酸 0.88%、3.89%, 十五酸 0.39%、1.54%, 大多数为不饱和脂肪酸^[4]。

1.3 微量元素 1 L 蚯蚓原液中含钾 1 107 ~ 2 000 mg, 钠 467 ~ 1 200 mg, 钙 206 ~ 1 000 mg, 镁 27 ~ 122 mg, 铁 31 ~ 36 mg, 锌 0.25 ~ 6.20 mg, 铜 0.5 ~ 1.2 mg, 每克蚯蚓粉中硒含量高达 20 μg。蚯蚓体内矿物质大多与氨基酸络合存在, 铁、

铜、锰和锌元素以氨基酸螯合态形式存在的比例在 65% 以上, 其中氨基酸螯合铁占铁总含量的 86.54%; 氨基酸螯合铜 67.50%; 氨基酸螯合锰 65.79%; 氨基酸螯合锌 93.97%^[5]。

1.4 维生素 100 L 原液中含维生素 A 1.16 mg, 维生素 B₁ 5.30 mg, 维生素 B₂ 8.65 mg, 维生素 E 3.15 mg, 维生素 D 占鲜重的 0.040% ~ 0.073%^[6]。

1.5 核酸 100 L 原液中含核酸 223.5 mg, 其中 RNA 169.55 mg, DNA 53.50 mg^[6]。

1.6 酶类

1.6.1 溶栓酶。 主要包括蚯蚓纤溶酶和胶原酶以及少量溶酶激酶。Mihara 等^[7]最早从粉正蚓中提取并发现一组具有水解纤维蛋白和激活纤维溶酶原双重作用的同工酶, 命名为蚯蚓纤溶酶, 后来多位学者从不同蚯蚓中相继提取出来, 统称为蚓激酶, 分子量 20 ~ 40 kD。钟良玮等^[8]从双胸蚓中分离到 3 种水解胶原的酶, 其中 II 是不具亚基的大分子糖蛋白, 分子量为 92.9 kD。

1.6.2 抗氧化酶。 主要包括过氧化氢酶、超氧化歧化酶以及少量谷胱甘肽过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶、葡萄糖氧化酶等。廖怡等^[9]从赤子爱胜蚓中分别提取出过氧化氢酶和超氧化歧化酶, 过氧化氢酶分子量为 390 和 400 kD, 超氧化歧化酶在蚯蚓体内多为铜、锌螯合, 其中一条亚基分子量为 17 kD, 比活达 22 606 U/mg。

1.6.3 消化酶。 不同种类的蚯蚓生活习性不同, 食性不同, 体内消化酶成分存在差异。消化酶包括纤维素酶、磷酸酶、蛋白酶、糖苷酶、透明质酸酶等。其中, 赤子爱胜蚓肠道内纤维素酶活性远远高于威廉环毛蚓, 而蛋白酶和酸性及碱性磷酸酶活性显著低于威廉环毛蚓^[10]。

1.6.4 核酸酶。 蚯蚓中含有多种核酸水解酶, 分为 DNA 水解酶和 RNA 水解酶。张建林等^[11]从蚯蚓组织中提取出一种可有效降解超螺旋质粒 DNA、线状 λ-噬菌体 DNA 和细菌染色体 DNA, 不降解 RN 的脱氧核糖核酸内切酶, 命名为 EDNas, 分子量 63 kD。

1.6.5 其他。 蚯蚓体内一般还有胆碱酯酶、植酸酶等^[12-13]。

1.7 蛋白质及多肽类

1.7.1 金属结合蛋白。 金属结合蛋白包括金属硫蛋白、钙调

基金项目 江苏省高等学校自然科学研究面上项目(17KJD350003); 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目(201713981004Y)。

作者简介 涂清波(1984—), 男, 江西宜春人, 讲师, 硕士, 从事中药活性成分提取及结构修饰研究。* 通讯作者, 讲师, 硕士, 从事中药分析及质量标准研究。

收稿日期 2017-09-28

素及结合蛋白等。刘兰芳等^[14]采用 RT-PCR 方法从镉诱导后的赤子爱胜蚓中克隆到蚯蚓金属硫蛋白基因 cDNA,在大肠杆菌中表达出来,分子量 32.4 kD。王采芹等^[15]从赤子爱胜蚓中提取出 2 种钙调蛋白,分子量分别为 18.9 和 16.0 kD。

