

doi: 10.12131/20180118

## 绿鳍马面鲀外部形态特征与染色体核型分析

李凤辉<sup>1,2</sup>, 刘琨<sup>1,2</sup>, 王鹏飞<sup>3,4</sup>, 边力<sup>1,5</sup>, 陈四清<sup>1,5</sup>,  
常青<sup>1,5</sup>, 葛建龙<sup>1,5</sup>, 周丽青<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东青岛 266071; 2. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 农业农村部外海渔业开发重点实验室, 广东广州 510300; 4. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300; 5. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东青岛 266071)

**摘要:** 该研究以黄海水域捕捞的131尾绿鳍马面鲀(*Thamnaconus septentrionalis*)为样本, 在活鲜状态下, 观察其外部形态特征并绘图; 统计各鳍条数量, 对可量比性状进行回归分析; 采用热滴片法, 制备染色体标本。结果发现: 1) 鱼体头部和背部在活体状态下呈深青灰色, 腹部呈浅青绿色, 趋于白色。死亡后, 体色加深, 转为墨绿色, 鳍条保持蓝绿色为其外部形态的明显特征。2) 体长为体高的1.5~3.3倍; 体长为头长的3.1~4.9倍; 头长为吻长的1.1~1.6倍。3) 全长( $T_l$ )/体长( $S_l$ )相关性显著( $R^2=0.96$ ), 雌雄无显著差异; 尾柄长/尾柄高、体长/尾柄长、头长/眼径、头长/眼间距相关性不显著, 雌雄差异大。4) 鳍式为背鳍Ⅱ, 36~39; 臀鳍34~37; 胸鳍14~15; 尾鳍1+10+1; 腹鳍退化为一个腹鳍棘。5) 鳞片绒状鳞, 由基板和骨质凸起组成; 具有体侧线和框下线。6) 绿鳍马面鲀二倍体染色体数目为 $2n=40$ , 染色体核型为 $2n=40t$ , 臂数 $NF=40$ , 均为端着丝粒染色体, 且无异型染色体。

**关键词:** 绿鳍马面鲀; 外部形态特征; 染色体核型

中图分类号: Q 959.486

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2019)03-0104-09

## Morphological structure and karyotype of *Thamnaconus septentrionalis*

LI Fenghui<sup>1,2</sup>, LIU Kun<sup>1,2</sup>, WANG Pengfei<sup>3,4</sup>, BIAN Li<sup>1,5</sup>, CHEN Siping<sup>1,5</sup>,  
CHANG Qing<sup>1,5</sup>, GE Jianlong<sup>1,5</sup>, ZHOU Liqing<sup>1</sup>

(1. *Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China*; 2. *National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education; Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding; Shanghai Engineering Research Center of Agriculture; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 3. *Key Laboratory of Open-Sea Fishery Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China*; 4. *South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China*; 5. *Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China*)

**Abstract:** We observed and drawn the external morphology of 131 *Thamnaconus septentrionalis* collected from the Yellow Sea, and counted the number of dorsal fin rays, caudal fin rays, anal fin rays as well as pectoral fin rays, so as to conduct a regression ana-

收稿日期: 2018-06-06; 修回日期: 2019-01-21

资助项目: 农业部外海渔业开发重点实验室开放课题 (LOF 2017-05); 中国水产科学研究院黄海水产研究所级基本科研业务费项目 (20603022017014, 20603022018004); 广东省渔业生态环境重点实验室开放基金 (FEEL-2017-10)

作者简介: 李凤辉(1987—), 男, 博士研究生, 从事水产生物繁殖生物学研究。E-mail: 18763903510@163.com

通信作者: 陈四清(1966—), 男, 研究员, 从事水产生物繁殖生物学研究。E-mail: chensq@ysfri.ac.cn

lysis of their morphological features. Besides, the chromosome specimens were made by hot titration method, and the karyotype was analyzed. The results are: 1) when alive, the head and back of *T. septentrionalis*' body were in pewter and the abdomen was in whitish turquoise; after death, the color turned dark green. The fins' remaining turquoise was an obvious feature of its external morphology. 2) The body length was 1.5–3.3 times and 3.1–4.9 times as long as the body height and the head length; the head length was 1.1–1.6 times as long as the proboscis length. 3) The variation of total length/standard length was minimum with the smallest difference between female and male and had the best correlation coefficient ( $R^2=0.96$ ). The values of caudal length/caudal depth, standard length/caudal length, head length/eye diameter and head length/eye intercal had the lowest correlation coefficient, and the difference between female and male was obvious. 4) The fin type was: dorsal fin II, 36–39; anal fin 34–37; tail fin 14–15, caudal fin 1+10+1, and the pelvic fin degenerated into pelvic fin spines. 5) The body was covered with a variety of fleece scales consisting of a base plate and a bony bulge, and the lateral lines were composed of trunk line and infraorbital line. 6) *T. septentrionalis* had 20 pairs of chromosomes ( $2n=40$ ) and the karyotype formula was  $2n=40t$ . All of them were telomeres without heteromorphic sex chromosomes.

