

基于角质颚和内壳的 秘鲁外海茎柔鱼渔业生态学研究

陈新军 李云凯 胡贯宇 贡 艺 刘必林 李建华 / 著



科学出版社

基于角质颚和内壳的秘鲁外海 茎柔鱼渔业生态学研究

陈新军 李云凯 胡贯宇 著
贡 艺 刘必林 李建华

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

头足类的角质颚和内壳储存着大量的生物学和生态信息。本书通过分析茎柔鱼角质颚、内壳的微结构和微化学,了解茎柔鱼的生长、种群结构、栖息环境和生活史信息,为全面掌握茎柔鱼渔业资源生物学提供基础。全书共分8章:第1章为引言,主要介绍茎柔鱼渔业生物学国内外研究现状;第2章为茎柔鱼角质颚微结构及轮纹判读;第3章为基于角质颚的茎柔鱼日龄、生长和种群结构;第4章为茎柔鱼角质颚的形态学及其与个体生长的关系;第5章为茎柔鱼角质颚的色素沉积及其与个体生长关系;第6章为茎柔鱼角质颚微化学及其与耳石比较;第7章为茎柔鱼内壳结构及其生长的研究;第8章为基于内壳稳定同位素的秘鲁外海茎柔鱼摄食洄游研究。

本书可供海洋生物、水产和渔业研究等专业的科研人员,高等院校师生及从事相关专业生产、管理的工作人员使用和阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基于角质颚和内壳的秘鲁外海茎柔鱼渔业生态学研究 / 陈新军等著.

— 北京: 科学出版社, 2018.4

ISBN 978-7-03-056370-5

I. ①基… II. ①陈… III. 柔鱼-海洋渔业-深海生态学-研究-秘鲁
IV. ①Q178.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 010177 号

责任编辑: 韩卫军 / 责任校对: 唐静仪

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

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>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年4月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018年4月第一次印刷 印张: 7 3/4

字数: 160千字

定价: 82.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

茎柔鱼广泛分布于东太平洋,自加利福尼亚(37°N)至智利的南部(47°S),茎柔鱼是柔鱼科中资源量极为丰富的种类之一,在海洋生态系统中具有重要的地位。对茎柔鱼资源进行合理开发及科学管理,了解和掌握其基础生物学是关键。角质颚和内壳是头足类的重要硬组织,储存着大量的生物学和生态信息。为此,本书拟通过分析茎柔鱼角质颚、内壳的微结构和微化学,了解和掌握茎柔鱼的生长、种群结构、栖息环境和生活史信息,为全面掌握茎柔鱼渔业资源生物学提供基础。

本书所涉及的研究是在中国远洋渔业协会和中国远洋渔业数据中心的支持下,以东南太平洋茎柔鱼资源生产性常规调查项目为基础,并通过这一调查项目连续采集秘鲁外海茎柔鱼样本和生产信息获得相关数据的。通过分析角质颚微结构生长纹并以耳石轮纹来验证,估算茎柔鱼的日龄,利用角质颚微结构研究茎柔鱼的日龄、生长和种群结构;通过分析角质颚的外部形态特征,建立角质颚外部形态参数与茎柔鱼的日龄、个体大小及体重之间的关系,并分析个体生长对角质颚外部形态的影响;利用神经网络模型研究角质颚色素沉着与茎柔鱼生长的关系,初步探讨角质颚色素沉着对茎柔鱼食性变化的影响;利用 LA-ICP-MS 法测定不同生长阶段茎柔鱼角质颚和耳石的微量元素,分析角质颚与耳石微量元素沉积的同步性,并尝试分别利用茎柔鱼早期角质颚和耳石微量元素划分不同产卵群体。同时,通过对内壳进行连续切割,测定连续切割片段的碳、氮稳定同位素比值,比较个体(群体)间营养生态位(isotopic niche)和内壳稳定同位素比值连续序列差异;探索硬组织连续取样分析对茎柔鱼个体摄食习性和栖息地变化研究的可行性,并初步分析其在生长发育过程中的食性转换和洄游习性。全书分为 8 章,初步对基于角质颚和内壳为基础的秘鲁外海茎柔鱼渔业生态学进行系统总结和归纳。

本书系统性和专业性强,可供从事海洋科学、水产和渔业研究的科研人员和研究单位使用。由于时间仓促,覆盖内容广,国内没有同类的参考资料,因此难免会存在一些疏漏,望读者提出批评和指正。

