

张国庆, 杨杰奎, 李培源, 等. 我国近海裸胸鳝属鱼类新记录种——黏裸胸鳝 (*Gymnothorax mucifer*) 形态与分子系统学研究[J]. 海洋学报, 2022, 44(7): 112–121, doi:10.12284/hyxb2022124

Zhang Guoqing, Yang Jieluan, Li Peiyuan, et al. The morphological and molecular phylogenetic studies of a new record *Gymnothorax* species in the coastal waters of China: *Gymnothorax mucifer*[J]. Haiyang Xuebao, 2022, 44(7): 112–121, doi:10.12284/hyxb2022124

我国近海裸胸鳝属鱼类新记录种——黏裸胸鳝 (*Gymnothorax mucifer*) 形态与分子系统学研究

张国庆^{1,2,3}, 杨杰奎¹, 李培源¹, 梁馨艺¹, 梁日深^{1,2,3*}, 林鑫^{1,2,3*}, 李清清^{1,2,3}

(1. 仲恺农业工程学院 动物科技学院, 广东 广州 510225; 2. 广东省水环境与水产品安全工程技术研究中心, 广东 广州 510225; 3. 广州市水产病害与水禽养殖重点实验室, 广东 广州 510225)

摘要: 本研究于2020–2021年在福建省厦门市近海水产市场采集到4尾黏裸胸鳝样品, 为中国大陆近海新记录种。此前, 该物种仅在澳大利亚、夏威夷等地有分布记录, 并被认为是蠕纹裸胸鳝同种异名。本研究对采集的黏裸胸鳝进行详细形态特征分析, 结合DNA条形码COI基因进行分子鉴定及系统进化关系分析。黏裸胸鳝的主要鉴别特征: 体为黄棕色, 头部前端淡紫色, 身体布满细长、稀疏、弥散的树枝状不规则棕色斑纹, 斑纹颜色靠近尾部加深加粗, 形成网格状; 臀鳍边缘白色, 近尾部变为一列连续白色斑点; 全长为体长的1.01倍, 为头长的8.00~8.39倍; 上颌齿每侧8~10个, 下颌齿每侧14~20个, 中央齿细长, 均为单行; 总椎骨数为117~139, 平均椎骨式为6-47-130。基于COI基因分析, 黏裸胸鳝与蠕纹裸胸鳝的遗传距离为0.074, 大于Herbert设定的2% (0.020) 作为区分不同物种最小遗传距离, 表明两者应为不同的物种。形态上, 两种裸胸鳝也存在差异特征, 如黏裸胸鳝的斑纹较细长、稀疏、不明显, 头部前端偏淡紫色, 臀鳍白色边缘近尾部断裂成系列连续白色斑点; 蠕纹裸胸鳝的斑纹粗大明显、颜色较深, 头部前端黄白色, 臀鳍白色边缘连续至尾尖。研究结果可为我国裸胸鳝属鱼类的系统分类及物种名录的修订提供分类基础。

关键词: 黏裸胸鳝; 新记录种; 形态特征; DNA条形码

中图分类号: Q959.46[†]9

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2022)07-0112-10

1 引言

裸胸鳝属 (*Gymnothorax*) 隶属于硬骨鱼纲 (Osteichthyes), 鳗鲡总目 (Anguillomorpha), 鳗鲡目 (Anguilliformes), 海鳝科 (Muraenidae), 海鳝亚科 (Muraeninae), 广泛分布于热带、亚热带及温带海区。裸胸鳝属是海鳝科里面种类最多的一个属, 世界上记录有

100余种^[1-3], 我国有20~30种^[4-16], 不同分类资料收录的种类数目有所不同。其中《中国鱼类系统检索》^[4]收录20种、《台湾鱼类志》^[6]收录27种、《中国海洋鱼类》^[12]与《中国海洋生物名录》^[15]收录种类最多, 均为37种。主要分布于东海、南海及台湾海峡。

目前, 国内有关裸胸鳝属鱼类研究国内报道极少, 仅在分子系统发育^[17-18]、消化道结构^[19]及遗传多

收稿日期: 2021-10-10; 修订日期: 2022-02-16。

基金项目: 广东省自然科学基金(2018A0303130104); 国家自然科学基金(31802300); 广东省教育厅特色创新类项目(2019KTSCX061); 仲恺农业工程学院研究生科技创新项目(KJXC2021019)。

作者简介: 张国庆(1996—), 男, 福建省宁德市人, 主要研究方向为水产动物健康养殖。E-mail: 1289755804@qq.com

* 通信作者: 梁日深, 副教授, 主要研究方向为水产动物种质资源。E-mail: cheetahliang@126.com; 林鑫, 教授, 主要研究方向为水产动物健康养殖。E-mail: linli@zhku.edu.cn

样性^[20]等方面有少量研究。国外报道相对较多,研究主要集中于裸胸鳝基础生物学及种质资源方面,近些年在裸胸鳝种质分析上有不少新种发现的报道,如 *Gymnothorax pharaonis*^[31]、*Gymnothorax smithi*^[21]、*Gymnothorax pseudotile*^[22]、*Gymnothorax visakhaensis*^[23]、*Gymnothorax pseudome-lanosomatus*^[24]等。自2015年以来已有5种裸胸鳝属新种被记录,揭示了裸胸鳝属资源还存在巨大的可挖掘空间,物种分类信息有待进一步更新与完善。

黏裸胸鳝(*Gymnothorax mucifer*)(Snyder, 1904)体色为棕黄色,体表布满细小、弥散的树枝状不规则斑纹,臀鳍边缘为白色。目前我国分类资料均无黏裸胸鳝的信息,包括比较系统、权威的物种检索资料,如《中国鱼类系统检索》《中国海洋鱼类》《台湾鱼类志》等。国外针对黏裸胸鳝的研究也很少,并且其物种有效性也存在一定争议。有研究认为,黏裸胸鳝其实为蠕纹裸胸鳝(*Gymnothorax kidako*)的同种异名^[25-27],但近些年也有研究揭示两者为独立的物种,两种裸胸鳝在下颌特征、牙齿及脊椎骨数量等形态性状方面存在差异^[28-29]。本研究于2020-2021年期间在福建省厦门市近海水产市场采集了4尾黏裸胸鳝的样品,为我国大陆近海一个新记录种。针对其具体的形态特征进行详细测量分析,同时采集蠕纹裸胸鳝、雪花斑裸胸鳝(*Gymnothorax niphostigmus*)等多种与黏裸胸鳝形态相近的裸胸鳝种类进行比较,结合DNA条形码

