



# 大洋性经济柔鱼类 —— 渔情预报与资源量 —— 评估研究

Fishery Forecasting and Stock Assessment on  
Commercial Ommastrephid Squid

陈新军 汪金涛 官文江 雷林◎著



中国农业出版社

# 大洋性经济柔鱼类渔情预报与 资源量评估研究

陈新军 汪金涛 官文江 雷林 著

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

大洋性经济柔鱼类渔情预报与资源量评估研究 / 陈  
新军等著. —北京: 中国农业出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-109-21802-4

I. ①大… II. ①陈… III. ①远洋渔业—柔鱼—鱼类  
—渔情预报②远洋渔业—柔鱼—鱼类—资源量—评估  
IV. ①S977

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 140300 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 曾丹霞

文字编辑 张彦光

---

化学工业出版社印刷厂 新华书店北京发行所发行  
2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月北京第 1 次印刷

---

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 8.5

字数: 150 千字

定价: 18.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 前 言

大洋性经济柔鱼类是头足类的重要经济种类，其中分布在西北太平洋的柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*)、西南大西洋的阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*)、东南太平洋的茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*) 是我国鱿钓船队的重要捕捞对象，具有重要的经济价值。生产统计表明，大洋性经济柔鱼类的资源量年间波动剧烈，给渔业生产和科学管理带来了一定的难度。目前对柔鱼类的渔情预报技术研究，尤其是柔鱼类资源补充量预报研究和资源量评估的研究还处于起步阶段。开展大洋性经济柔鱼类渔情预报技术研究，掌握它们的资源现状和群体数量的变动规律是实现大洋性经济柔鱼类资源可持续利用和科学管理的关键。

本专著的研究假设：①由于柔鱼类是短生命周期的种类，具有产完卵即死的特点，没有剩余群体只有补充群体，因此海洋环境是影响柔鱼类渔场分布和资源补充量的关键因子，即产卵场和索饵场环境因子对其资源补充量及渔场分布起到重要的作用；②在剩余产量资源评估模型中，同样假设产卵场和索饵场环境因子对其个体生长及资源补充起到重要作用。基于以上 2 个科学假设，本专著重点开展了如何选择最适的时空尺度来建立基于海洋环境因子的中心渔场预报模型；如何选取最适的产卵场和索饵场的环境因子准确预报资源补充量，且预报模型具有稳定性；比较基于索饵场和产卵场环境因子的柔鱼类资源评估模型，同时探讨这一基于环境因子的资源评估模型是否适合上述 3 个种类。为此，根据我国及相关国家和地区的渔业生产统计数据，结合卫星遥感海洋环境数据（表温、表温距平均值、海面高度和叶绿素），本专著系统地开展了西北太平洋柔鱼、西南大西洋阿根廷滑柔鱼、东南太平洋茎柔鱼 3 种柔鱼种类的渔情预报与资源评估技术研究，为中心渔场的准确预报、资源补充量预测以及管理策略的制定提供依据。

本专著共分 6 章。第 1 章为绪论。首先对研究的背景和国内外有关柔鱼类的渔场预报技术、资源补充量预报技术、资源量评估技术的研究现状

和存在的问题做了综合分析,对本研究的主要内容和研究体系做了概述。第2章为渔情预报与资源评估技术的理论和方法,具体阐述渔场预报方法、基于环境因子的资源补充量预报方法和资源量评估方法。第3至第5章为3个大洋性经济柔鱼种类的渔情预报与资源评估案例分析。利用多年的生产数据和海洋卫星遥感环境数据,绘制基于渔场等级的作业分布图,了解柔鱼的基本分布情况;使用渔业数据处理软件(fishery data process, FDP)预处理原始数据,使用 Matlab 神经网络工具建立不同时空尺度和环境因子的中心渔场预报模型,并从多种角度评价模型优劣,选出最优模型;利用标准化后的年单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)作为资源丰度指标,使用相关分析法寻找资源丰度关键影响因子,并建立稳定模型;在资源丰度关键影响因子基础上,构建多种基于环境因子的 Schaefer 剩余产量资源评估模型,比较模型优劣,评估当前资源状况。第6章对本研究进行总结,对存在的不足和尚需进一步研究的问题进行探讨。