本书得到了上海市高峰 II 学科(水产学)、国家自然科学基金(编号 NSFC41476129)等项目的资助。同时也得到国家远洋渔业工程技术研究中心、大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室的支持,以及农业部科研杰出人才及其创新团队——大洋性鱿鱼资源可持续开发创新团队的资助。

目 录

第1章 引言	1
1.1 问题提出	1
1.2 茎柔鱼渔业生物学国内外研究现状	3
1.2.1 种群结构组成	5
1.2.2 洄游特性的研究	6
1.3 研究内容	6
第2章 茎柔鱼角质颞微结构及轮纹判读	8
2.1 材料与方法	8
2.1.1 样本采集	8
2.1.2 实验方法	8
2.1.3 数据分析	9
2.2 研究结果	10
2.2.1 上角质颞和下角质颞的微结构	10
2.2.2 上角质颞和下角质颞微结构生长纹的比较	12
2.2.3 角质颞轮纹判读结果与耳石的比较	13
2.3 讨论与分析	13
2.4 小结	15
第3章 基于角质颞的茎柔鱼日龄、生长和种群结构	16
3.1 材料与方法	16
3.1.1 样本采集	16
3.1.2 实验方法	16
3.1.3 数据分析	17
3.2 研究结果	17
3.2.1 胴长组成	17
3.2.2 日龄组成	18
3.2.3 孵化日期和产卵群体划分	19
3.2.4 生长模型	19
3.2.5 增长率	20

3.3 讨论与分析	21
3.4 小结	22
第4章 茎柔鱼角质颚的形态学及其与个体生长的关系	23
4.1 材料与方法	23
4.1.1 样本采集	23
4.1.2 实验方法	23
4.1.3 数据分析	24
4.2 研究结果	25
4.2.1 胴长、体重和日龄	25
4.2.2 角质颚外部形态参数	25
4.2.3 典型相关分析	26
4.2.4 主成分分析	27
4.2.5 角质颚外部形态参数与胴长、体重、日龄的关系	28
4.2.6 不同胴长组的角质颚形态差异分析	30
4.2.7 不同日龄组的角质颚形态差异分析	32
4.2.8 不同性成熟度的角质颚形态差异分析	33
4.3 讨论与分析	34
4.4 小结	37
第5章 茎柔鱼角质颚的色素沉着及其与个体生长关系	38
5.1 材料与方法	38
5.1.1 样本采集	38
5.1.2 实验方法	38
5.1.3 数据分析	39
5.2 研究结果	41
5.2.1 样本大小分析	41
5.2.2 自变量相关	41
5.2.3 色素沉着等级与性腺成熟度的关系	42
5.2.4 色素沉着等级与日龄、胴长和体重的关系	43
5.2.5 色素沉着等级与角质颚形态参数的关系	44
5.3 讨论与分析	45
5.4 小结	47
第6章 茎柔鱼角质颚微化学及其与耳石比较	48
6.1 材料与方法	48
6.1.1 样本采集	48

6.1.2 实验方法	50
6.1.3 数据分析	52
6.2 研究结果	53
6.2.1 角质颚微量元素沉积及其与耳石同步性分析	53
6.2.2 不同生活史时期角质颚微量元素及其与耳石比较	55
6.2.3 基于生长初期的角质颚微量元素茎柔鱼种群结构及其与耳石比较	59
6.3 讨论与分析	71
6.3.1 角质颚微量元素沉积及其与耳石同步性分析	71
6.3.2 不同生活史时期耳石微量元素	72
6.3.3 不同生活史时期角质颚微量元素	73
6.3.4 生长初期耳石微量元素判别茎柔鱼种群结构	73
6.3.5 生长初期角质颚微量元素判别茎柔鱼种群结构	74
6.4 小结	75
第7章 茎柔鱼内壳结构及其生长的研究	76
7.1 材料与方法	76
7.1.1 采样时间和海区	76
7.1.2 生物学测定	77
7.1.3 数据统计	78
7.2 结果与分析	78
7.2.1 生物学参数分析	78
7.2.2 内壳结构及其生长	79
7.3 讨论与分析	83
7.4 结论	84
第8章 基于内壳稳定同位素的秘鲁外海茎柔鱼摄食洄游研究	85
8.1 材料与方法	86
8.1.1 材料来源	86
8.1.2 内壳切割	86
8.1.3 稳定同位素分析	87
8.1.4 数据统计	87
8.1.5 生长方程的筛选	87
8.2 结果与分析	88
8.2.1 内壳叶轴生长方程	88
8.2.2 基础生物学	90

