



# 中国特有金线鲃属鱼类

—— 物种多样性、洞穴适应、系统演化和动物地理

赵亚辉 张春光 著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

Q959.46  
Z342

-5

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

# 中国特有金线鲃属鱼类

——物种多样性、洞穴适应、  
系统演化和动物地理

赵亚辉 张春光 著

(国家科技支撑计划项目——全国物种  
资源预测预警关键技术与示范 (2008BAC39B6)  
国家自然科学基金委员会 中华人民共和国科学技术部 资助)

Q959.46

Z342

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书记述了中国硬骨鱼纲鲤形目鲤科金线鲃属鱼类的物种多样性、洞穴适应性、系统演化和动物地理,按总论和各论两个部分论述。总论部分讨论了洞穴鱼类的概念、多样性和相关研究,金线鲃属鱼类研究的回顾与展望,形态与适应,分类和物种多样性,分布格局,种间关系和系统发生,物种分演机制、演化过程和分布格局的形成,生物学特性及资源保护等;各论部分对已知种进行了分类学厘定,共记述了49种,每种均含同物异名、形态描述、形态特征图和分布图。书后附有参考文献。

本书是研究中国特有属——金线鲃属鱼类的专著,可供国内外鱼类学、水产学专家及水产工作者、环境保护和渔业监理人员、水产系统大专院校以及综合性大学生物学专业师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国特有金线鲃属鱼类:物种多样性、洞穴适应、系统演化和动物地理/赵亚辉,张春光著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025813-7

I. 中… II. ①赵…②张… III. 马鲛目-研究-中国 IV. Q959.479

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第186761号

责任编辑:霍春雁 李晶晶/责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年11月第一版 开本:787×1092 1/16

2009年11月第一次印刷 印张:18 插页:6

印数:1—1 000 字数:402 000

定价:95.00元

如有印装质量问题,我社负责调换

**Endemic Fishes of *Sinocyclocheilus* (Cypriniformes:  
Cyprinidae) in China**

——Species diversity, Cave adaptation,  
Systematics and Zoogeography

by

Zhao Yahui Zhang Chunguang

(Supported by This research was supported by the National Key Technologies  
Research and Development Program (grant no. 2008BAC39B06) National  
Natural Science Foundation of China and the Ministry of Science and  
Technology of the People's Republic of China)

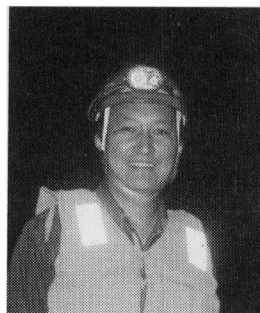
Science Press  
Beijing, China

## 作者简介



赵亚辉，博士。师从张春光研究员，从事鱼类分类学、系统发生与物种进化、动物地理学、鱼类多样性保护等方面的研究。期间曾在瑞典留学并获得硕士学位，现就职于中国科学院动物研究所。目前主持包括国家自然科学基金、WWF、TNC等科研项目10余项。发表科研论文50余篇，其中在SCI索引的期刊上发表论文10余篇；作为特邀主编，在国际著名鱼类学刊物 *Environmental Biology of Fishes* 上主编《中国专刊》。2000年以来，开始中国洞穴鱼类的专门研究，常年进行洞穴鱼类的野外考察，足迹遍布云南、贵州和广西的广大岩溶地区，累计行程5万多千米。对于中国特有的洞穴金线鲃属鱼类的分类、系统演化、洞穴适应、动物地理等进行了深入探讨，现将取得的阶段性研究成果展示在本书中，以斑窥豹，希望广大读者可以发现中国洞穴鱼类丰富的多样性，感受到黑暗环境下潜藏的勃勃生机。

张春光，研究员。中国动物学会、海洋湖沼学会、青藏高原研究会和鱼类学会常务理事或理事，中国濒危物种科学委员会、濒危水生野生动植物科学委员会、农业部水生野生动物自然保护区评审委员会等委员，《中国动物志》、《动物分类学报》、《动物学杂志》、《自然科学与博物馆研究》、《生物学通讯》等编委。长期从事鱼类系统学、动物地理学、水生生物资源评价和保护生物学等的研究。曾有幸在我国著名鱼类学家伍献文院士门下求学，并直接受业于曹文宣院士和陈宜瑜院士。长期从事鱼类系统分类学、动物（鱼类）地理学、鱼类资源等方面的研究。已发表研究论著80篇（部）以上，获得过多项科研奖励。中国的名山大川、大江大河、平原或高地的湖泊等无处不曾留下野外调查和标本采集的足迹，还曾先后参加或亲自带队赴南极、越南北部、贝加尔湖等地进行科学考察，近年来更多次深入我国西南石灰岩地区进行洞穴鱼类专项调查研究。自1992年发表金线鲃属新种以来，对我国洞穴鱼类的研究产生了浓厚兴趣，与他人合作或指导学生开展了大量相关研究，本书即包括以往相关工作的总结。人类对洞穴生物的了解和研究之窗刚刚开启，尚有大量未解之谜有待破解，欢迎有志之士加入这一行列。