1.7.2 溶血蛋白。目前,已发现多种溶血蛋白。Eue 等^[16]从赤子爱胜蚓体腔液中分离出 3 种溶解红细胞蛋白,分子量 46、43 和 40 kD,其中 H3 不稳定,可断裂为分子量分别为 18 和 21 kD 的 2 个片段,兼具溶血和凝血作用。Yamaji 等^[17]分离出溶红细胞蛋白 Lysenin,分子量 41 kD,可识别生物膜的鞘磷脂分子,且具有收缩大鼠血管平滑肌的作用。

1.7.3 抗肿瘤和免疫蛋白。林少琴等^[18]从太平Ⅱ号蚯蚓组织中分离出一种抗小鼠肝癌 H22 的糖蛋白,分子量为 63 kD。胡云龙等^[19]研究发现蚯蚓提取物对小鼠移植肉瘤 S180 具有抑制作用。Grdisa 等^[20]从赤子爱胜蚓组织中提取到 G-90,具有刺激细胞生殖作用,且类似免疫球蛋白结构。

1.7.4 抗菌肽。蚯蚓的生活环境及生活习性决定了其体内必然有对抗不利环境的防御系统。蚯蚓体内含有少量的抗菌肽。Milochau 等^[21]从赤子爱胜蚓的体液中分离并纯化出 2 种抗菌肽,命名为 fetidins,分子量分别为 40 和 45 kD。张希春等^[22]得到 2 种抗菌肽,分子量分别为 53.5 和 51.9 kD。孙振钧^[23]从赤子爱胜蚓中发现一种抗菌四十肽。

1.8 代谢产物及其他成分 蚯蚓的活性代谢产物包含胍类化合物、蚯蚓毒素、蚯蚓素以及蚯蚓碱等。其中,胍类化合物被从蚯蚓中分离出来,命名为 D-lombricine,具有抑制小鼠自发性乳瘤生长的作用。其他活性成分还包括嘌呤、胆碱、胆甾醇等^[22]。

2 应用价值

2.1 中医药 《本草纲目》记载有 40 多种蚯蚓配方,能治疗热结尿闭、高热烦躁、经闭、抽搐、咳嗽哮喘、行动不便、高血压、肾炎、结石、先天性癫痫、肺炎、痹症、风湿、黄疸、小儿惊风等多种疾病。现代医学研究和临床治疗证实,蚯蚓体内的活性物质具有增强免疫力、促进伤口愈合、溶栓、降压、抗癌、抗菌、抗炎、镇痛、抗菌、抗心律失常和抗病毒等作用。目前,蚓激酶已经被作为溶栓药物普遍应用,被广泛用于脑缺血性疾病、心血管疾病、下肢深静脉血栓以及肾病综合症等疾病的治疗^[24-26]。此外,清华 2 号、福乃康等作为抗癌新药已被用于临床治疗。目前,蚯蚓药用活性成分开发活跃,更多医药产品将会问世。

2.2 动物饲料 干蚯蚓中蛋白质含量高于一般肉类饲料;铁含量是鱼粉的 14 倍;铜含量是鱼粉的 2 倍;锰含量是鱼粉及豆饼的 4 倍至 6 倍;锌含量是鱼粉及豆粕的 3 倍;钾、钠、镁含量都高于豆饼;钙、磷含量高于豆饼 2 倍至 3 倍,并且动物对蚯蚓体内磷的利用率高达 90%;蚯蚓还富含维生素 A、B、D、E、胡萝卜素等多种维生素。用蚯蚓饲喂鸡、鸭、猪、鱼、龟、鳖等,不仅使动物增重加快,产蛋量大,肉质变好,同时提高了饲料转化率^[27-28]。研究发现,蚯蚓在改善肉质、增加体重的同时还能降低动物发病率,可治疗家畜高热不退、家畜小便利、家畜尿血、牛马大便秘结、母畜产后缺乳、猪牛肛门

脱出、家畜水火烫伤、家畜抽搐、家畜心热风邪等常见病^[29]。蚯蚓具有被用作饲料及饲料添加剂的优良潜质。

2.3 农田改良 蚯蚓是土壤改良的挖掘机,通过不断地纵横钻洞和吞吐排粪等生命活动,可以疏松土质,改善土壤结构,增加土壤的透气性,提高肥力。研究表明,有蚯蚓栖息的周围土壤中,许多无机盐的元素(如磷、钾、钙、镁等)会增加数倍。与原土养分相比,蚯蚓粪中腐殖含量较原土提高了 36%~160%,全氮含量增加了 75%~105%,其中速效磷含量增加了 20%~68%,速效钾含量增加了 19%~36%^[30]。我国每公顷土地内约有蚯蚓 15 万~180 万条。由于蚯蚓的掘地性和杂食性,每年每公顷土地内的蚯蚓排出的蚓粪就可达到几十吨甚至几百吨,这种蚓粪除含有氮、磷、钾等常规元素外,还含有农作物必需的多种微量元素,它不仅是粮油作物的好肥料,而且是花园与苗圃的高级有机肥。