**Key words:** *Thamnaconus septentrionalis*; morphological characteristics; karyotype

绿鳍马面鲀 (*Thamnaconus septentrionalis*) 隶属鲀形目、单角鲀科、马面鲀属<sup>[1]</sup><sup>[3]</sup>，俗称剥皮鱼、马面鱼、橡皮鱼、扒皮鱼等，是我国北方近海捕捞经济鱼类<sup>[2]</sup>。作为一种常见的鲀形目鱼种，绿鳍马面鲀的外部形态有一定的普遍性，早期《东海鱼类志》<sup>[3]</sup>、《南海鱼类志》<sup>[4]</sup>、《福建鱼类志》<sup>[5]</sup>和《中国动物志》<sup>[6]</sup>等对绿鳍马面鲀的外部形态有一定的记载，近期孟宪菊和张利民<sup>[7]</sup>、温海深等<sup>[8]</sup>和张家男<sup>[1]</sup><sup>[35]</sup>对其外部形态有过描述，但是缺少清晰的外部形态图片和雌雄外部形态差异等细节方面的研究。

形态特征是物种遗传的外在表现形式，也是遗传多样性最直观的表现形式，更是分类的重要依据<sup>[9]</sup>。而染色体作为遗传物质的载体，其数目和结构在不同物种中都存在差异<sup>[10]</sup>。将外部形态与染色体相关联来确认鱼种的分类地位，对于研究鱼类的遗传变异、系统演化等均有重要意义。早期王金星和赵小凡<sup>[11]</sup>对绿鳍马面鲀染色体核型有过相关表述，但是缺少清晰的染色体核型图片佐证，本研究通过热滴片法提供了清晰完整的染色体核型图片，为进一步探讨绿鳍马面鲀染色体核型提供参考，并为该鱼种的种质特征及其遗传育种、种质标准以及进化生物学研究提供基础资料。本研究通过绿鳍马面鲀的外部形态特征与其染色体核型进行对比分析，以期丰富绿鳍马面鲀的形态学特征并为其种质资源提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验样品于2017年8月取自青岛金沙滩水产开发有限公司，在琅琊近海捕获的131尾野生绿鳍

马面鲀 (体质量 88.82~806.30 g, 体长 20.20~36.55 cm)，采样地点为 120°18'36"E~120°51'36"E, 36°4'48"N~36°21'36"N。由于缺乏相关研究，不能确定体质量与月(年)龄的准确对应关系。

### 1.2 方法

1.2.1 外部形态观察 对实验样本的体型、体色、鼻、眼、鳍条的形态和位置分别进行测量与记录，统计其形态规律并绘图，区分雌雄。取头部、背部、腹部、尾部和腹鳍棘与肛门之间的鱼皮样本在解剖镜下观察鳞片形态。按照鱼类种质研究<sup>[12]</sup>标准，添加第一背鳍与第二背鳍间距 ( $D_1$ ) 作为绿鳍马面鲀特定参考依据，测量并计算全长/体长 ( $T_1/S_1$ )、体长/体高 ( $S_1/B_d$ )、体长/头长 ( $S_1/H_1$ )、头长/吻长 ( $H_1/P_1$ )、吻长/体长 ( $P_1/S_1$ )、尾柄长/尾柄高 ( $C_1/C_d$ )、体长/尾柄长 ( $S_1/C_1$ )、头长/眼间距 ( $H_1/E_1$ )、头长/眼径 ( $H_1/E_d$ ) 和体长/背鳍间距 ( $S_1/D_1$ ) 等比值及其相关方程，解剖对应样本确认雌雄；称质量 (电子天平型号：LT1002B 电子天平，[苏]制 00000517 号-1, 0.01~1 000 g；常熟市天量仪器有限公司) 并进行回归分析；统计背鳍鳍条、胸鳍鳍条、臀鳍鳍条和尾鳍鳍条数量。实验数据用 Excel 2010 求相关方程和  $R^2$ 。

1.2.2 染色体标本制备 参照银鲳鱼苗染色体标本制备方法<sup>[13]</sup>，剪取 90 日龄绿鳍马面鲀幼鱼 [体质量 ( $4.33\pm0.74$ ) g, 体长 ( $5.73\pm0.31$ ) cm] 鳍条，用热滴片法制备染色体核型样本。利用 NIKON 光学显微镜在 100 倍镜下对分散较好的染色体中期分裂相进行显微拍照并统计染色体数目，再从中选取染色体收缩适中且轮廓清晰的 10 个中期分裂相放大测量，并用下式计算相对长度和臂比。

$$\text{相对长度} = (\text{实测染色体长度}/\text{全部染色体长度总和}) \times 100$$

$$\text{臂比} = \text{长臂长度}/\text{短臂长度}$$

求出它们的平均数和标准差, 按 Levan 等<sup>[14]</sup>确定的标准进行染色体分类, 得出绿鳍马面鲀的染色体核型公式。

## 2 结果

### 2.1 外部特征

绿鳍马面鲀体型为椭圆形, 侧扁。体长为体高的1.5~3.3倍。头部侧扁近似三角形, 体长为头长的3.1~4.9倍。吻长突起, 头长为吻长的1.1~1.6倍。在活体状态下, 体背部浅紫色, 侧下方浅灰色, 到腹部由浅绿色过渡为白色。体侧面有3~4条斜向下色块。口小端位, 唇部发达, 门状齿。眼睛中大, 略外凸。鼻孔每侧2个, 分为进水孔与出水孔, 位于眼睛正前方。肛门位于臀鳍前方, 相当于第二背鳍起始竖直下方。鳃裂位于眼睛下方, 鳃裂约与眼间距等长。第一背鳍退化为一大一小2根背鳍棘, 较小背鳍棘隐藏于与背部相连的鳍膜中。第二背鳍与第一背鳍有一定间距, 胸鳍呈掌状, 背鳍、臀鳍和胸鳍棘条呈蓝绿色, 鳍条间有鳍膜相连。腹鳍退化为一短鳍棘, 与腰带骨相连, 可以单独活动, 也可随腰带骨一起活动。体背中部最厚。外部形态手绘图与实物图见图1、图2。绿鳍马面鲀在鲜体状态下侧线并不明显, 活体状态可观察到体侧线(TRL)和框下线(IOL)。以眼部为中心, 向吻部延伸出框下线, 向尾柄处延伸呈体侧线, 同时体侧线在体中部弯曲向上拱起, 再向下延伸至尾部。鱼体侧线见图3。