## 前 言

中国幅员辽阔,地形复杂,气候多样,同时地跨古北界(Palearctic realm)和东洋界(Oriental realm)两个生物地理区,孕育了丰富的生物资源,是世界上物种多样性最为丰富的国家之一。中国鱼类物种多样性有两个突出特点:一是种类多,以中国淡水鱼类为例,根据最新统计,共记录有1503种,占世界淡水鱼类总数13 457种的11.2%(Froese and Pauly, 2008);二是特有类群多,以鲤科为例,在已记录的全部132属532种中,特有属47个,特有种384个,特有种约占总种数的72%(陈宜瑜, 1998)。在这些鱼类中,有一些在特殊的黑暗环境下生活,它们在分类学上分属于不同类群,由于长期生活在洞穴水体或地下河中,逐渐产生出了一系列相似的性状,根据生活环境特点,将它们称之为洞穴鱼类。

洞穴作为一种特殊的生境,孕育着很多鲜为人知的生物,一直吸引着很多科学家研究的目光。1904年,Armand Viré首先提出了洞穴生物学(biospeleology)的概念(Vandel, 1964)。第二次世界大战前,洞穴生物学发展较快,成为当时生物学中最活跃的分支学科之一(Jefferson, 1976)。之后有关洞穴生物的专著和论文大量发表,使得洞穴生物的研究逐渐走向深入,由以前单一的物种采集分类或区系分析,发展到包括物种起源、演化、生态、生理等方面的综合研究。洞穴生物学发展到今天已成为具有自身特色,综合性强,并日趋成熟的学科。

我国是一个岩溶(karst)地貌十分发育的国家,有着很多千奇百怪、千姿百态的岩溶洞穴,其中又生活着很多奇特的生物,而洞穴鱼类在这特殊生态系统中占有重要地位。与世界上其他国家和地区相比,中国的洞穴鱼类资源十分丰富,物种多样性高,金线鲃属(*Sinocyclocheilus*)就是其中一个重要组成部分。金线鲃是鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)鲃亚科(Barbinae)中的一个自然类群,为中国所特有,仅局限分布于云贵高原岩溶地貌发育的地区,包括云南东部、贵州南部和广西西部及西北部等地。该属的物种多样性十分丰富,在本项研究开始之前,被命名的物种已达40余个,已成为我国鲤科鱼类中种类最多的一个类群。

尽管同其他洞穴鱼类相比,对金线鲃属已经有了较多的研究报道(单乡红等, 2000; 张春光等, 2003),但近年来属内大量新种的发现,给类群内物种鉴定带来了较大困难,非常有必要就分类工作进行进一步的厘定。此外,在研究种间系统发生关系的基础上,结合重大地质历史事件,探讨金线鲃属鱼类物种形成机制和历史地理过程等进化理论问题,也具有特别重要的意义。受经济发展的影响,近年来在金线鲃的分布区,大量洞穴被开发,保护工作也具有紧迫性。作为中国特有鱼类,又生活在极端环境下,金线鲃在我国野生鱼类资源中有着重要而特殊的地位,对其多样性、分布格局等的基础研究将为金线鲃的保护工作提供重要的信息平台。为此,在多年前期工作的基础上,受国家自然科学基金委员会的资助(项目批准号:30470251),我们系统开展了本项研究;并在国家科学技术学术著作出版基金的资助下,得以将相关研究结果详细整理形

成本专著。

在本项研究开展过程中，我们得到了来自多方面的帮助，特别需要提出的是：云南石林黑龙潭水库管理处李维贤和广西都安县畜牧水产局蓝家湖两位先生惠借保藏的珍贵标本，并协助标本的检视；蓝家湖先生、云南曲靖水产局卯卫宁先生、日本京都大学渡边胜敏博士、台中科学博物馆张廖年鸿博士、中国科学院动物研究所刘海波先生、中国科学院动物研究所博士研究生林玉成等都曾参与我们的野外工作，为我们的野外调查和标本采集提供了大量帮助；本项研究中分子系统学实验很大一部分是在中国科学院水生生物研究所完成的，实验期间得到何舜平研究员的大力支持，实验室的王绪祯和彭作刚两位博士对实验及数据分析提供了宝贵意见；中国科学院昆明动物研究所杨君兴研究员和崔桂华老师、中国科学院水生生物研究所蔡明俊老师、遵义医学院王大忠教授等在标本检视上提供便利；上海水产大学博士研究生邢迎春同学、中国科学院昆明动物研究所硕士研究生闵锐同学，以及原首都师范大学生命科学学院李飞同学协助完成了大量标本测量工作。在本书付梓之前，我们特别要借此机会向提到的或未曾提及的给予我们帮助的各位朋友、同事、同学等表达我们由衷的谢意！

作 者

2008年9月

于北京中国科学院动物研究所

## Abstract

The cyprinid genus *Sinocyclocheilus* is endemic to China with a distribution limited to various karst areas in Yunnan and Guizhou Provinces and the Guangxi Zhuang Autonomous Region. Some are troglobites with typical adaptive characteristics for life in caves or underground waterbodies; and some are troglophiles which lack special adaptations to cavelife but nonetheless rely heavily on subterranean waters during their lifecycle.

*Sinocyclocheilus* is the richest genus of Chinese cyprinid fishes in terms of species diversity with more than 60 nominal species currently described. Examination of specimens from almost all nominate species, including most of the type specimens, leads to the recognition of 49 valid species. Since *Sinocyclocheilus* is a highly adaptive group to cave environment, a systematic tree based on morphology is very unlikely to give an accurate representation of the true evolutionary relationships among the species. So molecular genetic data, augmented by some morphological information, was utilized to construct a phylogenetic tree incorporating all known species. *Sinocyclocheilus* is determined to be monophyletic group with four clades, given the appellations “*jii*”, “*angularis*”, “*cyphotergous*” and “*tingi*”. The distributions of these different clades display very little overlap.