COI基因开展分子系统分类研究,明确黏裸胸鳝的物种有效性,为我国裸胸鳝属鱼类系统分类及物种名录的修订提供分类基础。

2 材料与方法

2.1 实验材料

黏裸胸鳝样品于2020-2021年在福建省厦门市近海水产市场(30.060 7°N, 122.354 6°E)采集,共获得样品4尾。另外采集了蠕纹裸胸鳝、雪花斑裸胸鳝、埃玛氏裸胸鳝(*Gymnothorax emmae*)、云纹裸胸鳝(*Gymnothorax chilospilus*)、白斑裸胸鳝(*Gymnothorax prionodon*)等与黏裸胸鳝形态相似的种类比较分析。采集样品鲜活状态下进行高清拍摄,标本于仲恺农业工程学院动物科技学院水产养殖系实验室保存(图1,图2)。

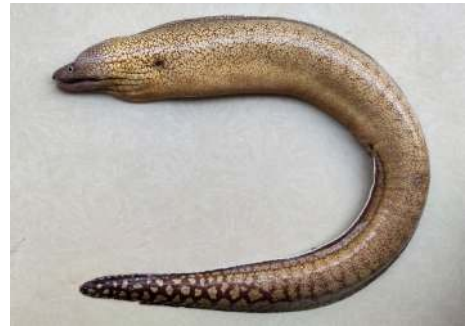


图1 黏裸胸鳝

Fig. 1 *Gymnothorax mucifer* (Snyder, 1904)

全长 617 mm, 采自福建厦门

Total length is 617 mm, collected from Xiamen City, Fujian Province



图2 对比种类

Fig. 2 Comparison species

- a. 蠕纹裸胸鳝(福建厦门); b. 雪花斑裸胸鳝(广东深圳); c. 云纹裸胸鳝(广东汕头); d. 埃玛氏裸胸鳝(福建漳州); e. 白斑裸胸鳝(福建厦门)
 a. *Gymnothorax kidako* (Temminck & Schlegel, 1846) (Xiamen City, Fujian Province); b. *Gymnothorax niphostigmus* (Chen, Shao & Chen, 1996) (Shenzhen City, Guangdong Province); c. *Gymnothorax chilospilus* (Bleeker, 1864) (Shantou City, Guangdong Province); d. *Gymnothorax emmae* (Prokofiev, 2010) (Zhangzhou City, Fujian Province); e. *Gymnothorax prionodon* (Ogilby, 1895) (Xiamen City, Fujian Province)

2.2 实验方法

2.2.1 形态学特征研究分析

本研究参考张春光^[11]、Böhlke 和 Randall^[28] 的测量方法,对采集的 4 尾黏裸胸鲯样品的形态特征进行描述。利用直尺及游标卡尺准确测量样品全长、体长、体高、肛前体长、肛后体长、头长、头高、吻长、上颌

长、下颌长、眼径、眼间距、眼后头长、背鳍前距、臀鳍前距、背鳍基长、臀鳍基长等可量性状,精确到 1 mm;采用直接计数方式统计前颌齿、上颌齿、下颌齿、犁骨齿、前颌骨中央齿的数目以及脊椎骨数、背鳍鳍条数、臀鳍鳍条数等可数性状(图 3,图 4)。

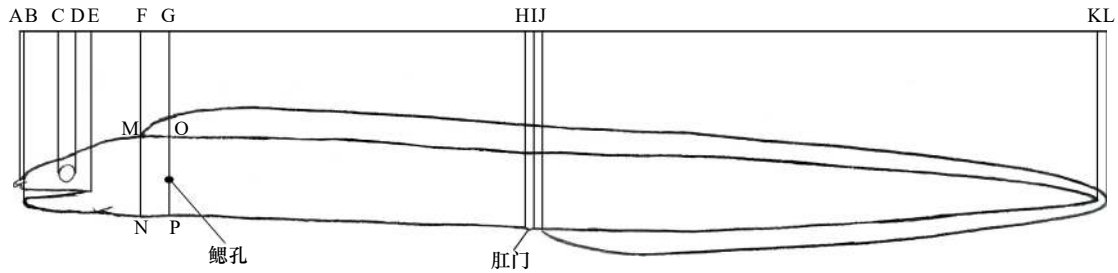


图 3 黏裸胸鲯外部可量性状示意图

Fig. 3 Schematic diagram of external measurable traits of *Gymnothorax mucifer*

AL. 全长; AK. 体长; OP. 体高; AG. 头长; MN. 头高; AC. 吻长; AE. 上颌长; BE. 下颌长; CD. 眼径; DG. 眼后头长; AF. 背鳍前距; AJ. 臀鳍前距; FK. 背鳍基长; JK. 臀鳍基长; AH. 肛前体长; IK. 肛后体长; 眼间距以实际测量数据为准,未在图中标注
AL. Total length; AK. body length; OP. body depth; AG. head length; MN. head depth; AC. snout length; AE. upper jaw length; BE. lower jaw length; CD. eye diameter; DG. postorbital length; AF. predorsal length; AJ. preanal length; FK. base of the dorsal fin; JK. base of the anal fin; AH. distance from anus to snout; IK. distance from anus to caudal tip; the interorbital width is subject to the actual measurement data and is not marked in the figure

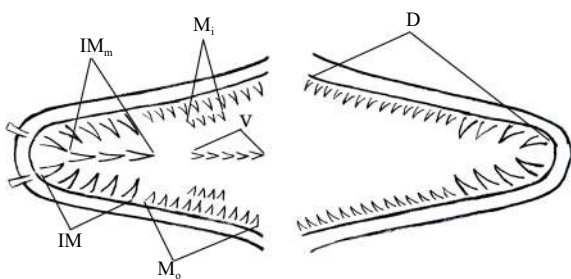


图 4 黏裸胸鲯牙齿结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of teeth structure of *Gymnothorax mucifer*

IM. 前颌齿; IM_m. 中央齿; M_o. 上颌齿外侧; M_i. 上颌齿内侧; V. 犁骨齿; D. 下颌齿
IM. Intermaxillary teeth; IM_m. median intermaxillary teeth; M_o. outer maxillary teeth; M_i. inner maxillary teeth; V. vomerine teeth; D. dentary teeth