除唇部全身被细小绒鳞, 这是一种鳞片较小(0.5 mm)的骨鳞, 分为基板与骨质凸起两部分, 基板呈不规则形状, 相邻鳞片依次覆盖, 以胶原纤维

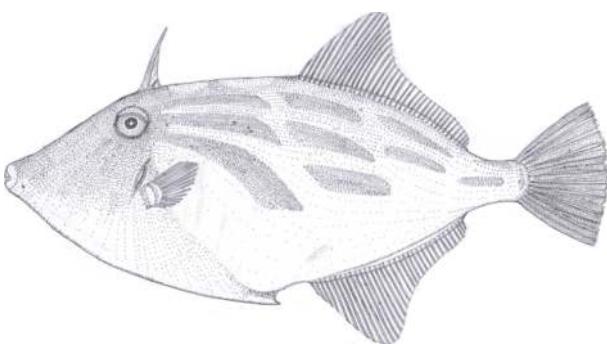


图1 绿鳍马面鲀外部形态

Fig.1 External morphological features of *T. septentrionalis*



图2 绿鳍马面鲀

Fig.2 *T. septentrionalis*

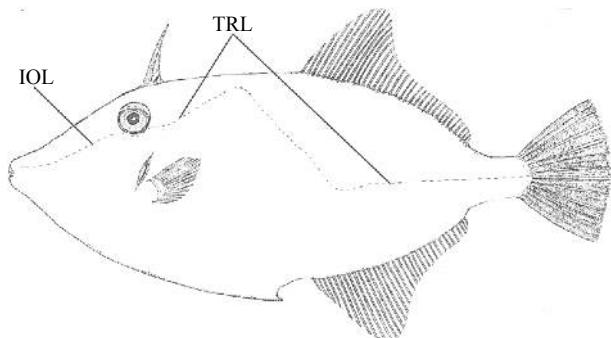


图3 绿鳍马面鲀侧线图

IOL. 框下线; TRL. 体侧线

Fig.3 Lateral line of *T. septentrionalis*

IOL. infraorbital line; TRL. trunk line

束缚, 胶原纤维上随机分布墨绿色素点; 骨质突起一般呈单排或双排立体分布, 中间高两头低。在解剖镜下观察, 样本的头部、背部、腹部、尾部和腹鳍棘与肛门之间的各个部位鳞片形态均有区别。其头部鳞片基板近似椭圆形, 骨质凸起单双排, 数量3~5根(表1); 背部鳞片基板呈长椭圆形, 骨质凸起单双排, 相对头部细长且有弧度, 数量6~7根; 腹部鳞片基板形状与背部类似, 相对头部细长, 大多呈单排分布, 数量4~7根; 腹鳍-肛门鳞片基板狭长, 骨质凸起单排竖直且细长, 凸起数量6~10根; 尾部鳞片基板较小, 骨质凸起与头部类似, 数量5~6根。具体各部位鳞片形态见图4。

雌雄鱼体在外部形态方面没有明显差异, 雄性在头部背部相对雌性略微凸起, 并且这种现象在体长超过260 mm时愈发明显(图4)。

### 2.2 可量比例与可数性状

2.2.1 可量比例性状 实验测量和计算获得的可量性状特征数据见表2。

1) 实验样本的可量性状比较。在各个比较项目中全长/体长的总样本和雌雄样本标准偏差均为0.02, 最小, 其 $R^2$ 均大于0.80, 同时体长/背鳍间

表1 绿鳍马面鲀鳞片形态

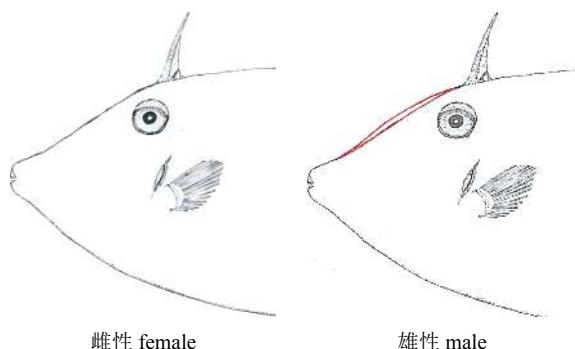
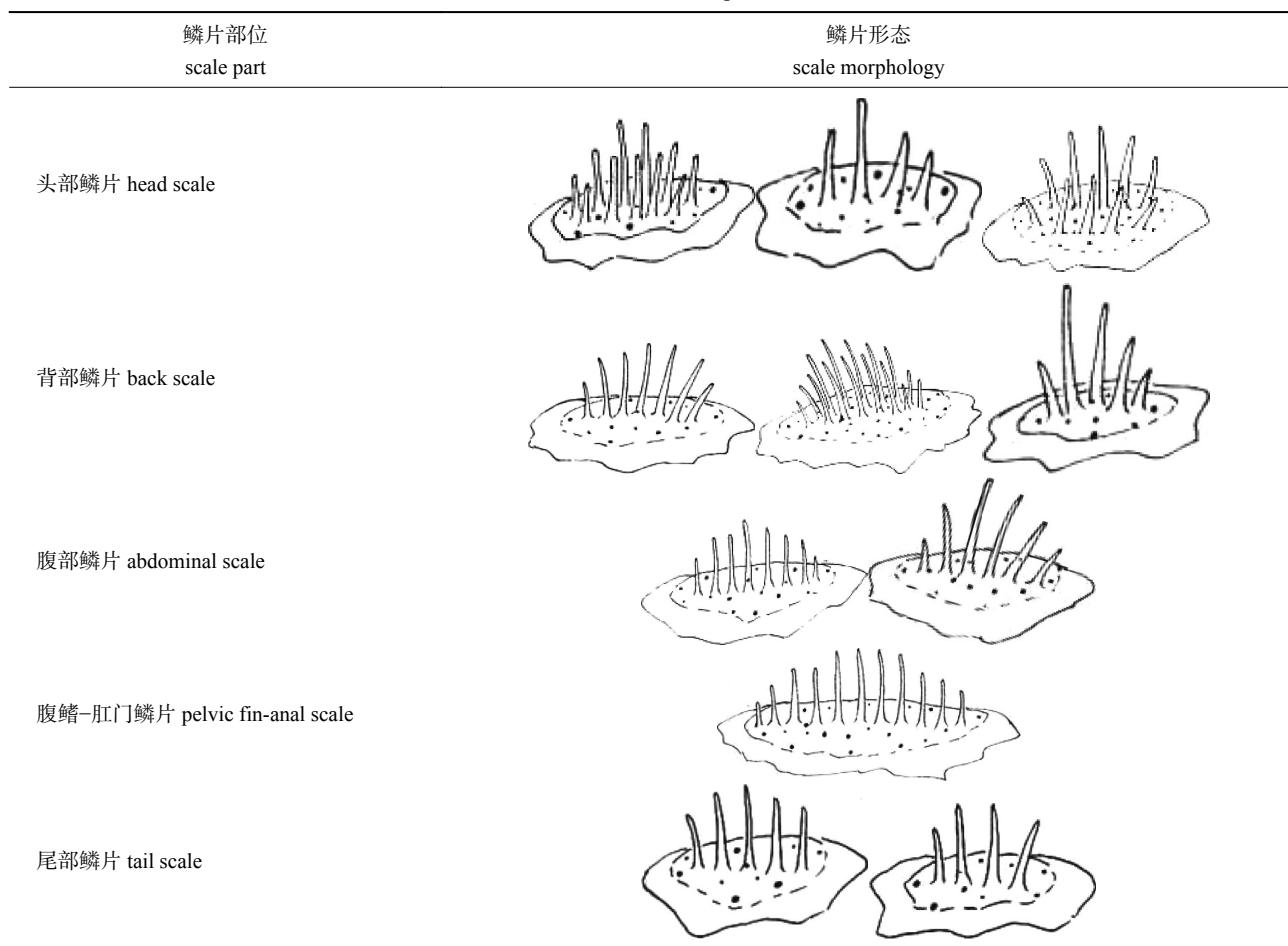
Tab.1 Scales forms of *T. septentrionalis*