Vicariance is the primary mechanism for speciation in the genus *Sinocyclocheilus*, with diversification mainly resulting from genetic drift in small, isolated populations. The evolution and distribution of *Sinocyclocheilus* species has a close relationship with the Qinghai-Xizang Movement dating from late Tertiary. The hypothesized troglophile ancestor of modern *Sinocyclocheilus* species presumably was distributed in the karst region of Yunnan and Guizhou at the beginning of the plateau uplift. After the violent sudden uplift of the plateau approximately 3.4 MaBP, designated as Act A of the Qinghai-Xizang Movement, the eastern population became isolated from other congeners and evolved into today's “*jii*” clade. After that, some *Sinocyclocheilus* in the western region became true troglobites, dwelling exclusively in caves and/or subterranean rivers. These became ecologically isolated from other troglophile relatives in part in response to climate changes and karst influences. The troglobite *angularis* clade emerged in this manner. At almost the same time, further uplifting during Act B (2.6 MaBP) of the Qinghai-Xizang Movement served to isolate the remaining two clades. The “*tingi*” clade, which today only (with one exception) exhibits troglophile levels of adaptation to hypogean life, became limited to the watershed of the Nanpanjiang River. The remaining “*cyphotergous*” clade, whose members include both troglobites and troglophiles, is

today mainly distributed in the drainage of the Hongshuihe River. Whether a given *Sinocyclocheilus* species emerged as troglobite or a troglophile can be closely tied to physiognomic characteristics of Yunnan-Guizhou plateau. Troglobite species are more heavily concentrated in the middle of the genus' overall distribution where violent uplifting has produced steep slopes and a complicated karst environment. On the other hand, troglophile species tend to be found nearer to the eastern and western edges of the overall distribution which exhibit flatter topologies.

The distribution of *Sinocyclocheilus* species is mainly influenced by climate, water system topologies and karst processes. Modern species' distributions exhibit recognizable horizontal and vertical aspects, with the former nicely matching the E-type structure of the Guangxi landform and the latter intimately related to assorted altitude-dependent karst features.

Other aspects of *Sinocyclocheilus* biology were also investigated, including reproductive and feeding behavior as well as tolerance to an array of environmental factors. Findings from these studies provide information crucial to future conservation planning. Threats to the *Sinocyclocheilus* species and genetic diversity include pollution of their subterranean waters, changes to their cave environments and the influence of overcapture. Specialists studying this fascinating group have drawn governmental and NGO attention to the urgent need for conservation measures to protect these fishes, and it is highly possible that in the future the entire genus *Sinocyclocheilus* will be included on the National List of Protected Wild Animals.

**Key words:** China; hypogean fishes; *Sinocyclocheilus*; species diversity; phylogenetic evolution; zoogeography

# 目 录

## 前言

## Abstract

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 总论 .....                                            | 1   |
| 第 1 章 洞穴鱼类的概念、多样性和相关研究 .....                        | 1   |
| 第 2 章 金线鲃属鱼类研究的回顾与展望 .....                          | 15  |
| 第 3 章 金线鲃属鱼类的形态与适应 .....                            | 26  |
| 第 4 章 金线鲃属鱼类的分类和物种多样性 .....                         | 54  |
| 第 5 章 金线鲃属鱼类的分布格局 .....                             | 57  |
| 第 6 章 金线鲃属鱼类的种间关系和系统发生 .....                        | 63  |
| 第 7 章 金线鲃属鱼类物种分演机制、演化过程和分布格局的形成 .....               | 73  |
| 第 8 章 金线鲃属鱼类的生物学 .....                              | 87  |
| 第 9 章 金线鲃属鱼类的资源保护 .....                             | 93  |
| 各论 .....                                            | 99  |
| 属征 .....                                            | 99  |
| 种的检索表 .....                                         | 99  |
| 季氏金线鲃 <i>Sinocyclocheilus jii</i> .....             | 102 |
| 桂林金线鲃 <i>Sinocyclocheilus guilinensis</i> .....     | 105 |
| 宜山金线鲃 <i>Sinocyclocheilus yishanensis</i> .....     | 108 |
| 大鳞金线鲃 <i>Sinocyclocheilus macrolepis</i> .....      | 111 |
| 田林金线鲃 <i>Sinocyclocheilus tianlinensis</i> .....    | 114 |
| 软鳍金线鲃 <i>Sinocyclocheilus malacopterus</i> .....    | 116 |
| 阳宗金线鲃 <i>Sinocyclocheilus yangzongensis</i> .....   | 119 |
| 麻花金线鲃 <i>Sinocyclocheilus maculatus</i> .....       | 122 |
| 尖头金线鲃 <i>Sinocyclocheilus oxycephalus</i> .....     | 125 |
| 紫色金线鲃 <i>Sinocyclocheilus purpureus</i> .....       | 129 |
| 粗壮金线鲃 <i>Sinocyclocheilus robustus</i> .....        | 131 |
| 丘北金线鲃 <i>Sinocyclocheilus qiubeiensis</i> .....     | 135 |
| 陆良金线鲃 <i>Sinocyclocheilus macrosalus</i> .....      | 138 |
| 麦田河金线鲃 <i>Sinocyclocheilus maitianheensis</i> ..... | 141 |
| 大头金线鲃 <i>Sinocyclocheilus macrocephalus</i> .....   | 144 |
| 抚仙金线鲃 <i>Sinocyclocheilus tingi</i> .....           | 147 |
| 大眼金线鲃 <i>Sinocyclocheilus macrophthalmus</i> .....  | 149 |
| 圭山金线鲃 <i>Sinocyclocheilus guishanensis</i> .....    | 152 |
| 狭孔金线鲃 <i>Sinocyclocheilus angustiporus</i> .....    | 155 |
| 侧条金线鲃 <i>Sinocyclocheilus lateristritus</i> .....   | 159 |