8.2.3 内壳稳定同位素分析结果	91
8.2.4 营养生态位	92
8.2.5 内壳片段稳定同位素序列	94
8.3 讨论	97
8.3.1 内壳连续切割	97
8.3.2 摄食与洄游	98
8.4 结论	100
参考文献	101

第1章 引言

1.1 问题提出

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)隶属柔鱼科(Ommastrephidae)茎柔鱼属(*Dosidicus*)，在柔鱼科中，茎柔鱼是个体最大、资源量极为丰富的种类之一。茎柔鱼广泛分布于东太平洋，自加利福尼亚(37°N)至智利的南部(47°S)，从南美洲、北美洲的沿岸一直延伸到125°W(图1-1)。在加利福尼亚湾、哥斯达黎加、秘鲁和智利海域，茎柔鱼是重要的渔业捕捞对象。茎柔鱼在秘鲁海域的资源量最为丰富，是秘鲁海域极重要的渔业资源之一。在秘鲁海域，茎柔鱼渔业始于1961年，以当地的手钓作业为主。在1991年，日本和韩国鱿钓船在秘鲁海域对茎柔鱼进行了探捕和调查，并取得了成功。随后，茎柔鱼资源被大规模地开发。2001年，我国在秘鲁外海进行了首次探捕调查，并取得了成功，产量达到 1.8×10^4 t。

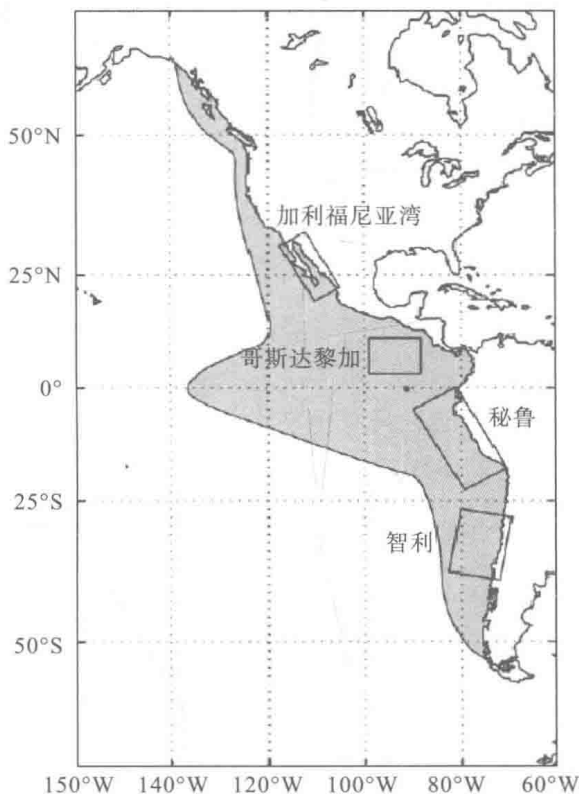


图1-1 茎柔鱼分布图(长方形为主要作业渔场区域)

据联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)统计，2000年茎柔鱼总产量为 21.0×10^4 t，随后呈现上升的趋势，2004年总产量达 83.5×10^4 t(图1-2)。2004~2013年，尽管茎柔鱼的总产量有所波动，但均保持在 60×10^4 t以上，2012年达到历史最高产量，为 95.1×10^4 t，2013年总产量为 84.7×10^4 t。其中，2012年中国的茎柔鱼产量为 26.1×10^4 t，2013年中国的产量达 26.4×10^4 t(图1-2)。