图4 雌雄头背部形态差异

红色标记为雄性变化区域

Fig.4 Morphological characteristics of back side of head between female and male *T. septentrionalis*

The male's changed area is marked in red.

距的  $R^2$  大于 0.70, 变动规律具有一致性且雌雄差异小; 体长/尾柄长的总样本和雌雄样本标准差均大于 0.51。雄性样本的体长/尾柄长、头长/眼间距和雌性样本头长/眼径的标准偏差分别为 0.65、

0.47 和 0.48, 其相关方程  $R^2$  均小于 0.5。体长/尾柄长、头长/眼间距和头长/眼径变动无明显相关性, 而体长/头长的相关性较好, 产生这种结果的原因可能是尾柄长、吻长和眼径在成长到一定程度后不随个体增长而增长。

2) 雌雄样本与总样本间的比较。除体长/尾柄长、头长/吻长、头长/眼径、头长/眼间距 4 项比值与总样本 4 项比值差距较大外, 其余各项比值与总样本各项比值均较接近, 相关方程  $R^2$  也符合此规律。另外, 雄性样本  $R^2$  均大于总样本  $R^2$ 。由于本实验总样本中雌性样本数略多于雄性样本数, 故雌性样本各项相关性较好, 因此  $R^2$  较高。

3) 绿鳍马面鲀体长与体质量关系为 ( $W$  代表体质量,  $S_l$  代表体长):