2.2.2 分子 DNA 条形码基因分析

(1) DNA 提取

取约 20 mg 样品肌肉组织,使用海洋动物组织基因组 DNA 提取试剂盒(天根生化科技有限公司),按照说明书进行 DNA 提取。提取 4 尾黏裸胸鲯以及蠕纹裸胸鲯、雪花斑裸胸鲯、埃玛氏裸胸鲯、云纹裸胸鲯、白斑裸胸鲯等总基因组 DNA,溶解于 80 μl 灭菌水中。利用 1% 琼脂糖凝胶对提取的 DNA 进行电泳检测, -20℃ 冰箱保存备用。

(2) PCR 扩增与测序

PCR 扩增引物采用鱼类 COI 基因序列的通用引物,为 COI-F1: 5'-TCAACYAATCAYAAAGATAT

YGGCAC-3'、COI-R1: 5'-ACTTCYGGGTGRCCR AARAATCA-3'^[30]。PCR 反应体系为 25 μL,包括 PCR Mastermix 12.5 μL,灭菌水 10.5 μL,上、下游引物各为 0.5 μL, DNA 模板 1 μL。扩增条件为 94℃ 预变性 5 min、94℃ 变性 30 s、55℃ 退火 30 s、72℃ 延伸 1 min, 35 个循环,最后 72℃ 再延伸 7 min。PCR 产物用 1% 琼脂糖凝胶电泳检测,选取扩增成功的样品用 PCR 产物纯化试剂盒纯化回收后送至天一辉远生物技术有限公司进行测序。

(3) 分子系统进化分析

将测得的 COI 基因片段于美国国家生物技术信息中心(National Center for Biotechnology Information, NCBI)进行相似性检索,验证序列的正确性。同时,在 GenBank 上下载所有学名为 *Gymnothorax mucifer* 及其他相关裸胸鲯的 COI 序列一起分析(表 1),利用 Clustal W 软件对序列进行排列比对^[31],去掉两端不规则冗余序列,保留同源序列于 MEGA 7.0 软件分析碱基组成、遗传距离等信息^[32]。以裸海鲯属斑马裸海鲯(*Gymnomuraena zebra*)为外类群,采用最大似然法与贝叶斯法构建分子系统发育树,最大似然树在 RAxML 8.0 软件完成^[33],分支置信度利用 1 000 次重复抽样分析。贝叶斯树在 MrBayes 3.1.2 软件中完成^[34],随机选取起始树,计算 1 000 000 代,取样代数为 100,节点置信度由后验概率提供。

表1 本研究分析的裸胸鳔 COI 基因序列信息

Table 1 Information of the COI sequences of *Gymnothorax* species cited in this study

物种名	样品来源	样品编号
黏裸胸鳔 <i>Gymnothorax mucifer</i>	福建厦门	GMFJXM1-GMFJXM4
	GenBank	MH400951-MH400958
	GenBank	HM422395
雪花斑裸胸鳔 <i>Gymnothorax niphostigmus</i>	广东深圳	GDSZ
	GenBank	MF774814-MF774816
蠕纹裸胸鳔 <i>Gymnothorax kidako</i>	福建厦门	FJXM
	GenBank	MH400959-MH400960
	GenBank	MF774817
白斑裸胸鳔 <i>Gymnothorax prionodon</i>	福建厦门	FJXM
	GenBank	KU885609
	GenBank	MF774818
埃玛氏裸胸鳔 <i>Gymnothorax emmae</i>	福建漳州	FJZZ
	广东深圳	GDSZ
	GenBank	MK777089
云纹裸胸鳔 <i>Gymnothorax chilospilus</i>	广东汕头	GDST1, GDST2
	GenBank	JQ431797
	GenBank	KU942754
	GenBank	JQ431795
	GenBank	MK658499
	GenBank	MK657751
	GenBank	KU942753
斑马裸海鳔 <i>Gymnomuraena zebra</i>	海南三亚	HNSY1, HNSY2

3 实验结果

3.1 黏裸胸鳔 (*Gymnothorax mucifer*) (Snyder, 1904)

形态特征

3.1.1 新种记录

4尾黏裸胸鳔样品于2020-2021年采自福建省厦门市近海水产市场,编号为GMFJXM1-GMFJXM4,形态测量数据见表2。4尾样品全长范围为515~617 mm,全长为体高(42~56 mm)的10.71~12.79倍,为背鳍前距(48~58 mm)的9.42~10.91倍,为臀鳍前距(245~286 mm)的2.10~2.16倍,为头长(62~75 mm)的

表2 黏裸胸鳔形态性状测量数据

Table 2 Morphometric measurement information of *Gymnothorax mucifer*

测量性状	本研究				模式标本 ^[35] n=1	文献[29] <i>Gymnothorax mucifer</i> n=18
	FJXM1 n=1	FJXM2 n=1	FJXM3 n=1	FJXM4 n=1		
全长/mm	537	617	515	600	715+	246~666
体长/mm	534	610	512	596	-	-
体高/mm	42	56	45	56	-	22~50
头长/mm	64	74	62	75	-	33~76
头高/mm	39	46	43	42	-	-
吻长/mm	13	12	12	14	-	-
上颌长/mm	35	34	34	40	-	17~40
下颌长/mm	38	40	37	45	-	18~42
眼径/mm	6	7	5	7	-	4~6
眼间距/mm	6	11	6	9	-	4~8
眼后头长/mm	44	56	46	53	-	-
背鳍前距/mm	57	58	48	55	-	25~55
臀鳍前距/mm	255	286	245	285	-	-
背鳍基长/mm	479	552	459	550	-	-
臀鳍基长/mm	277	319	263	343	-	-
肛前体长/mm	243	275	234	270	-	117~277
肛后体长/mm	286	332	275	325	-	-
背鳍鳍条数	408	400	367	293	-	-
臀鳍鳍条数	286	283	213	263	-	-
背前脊椎骨数	7	8	4	6	5	4~6
肛门前脊椎骨数	56	43	43	44	53	51~55
总脊椎骨数	139	126	117	137	123+	130~138
前颌齿 ¹	6	6~8	4	5	6	5~7
中央齿 ¹	3	3	2	4	3	2~3
犁骨齿 ¹	6	9	3	6	10	5~14
上颌齿外侧 ¹	8~10	10	10	10	15~16	11~18
内侧 ¹	4	4	0	0	-	1~4
下颌齿 ¹	17~20	14~15	20	14~15	23~24	21~27