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 滇池金线鲃 <i>Sinocyclocheilus grahami</i> .....          | 162 |
| 易门金线鲃 <i>Sinocyclocheilus yimenensis</i> .....       | 166 |
| 曲靖金线鲃 <i>Sinocyclocheilus qujingensis</i> .....      | 169 |
| 东兰金线鲃 <i>Sinocyclocheilus donglanensis</i> .....     | 172 |
| 乌蒙山金线鲃 <i>Sinocyclocheilus wumengshanensis</i> ..... | 174 |
| 短身金线鲃 <i>Sinocyclocheilus brevis</i> .....           | 177 |
| 短须金线鲃 <i>Sinocyclocheilus brevibarbus</i> .....      | 180 |
| 九圩金线鲃 <i>Sinocyclocheilus jiuxuensis</i> .....       | 186 |
| 罗平金线鲃 <i>Sinocyclocheilus luopingensis</i> .....     | 188 |
| 凌云金线鲃 <i>Sinocyclocheilus lingyunensis</i> .....     | 192 |
| 巨须金线鲃 <i>Sinocyclocheilus hugeibarbus</i> .....      | 195 |
| 长须金线鲃 <i>Sinocyclocheilus longibarbus</i> .....      | 198 |
| 长鳍金线鲃 <i>Sinocyclocheilus longifinus</i> .....       | 201 |
| 华宁金线鲃 <i>Sinocyclocheilus huaningensis</i> .....     | 203 |
| 驯乐金线鲃 <i>Sinocyclocheilus xunlensis</i> .....        | 205 |
| 无眼金线鲃 <i>Sinocyclocheilus anophthalmus</i> .....     | 207 |
| 角金线鲃 <i>Sinocyclocheilus angularis</i> .....         | 211 |
| 双角金线鲃 <i>Sinocyclocheilus bicornutus</i> .....       | 214 |
| 叉背金线鲃 <i>Sinocyclocheilus furcodorsalis</i> .....    | 217 |
| 犀角金线鲃 <i>Sinocyclocheilus rhinoceros</i> .....       | 220 |
| 宽角金线鲃 <i>Sinocyclocheilus broadihornes</i> .....     | 223 |
| 瓦状角金线鲃 <i>Sinocyclocheilus tileihornes</i> .....     | 225 |
| 透明金线鲃 <i>Sinocyclocheilus hyalinus</i> .....         | 228 |
| 鹰喙角金线鲃 <i>Sinocyclocheilus aquihornes</i> .....      | 230 |
| 多斑金线鲃 <i>Sinocyclocheilus multi punctatus</i> .....  | 231 |
| 驼背金线鲃 <i>Sinocyclocheilus cyphotergous</i> .....     | 235 |
| 高肩金线鲃 <i>Sinocyclocheilus altishoulderus</i> .....   | 238 |
| 小眼金线鲃 <i>Sinocyclocheilus microphthalmus</i> .....   | 240 |
| 鸭嘴金线鲃 <i>Sinocyclocheilus anatirostris</i> .....     | 242 |
| 附录一 材料 .....                                         | 246 |
| 1 标本 .....                                           | 246 |
| 2 野外装备、实验仪器和有关设备 .....                               | 250 |
| 3 药品 .....                                           | 251 |
| 4 引物序列 .....                                         | 253 |
| 5 软件 .....                                           | 254 |
| 附录二 方法 .....                                         | 255 |
| 1 性状观察和计数 .....                                      | 255 |
| 2 系统学分析的原理与方法 .....                                  | 258 |
| 参考文献 .....                                           | 263 |
| 图版                                                   |     |