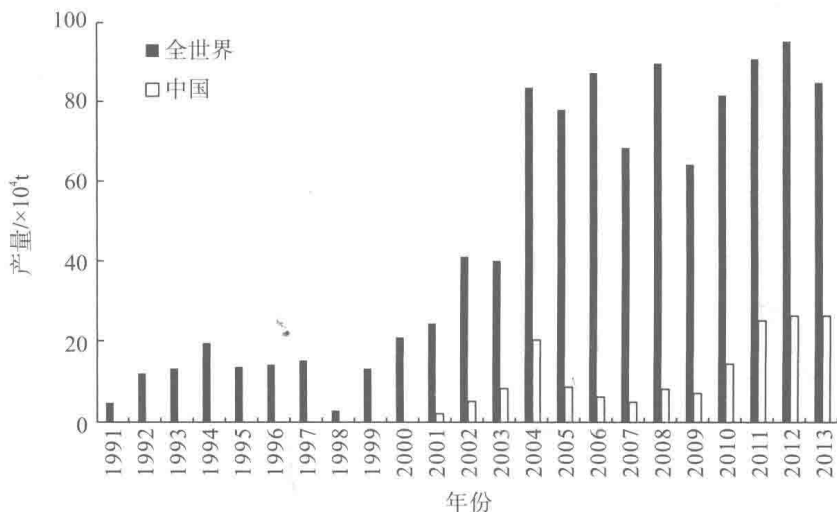


图 1-2 1991~2013 年茎柔鱼产量分布图

茎柔鱼是主动的捕食者，主要捕食的种类为浮游动物、甲壳类、鱼类和头足类，同时茎柔鱼还是许多大型鱼类、海鸟以及海洋哺乳动物的重要捕食对象，在海洋生态系统中具有重要地位。然而，茎柔鱼种群结构复杂，资源丰度易受环境的影响，因此了解和掌握茎柔鱼的资源量及其生活史信息，对东南太平洋海洋生态系统的研究具有重要作用。

耳石是位于平衡囊内的一对钙化组织，在头足类游动过程中具有探测身体速度的作用。耳石储存着大量的信息，被形象地称为生命记录的“黑匣子”。头足类耳石生长纹的沉积具有日周期性的假说已被证实，此后耳石便作为最常用的硬组织被应用于头足类的日龄鉴定。角质颚是头足类的主要摄食器官，与耳石等其他硬组织一样，具有稳定的形态特征、良好的信息储存以及耐腐蚀等特点，被广泛应用于头足类的日龄估算。基于生物体钙化组织中微量元素与同位素等微化学的分析已经成为一种新兴的手段，被应用于研究海洋生物的种群结构和栖息环境。头足类的耳石与鱼类的耳石在结构上有很多相似之处，具有由蛋白质和文石交替沉积的生长纹。生长纹的日周期性证实物质在耳石上的沉积贯穿于生物体的整个生命周期，这也使得通过分析耳石的微化学来研究头足类的生活史成为可能。角质颚主要由几丁质和蛋白质组成，与耳石相似的是，角质颚喙部矢状切面同样具有明暗交替的生长纹，因此物质在角质颚上的沉积也贯穿于生物体的整个生命周期。

内壳也是头足类重要的硬组织之一，它是由几丁质和蛋白质分子构成的稳定角质结构，其生长发育具有不可逆性且生长贯穿整个生活史过程，从而可以包含头足类生活史过程中的全部信息。

为此,本书拟通过分析茎柔鱼角质颚、内壳的微结构,辅以较为成熟的耳石分析手段,找出更为便捷的方法来研究茎柔鱼的日龄、生长和种群结构;通过分析角质颚的外部形态特征,研究角质颚的外部形态特征与茎柔鱼的生长和摄食习性的关系;通过分析茎柔鱼角质颚的微量元素,辅以耳石微化学手段,了解和掌握茎柔鱼的栖息环境和生活史特性,同时对茎柔鱼个体内壳生长纹片段连续切割,分析切割后各片段的C、N稳定同位素比值信息,探索群体间及同一群体内茎柔鱼个体生长发育过程中的食性转换和洄游习性,为全面掌握茎柔鱼渔业基础生物学提供科学依据。

1.2 茎柔鱼渔业生物学国内外研究现状

日龄与生长是研究鱼类生物学最基本的内容之一,对种群生态学的研究及渔业资源的保护和管理具有重要的作用。头足类日龄与生长早期的研究主要以体长频度法为主(Nesis, 1970),然而体长频度法并不适用于头足类,头足类不仅生长迅速、个体大、生命周期短、常年产卵,而且其具有洄游习性,导致不同世代的群体混合在一起,因而在进行日龄和生长的分析时无法排除不同群体之间的干扰(Jackson and Choat, 1992; Jackson et al., 2000)。

Young(1960)最先在真蛸耳石中发现了生长纹,Lipinski(1979)提出了“一日一轮”的假说,随后头足类耳石生长纹的沉积具有日周期性的假说被证实(Hurley et al., 1985; Odense, 1985),此后耳石便成为最常用的硬组织被应用于头足类的日龄鉴定(Bettencourt and Guerra, 2000; Semmens and Moltschaniwskyj, 2000)。