2.4 环境治理 蚯蚓能够分泌出多种特殊酶类,能分解蛋白质、脂肪、木质纤维素等,可消化和吸收造纸工业、食品工业废渣以及污泥、垃圾等天然有机物。美国利用蚯蚓处理生活垃圾,率先推行“庭院蚯蚓堆肥法”,洛杉矶市首先建立了一座蚯蚓养殖场,饲养蚯蚓 1 000 万条,每月处理垃圾高达 75 万 t。随后,日本、欧美等国家及我国纷纷建立了不同处理规模的处理有机垃圾的蚯蚓养殖场。目前蚯蚓还用来处理农药和重金属类有害物质,美国、英国等国家在农田或重金属矿区周围的耕作区养殖大量的蚯蚓,结果发现大量重金属或有害的农药富集到蚯蚓的体内,使得已经荒芜的农田又变得肥沃起来^[31]。

2.5 保健食品 蚯蚓作为食品在我国古代就有记载,目前主要是在台湾等地区比较流行,食品有通心粉和地龙糕等,菜肴有千龙戏珠(蚯蚓煮鸡蛋)、地龙凤巢(蚯蚓炒蛋)、龙凤配(蚯蚓炖鸡)等。然而,在欧美发达国家食用蚯蚓非常普遍,美国、加拿大、日本等国家将其制成蚯蚓饼干、罐头、蚯蚓肉与牛肉汉堡包,畅销欧洲各地。近年来,发达国家蚯蚓保健食品年贸易额在 20 亿美元左右,而每年正以 20%~25% 的速度递增^[32],相信随着我国传统观念的改变,蚯蚓作为保健食品将会进一步发展。

2.6 化妆品 蚯蚓提取液外敷新西兰兔背部创伤模型,用药新西兰兔创伤肉芽组织中含大量肌纤维母细胞,合成功能活跃,细胞内肌动蛋白较多,有利于伤口的收缩与皮肤的恢复。墨西哥国立理工学院已经研制出一种以红蚯蚓分泌液为原料的天然美容品,能保持皮肤湿度,延缓皮肤衰老。江西省赣南帝龙生物制品厂从蚯蚓活体提取出超氧化物歧化酶,研制出帝龙 SOD 系列产品,具有较好的抗衰老功效^[33]。

2.7 生物催化 随着绿色化学的发展,酶作为生物催化剂的应用越来越被重视,与纯酶相比,酶的粗提物分离操作简单,成本低廉。蚯蚓粗提物富含多种酶系,是一种良好的生物催化剂。李志林等^[34]、Guan 等^[35]、He 等^[36]发现蚯蚓粗提物可用于催化不对称 Mannich、Aldol、Henry、Biginelli 和 Domino 等反应,合成异喹啉、香豆素等化合物。以 4-羟基香豆素与苯叉丙酮为原料,蚯蚓粗提物催化下成功合成华法林,

得率为 98%, ee 值为 20%。

3 展望

蚯蚓自然资源丰富,人工养殖技术成熟,成本低廉,提取物生物活性广泛,毒副作用低,在医药兽药临床上疗效确切,成分的提取和活性研究发展迅速,但蚯蚓医药产品的数量不多,开发具有独特成分和疗效的高技术产品是对蚯蚓进一步深加工的方向,应加快基础理论向实际生产转化研究的转化。在我国大力提倡新型环保和有机农业、绿色化学等新形势下,蚯蚓在污染治理、农田改良、天然饲料、医药化学等方面的作用会越来越突出。