# Contents

## Preface

## Abstract

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>General Review</b> .....                                                                                                | 1   |
| Chapter 1 Cavefish—concept, diversity and research progress .....                                                          | 1   |
| Chapter 2 Past research and future development on the genus <i>Sinocyclocheilus</i> .....                                  | 15  |
| Chapter 3 Morphology and adaptation of the genus <i>Sinocyclocheilus</i> .....                                             | 26  |
| Chapter 4 Taxonomy and species diversity of the genus <i>Sinocyclocheilus</i> .....                                        | 54  |
| Chapter 5 Distribution of the genus <i>Sinocyclocheilus</i> .....                                                          | 57  |
| Chapter 6 Interrelationship and systematic of the genus <i>Sinocyclocheilus</i> .....                                      | 63  |
| Chapter 7 Speciation mechanism, evolution process and distribution formation<br>of the genus <i>Sinocyclocheilus</i> ..... | 73  |
| Chapter 8 Biology of the genus <i>Sinocyclocheilus</i> .....                                                               | 87  |
| Chapter 9 Conservation of the genus <i>Sinocyclocheilus</i> .....                                                          | 93  |
| <b>Specific</b> .....                                                                                                      | 99  |
| Genus characteristics .....                                                                                                | 99  |
| Key to species .....                                                                                                       | 99  |
| <i>Sinocyclocheilus jii</i> .....                                                                                          | 102 |
| <i>Sinocyclocheilus guilinensis</i> .....                                                                                  | 105 |
| <i>Sinocyclocheilus yishanensis</i> .....                                                                                  | 108 |
| <i>Sinocyclocheilus macrolepis</i> .....                                                                                   | 111 |
| <i>Sinocyclocheilus tianlinensis</i> .....                                                                                 | 114 |
| <i>Sinocyclocheilus malacopterus</i> .....                                                                                 | 116 |
| <i>Sinocyclocheilus yangzongensis</i> .....                                                                                | 119 |
| <i>Sinocyclocheilus maculatus</i> .....                                                                                    | 122 |
| <i>Sinocyclocheilus oxycephalus</i> .....                                                                                  | 125 |
| <i>Sinocyclocheilus purpureus</i> .....                                                                                    | 129 |
| <i>Sinocyclocheilus robustus</i> .....                                                                                     | 131 |
| <i>Sinocyclocheilus qiubeiensis</i> .....                                                                                  | 135 |
| <i>Sinocyclocheilus macroscalus</i> .....                                                                                  | 138 |
| <i>Sinocyclocheilus maitianheensis</i> .....                                                                               | 141 |
| <i>Sinocyclocheilus macrocephalus</i> .....                                                                                | 144 |
| <i>Sinocyclocheilus tingi</i> .....                                                                                        | 147 |
| <i>Sinocyclocheilus macrophthalmus</i> .....                                                                               | 149 |
| <i>Sinocyclocheilus guishanensis</i> .....                                                                                 | 152 |
| <i>Sinocyclocheilus angustiporus</i> .....                                                                                 | 155 |
| <i>Sinocyclocheilus lateristritus</i> .....                                                                                | 159 |

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| <i>Sinocyclocheilus grahami</i> .....              | 162 |
| <i>Sinocyclocheilus yimenensis</i> .....           | 166 |
| <i>Sinocyclocheilus qujingensis</i> .....          | 169 |
| <i>Sinocyclocheilus donglanensis</i> .....         | 172 |
| <i>Sinocyclocheilus wumengshanensis</i> .....      | 174 |
| <i>Sinocyclocheilus brevis</i> .....               | 177 |
| <i>Sinocyclocheilus brevibarbus</i> .....          | 180 |
| <i>Sinocyclocheilus jiuxuensis</i> .....           | 186 |
| <i>Sinocyclocheilus luopingensis</i> .....         | 188 |
| <i>Sinocyclocheilus lingyunensis</i> .....         | 192 |
| <i>Sinocyclocheilus hugeibarbus</i> .....          | 195 |
| <i>Sinocyclocheilus longibarbus</i> .....          | 198 |
| <i>Sinocyclocheilus longifinus</i> .....           | 201 |
| <i>Sinocyclocheilus huaningensis</i> .....         | 203 |
| <i>Sinocyclocheilus xunlensis</i> .....            | 205 |
| <i>Sinocyclocheilus anophthalmus</i> .....         | 207 |
| <i>Sinocyclocheilus angularis</i> .....            | 211 |
| <i>Sinocyclocheilus bicornutus</i> .....           | 214 |
| <i>Sinocyclocheilus furcodorsalis</i> .....        | 217 |
| <i>Sinocyclocheilus rhinoceros</i> .....           | 220 |
| <i>Sinocyclocheilus broadihornes</i> .....         | 223 |
| <i>Sinocyclocheilus tileihornes</i> .....          | 225 |
| <i>Sinocyclocheilus hyalinus</i> .....             | 228 |
| <i>Sinocyclocheilus aquihornes</i> .....           | 230 |
| <i>Sinocyclocheilus multipunctatus</i> .....       | 231 |
| <i>Sinocyclocheilus cyphotergous</i> .....         | 235 |
| <i>Sinocyclocheilus altishoulderus</i> .....       | 238 |
| <i>Sinocyclocheilus microphthalmus</i> .....       | 240 |
| <i>Sinocyclocheilus anatirostris</i> .....         | 242 |
| <b>Appendix 1 Materials Used in the Work</b> ..... | 246 |
| 1. Specimens Used .....                            | 246 |
| 2. Equipments Used in Filed Work and in Lab .....  | 250 |
| 3. Reagents .....                                  | 251 |
| 4. Sequences of Primers .....                      | 253 |
| 5. Software .....                                  | 254 |
| <b>Appendix 2 Methods Used in the Work</b> .....   | 255 |
| 1. Meristics on Morphology .....                   | 255 |
| 2. Concept and Methods on Systematics .....        | 258 |
| <b>References</b> .....                            | 263 |
| <b>Plate</b>                                       |     |

# 总 论

## 第 1 章 洞穴鱼类的概念、多样性和相关研究

在多年有关洞穴鱼类研究过程中,我们发现不同学者对洞穴鱼类的概念有着不同的理解,特别是对洞穴鱼类的定义缺乏统一认识,有些仅简单地把洞穴鱼类等同于没有眼睛的盲鱼,给相关研究带来一定的困惑。在对金线鲃属鱼类进行深入讨论之前,有必要先就洞穴鱼类的特点、世界洞穴鱼类研究的概况等相关问题加以系统介绍和阐释。