$$W=0.3351S_l^2+14.699S_l-261.59, R^2=0.72$$

$$\text{雌性}, W=2.5919S_l^2-78.288S_l+694.91, R^2=0.80$$

$$\text{雄性}, W=-0.1729S_l^2+33.919S_l-444.47, R^2=0.73$$

表2 绿鳍马面鲀的可量性状

Tab.2 Measurable parameters ratio of *T. septentrionalis*

项目 item		平均值±标准差 $\bar{X} \pm SD$	相关方程 correlation equation	$R^2$
全长/体长 $T_l/S_l$	全体	1.15±0.02	$S_l=0.0203T_l^2-0.1539T_l+12.76$	0.96
	♀	1.19±0.02	$S_l=0.0066T_l^2+0.499T_l+5.059$	0.95
	♂	1.15±0.02	$S_l=0.0279T_l^2-0.5034T_l+16.7$	0.96
体长/体高 $S_l/B_d$	全体	2.65±0.21	$B_d=0.0088S_l^2+0.032S_l+3.412$	0.66
	♀	2.73±0.21	$B_d=0.020S_l^2-0.3408S_l+6.393$	0.70
	♂	2.69±0.20	$B_d=0.0118S_l^2-0.1949S_l+6.678$	0.62
体长/头长 $S_l/H_l$	全体	3.60±0.26	$H_l=0.0101S_l^2-0.2314S_l+6.209$	0.66
	♀	3.72±0.23	$H_l=0.0142S_l^2-0.4112S_l+8.081$	0.53
	♂	3.16±0.13	$H_l=0.0081S_l^2-0.1386S_l+5.239$	0.74
头长/吻长 $H_l/P_l$	全体	1.32±0.07	$P_l=-0.0107H_l^2+0.69H_l+0.787$	0.76
	♀	1.22±0.06	$P_l=-0.0058H_l^2+0.56H_l+1.337$	0.57
	♂	1.31±0.05	$P_l=-0.029H_l^2+0.944H_l-0.05$	0.82
尾柄长/尾柄高 $C_l/C_d$	全体	1.99±0.23	$C_d=0.2477C_l^2-1.562C_l+4.0896$	0.39
	♀	1.88±0.21	$C_d=0.2561C_l^2-1.533C_l+3.902$	0.28
	♂	2.02±0.22	$C_d=0.251C_l^2-1.6004C_l+4.1772$	0.58
体长/尾柄长 $S_l/C_l$	全体	6.35±0.59	$C_l=0.0138S_l^2-0.492C_l+7.5179$	0.54
	♀	6.83±0.51	$C_l=0.0261S_l^2-1.0013S_l+12.79$	0.47
	♂	6.37±0.62	$C_l=0.0125S_l^2-0.4355S_l+6.919$	0.58
头长/眼径 $H_l/E_d$	全体	4.60±0.45	$E_d=-0.028H_l^2+0.367H_l+0.074$	0.12
	♀	4.23±0.31	$E_d=-0.053H_l^2+0.686H_l-0.898$	0.22
	♂	4.71±0.52	$E_d=-0.018H_l^2+0.240H_l+0.502$	0.05
头长/眼间距 $H_l/E_i$	全体	3.56±0.35	$E_i=-0.014H_l^2+0.196H_l+0.974$	0.35
	♀	3.24±0.30	$E_i=0.0097H_l^2-0.0821H_l+1.7833$	0.02
	♂	3.62±0.38	$E_i=-0.013H_l^2+0.172H_l+1.085$	0.02
体长/背鳍间距 $S_l/D_l$	全体	3.52±0.17	$D_l=-0.0103S_l^2+0.726S_l-4.697$	0.81
	♀	3.42±0.16	$D_l=-0.0131S_l^2+0.8715S_l-6.41$	0.83
	♂	3.55±0.16	$D_l=-0.0083S_l^2+0.625S_l-3.53$	0.82

注:  $T_l$ 、 $S_l$ 、 $B_d$ 、 $H_l$ 、 $P_l$ 、 $C_l$ 、 $C_d$ 、 $E_i$  和  $E_d$  分别代表全长、体长、体高、头长、吻长、尾柄长、尾柄高、眼间距、眼径和背鳍间距。 $n=100$ ,  $n_2=56$ ,  $n_3=75$

Note:  $T_l$ ,  $S_l$ ,  $B_d$ ,  $H_l$ ,  $P_l$ ,  $C_l$ ,  $C_d$ ,  $E_i$  and  $E_d$  represent total length, standard length, body depth, head length, proboscis length, caudal length, eye interal and eye diameter, respectively.

2.2.2 可数性状特征 绿鳍马面鲀各部位鳍条数量见表3。雌雄样本的胸鳍鳍条与尾鳍棘条数目与总样本保持一致。尾鳍呈扇形且不分叉, 分为上下两根棘条与中间围住的10束鳍条, 鳍条间有鳍膜相连, 每束鳍条有2~4根鳍条; 胸鳍鳍条(14~

15)、背鳍鳍条(36~39)与臀鳍鳍条(34~37)数目有一定变化范围且雌雄具有相同的变化趋势。

### 2.3 绿鳍马面鲀染色体核型

2.3.1 染色体数目确定 观测到的染色体核型见图5-a。对150个中期分裂相进行染色体计数, 结

表3 绿鳍马面鲀的可数性状

Tab.3 Observed numbers of *T. septentrionalis*

n=100

项目 item		背鳍鳍条 dorsal fin ray	尾鳍鳍条 caudal fin ray	臀鳍鳍条 anal fin ray	胸鳍鳍条 pelvic fin ray
数值范围 interval	全体	36~39	1+10+1	34~37	14~15
	♀	36~39	1+10+1	34~36	14~15
	♂	36~39	1+10+1	34~37	14~15
平均值±标准差 $\bar{X} \pm SD$		37.5±1.60	1+10+1	36±1.52	15±0.33

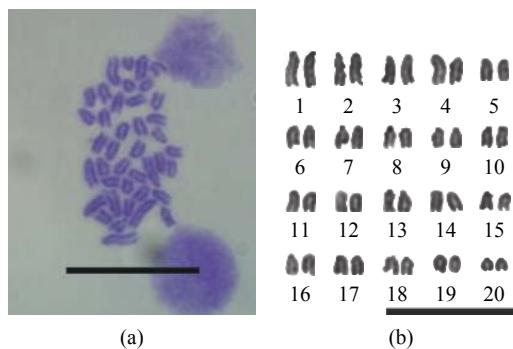


图5 绿鳍马面鲀中期分裂相染色体及核型

a. 具有同形染色体绿鳍马面鲀中期分裂相染色体; b. 具有同形染色体绿鳍马面鲀染色体核型; 比例尺为 20  $\mu\text{m}$

Fig.5 Metaphase chromosome and karyotype of *T. septentrionalis*

a. metaphase chromosomes of pomfret with homotypic sex chromosomes; b. karyotype of pomfret with homotypic sex chromosome; scale bar=20  $\mu\text{m}$

果见表4。染色体数为  $2n \leq 38$  占 1.3%,  $2n=39$  占 3.3%,  $2n=40$  占 89.3%,  $2n=41$  占 3.3%,  $2n \geq 42$  占 4.0%, 因此确定染色体众数为 40。

**2.3.2 绿鳍马面鲀染色体相对长度分析结果** 染色体相对长度和臂比值统计结果见表5。所有染色体均为同型染色体(图5-b)。根据 Levan 等<sup>[14]</sup>确定的标准进行染色体分类, 1~20号染色体臂比值在 7.0~ $\infty$ 范围内, 属端部着丝粒染色体。因此确认绿鳍马面鲀染色体核型为  $2n=40t$ , 臂数 NF=40。