注:¹仅表示牙齿单侧数据;“-”表示无数据;“+”表示原本存在但缺失的数据,数据较715 mm和123大。

8.00~8.39倍。头长范围为上颌长(34~40 mm)的1.82~2.18倍,为下颌长(37~45 mm)的1.67~1.85倍,

为眼径(5~7 mm)的 10.57~12.40 倍,为眼间距(6~11 mm)的 6.73~10.67 倍。

3.1.2 鉴别特征

黏裸胸鳍体为黄棕色,吻部偏紫色。体表布满细小、弥散的树枝状不规则棕色横纹,相连成网状;纹路在尾部加深加粗,使尾部呈现网格状白斑。口角具 4~6 条纵向黑痕。臀边缘为白色,不延续至尾端,尾部被棕色网纹分隔呈现一系列白斑。平均椎骨式为 6-47-130。

3.1.3 性状描述

黏裸胸鳍牙齿尖细呈锥状,前颌齿 1 行,每侧有 4~8 个大犬齿。上颌齿 1 行,齿较前颌齿小且向后倾斜,每侧 8~10 个;其中有 2 尾上颌内部每侧均具有 4 个细小尖形牙。中央齿细长且单行,数量 2~4 个不等;犁骨齿较小,单行或交错排列,为 3~9 个。下颌齿 1 行,每侧有 14~20 个,前 4~5 对较大,其余牙齿较小且大小不等。

4 尾黏裸胸鳍样品背鳍鳍条数为 293~408,臀鳍鳍条数为 213~286。总脊椎骨数为 117~139,背脊椎骨数为 4~8,肛门前脊椎骨数为 43~56,平均椎骨式为 6-47-130;椎体呈双凹形,每一椎体的中心均有小孔。

体中等长,头中等大;躯干部呈圆柱形,尾部较侧扁,完全裸露;吻短;前鼻孔位于近吻端,呈管状,中等细长;后鼻孔位于眼前缘上方,圆形;眼中等大,新鲜标本的眼睛虹膜微黄,眼间距稍大于眼径;上下颌基本等长;体为黄棕色至深棕色,头部前端偏紫色,喉部、腹部颜色较浅;眼后头部网纹密集,部分形成细小、淡黄色斑点,斑点分布因物种个体而异;下颌处无斑纹;身体布满细小、稀疏、树枝状不规则褐色横纹,连成网状;纹路在尾部颜色加深加粗,相连围绕,使尾部呈现明显网格状白斑;口角具 4~6 条纵向黑痕;鳃孔周围颜色呈黑色,较明显;背鳍、臀鳍均与尾鳍相连,无胸鳍;背鳍始于鳃孔前,中等高;肛门位于体中央前方,臀鳍较浅,不如背鳍发达;臀鳍边缘为白色且颜色不连续至尾尖,尾部被棕色纹路分割呈现一系列白色斑点。

3.2 黏裸胸鳍与近缘裸胸鳍种类形态差异比较

根据《中国鱼类系统检索》^[4]、《中国动物志》^[11]、《中国海洋鱼类》^[12]、《台湾鱼类志》^[6]等形态分类资料,结合在线鱼类数据库^[2],汇总出黏裸胸鳍及其形态相似的 5 种裸胸鳍可区分彼此的外部特征性状,对黏裸胸鳍及相关裸胸鳍进行比较分析(表 3)。

表 3 黏裸胸鳍与相关近缘裸胸鳍形态特征比较

Table 3 Comparison analysis of morphological characteristics among *Gymnothorax mucifer* and related *Gymnothorax* species

	黏裸胸鳍	蠕纹裸胸鳍	雪花斑裸胸鳍	埃玛氏裸胸鳍	云纹裸胸鳍	白斑裸胸鳍
身体颜色	黄棕色	黄色或棕色	红棕色	黄色或黄褐色	黄褐色至黑褐色	红褐色
身体斑纹	密布细小、稀疏的树枝状不规则褐色横纹	环绕较明显粗大的树枝状褐色横纹	身体密布雪花状白色斑块	分布许多曲折的斜向或横向棕纹	无明显横带,斑纹呈深棕色斑块状或树枝状	密布较大、模糊不规则白斑
头部斑纹	吻偏紫色,其后黄棕色,眼后布密集细小网纹	黄色,眼后分布树枝状斑纹	红棕色,无斑纹或稀疏细小白纹	黄棕色,具褐色圆形或弧形斑纹	淡黄色,吻部偏白,眼后有不规则褐色斑纹	红褐色,眼后有不规则斑纹
臀鳍边缘	白色,不延续至尾端	白色,延续至尾端	白色,延续至尾端	褐色	白色	红褐色,有白色斑点
分布范围	太平洋:中国、新喀里多尼亚、夏威夷等	印度-西太平洋:中国、日本、印度等	西北太平洋:中国、越南、日本等	越南	印度-太平洋:中国、印度、澳大利亚等	西太平洋:中国、日本、澳大利亚等

3.3 黏裸胸鳍 DNA 条形码 COI 基因分析及系统进化关系

测序获得本研究 4 尾黏裸胸鳍及蠕纹裸胸鳍、雪花斑裸胸鳍、云纹裸胸鳍、埃玛氏裸胸鳍和白斑裸胸鳍的 COI 基因序列,结合 GenBank 下载的裸胸鳍 COI 基因序列(表 1)共同分析,经排列比对,去除两端冗余获得一致序列 636 bp。序列中 T、C、A、G 碱基含量分别为 29.6%、27.5%、23.7%、19.2%,A+T 含量(53.3%)高于 C+G(46.7%)。序列中保守位点 482 个,变异位点 154 个,简约信息位点 138 个,转换颠换比为 4.24。基于 Kimura-2-parameter 模型计算各裸胸鳍

种内及种间遗传距离(表 4)。6 种裸胸鳍种内遗传距离范围为 0.006~0.019,平均遗传距离为 0.009。种间遗传距离为 0.051~0.164,平均遗传距离为 0.111。比较黏裸胸鳍与其余 5 种裸胸鳍遗传距离可知,黏裸胸鳍与雪花斑裸胸鳍之间遗传距离最小(0.051),与云纹裸胸鳍遗传距离最大(0.146)。以斑马裸海鲷为外群,采用最大似然法和叶贝斯法构建的分子系统进化树如图 5、图 6 所示,两种方法构建的进化树拓扑结构基本相同,节点均拥有较高支持率。进化树上,同种裸胸鳍不同个体均能紧密聚在一起,形成种内单系分支。本研究的 4 尾黏裸胸鳍与 GenBank 中的黏裸