### 1.1 洞穴鱼类的概念

“洞穴鱼类”实际上是一个生态学的概念,大体有广义和狭义之分。广义的概念是指生活在洞穴或类似环境中的鱼形动物,因此,包括从海水到淡水,从无颌类到硬骨鱼类的生命体。狭义的概念主要是指在陆地生态系统中,生活在一些常年有水的岩溶洞穴或地下河、地下湖等特殊生态环境中的鱼类。

洞穴鱼类概念的产生和发展是和洞穴生物研究的发展相关联的。自 Schiödte (1849) 首次尝试对洞穴生物进行生态学意义的划分以来,研究者们一直努力寻找一个既切合实际又易于理解的关于洞穴生物的概念和分类方法。Schiner (1854) 提出了一个较具体的界定和划分洞穴生物的概念,根据生物进洞的频率和体征,将在洞穴或地下水出现的生物分为典型洞穴生物 (troglóbite 或 stygóbite)、非典型洞穴生物 (troglóphile 或 stygóphile) 和偶入洞穴生物 (troglóxene 或 stygóxene)。后经其他学者的补充和完善 (Racovitza, 1907; Hesse, 1924; Thienemann, 1926; Romero, 2001a), 这种概念逐渐为多数研究者所接受。

结合对前人所作洞穴生物定义的分析以及作者近年来的野外工作和相关研究 (张春光和赵亚辉, 2001; 张春光等, 2003; 蓝家湖等, 2004), 我们认为,洞穴鱼类应是那些在自然状态下,作为种群特征,其生活史的全部或部分需要在黑暗的洞穴或地下水环境中完成的种类;若没有黑暗的洞穴水环境或地下水,其生活史不能正常完成,这种行为方式应是自然选择的结果。据此,可以将洞穴或地下水环境中出现的鱼类归为典型洞穴鱼类、非典型洞穴鱼类和偶入洞穴鱼类 3 种类型 (图 1),而真正意义上的洞穴鱼类则只包括前两类。

**典型洞穴鱼类** 生活于洞穴或地下水环境中并表现出一系列适应性特征的鱼类,这些特征可能 (但不是必须) 包括眼睛的退化、身体色素的消失、鳞片数目的减少、感觉系统 (如侧线、触须等) 的高度发达等。

**非典型洞穴鱼类** 生活中周期性地出现于洞穴或地下水环境中,离开这样的环境无法完成生活史的完整过程的鱼类;它们在外形上可能没有出现明显的适应性形态特征的

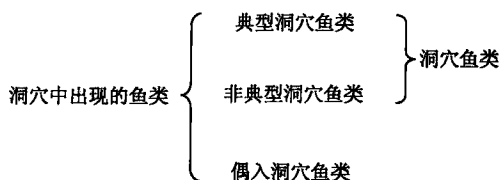


图1 洞穴鱼类的范畴示意图

Figure 1 Concepts of hypogean fishes

变化。例如，分布于我国长江以北的多鳞白甲鱼 (*Onychostoma macrolepis*) [鲤科 (Cyprinidae) 鲃亚科 (Barbinae)]，在其生活史中存在周期性的洞穴生活时期，每年都有近 6 个月的时间需要在洞内地下水中越冬 (张春光, 1986)。

**偶入洞穴鱼类** 因为偶然因素进入洞穴或地下水体的鱼类，离开洞穴或地下水体环境，其生命过程不受影响，形态上没有因适应洞穴环境而产生明显变化。例如，在我国南方某些洞穴水体中可以经常发现的虹彩光唇鱼 (*Acrossocheilus iridescens*)、异华鲮 (*Parasinilabeo assimilis*)、叉尾斗鱼 (*Macropodus opercularis*) 等 (冉景丞, 2000)。

在以往研究中，我国学者对洞穴鱼类的划分也提出过一些见解。周解 (1984<sup>①</sup>, 1985) 曾将洞穴鱼类划分为真洞穴鱼类、洞穴鱼类和拟洞穴鱼类。他认为真洞穴鱼类眼睛完全消失，洞穴鱼类眼睛退化但程度不一，拟洞穴鱼类体征无明显变化。工作实践中我们注意到，仅仅根据眼睛发育程度这一单一性状，很难对出现在洞穴中的鱼类所属类型进行有效划分。以无眼金线鲃 (*Sinocyclocheilus anophthalmus*) 为例，种群内多数个体眼睛完全消失，但很少一部分个体可以看到明显的眼点。周解 (1985) 所提出的真洞穴鱼类和洞穴鱼类都完全营洞穴生活，且都具不同程度的适应性特征，所以，应属于前述的典型洞穴鱼类；而拟洞穴鱼类营不完全的洞穴生活，适应特征不明显，大体对应于非典型洞穴鱼类。冉景丞和陈会明 (1998)、冉景丞 (2000) 等对贵州荔波的洞穴鱼类进行调查时，将洞穴鱼类划分为真洞穴鱼类 (全洞居鱼类)、好洞穴鱼类 (半洞居鱼类) 和外来性洞穴鱼类 (洞栖鱼类)，他们将鱼离开洞穴水体是否可以自然存活作为一项重要的衡量标准。但这需要对研究对象进行实际养殖观察，由于洞穴内采集既困难又危险，相对来说，这样的评价标准缺乏可操作性；另外，我们曾多次将采自洞穴的鱼类带回实验室养殖观察，也知道其他人有成功长期养殖洞穴盲鱼的经历，反映出已知的多数种类可在室养条件下长期存活。