一般认为,茎柔鱼的生命周期约为1年,然而大个体群体中的一些个体大的茎柔鱼($ML > 750\text{mm}$),生命周期可达1.5~2年(Nigmatullin et al., 2001)。Liu等(2013a)利用耳石微结构研究了秘鲁外海茎柔鱼的日龄和生长,发现日龄为144~633d,冬春季产卵群体的日龄与胴长符合线性模型,夏秋季产卵群体的日龄与胴长符合幂指数模型。Chen等(2011)利用耳石微结构估算了智利外海茎柔鱼的日龄,雌性个体的日龄为150~307d,雄性个体的日龄为127~302d,春季产卵群体的茎柔鱼日龄与胴长和体重分别符合线性关系和指数关系,秋季产卵群体的茎柔鱼日龄与胴长和体重分别符合幂指数关系和指数关系。在墨西哥加利福尼亚湾,茎柔鱼的日龄与胴长符合逻辑斯谛模型,胴长的绝对生长率(absolute growth rate, AGR)大于2mm/d的时间能够超过5个月,雌性个体在230~250d达到最大AGR(2.65mm/d),雄性个体在210~230d达到最大AGR(2.44mm/d)(Markaida et al., 2004)。在下加利福尼亚西部沿岸海域,雌性个体在220d达到最大AGR(2.09mm/d),雄性个体在200d达到最大AGR(2.1mm/d)(Mejia-

Rebollo et al., 2008)。在哥斯达黎加外海, 茎柔鱼的日龄与胴长符合线性模型, 雌性和雄性个体的年龄与体重分别符合指数和幂指数关系, 雌性茎柔鱼的胴长在 181~210d 生长率达到最大, 最大 AGR 和最大瞬时增长率(G)分别为 1.46mm/d 和 0.52, 雄性茎柔鱼的胴长在 151~180d 生长率达到最大 AGR(2.07mm/d)和最大 G (0.85)(Chen et al., 2013)。

角质颚是头足类的主要摄食器官, 在角质颚的喙部矢状切面和侧壁上均具有生长纹结构(Hernández-López et al., 2001; Liu et al., 2015)。Raya 和 Hernández-González(1998)在真蛸角质颚喙部矢状切面发现了生长纹, 并认为上角质颚喙部中线上的生长纹较下角质颚更完整。通过对生长纹的分析, 认为生长纹的沉积是连续的, 很可能具有日周期性。Hernández-López 等(2001)研究了真蛸角质颚侧壁上的生长纹, 发现上角质颚侧壁上的生长纹的沉积具有规律性, 而下角质颚侧壁上的带状模式不具有规律性。养殖刚孵化的幼体并对其进行研究, 发现 48.1%的幼体上颚侧壁生长轮纹与生长天数相等, 22.2%和 29.6%的幼体分别比生长天数多一天和少一天, 因此孵化后上颚侧壁的生长轮纹便开始沉积, 并具有日周期性。Perales-Raya 等(2010)通过分析真蛸角质颚来估算日龄, 在对生长纹进行计数时, 上颚矢状切面生长纹的精确度最高, 上颚侧壁生长纹的精确度最低。上颚矢状切面生长纹数与上颚侧壁生长纹数差异性显著, 而与下颚矢状切面生长纹数差异性不显著。Canali 等(2011)利用“温度突变标记”法研究了真蛸上颚侧壁的生长纹, 认为上角质颚生长纹能够用于日龄估计, 并且标记着环境影响个体的突发事件。研究表明, 在不同产卵群体以及不同性别间真蛸的生长具有差异性, 轮纹的间距与季节的温度变化密切相关。Dei Becchi 和 Di(2011)利用上颚侧壁进行了研究, 分析了不同生长阶段及不同性别生长纹与胴长及体重的关系。Castanhari 和 Tomás(2012)分析了真蛸上颚侧壁的生长纹, 并研究了生长纹与胴长、体重以及上角质颚脊突长的关系, 发现通过计数上颚侧壁的生长纹能够简单有效地估算日龄。Perales-Raya 等(2014)利用角质颚对衰老的真蛸进行了日龄估算, 并对上颚喙部矢状切面的标记轮进行了研究, 发现海表温度日变化最大时发生在真蛸生活史的最后几个月, 并与角质颚上的标记轮相一致, 从而证实了角质颚喙部矢状切面生长纹的沉积具有日周期性。Perales-Raya 等(2014)通过观察上角质颚喙部矢状切面微结构, 发现普遍存在着标记轮, 这些标记轮被认为可能记录着个体的生活史信息。

在以往的研究中, 主要是利用耳石微结构来估算茎柔鱼的日龄, 但是耳石的体积小, 在日龄鉴定中研磨较为困难, 因此应寻找更为便捷的方法估算茎柔鱼的日龄。研究头足类生长的模型主要为线性模型和非线性模型, 其中非线性模型主要为指数、幂指数和逻辑斯谛方程等。头足类的生长受生物因素(饵料、敌害等)