表 4 基于 COI 基因序列 6 种裸胸鳔的种内及种间遗传距离

Table 4 Intra-specific and inter-specific genetic distance among 6 *Gymnothorax* species for COI sequences

种名	黏裸胸鳔	雪花斑裸胸鳔	蠕纹裸胸鳔	白斑裸胸鳔	埃玛氏裸胸鳔	云纹裸胸鳔
黏裸胸鳔	0.008					
雪花斑裸胸鳔	0.051	0.006				
蠕纹裸胸鳔	0.074	0.063	0.007			
白斑裸胸鳔	0.095	0.093	0.086	0.019		
埃玛氏裸胸鳔	0.110	0.106	0.087	0.111	0.007	
云纹裸胸鳔	0.146	0.164	0.157	0.162	0.160	0.007

注: 对角线数字表示种内遗传距离; 对角线下表示种间遗传距离。

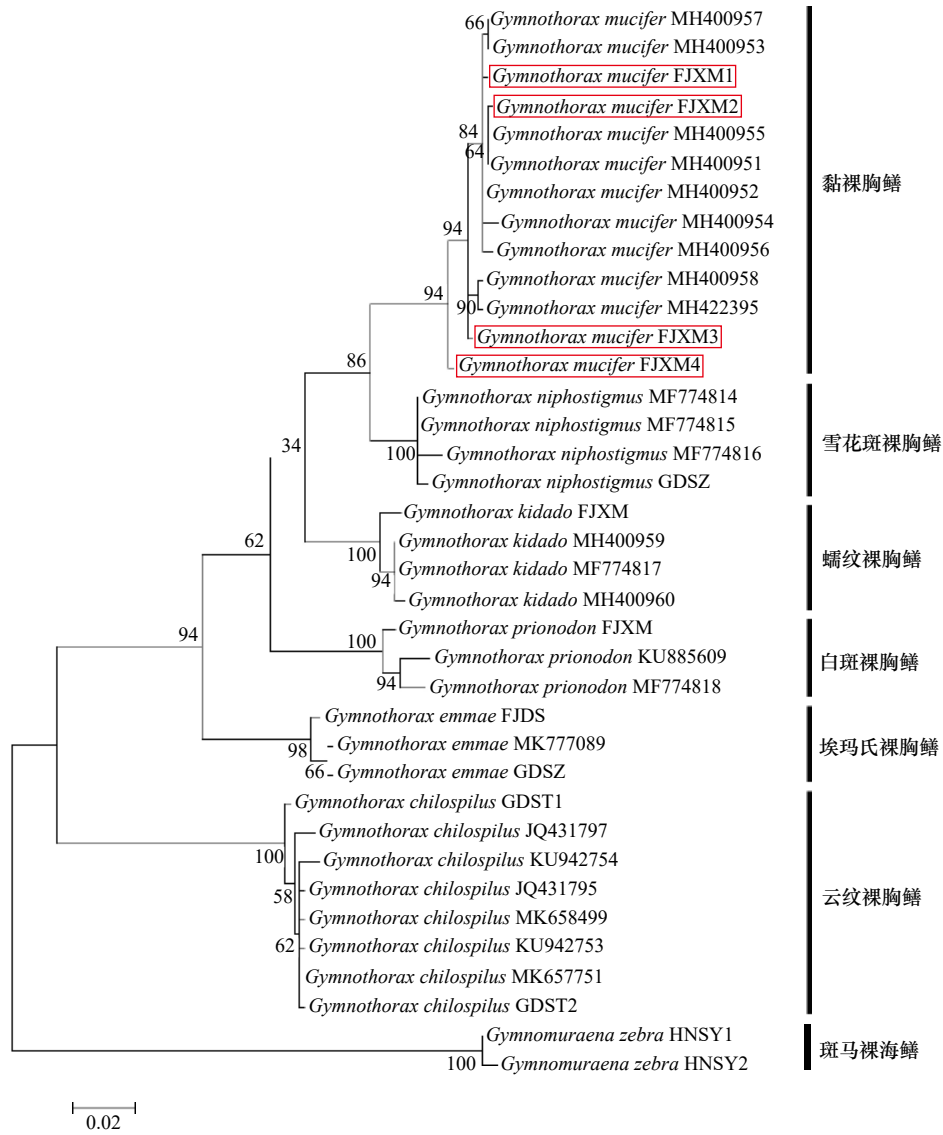


图 5 基于 COI 基因序列利用最大似然法构建 6 种裸胸鳔属鱼类分子系统进化树

Fig. 5 Molecular phylogenetic trees of 6 *Gymnothorax* species constructed using maximum likelihood method based on COI gene sequences