## 1.2 典型洞穴鱼类的形态特点

典型洞穴鱼类通常有明显的与洞穴黑暗环境下生活相适应的特征，这些特征在很多亲缘关系甚远的类群中可能共同存在 (趋同演化)。这些趋同演化的性状大体可归纳为以下两个方面：①某些性状特征退化：如体表鳞片会变得稀疏，或变小并隐埋于皮下，甚至趋

<sup>①</sup> 引自内部刊物。周解, 1984. 广西岩溶洞穴鱼类和水生生物 (第十章第三节). 见: 广西壮族自治区水产研究. 广西壮族自治区内陆水域渔业自然资源调查研究报告。

于消失；体表色素高度退化，身体呈乳白色半透明状，隐约可见内脏器官和皮下血管（图版 43）；眼睛多数消失或高度退化（图版 44）。②某些形态结构得以加强：如触须通常十分发达，附肢（胸鳍和腹鳍）明显延长（杨君兴，2006；Trajano，2001）（图版 44-A），侧线鳞或侧线管孔发达等；个别洞穴鱼类还产生了一些特殊的结构，如瓦状角金线鲃（*Sinocyclocheilus tileihornes*）在头背交界处形成向前突出的复杂的角状结构（图版 44-B）。

### 1.3 世界洞穴鱼类的物种多样性与分布

Romero 等（2009）对世界洞穴鱼类的统计表明，目前世界上共有洞穴鱼类 299 种。另外，Romero 和 Paulson（2001）对世界上已知的典型洞穴鱼类也进行了统计，共列出 86 种；2006 年，赵亚辉和张春光对世界典型洞穴鱼类的统计已增加至 107 种。结合最新的数据（Romero et al., 2009）统计，目前全世界已记述的典型洞穴鱼类达 122 种，分属于 10 目 19 科 53 属（表 1）。

表 1 世界典型洞穴鱼类信息统计

Table 1 List of troglóbite fishes in world

| 种<br>Species                           | 定名人<br>Author       | 年代<br>Year | 中文名<br>Chinese name | 分布<br>Distribution |
|----------------------------------------|---------------------|------------|---------------------|--------------------|
| <b>鲤形目 Cypriniformes</b>               |                     |            |                     |                    |
| <b>鲤科 Cyprinidae</b>                   |                     |            |                     |                    |
| <i>Caecobarbus geertsi</i>             | Boulenger           | 1921       | 刚果盲鲃                | 刚果河下游              |
| <i>Caecocypris basimi</i>              | Banister & Bunni    | 1980       | 盲鲤                  | 伊拉克                |
| <i>Garra barreimiae</i>                | Fowler & Steinitz   | 1956       | 阿曼盲鱼                | 阿曼                 |
| <i>Garra dunsirei</i>                  | Banister            | 1987       | 邓氏墨头鱼               | 阿曼                 |
| <i>Iranocypris typhlops</i>            | Bruun & Kaiser      | 1944       | 伊朗洞鲃                | 伊朗                 |
| <i>Phreatichthys andruzzii</i>         | Vinciguerra         | 1924       | 索马里洞穴鱼              | 索马里中部              |
| <i>Poropuntius speleops</i>            | Roberts             | 1991       | 盲头孔无须鲃              | 泰国                 |
| <i>Sinocyclocheilus altishoulderus</i> | Li & Lan            | 1992       | 高肩金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. anatirostris</i>                 | Lin & Luo           | 1986       | 鸭嘴金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. angularis</i>                    | Zheng & Wang        | 1990       | 角金线鲃                | 中国贵州               |
| <i>S. anophthalmus</i>                 | Chen, Chu, Luo & Wu | 1988       | 无眼金线鲃               | 中国云南               |
| <i>S. aquihornes</i>                   | Li & Yang           | 2007       | 鹰喙角金线鲃              | 中国云南               |
| <i>S. bicornutus</i>                   | Wang & Liao         | 1997       | 双角金线鲃               | 中国贵州               |
| <i>S. brevibarbatus</i>                | Zhao, Lan & Zhang   | 2008       | 短须金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. broadihornes</i>                 | Li & Mao            | 2007       | 宽角金线鲃               | 中国云南               |
| <i>S. cyphotergous</i>                 | Dai                 | 1988       | 驼背金线鲃               | 中国贵州               |
| <i>S. furcodorsalis</i>                | Chen, Yang & Lan    | 1997       | 叉背金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. hugeibarbus</i>                  | Li & Ran            | 2003       | 巨须金线鲃               | 中国贵州               |
| <i>S. hyalinus</i>                     | Chen & Yang         | 1994       | 透明金线鲃               | 中国云南               |
| <i>S. jiuxuensis</i>                   | Li & Lan            | 2003       | 九圩金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. lingyunensis</i>                 | Li                  | 2000       | 凌云金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. longibarbus</i>                  | Wang & Chen         | 1989       | 长须金线鲃               | 中国贵州、广西            |
| <i>S. longifinus</i>                   | Li                  | 1998       | 长鳍金线鲃               | 中国云南               |