和非生物因素(光照、温度、溶解氧等)的影响,因此不同的性别、生长阶段、种群和地理区域,其适合的生长方程也会不同(Markaida et al., 2004)。在研究头足类整个生命周期的生长时,可能需要结合使用多种模型,一般采用相关系数、变异系数(CV)以及赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)值来选择最佳生长模型(Chen et al., 2011; Arkhipkin et al., 2000)。

1.2.1 种群结构组成

头足类种群结构的研究方法有很多,可以利用形态学对种群进行划分、对不同地理区域的群体进行划分、根据对其日龄的判读来推算不同的产卵群体以及利用分子生物学来鉴别不同的种群等。

Arkhipkin 和 Murzov(1986)研究了厄瓜多尔和秘鲁专属经济区外的茎柔鱼样本,发现两个个体大小不同的群体性成熟时的日龄和个体大小不同。Masuda (1998)通过分析秘鲁外海茎柔鱼耳石微结构,发现茎柔鱼生命周期约1年,并且两个个体大小不同的群体性成熟时的个体大小不同。Argüelles 等(2001)通过分析秘鲁茎柔鱼耳石的微结构,将秘鲁海域的茎柔鱼划分为胴长小于490mm和大于520mm的两个种群。而 Nigmatullin 等(2001)根据性成熟个体的胴体大小,将茎柔鱼划分为大、中、小3个群体。

Liu 等(2015a, 2015b)分析了厄瓜多尔、秘鲁和智利外海的茎柔鱼及其角质颌的形态变量,发现不同地理群体间存在差异,这些形态变量可以有效地对不同地理群体进行判别。Wormuth(1970)通过研究茎柔鱼的个体大小,发现在赤道以北的海域胴长大于400mm的个体很稀少,然而在赤道以南的海域可以见到胴长大于1m的个体。Liu 等(2015b, 2015c)分析了哥斯达黎加、秘鲁和智利外海茎柔鱼生长初期耳石的微量元素,认为早期耳石微量元素可以用来区分不同地理群体和鉴定出生地,发现茎柔鱼至少有两个洄游种群,分布在东太平洋的北部和南部。

Liu 等(2013a)通过分析秘鲁外海茎柔鱼耳石的微结构,推算其孵化日期,发现茎柔鱼为全年产卵,将其划分为冬春生群体和夏秋生群体。Liu 等(2015b, 2015c)分析了智利外海茎柔鱼不同产卵群体耳石的微量元素,发现耳石微量元素可以用来划分不同的产卵群体,并认为耳石微量元素可以用于种群结构和栖息环境的研究。

进入21世纪以后,随着分子生物学的迅速发展,分子生物技术也越来越多地被应用于头足类种群结构的研究,其中包括微卫星DNA、线粒体DNA序列多态性以及随机扩增多态性(RAPD)等。Sandoval-Castellanos 等(2010)利用 RAPD

法对墨西哥、秘鲁以及智利海域的茎柔鱼进行了分析,将其划分为南半球群体和北半球群体。

1.2.2 洄游特性的研究

头足类在各个生长阶段均具有洄游的习性,洄游特性与水温、海流、盐度等海洋环境因子密切相关,而食物被认为是影响洄游行为的关键因素(Roper and Young, 1975; O'Dor and Balch, 1985)。Nigmatullin 等(2001)认为,茎柔鱼仔稚鱼栖息在温度较高的表层水域,亚成鱼和成鱼则迁移到温度较低的深水区,仔稚鱼在表层水域的温度为 15~32℃,在深水区的温度为 4.0~4.5℃。

Gilly 等(2006)利用电子标记法研究茎柔鱼的水平和垂直洄游,发现茎柔鱼游泳速度大于 30km/d,白天大部分时间在 250m 以下,黄昏时分游向表层摄食,茎柔鱼会持续在表层和最小含氧水层进行摄食。Liu 等(2011)分析了茎柔鱼不同生长阶段耳石的微量元素,认为仔稚鱼栖息在表层水域,亚成鱼期向更深、更寒冷的水域迁移。Zumholz 等(2007)通过分析耳石微量元素对贻乌贼的生活史进行研究时,同样发现了这一现象。Lorrain 等(2011)对茎柔鱼内壳的 $\delta^{13}\text{C}$ 进行了分析,发现茎柔鱼可能具有多个洄游过程,反映了茎柔鱼对外界环境较强的适应性。Bazzino 等(2010)通过研究茎柔鱼的摄食和洄游,发现茎柔鱼能够改变自己的行为 and 食性来适应外界环境,这种强的适应性可能是茎柔鱼分布范围扩大的重要因素。