红色框中为本研究的 4 个样品

The red box shows the four samples of this study

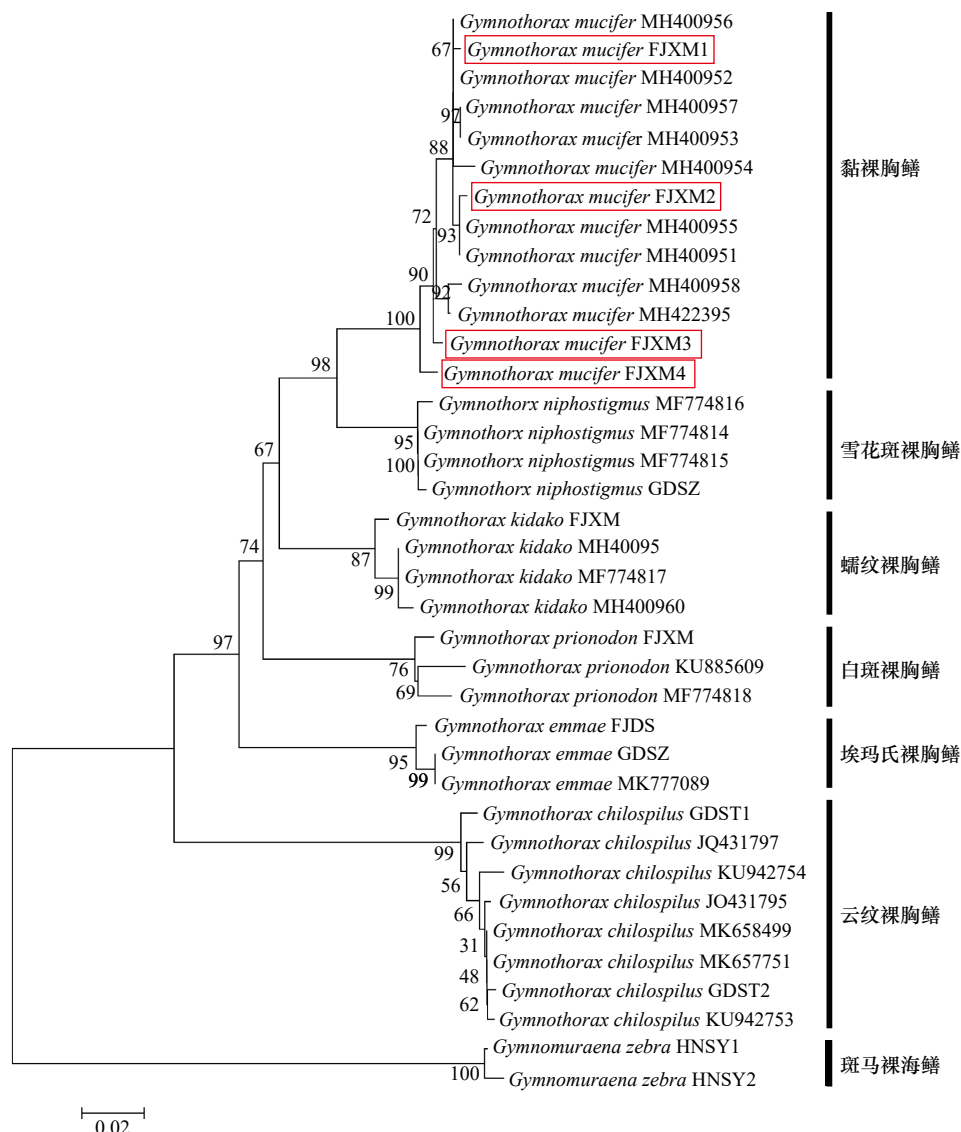


图 6 基于 COI 基因序列利用贝叶斯法构建 6 种裸胸鳉属鱼类分子系统进化树

Fig. 6 Molecular phylogenetic trees of 6 *Gymnothorax* species constructed using Bayesian inference method based on COI gene sequences

红色框中为本研究的 4 个样品

The red box shows the four samples of this study

胸鳉 9 条序列一起, 形成黏裸胸鳉的单系分支, 位于进化树顶部。对于黏裸胸鳉与其他几种裸胸鳉分类关系, 黏裸胸鳉与雪花斑裸胸鳉关系最近, 两者聚为紧密姐妹分支, 随后该分支再与蠕纹裸胸鳉相聚。云纹裸胸鳉与黏裸胸鳉的分类地位最远, 位于进化树的基部, 其次分别为埃玛氏裸胸鳉与白斑裸胸鳉。

4 讨论

我国记录的裸胸鳉属鱼类有 20~30 种^[4-16], 早期 1962 年编著的《南海鱼类志》^[8] 收录有 18 种, 后续分类资料收录物种信息逐渐增多, 《中国鱼类系统检索》^[4] 记录 20 种, 《台湾鱼类志》^[6] 记录 27 种, 数量最多的为 2016 年陈大刚与张美昭主编的《中国海洋鱼

类》^[12] 及 2008 年刘瑞玉主编的《中国海洋生物名录》^[15], 均为 37 种。而在目前的形态分类资料中, 均无黏裸胸鳉 (*Gymnothorax mucifer*) (Snyder, 1904) 的物种记录, 甚至不曾出现过这一学名。国外关于黏裸胸鳉的研究报道也较少, 其为十分罕见的裸胸鳉种类。前期仅在澳大利亚、新喀里多尼亚及夏威夷群岛等海域有黏裸胸鳉记录, 但曾一度被误认为是蠕纹裸胸鳉^[25-27], 直至 Böhlke 与 Randall^[28] 提出两者为不同物种。Huang 等^[29] 2019 年在台湾东北部太平洋海区附近也曾采集过黏裸胸鳉样品, 并比较黏裸胸鳉、蠕纹裸胸鳉的特征差异, 认为两者应为独立的物种。本研究 4 尾黏裸胸鳉采集于福建省厦门市近海水产市场, 形态特征分析跟 Böhlke 与 Randall^[28]、Huang 等^[29] 关于黏裸胸鳉的

物种特征描述及图片信息基本一致。本研究中4尾黏裸胸鳔为在我国大陆近海(渤海、黄海、东海、南海)首次记录的种类。针对该物种进行具体形态学及分子DNA条形码鉴定,验证为黏裸胸鳔,可知我国沿海也有该裸胸鳔物种的分布,为我国裸胸鳔属鱼类物种名录修订及分类学研究提供了依据。

黏裸胸鳔体色为黄棕色,体表布满较为弥散的树枝状不规则横纹,臀鳍边缘白色,与蠕纹裸胸鳔的形态十分相似。前期部分形态学研究认为两者为同一物种^[25-27]。世界鱼类数据库(Fishbase)目前也将黏裸胸鳔标注为蠕纹裸胸鳔的同种异名^[2]。而比较分析黏裸胸鳔与蠕纹裸胸鳔详细形态学特征发现,两者体表也存在较明显的差异。蠕纹裸胸鳔头部黄色,身体环绕较粗大、明显的树枝状多突起不规则褐色横纹,横纹特征在尾部变密,相连围绕,将尾部分隔成许多不规则多突起的白斑,臀鳍白色边缘延续至尾端;黏裸胸鳔头部淡紫色,身体环绕较细小稀疏、弥散的树枝状不规则横纹,横纹在尾部加深加粗,相连围绕,将尾部分隔成网格状白斑,臀鳍白色边缘不延续至尾端。