### 3 讨论

#### 3.1 绿鳍马面鲀外部形态特征

早在 1962 年的《南海鱼类志》<sup>[4]</sup>、1963 年的《东海鱼类志》<sup>[3]</sup>、1984 年的《福建鱼类志》<sup>[5]</sup> 和在 2002 年的《中国动物志》<sup>[6]</sup> 中分别对绿鳍马面鲀的外部形态进行过描述, 其外部形态数据与本研究存在差异(表6)。1) 在第二背鳍、臀鳍和胸鳍数

量方面: 《中国动物志》<sup>[6]</sup> 的记述与本研究基本吻合, 在体长/体高、体长/头长和头长/吻长 3 个指标方面, 本研究比 4 个早期鱼类志的数值涵盖范围广, 造成以上差异推测是由于各鱼类志的取样地点不同, 有一定的地域差异性, 另外第二背鳍末端、臀鳍末端和胸鳍末端的最后几根鳍条较小, 会因为环境因素造成缺失, 造成了各部位鳍条数量存在差异。2) 4 个鱼类志样本数量(6~35 尾)较少, 根据《南海鱼类志》<sup>[4]</sup> 中提到的 200 mm 以上绿鳍马面鲀达到性成熟, 而 4 个鱼类志中所测量的样本多数在 200 mm 以下, 本研究的样本数量为 131 尾且体长范围在 20.20~36.55 cm, 可较好地分析绿鳍马面鲀成鱼外部形态特征。3) 4 个鱼类志对绿鳍马面鲀的体色描述差异较大, 而本研究发现, 绿鳍马面鲀在活体状态下体色会变化, 这一现象在其死后一段时间依然存在, 分别从活体的蓝绿色变成死后的灰白和深褐色。其体色的变化机制有待进一步研究。

有关其侧线分布, 在《南海鱼类志》<sup>[4]</sup> 中提到: 侧线细弱, 稍后方显出, 在尾部侧中位, 在肛门上方急剧折向前上方, 而后向前延伸达眼附近, 其他分支不明显。《福建鱼类志》<sup>[5]</sup>、《东海鱼类志》<sup>[3]</sup> 和《中国动物志》<sup>[6]</sup> 没有提及侧线。而本研究发现, 受体色变化影响, 绿鳍马面鲀的侧线观察较为困难, 在活体状态下可较明显观察到体侧线和框下线, 而死后侧线会逐渐消失。绿鳍马面鲀侧线分布及其消失原因有待进一步探讨。

鳞片作为鱼体第一道防线, 其作用是减少游动产生的摩擦力和维持体型骨架, 同时还具有预防病原侵害的功能<sup>[15]</sup>, 也是研究鱼类分类、生存环境和生长特征的重要依据<sup>[16]</sup>。本研究发现绿鳍马面鲀鳞片形态复杂多样, 除唇部全身被细小绒鳞, 具体结构为基板加成排状骨质凸起, 没有骨鳞的鳞焦、鳞嵴和鳞沟等特征, 这与苏锦祥和周云昕<sup>[17]</sup> 在电镜

表4 绿鳍马面鲀二倍体染色体计数结果

Tab.4 Diploid chromosome counts of *T. septentrionalis*

项目 item	染色体数目 number of chromosome					总和 total
	≤38	39	40	41	≥42	
分裂项数目 number of metaphase	2	3	134	5	6	150
所占百分比/% proportion	1.3	3.3	89.3	3.3	4.0	100

注: 中期分裂相二倍体染色体众数  $2n=40$ Note: Model diploid chromosome number is  $2n=40$ .

表5 绿鳍马面鲀中期染色体相对长度和臂比值

Tab.5 Relative length of metaphase chromosome of *T. septentrionalis*

染色体序号 chromosome No.	平均相对长度±标准差 average relative length±SD	平均臂比值±标准差 average arm ratio±SD	染色体类型 chromosome type
1	4.26±0.07	∞	t
2	4.08±0.09	∞	t
3	3.62±0.10	∞	t
4	3.58±0.05	∞	t
5	3.27±0.06	∞	t
6	2.90±0.04	∞	t
7	2.70±0.32	∞	t
8	2.60±0.21	∞	t
9	2.50±0.12	∞	t
10	2.44±0.11	∞	t
11	2.28±0.15	∞	t
12	2.21±0.16	∞	t
13	2.14±0.09	∞	t
14	2.06±0.06	∞	t
15	2.04±0.13	∞	t
16	2.00±0.04	∞	t
17	1.98±0.09	∞	t
18	1.90±0.05	∞	t
19	1.84±0.03	∞	t
20	1.76±0.07	∞	t

注: t. 端部着丝粒染色体

Note: t. telocentric

下扫描的绿鳍马面鲀鳞片形态一致,也与《南海鱼类志》<sup>[4]</sup>和《福建鱼类志》<sup>[5]</sup>描述的“鳞细小,基板上有成排小刺”相符。在《中国动物志》<sup>[6]</sup>中,具体到头部、躯干背部、躯干腹部、腹鳍棘与肛门之间和尾部各个位置的鳞片形态与本研究基本相符。

通过对样本的外部形态进行观察,本研究认为绿鳍马面鲀在外部形态方面没有明显的雌雄差异,只在成鱼阶段头部背部雄性相对雌性会略微凸起。该特征在《南海鱼类志》中有提及<sup>[4]</sup>。而本研究发现该特征在体长200 mm以下不明显,在200 mm

以上会随个体增大而逐渐明显。由此判断,其头背部凸起的程度可以作为绿鳍马面鲀成鱼雌雄区别的标准。

### 3.2 绿鳍马面鲀核型分析

开展鱼类染色体多样性研究,对鱼类的分类、进化和不同鱼种的相关性有重要意义,可为鱼类遗传育种提供细胞遗传学依据<sup>[18]</sup>。本研究参照银鲳鱼苗染色体标本制备方法<sup>[13]</sup>,避免了多余的物理伤害,确保在其活力正常的前提下获得实验样本。同时鳃作为鱼的呼吸器官,相比鳍、头肾等其他器