参考文献

- [1] HUANG J, XU Q, SUN Z J, et al. Species abundance and zoogeographic affinities of Chinese terrestrial earthworms[J]. *European journal of soil biology*, 2007, 43: 33 - 38.
- [2] 徐娥, 夏先林. 蚯蚓的养殖及其作为饲料资源加工利用现状概述[J]. *贵州畜牧兽医*, 2006, 30(5): 14 - 15.
- [3] 林伟民, 连晓东, 霍伟伦, 等. 蚯蚓的营养成分分析及贮藏性评价[J]. *广东农业科学*, 2015, 42(5): 63 - 68.
- [4] 罗友志. 蚯蚓的脂肪酸组成在不同季节与海拔对于抗寒的影响[D]. 台北: 台湾大学, 2015: 3 - 10.
- [5] 李成会, 武炜. 蚯蚓体内微量元素存在的形式及含量研究[J]. *家畜生态学报*, 2009, 30(3): 32 - 33.
- [6] 邹文川. 蚯蚓原液的营养成分及其开发利用[J]. *动物学杂志*, 1993(3): 7 - 11.
- [7] MIHARA H, SUMI H, AKAZAWA K, et al. Fibrinolytic enzyme extracted from the earthworm[J]. *Thromb haemost*, 1983, 50: 258 - 262.
- [8] 钟良玮, 张祖珩, 单鸿仁. 双胸蚓胶原酶的萃取、纯化、性质及化学组成的研究[J]. *生物化学杂志*, 1991, 7(3): 291 - 296.
- [9] 廖恰, 荣永海, 荣龙. 从蚯蚓中联合提取抗氧化酶 SOD、CAT 的方法研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2012, 24(11): 1538 - 1544.
- [10] 张宝贵, 李贵桐, 孙利, 等. 两种生态类型蚯蚓几种消化酶活性比较研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(6): 978 - 981.
- [11] 张建林, 刘志贞, 王晓媛, 等. 蚯蚓脱氧核糖核酸酶纯化及酶学性质[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2008, 40(5): 519 - 523.
- [12] 何炜, 杜道彬, 武金霞. 蚯蚓乙酰胆碱酯酶的分离与固定化试验研究[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(1): 107 - 110.
- [13] 李成会, 赵名飞, 曹卫荣. 不同温度条件下蚯蚓体内植酸酶活性的变化[J]. *江苏农业科学*, 2008(4): 198 - 199.
- [14] 刘兰芳, 李继刚, 米国桥. 蚯蚓 MIT 基因的克隆及其在大肠杆菌中的表达[J]. *河北农业大学学报*, 2010, 33(1): 84 - 87, 92.
- [15] 王采芹, 张庭芳. 蚯蚓钙结合蛋白的分离纯化及性质的研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 1996, 32(6): 741 - 748.
- [16] EUE I, KAUSCHKE E, MOHRIG W, et al. Isolation and characterization

of earthworm hemolysins and agglutinins[J]. *Developmental & comparative immunology*, 1998, 22(1): 13 - 25.

- [17] YAMAJI A, SEKIZAWA Y, EMOTO K, et al. Lysenin, a novel sphingomyelin[J]. *Journal of biological chemistry*, 1998, 273(9): 5300 - 5306.
- [18] 林少琴, 余萍, 兰瑞芳, 等. 蚯蚓抗肿瘤成分的研究[J]. *海峡药学*, 2000, 12(3): 59 - 61.
- [19] 胡云龙, 徐海, 张双全, 等. 蚯蚓提取物对小鼠肿瘤动物模型的研究[J]. *生物技术*, 2002, 12(6): 9 - 10.
- [20] GRDISA M, POPOVIC M, HRZENJAK T. Glycolipoprotein extract (G-90) from earthworm *Eisenia fetida* exerts some antioxidative activity[J]. *Comparative biochemistry & physiology part A*, 2001, 128(4): 821 - 825.
- [21] MILOCHAU A, LASSEGUES M, VALEMBOSIS P. Purification, characterization and activities of two hemolytic and antibacterial proteins from coelomic fluid of the annelid *Eisenia fetida andrei*[J]. *Biochim Biophys Acta*, 1997, 1337(1): 123 - 132.
- [22] 张希春, 孙振钧, 褚如朋, 等. 蚯蚓两种抗菌肽的分离纯化及部分性质[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2002, 29(6): 955 - 960.
- [23] 孙振钧. 两项蚯蚓研究新成果: 蚯蚓抗菌肽的研究和蚯蚓生物反应器的研制[J]. *中国农业大学学报*, 2005(5): 20.
- [24] LI W L, WANG C, SUN Z J. Vermipharmaceuticals and active proteins isolated from earthworms[J]. *Pedobiologia: International journal of soil biology*, 2011, 54: 49 - 56.
- [25] 刘志贞, 康慧芳, 樊慧杰, 等. 蚯蚓体腔液抗病毒活性及其机制的研究[J]. *现代预防医学*, 2008, 35(6): 1132 - 1134.
- [26] 闫峻, 汤立达. 蚓激酶的研究与临床应用[J]. *中草药*, 2006, 37(2): 295 - 298.
- [27] 熊飞. 蚯蚓——廉价的动物性蛋白饲料[J]. *农村养殖技术*, 2007(7): 28 - 29.
- [28] 马雪云. 蚯蚓粉对肉兔生产性能的影响[J]. *当代畜牧*, 2003(6): 30.
- [29] 程益民, 为民, 程芳. 蚯蚓在兽医临床上的应用[J]. *养殖技术顾问*, 2002(2): 23.
- [30] 李典友. 蚯蚓在农业生态系统中的应用[J]. *农技服务*, 2008, 25(5): 100.
- [31] 宾冬梅. 蚯蚓的开发利用研究进展[J]. *湖南生态科学学报*, 2006, 12(4): 457 - 460.
- [32] 孔凡真. 蚯蚓在食品保健上的应用开发市场前景好[J]. *中国畜牧杂志*, 2000, 36(1): 54 - 55.
- [33] 彭美. 蚯蚓(地龙)综合利用的现状与展望[J]. *中药与临床*, 2012, 3(3): 56 - 59.
- [34] 李志林, 周海燕, 官智. 蚯蚓催化抗凝血药华法林及其衍生物的合成[J]. *有机化学*, 2017, 37(6): 1494 - 1500.
- [35] GUAN Z, CHEN Y L, YUAN Y, et al. Earthworm is a versatile and sustainable biocatalyst for organic synthesis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(8): 105284.
- [36] HE Y H, SONG J, YANG D C, et al. Catalytic earthworms: In three-component cascade Mannich-Michael reactions[J]. *Tetrahedron*, 2015, 71(33): 5248 - 5253.