在DNA条形码COI基因分析方面,本研究中4种黏裸胸鳔COI序列经NCBI在线比对,与在线公

布的*G. mucifer*的同源性最高,达到99%以上,分子水平验证为黏裸胸鳔*G. mucifer*。通过与蠕纹裸胸鳔、雪花斑裸胸鳔等5种与黏裸胸鳔形态接近的裸胸鳔COI序列比较分析可知,黏裸胸鳔与其他5种裸胸鳔的遗传距离范围为0.051~0.146,其中与雪花斑裸胸鳔遗传距离最小(0.051),与云纹裸胸鳔的遗传距离最大(0.146),均远大于Hebert等^[36]推荐的2%(0.020)作为区分不同物种的最小遗传距离,同时远大于本研究6种裸胸鳔种内不同个体的遗传距离范围(0.006~0.019)及目前有关裸胸鳔属鱼类COI基因种内遗传距离变异范围(最小为0,最大为0.037,大部分在0.020以内)^[37-39]。可知分子水平上,黏裸胸鳔为区别于其他5种裸胸鳔的独立物种。与黏裸胸鳔形态最为接近且处于同种异名争议的蠕纹裸胸鳔,两者遗传距离高达0.074,在分子水平上存在较大差异。进化树上,黏裸胸鳔优先与雪花斑裸胸鳔聚为一支,该分支再与蠕纹裸胸鳔相聚。可知,相对于雪花斑裸胸鳔,蠕纹裸胸鳔与黏裸胸鳔分子水平的亲缘关系相对较远,结合形态学的特征比较分析可知,两种裸胸鳔应为独立的物种,并非同种异名。

参考文献:

- [1] Randall J E, Golani D. Review of the moray eels (Anguilliformes: Muraenidae) of the Red Sea[J]. Bulletin of Marine Science, 1995, 56(3): 849-880.
- [2] Froese R, Pauly D. FishBase. World wide web electronic publication[DB/OL]. [2021-01-15]. <https://www.fishbase.org>.
- [3] Smith D G, Bogorodsky S V, Mal A O, et al. Review of the moray eels (Anguilliformes: Muraenidae) of the Red Sea, with description of a new species[J]. Zootaxa, 2019, 4704(1): 1-87.
- [4] 成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统检索[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 104-108.
Cheng Qingtai, Zheng Baoshan. Systematic Synopsis of Chinese Fishes[M]. Beijing: Science Press, 1987: 104-108.
- [5] 孟庆闻, 苏锦祥, 缪学祖. 鱼类分类学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 1995: 139-141.
Meng Qingwen, Su Jinxiang, Miao Xuezu. Systematics of Fishes[M]. 2nd ed. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1995: 139-141.
- [6] 沈世杰. 台湾鱼类志[M]. 台北: 台湾大学动物学系, 1993: 98-108.
Shen Shijie. Fishes of Taiwan[M]. Taipei, China: Department of Zoology, Taiwan University, 1993: 98-108.
- [7] 中国水产科学研究院南海水产研究所. 南海诸岛海域鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 43-55.
South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. The Fishes of the Islands in the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1979: 43-55.
- [8] 中国科学院动物研究所, 中国科学院海洋研究所, 上海水产学院. 南海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 184-194.
Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Fisheries University. The Fishes of the South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1962: 184-194.
- [9] 《福建鱼类志》编写组. 福建鱼类志[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1984: 220-225.
Fishes of Fujian Province Editorial Subcommittee. The Fishes of Fujian Province[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1984: 220-225.
- [10] 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰. 东海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1963: 160-162.
Zhu Yuanding, Zhang Chunlin, Cheng Qingtai. The Fishes of the East China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1963: 160-162.
- [11] 张春光. 中国动物志: 硬骨鱼纲, 鳗鲡目, 背棘鱼目[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 224-288.
Zhang Chunguang. Fauna Sinica: Ostichthyes, Anguilliformes and Notacanthiforme[M]. Beijing: Science Press, 2010: 224-288.
- [12] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2016: 235-266.
Chen Dagang, Zhang Meizhao. Marine Fishes of China (Volume 1)[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2016: 235-266.
- [13] 黄宗国. 中国海洋生物种类与分布[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 751-752.