1.3 研究内容

本书根据中国鱿钓船在秘鲁外海采集的茎柔鱼样本,分析茎柔鱼角质颚的微结构和微化学,并与耳石进行了比较。通过分析角质颚和耳石微结构的生长纹来估算茎柔鱼的日龄,利用角质颚微结构研究茎柔鱼的日龄、生长和种群结构;通过分析角质颚的外部形态特征,利用角质颚的外部形态参数估算茎柔鱼的个体大小、资源量和日龄,并分析个体生长对角质颚外部形态的影响,利用神经网络模型研究角质颚色素沉着与茎柔鱼生长的关系,初步探讨角质颚色素沉着对茎柔鱼食性变化的影响;分析角质颚与耳石微量元素沉积的同步性,并尝试分别利用茎柔鱼早期耳石和角质颚微量元素划分不同产卵群体。同时,利用秘鲁外海茎柔鱼内壳的形态学参数,结合胴长与体重数据,分析其与茎柔鱼个体生长的关系,对比内壳不同结构的生长特点,并探讨造成其结构间生长差异的原因;通过测定内壳的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$,探索群体间及同一群体内茎柔鱼个体生长发育过程中的食性

转换和洄游习性。具体研究内容如下:

(1) 茎柔鱼角质颚微结构及轮纹判读。通过分析茎柔鱼耳石和角质颚的微结构,对微结构的生长纹进行计数,并对耳石和角质颚微结构的轮纹数进行差异性分析,探讨利用角质颚微结构估算茎柔鱼日龄的可行性。

(2) 基于角质颚的茎柔鱼日龄、生长和种群结构的研究。通过对秘鲁外海茎柔鱼上角质颚喙部矢状切面分析,利用上角质颚微结构的生长纹估算茎柔鱼的日龄,结合捕捞日期推算出孵化日期,并将茎柔鱼划分为不同的产卵群体,建立日龄与胴长、体重的关系,尝试利用角质颚微结构研究茎柔鱼的日龄和生长,并对茎柔鱼的种群结构进行探讨。

(3) 茎柔鱼角质颚的形态学及其与个体生长的关系。分析秘鲁外海茎柔鱼角质颚的形态特征,对角质颚的形态参数与胴长、体重和日龄建立关系,使角质颚成为一种有效的工具来估算茎柔鱼的个体大小、生物量和日龄;同时研究茎柔鱼在不同胴长组、不同日龄组以及不同性腺成熟阶段其角质颚的形态差异,初步探讨角质颚的形态变化与茎柔鱼食性的关系。

(4) 茎柔鱼角质颚的色素沉着及其与个体生长关系的研究。利用神经网络模型定量地分析茎柔鱼及其角质颚的生长对角质颚色素沉着的影响,建立各输入变量与角质颚色素沉着等级的关系,找出影响角质颚色素沉着的主要因子,探讨角质颚色素沉着与茎柔鱼生长的关系,初步探讨角质颚色素沉着对茎柔鱼食性变化的影响。

(5) 茎柔鱼角质颚和耳石微化学分析与比较。利用 LA-ICP-MS 法分析茎柔鱼耳石和角质颚不同生长阶段微量元素的组成,通过对耳石和角质颚微量元素进行相关性分析,探讨耳石和角质颚微量元素沉积的同步性;通过比较不同生活史时期耳石和角质颚微量元素的变化,分析茎柔鱼从仔鱼到成鱼的栖息环境和生活史信息;通过比较不同产卵群体早期耳石和角质颚微量元素的差异,分析温度对耳石和角质颚微量元素沉积的影响,并分别利用茎柔鱼生长初期耳石和角质颚的微量元素判别不同产卵群体,为茎柔鱼种群划分提供新的思路。

(6) 基于内壳稳定同位素信息的秘鲁外海茎柔鱼摄食与洄游研究。通过测量秘鲁外海茎柔鱼内壳的形态学参数,结合胴长与体重数据,分析其与茎柔鱼个体生长的关系,对比内壳不同结构的生长特点,并探讨造成其结构间生长差异的原因。采用茎柔鱼耳石进行年龄鉴定,建立内壳叶轴生长方程,根据生长方程将内壳叶轴生长纹片段进行连续切割,测定切割后各片段的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$,比较个体(群体)间的营养生态位和内壳稳定同位素比值连续序列差异,探索群体间及同一群体内茎柔鱼个体生长发育过程中的食性转换和洄游习性。