(上接第 105 页)

- [28] NG H H, RAINBOTH W J. A review of the sisorid catfish genus *Oreoglanis* (Siluriformes: Sisoridae) with descriptions of four new species[J]. *Occasional Papers Mus Zool Univ Michigan*, 2001, 732: 1 - 34.
- [29] LI X, ZHOU W, THOMSON A W, et al. A review of the genus *Pareuchiloglanis* (Sisoridae) from the Lancangjiang (upper Mekong River) with descriptions of two new species from Yunnan, China[J]. *Zootax*, 2007, 1440: 1 - 19.
- [30] 方树森, 许涛清, 崔桂华. 鲃属 *Pareuchiloglanis* 鱼类一新种[J]. *动物分类学报*, 1984, 9(2): 209 - 211.
- [31] ZHOU W, LI X, YANG Y. A review of the catfish genus *Pseudecheneis* (Siluriformes: Sisoridae) from China, with the description of four new species from Yunnan[J]. *Raffles Bull Zool*, 2008, 56(1): 107 - 124.
- [32] 褚新洛. 褶鲃属鱼类的系统发育及二新种的记述[J]. *动物分类学报*, 1982, 7(4): 428 - 437.
- [33] 李斌, 岳兴建, 王志坚. 西藏鲃科鱼类种一新纪录种——无斑褶鲃

[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 27(2): 18 - 19, 99.

- [34] NG H H. The identity of *Pseudecheneis sulcata* (M' Clelland, 1842), with descriptions of two new species of rheophilic catfish (Teleostei: Sisoridae) from Nepal and China[J]. *Zootax*, 2006, 1245: 45 - 68.
- [35] 李旭, 李凤莲, 刘恺, 等. 中国伊洛瓦底江和怒江褶鲃属鱼类的形态差异及分类地位[J]. *动物学研究*, 2008, 29(1): 83 - 88.
- [36] 周伟, 褚新洛. 鲃科褶鲃属鱼类一新种兼论其骨骼形态学的种间分化(鲃形目: 鲃科)[J]. *动物分类学报*, 1992, 17(1): 110 - 115.
- [37] ZHOU W, YANG Y, LI X, et al. A review of the catfish genus *Pseudoxostoma* (Siluriformes: Sisoridae) with description of a new species from the upper Salween (Nujiang) basin of China[J]. *Raffles Bull Zool*, 2007, 55(1): 147 - 155.
- [38] 褚新洛. 鲃科鱼类的系统分类及演化谱系, 包括一新属和一新亚种的描述[J]. *动物分类学报*, 1979, 4(1): 72 - 82.
- [39] 周伟, 李旭, 杨颖. 中国鲃科褶鲃群系统发育与地理分布格局研究进展[J]. *动物学研究*, 2005, 26(6): 673 - 679.