官, 与水体中的秋水仙素交换频率更高, 可以更好地发挥秋水仙素的作用。目前已报道的海洋鱼类染色体核型中,  $2n=48$  的核型数目占 72%<sup>[19]</sup>。本研究结果表明, 绿鳍马面鲀染色体数目  $2n=40$ , 数量相对较少, 核型构造较为简单, 且染色体臂比值分析中, 染色体形态稳定。小岛吉雄<sup>[20]</sup>认为, 越处于上位类群, 染色体数目变异范围分布越收敛, 端部

着丝点染色体越多, 臂数越少。绿鳍马面鲀染色体全为端部着丝点, 臂数为 40, 符合典型的高位类群鱼类核型特征。而从进化角度, 臂数的变化从低位类群到高位类群表现为逐渐升高的趋势<sup>[21]</sup>, 绿鳍马面鲀相对其他鲀形目鱼类, 染色体核型简单, 臂数较少, 因此推测绿鳍马面鲀有一定的进化优势(表 7)。

表6 绿鳍马面鲀外部形态对比

Tab.6 Comparison of external morphological features among different kinds of *T. septentrionalis*

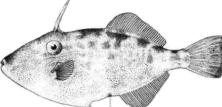
参考图片 reference picture	形态特征 morphological features
	体型长椭圆形, 侧扁, 背腹缘浅弧状, 体长为体高的 2~2.5 倍, 尾柄短, 长为高的 1~1.2 倍, 头中等大, 侧面近似三角形, 头长为吻长的 1.2~1.4 倍, 吻长为头长的 3/4。体背侧为褐色。鳍式: 背鳍 II; 34~35; 臀鳍 32~33; 胸鳍 14; 尾鳍 1+10+1 (测量标本 8 尾, 体长: 96.0~150.0 mm) <sup>[4]</sup>
	体侧扁, 长椭圆形; 体长为体高的 2.1~2.6 倍, 为头长的 3.2~3.5 倍。尾柄长大于尾柄高。头侧视三角形, 上缘斜直; 头长为眼径的 3.7~5.7 倍, 为吻长的 1.2~1.4 倍, 吻长。头长为眼间隔的 3.4~4.1 倍。口小, 端位, 牙门齿状。舌不游离。鳃孔较大, 位于眼后半部下方。体侧具不规则斑块, 鳞细小, 无侧线。鳍式: 背鳍 II, 37~39; 臀鳍 34~36; 胸鳍 15~16; 尾鳍 1+10+1 (测量标本 6 尾, 体长: 131.0~281.0 mm) <sup>[3]</sup>
	体长椭圆形, 侧扁, 尾柄短而侧扁。头较长, 侧视近三角形, 背缘稍微隆起, 吻长。眼中大, 上侧位。眼间隔圆突。鼻每侧两个, 位于眼前方。口小, 前位。下颌稍突出。唇较厚, 鳃孔较大, 中侧位, 斜裂。体蓝灰色, 幼鱼体上散步一些云状暗色斑纹, 有时排成数纵行, 成鱼斑纹不明显。鳍式: 背鳍 II, 35~37; 臀鳍 33~35; 胸鳍 13~16; 尾鳍 1+10+1 (测量标本 7 尾, 体长: 85.0~248.0 mm) <sup>[5]</sup>
	体长为体高 2.7~3.4 倍, 为头长的 3.3~3.8 倍。头长为吻长的 1.2~1.5 倍, 为眼径的 3.5~5.4 倍。体稍延长, 长椭圆形, 侧扁, 头侧视近似三角形。吻长大, 尖突。眼中大, 上侧位。口小, 前位。鳃孔斜裂, 位于眼后半部下方。体蓝灰色, 成鱼体上斑纹不明显, 第一背鳍灰褐色, 第二背鳍、臀鳍、胸鳍和尾鳍为绿色。鳍式: 背鳍 II, 37~39; 臀鳍 34~36; 胸鳍 13~16; 尾鳍 1+10+1 (测量标本 35 尾, 体长: 127.5~292.0 mm) <sup>[6]</sup>
	体背部浅紫色, 侧下方浅灰色或浅绿色。体侧面有 3~4 条斜向下断续深色条纹。体型椭圆形, 侧扁。体长为体高的 1.5~3.3 倍。头部近似三角形, 体长为头长的 3.1~4.9 倍。吻长突, 头长为吻长的 1.1~1.6 倍。口小端位, 门状齿。眼睛中大且外凸。鼻孔每侧 2 个。鳃裂位于眼睛下方, 约与眼间距等长。胸鳍掌状。背鳍、臀鳍和胸鳍鳍条呈蓝绿色。腹鳍退化为一短棘。鳍式: 背鳍 II, 36~39; 臀鳍 34~37; 胸鳍 14~15; 尾鳍 1+10+1 (测量标本 131 尾, 体长: 202.0~365.5 mm) 本研究

表7 鲀形目鱼类染色体核型对比

Tab.7 Karyotype contrast among different Tetraodontiformes species

种类 species	染色体核型 karyotype	臂数 NF
黄鳍东方鲀 <sup>[23]</sup> <i>Takifugu xanthopterus</i>	$2n=12m+8sm+24t$	64
菊黄东方鲀 <sup>[24]</sup> <i>Takifugu flavidus</i>	$2n=14m+6sm+24t$	64
条纹东方鲀 <sup>[25]</sup> <i>Takifugu xanthopterus</i>	$2n=14m+6sm+24t$	62
暗纹东方鲀 <sup>[25]</sup> <i>Takifugu obscurus</i>	$2n=14m+6sm+24t$	62
丝背细鳞鲀 <sup>[25]</sup> <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	$2n=1m+32t$	36
红鳍东方鲀 <sup>[25]</sup> <i>Takifugu rubripes</i>	$2n=12m+6sm+26t$	62/64
绿鳍马面鲀 <i>Thamnaconus modestus</i>	$2n=40t$	40