- Huang Zongguo. Marine Species and Their Distribution in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 751–752.
- [14] 李明德. 鱼类分类学[M]. 2版. 北京: 海洋出版社, 2011: 77–78.
Li Mingde. Fish Taxonomy[M]. 2nd ed. Beijing: China Ocean Press, 2011: 77–78.
- [15] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 906–909.
Liu Ruiyu. Checklist of Marine Biota of China Seas[M]. Beijing: Science Press, 2008: 906–909.
- [16] 祝茜. 中国海海洋鱼类种类名录[M]. 北京: 学苑出版社, 1998: 48–51.
Zhu Qian. A List of Marine Fishes in China Seas[M]. Beijing: The Academic Press, 1998: 48–51.
- [17] 杜民, 尹绍武, 刘艳红, 等. 中国裸胸鲂属10种鱼类分子系统发育关系的16S rDNA分析[J]. 海洋科学, 2013, 37(6): 16–23.
Du Min, Yin Shaowu, Liu Yanhong, et al. Analysis of the molecular phylogenetic relationships of 10 *Gymnothorax* species from China Seas based on 16S rDNA fragment sequences[J]. Marine Sciences, 2013, 37(6): 16–23.
- [18] 杜民, 齐兴柱, 尹绍武, 等. 基于Cyt *b*基因序列研究6种裸胸鲂属鱼类的进化关系[J]. 中国水产科学, 2009, 16(1): 23–30.
Du Min, Qi Xingzhu, Yin Shaowu, et al. Phylogenetic relationships of 6 species in *Gymnothorax* based on sequences of cytochrome *b* gene[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(1): 23–30.
- [19] 黄飞, 王吉, 骆剑, 等. 匀斑裸胸鲂消化道的显微与超微结构分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(6): 1109–1115.
Huang Fei, Wang Ji, Luo Jian, et al. Microstructure and ultrastructure of the digestive tract of *Gymnothorax reevesii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(6): 1109–1115.
- [20] 杜民, 尹绍武, 刘艳红, 等. 4种裸胸鲂的分子遗传多样性和亲缘关系的RAPD分析[J]. 海洋通报, 2013, 32(3): 321–327.
Du Min, Yin Shaowu, Liu Yanhong, et al. RAPD analysis of molecular genetic diversity and genetic relationship of four *Gymnothorax* species[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(3): 321–327.
- [21] Sumod K S, Mohapatra A, Sanjeevan V N, et al. A new species of white-spotted moray eel, *Gymnothorax smithi* (Muraenidae: Muraeninae) from deep waters of Arabian Sea, India[J]. Zootaxa, 2019, 4652(2): 359–366.
- [22] Mohapatra A, Smith D G, Ray D, et al. *Gymnothorax pseudotile* sp. nov. (Muraenidae: Muraeninae) from Bay of Bengal India[J]. Zootaxa, 2017, 4286(4): 586–592.
- [23] Mohapatra A, Smith D G, Mohanty S R, et al. *Gymnothorax visakhaensis* sp. nov., a new species of elongate unpatterned moray eel (Muraenidae: Muraeninae) from the Indian Coast[J]. Zootaxa, 2017, 4300(2): 279–286.
- [24] Loh K H, Shao K T, Ho H C, et al. A new species of moray eel (Anguilliformes: Muraenidae) from Taiwan, with comments on related elongate unpatterned species[J]. Zootaxa, 2015, 4060: 30–40.
- [25] Smith D G. Catalog of type specimens of recent fishes in the National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, 6: Anguilliformes, Saccopharyngiformes, and Notacanthiformes[J]. Smithsonian Contributions to Zoology, 1994, 566: 1–50.
- [26] Böhlke E B, Randall J E. *Gymnothorax megaspilus*, a new species of moray eel (Anguilliformes: Muraenidae) from southern Oman and Somalia[J]. Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 1995, 472: 1–5.
- [27] Mundy B C. Checklist of the fishes of the Hawaiian Archipelago[J]. Bishop Museum Bulletin in Zoology, 2005, 6: 1–704.
- [28] Böhlke E B, Randall J E. A review of the moray eels (Anguilliformes: Muraenidae) of the Hawaiian Islands, with descriptions of two new species[J]. Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 2000, 150: 203–278.
- [29] Huang W C, Chen Hongming, Liao Teyu. Revalidation of a moray eel, *Gymnothorax mucifer* Snyder, 1904 (Teleostei: Anguilliformes: Muraenidae), with a revised distribution[J]. Zootaxa, 2019, 4559(1): 151–165.
- [30] Ward R D, Zemlak T S, Innes B H, et al. DNA barcoding Australia's fish species[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 360(1462): 1847–1857.
- [31] Thompson J D, Higgins D G, Gibson T J. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice[J]. Nucleic Acids Research, 1994, 22(22): 4673–4680.
- [32] Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets[J]. Molecular Biology and Evolution, 2016, 33(7): 1870–1874.
- [33] Stamatakis A. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies[J]. Bioinformatics, 2014, 30(9): 1312–1313.
- [34] Ronquist F, Teslenko M, Van Der Mark P, et al. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space[J]. Systematic Biology, 2012, 61(3): 539–542.
- [35] Snyder J O. A catalogue of the shore fishes collected by the steamer Albatross about the Hawaiian Islands in 1902[J]. Bulletin of the United States Fish Commission, 1904, 22(1): 513–538.
- [36] Hebert P D N, Cywinska A, Ball S L, et al. Biological identifications through DNA barcodes[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2003, 270(1512): 313–322.
- [37] Reece J S, Bowen B W, Smith D G, et al. Comparative phylogeography of four Indo-Pacific moray eel species (Muraenidae) reveals comparable ocean-wide genetic connectivity despite five-fold differences in available adult habitat[J]. Marine Ecology Progress Series, 2011, 437: 269–277.
- [38] Huang W C, Nguyen V Q, Liao Teyu. First record of the snowflake-patched moray *Gymnothorax niphostigmus* Chen, Shao, & Chen, 1996 (Anguilliformes: Muraenidae) in Vietnam and its validity confirmed by DNA barcoding[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2018, 34(3): 687–690.
- [39] 范蔓桦, 杨杰鑫, 谢瑞琳, 等. 我国沿海裸胸鲂属鱼类DNA条形码及分子系统进化研究[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2020, 33(2):

59–65.

Fan Manhua, Yang Jieluan, Xie Ruilin, et al. DNA barcoding and molecular phylogenetic relationship of *Gymnothorax* species from China Sea[J]. Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2020, 33(2): 59–65.

The morphological and molecular phylogenetic studies of a new record *Gymnothorax* species in the coastal waters of China: *Gymnothorax mucifer*

Zhang Guoqing^{1,2,3}, Yang Jieluan¹, Li Peiyuan¹, Liang Xinyi¹, Liang Rishen^{1,2,3}, Lin Li^{1,2,3}, Li Qingqing^{1,2,3}

(1. College of Animal Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Guangdong Provincial Water Environment and Aquatic Products Security Engineering Technology Research Center, Guangzhou 510225, China; 3. Guangzhou Key Laboratory of Aquatic Animal Diseases and Waterfowl Breeding, Guangzhou 510225, China)

Abstract: In this study, four samples of *Gymnothorax mucifer* were collected from the fishery market of Xiamen City, Fujian Province during the year 2020 to 2021, which were newly recorded in the coastal waters of China. Previously, the species had only been recorded in Australia and Hawaii, and was considered to be a synonym of *Gymnothorax kidako*. Detailed morphological characteristics of four *G. mucifer* species were analyzed, and the molecular identifications as well as phylogenetic constructions were also carried out basing on DNA barcode COI gene in this study. The main distinguishing characteristics of *G. mucifer* were as follow: the colour of the body was yellowish brown, the front of the head was slightly purple, the whole body was covered with slender, sparse, irregular branch-liked brown marking and the markings became darker and thicker near the tail, forming clear net-liked patterns; the margin on the anal fin was white, and became serial pale blotches on posterior part of the tail; total length was 1.01 times of standard length and 8.00–8.39 times of head length; the maxillary teeth were 8–10 and dentary teeth were 14–20 on each side, both teeth were uniserial; the median inter maxillary teeth were slender and uniserial; the total vertebrae were 117–139 and mean vertebral formula was 6-47-130. Basing on the COI gene analysis, the genetic distance between *G. mucifer* and *G. kidako* was 0.074, which was greater than the value 2% (0.020) suggested by Herbert as minimum genetic distance value to distinguishing different species, revealing that the two species might be two independent species. Morphologically, *G. mucifer* could also be distinguished from *G. kidako* by certain external characteristic: the body markings of *G. mucifer* were slender, sparse and inconspicuous, the front of the head was slightly purple, and the white margin of the anal fin broke into series of pale blotches on posterior part of the tail; the markings of *G. kidako* were obvious and thick with darker colour, the front of the head was yellow-white, the white margin on the anal fin continuous to the tip of the tail. The results of the study provided a taxonomic basis for the systematic classification and the species list revision of the *Gymnothorax* fish in our country.

Key words: *Gymnothorax mucifer*; new record species; morphological characters; DNA barcoding