续表

| 种<br>Species                             | 定名人<br>Author               | 年代<br>Year | 中文名<br>Chinese name | 分布<br>Distribution |
|------------------------------------------|-----------------------------|------------|---------------------|--------------------|
| <i>S. luopingensis</i>                   | Li & Tao                    | 2002       | 罗平金线鲃               | 中国云南               |
| <i>S. maculatus</i>                      | Li                          | 2000       | 麻花金线鲃               | 中国云南               |
| <i>S. microphthalmus</i>                 | Li                          | 1989       | 小眼金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. multipunctatus</i>                 | Pellegrin                   | 1931       | 多斑金线鲃               | 中国贵州、广西            |
| <i>S. rhinoceros</i>                     | Li & Tao                    | 1994       | 犀角金线鲃               | 中国云南               |
| <i>S. tianlinensis</i>                   | Zhou, Zhang & He            | 2004       | 田林金线鲃               | 中国广西               |
| <i>S. tileihornes</i>                    | Mao, Lu & Li                | 2003       | 瓦状角金线鲃              | 中国云南               |
| <i>S. xunleensis</i>                     | Lan, Zhao & Zhang           | 2004       | 驯乐金线鲃               | 中国广西               |
| <i>Troglocyclocheilus khammouanensis</i> | Kottelat & Bréhier          | 1999       | 甘蒙洞鲃                | 老挝                 |
| <i>Typhlobarbus nudiventris</i>          | Chu & Chen                  | 1982       | 裸腹盲鲃                | 中国云南               |
| <i>Typhlogarra widdowsoni</i>            | Trewavas                    | 1955       | 盲墨头鱼                | 伊拉克                |
| <b>鲈科 Cobitidae</b>                      |                             |            |                     |                    |
| <i>Protocobitis polylepis</i>            | Zhu, Lu, Yang & Zhang       | 2008       | 多鳞原花鲈               | 中国广西               |
| <i>P. typhlops</i>                       | Yang, Chen & Lan            | 1994       | 盲眼原花鲈               | 中国广西               |
| <b>爬鲈科 Balitoridae</b>                   |                             |            |                     |                    |
| <i>Cryptotora thamicola</i>              | Kottelat                    | 1988       | 隐鲈                  | 泰国                 |
| <i>Heminoemacheilus hyalinus</i>         | Lan, Yang & Chen            | 1996       | 透明间条鲈               | 中国广西               |
| <i>Nemachilus evezardi</i>               | Day                         | 1872       | 山溪条鲈                | 印度                 |
| <i>N. starostini</i>                     | Parin                       | 1983       | Kughitang 盲鲈        | 土库曼斯坦              |
| <i>N. troglodactylus</i>                 | Kottelat & Géry             | 1989       | 穴条鲈                 | 泰国                 |
| <i>Oreonectes anophthalmus</i>           | Zheng                       | 1981       | 无眼平鲈                | 中国广西               |
| <i>O. furcocaudalis</i>                  | Zhu & Cao                   | 1987       | 叉尾平鲈                | 中国广西               |
| <i>O. microphthalmus</i>                 | Du, Chen & Yang             | 2008       | 小眼平鲈                | 中国广西               |
| <i>O. translucens</i>                    | Zhang, Zhao & Zhang         | 2006       | 透明平鲈                | 中国广西               |
| <i>Paracobitis maolanensis</i>           | Li, Ran & Chen              | 2006       | 茂兰盲副鲈               | 中国贵州               |
| <i>P. posterodarsalis</i>                | Ran, Li & Chen              | 2006       | 后鳍盲副鲈               | 中国贵州               |
| <i>P. smithi</i>                         | Greenwood                   | 1976       | 史氏盲副鲈               | 伊朗                 |
| <i>Schistura dabryi microphthalmus</i>   | Liao, Wang & Luo            | 1997       | 小眼戴氏南鲈              | 中国贵州               |
| <i>S. deansmarti</i>                     | Vidthayanon & Kottelat      | 2003       | 迪氏南鲈                | 泰国北部               |
| <i>S. jarutanini</i>                     | Kottelat                    | 1990       | 杰氏南鲈                | 泰国                 |
| <i>S. lingyunensis</i>                   | Liao & Luo                  | 1997       | 凌云南鲈                | 中国广西               |
| <i>S. oedipus</i>                        | Kottelat                    | 1988       | 神仙南鲈                | 泰国                 |
| <i>S. sijuensis</i>                      | Menon                       | 1987       | 锡朱南鲈                | 印度                 |
| <i>S. spekuli</i>                        | Kottelat                    | 2004       | 史佩酷南鲈               | 泰国北部               |
| <i>S. spiei</i>                          | Vidthayanon & Kottelat      | 2003       | 斯氏南鲈                | 泰国北部               |
| <i>Sundoreonectes tiomanensis</i>        | Kottelat                    | 1990       | 松多罗鲈                | 马来西亚               |
| <i>Triplophysa aluensis</i>              | Li & Zhu                    | 2000       | 阿庐高原鲈               | 中国云南               |
| <i>T. gejiuensis</i>                     | Chu & Chen                  | 1979       | 个旧盲高原鲈              | 中国云南               |
| <i>T. longibaratus</i>                   | Chen, Yang, Sket & Aljancie | 1998       | 长须盲鲈                | 中国贵州               |
| <i>T. rosa</i>                           | Chen & Yang                 | 2003       | 玫瑰高原鲈               | 中国重庆               |
| <i>T. shilinensis</i>                    | Chu & Yang                  | 1992       | 石林盲高原鲈              | 中国云南               |
| <i>T. tianeensis</i>                     | Chen, Cui & Yang            | 2004       | 天峨高原鲈               | 中国广西               |
| <i>T. xiangxiensis</i>                   | Yang, Yuan & Liao           | 1986       | 湘西高原鲈               | 中国湖南               |
| <b>脂鲤目 Characiformes</b>                 |                             |            |                     |                    |
| <b>脂鲤科 Characidae</b>                    |                             |            |                     |                    |