注: m. 中部着丝粒染色体; sm. 亚中部着丝粒染色体; t. 端部着丝粒染色体

Note: m. metacentric; sm. submetacentric; t. telocentric

由于没有观察到异型染色体，在外部形态方面，观察到绿鳍马面鲀在200 mm以上时其头部有不明显的雌雄差异。因此推测决定绿鳍马面鲀性别的基因在同源染色体上，并且在成长到一定程度时能观察到较明显的雌雄差异。本研究结果与王金星和赵小凡<sup>[11]</sup>、喻子牛和戴继勋<sup>[22]</sup>的研究结果一致，但之前并没有清晰的染色体核型图片。本研究在进一步验证绿鳍马面鲀核型的同时，确定了其染色体核型图片，为进一步研究鲀形目鱼类染色体核型提供了依据。

#### 4 总结

本研究通过绿鳍马面鲀染色体核型分析与外部形态特征分析，在各个鱼类志对形态特征的总结与前人对其染色体核型分析的基础上，进一步确认了绿鳍马面鲀的外部形态特征与染色体核型的相关性，为该鱼种的鱼种确认提供了详细的基础数据。

#### 参考文献：

- [1] 张家男. 绿鳍马面鲀的生殖调控与苗种繁育技术 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 3, 35.
- [2] 郑元甲, 甘金宝, 朱善央, 等. 东海绿鳍马面鲀产卵群体结构和产卵场调查 [J]. 水产学报, 1987, 11(2): 121-134.
- [3] 朱元鼎. 东海鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1963: 550-551.
- [4] 中国科学院. 南海鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1962: 1047-1048.
- [5] 福建鱼类志编写组. 福建鱼类志 (下卷) [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1984: 573-574.
- [6] 中国科学院中国动物志委员会. 中国动物志 (硬骨鱼纲鲀形目海蛾鱼目喉盘鱼目鮟鱇目) [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 129-130.
- [7] 孟宪菊, 张利民. 绿鳍马面鲀的生物学特性及人工养殖前景 [J]. 齐鲁渔业, 2009, 26(6): 47-48.
- [8] 温海深, 张家男, 袁玉仁, 等. 野生绿鳍马面鲀人工驯养与繁殖生物学的初步研究 [J]. 现代渔业信息, 2010, 25(11): 13-16.
- [9] SISTROM M, EDWARDS D L, DONNELLAN S, et al. Morphological differentiation correlates with ecological but not with genetic divergence in a *Gehyra gecko* [J]. *J Evol Biol*, 2012, 25(4): 647-660.
- [10] 田媛, 牟希东, 汪学杰, 等. 双须骨舌鱼形态特征与核型分析 [J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(2): 173-177.
- [11] 王金星, 赵小凡. 鲔形目三种鱼的染色体研究 [J]. 动物学研究, 1993, 14(4): 345-346, 397.
- [12] 李思发. 中国淡水主要养殖鱼类种质研究 [M]. 上海: 上海科学技出版社, 1998: 183-184.
- [13] 刘琨, 周丽青, 李凤辉, 等. 银鲳 (*Pampus argenteus*) 染色体标本制备及其核型研究 [J]. 渔业科学进展, 2017, 38(6): 64-69.
- [14] LEVAN A, FREDGA K, SANDBERG A A. Nomenclature for centromeric position on chromosomes [J]. *Hereditas*, 1964, 52(2): 201-220.
- [15] 严太明, 唐仁军, 刘小帅, 等. 齐口裂腹鱼鳞片发生及覆盖过程研究 [J]. 水生生物学报, 2014, 38(2): 298-303.
- [16] 谢林, 方静. 齐口裂腹鱼鳞片表面结构的扫描电镜观察 [J]. 电子显微学报, 2003, 22(6): 506-507.
- [17] 苏锦祥, 周云昕. 鲈科鳞片构造的扫描电镜观察和比较研究 [J]. 动物学报, 1988(2): 110-117.
- [18] POLTEV Y N. Some issues related to reproduction of Pacific cod, *Gadus macrocephalus* in waters of the eastern coast of the northern Kuril Islands and the southern extremity of Kamchatka [J]. *J Appl Ichthyol*, 2008, 48(4): 345-355.
- [19] 赵金良. 我国海水鱼和咸淡水鱼染色体组型研究概述 [J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(4): 344-347.
- [20] 小岛吉雄. 水生生物及遗传育种 [M]. 东京: 水交出版社, 1979: 46-62.
- [21] 李康, 桂建芳, 洪云汉, 等. 中国鲤科鱼类染色体组型的研究 V. 亚科 10 种鱼的染色体组型 [J]. 武汉大学学报 (自然科学版), 1984(3): 113-122.
- [22] 喻子牛, 戴继勋. 五种经济海水鱼类的染色体研究 [J]. 青岛海洋大学学报 (自然科学版), 1996, 26(1): 44-48.
- [23] 舒琥, 刘锋, 蔡晓阅, 等. 广东近海 11 种经济鱼类的染色体组型研究 [C]//广东省动物学会. 第五届广东、湖南、江西、湖北四省动物学学术研讨会论文摘要汇编. 广州: 广东省动物学会, 2008: 3.
- [24] 范立民, 胡庚东, 陈家长, 等. 菊黄东方鲀核型的研究 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2005, 24(1): 70-72.
- [25] 陈家长, 胡庚东, 尤洋, 等. 三种东方鲀核型的研究 [J]. 中国畜禽种业, 2005(7): 46-48.