第2章 茎柔鱼角质颚微结构及轮纹判读

2.1 材料与方法

2.1.1 样本采集

茎柔鱼样本采集时间为2013年7~10月,作业海域为 $79^{\circ}57' \sim 83^{\circ}24' \text{W}$ 、 $10^{\circ}54' \sim 15^{\circ}09' \text{S}$ 。样本委托普陀远洋渔业有限公司所属的“普远802”专业鱿钓船在秘鲁外海生产期间采集,渔船总长50.5m、型宽8.0m、型深3.8m;总吨(ITC)477t,净吨156t,冷藏鱼舱 301.3m^3 ,油舱 201.3m^3 ;主机功率551kW,副机功率 $255\text{kW} \times 2$ 台、 $181.8\text{kW} \times 1$ 台、 $32\text{kW} \times 1$ 台;集鱼灯160盏 $\times 1\text{kW}$,水下灯2盏 $\times 5\text{kW}$ 。每一采集站点的样本从渔获物中随机获得,每次约为30尾,采集的样本冷冻后运回实验室,本书按其个体大小选取了其中的39尾茎柔鱼样本。

2.1.2 实验方法

1. 生物学测定与耳石、角质颚的提取

将茎柔鱼样本带回实验室解冻后进行生物学测定,测量内容包括胴长(mm)、体重(g),并鉴别性别和性成熟度。

用镊子轻轻地将耳石从平衡囊取出后,然后存放于盛有95%乙醇溶液的2mL离心管中,以便清除包裹耳石的软膜和表面的有机物,对其进行编号并与生物学测定的参数相对应。

角质颚位于头部口器中,下颚盖嵌上颚,因此提取角质颚时应先用镊子取出下颚,再取上颚。将角质颚取出后,用水将其清洗干净,尽量去除附在表面的有机物质,并将其保存在盛有70%乙醇溶液的50mL离心管中,对其进行编号并与生物学测定的参数相对应。

2. 耳石、上角质颚和下角质颚切片制作

茎柔鱼角质颚微结构的生长纹位于喙部矢状切面上(图2-1),对耳石采取纵截面研磨,其背区微结构的生长纹较为清晰(图2-2)。耳石、上角质颚和下角质

颚切片的制作均包括三个步骤,即包埋、研磨和抛光。包埋的目的是固定耳石和角质颚,将耳石和角质颚放入长方形塑料模具中,加入固化剂和冷埋树脂进行包埋;待其硬化后在 Stuers® 专业研磨机上依次使用 600grits、1200grits 和 2000grits 防水耐磨砂纸进行研磨,直至研磨到理想的切面;待两面都研磨完毕后,再用 $0.3\mu\text{m}$ 氧化铝水绒布进行抛光;最后将制备好的切片保存在鳞片袋中,并做好标记。

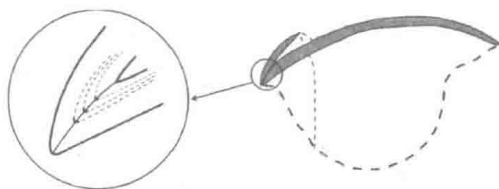


图 2-1 上角质颚喙部矢状切面
[引自 Perales-Raya 等(2010)]



图 2-2 茎柔鱼耳石背区微结构

3. 轮纹计数

研磨好的耳石切片在连接有 CCD 的 Olympus 双筒光学显微镜 400 倍下拍照,研磨好的上角质颚和下角质颚切片在连接有 CCD 的 Olympus 双筒光学显微镜 100 倍下拍照,然后利用 Photoshop 7.0 对图片进行叠加处理,得到完整的耳石和角质颚图片。每一图片上的生长纹由两个观察者分别计数一次,如两者计数的轮纹数与均值的差值低于 10%,则认为准确,否则计数无效(Yatsu et al., 1997)。

2.1.3 数据分析

1. 轮纹数差异性分析

利用均值检验(t -test)法对耳石轮纹数与上颚轮纹数、耳石轮纹数与下颚轮纹数以及上颚轮纹数与下颚轮纹数进行差异性分析,检验耳石、上角质颚和下角质颚轮纹数是否具有显著差异。

2. 轮纹数相关分析

利用典型相关分析理论,分析耳石轮纹数、上颚轮纹数和下颚轮纹数三者的相关关系,检验三者之间是否具有显著相关性。

本研究均利用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。