本专著系统性强,可认为是针对短生命周期柔鱼种类的生活史特性进行渔情预报与资源评估在理论和方法上的创新及其实际应用,是对渔业资源评估理论和方法的发展。该专著可供水产界、海洋生物界及渔业海洋学界等相关领域的科研、教学等科学工作者使用。

本专著得到上海市远洋渔业协同创新中心、上海市高峰学科Ⅱ类(水产学),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)等专项的资助。

由于时间仓促,覆盖内容广,国内没有同类的资料参考,因此难免会存在一些错误。望各位读者批评和指正。

编 者

2015年10月

# 目 录

## 前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 绪 论 .....               | 1  |
| 1.1 研究背景 .....                | 1  |
| 1.2 国内外研究现状及存在问题 .....        | 3  |
| 1.2.1 鱿鱼类生活史及生态地位 .....       | 4  |
| 1.2.2 鱿鱼类栖息环境 .....           | 5  |
| 1.2.3 渔场预报技术研究 .....          | 6  |
| 1.2.4 资源补充量预报技术 .....         | 10 |
| 1.2.5 渔业资源评估国内外研究现状 .....     | 12 |
| 1.2.6 科学假设的提出 .....           | 16 |
| 1.3 研究的内容和技术路线 .....          | 18 |
| 1.3.1 研究的内容 .....             | 18 |
| 1.3.2 技术路线 .....              | 19 |
| 第 2 章 渔情预报与资源评估技术的理论和方法 ..... | 20 |
| 2.1 材料来源及预处理方法 .....          | 20 |
| 2.1.1 材料来源 .....              | 20 |
| 2.1.2 预处理方法 .....             | 21 |
| 2.2 CPUE 标准化方法 .....          | 22 |
| 2.2.1 nominal CPUE 计算 .....   | 22 |
| 2.2.2 GLM 模型 .....            | 23 |
| 2.2.3 GAM 模型 .....            | 23 |
| 2.2.4 CPUE 零值处理 .....         | 24 |

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| 2.3 中心渔场预报技术研究 .....                  | 24        |
| 2.3.1 时空尺度设置 .....                    | 25        |
| 2.3.2 环境因子设置 .....                    | 25        |
| 2.3.3 中心渔场预报模型 .....                  | 26        |
| 2.4 基于环境因子的资源补充量预报技术研究 .....          | 30        |
| 2.4.1 影响因子选取方法 .....                  | 31        |
| 2.4.2 资源补充量预报模型 .....                 | 31        |
| 2.5 基于环境因子的渔业资源评估模型研究 .....           | 31        |
| 2.5.1 基于环境因子的剩余产量模型 .....             | 32        |
| 2.5.2 贝叶斯评估理论 .....                   | 34        |
| <b>第3章 西北太平洋柔鱼渔情预报与资源评估 .....</b>     | <b>37</b> |
| 3.1 西北太平洋柔鱼渔业生物学概述 .....              | 37        |
| 3.2 西北太平洋柔鱼中心渔场预报 .....               | 38        |
| 3.2.1 中心渔场分布 .....                    | 38        |
| 3.2.2 模型实现及结果 .....                   | 40        |
| 3.2.3 模型分析 .....                      | 42        |
| 3.3 西北太平洋柔鱼资源补充量预报 .....              | 44        |
| 3.3.1 年 CPUE 变化趋势 .....               | 44        |
| 3.3.2 资源补充量影响因子 .....                 | 45        |
| 3.3.3 模型实现及结果 .....                   | 48        |
| 3.4 基于环境因子的西北太平洋柔鱼资源量评估 .....         | 49        |
| 3.4.1 评估模型构建 .....                    | 49        |
| 3.4.2 似然函数及先验分布 .....                 | 49        |
| 3.4.3 评估结果 .....                      | 50        |
| 3.5 讨论与分析 .....                       | 54        |
| <b>第4章 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔情预报与资源评估 .....</b> | <b>59</b> |
| 4.1 阿根廷滑柔鱼渔业生物学概述 .....               | 59        |
| 4.2 阿根廷滑柔鱼中心渔场预报 .....                | 60        |
| 4.2.1 中心渔场分布 .....                    | 60        |
| 4.2.2 模型实现及结果 .....                   | 62        |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 4.2.3 模型分析 .....                     | 63         |
| 4.3 阿根廷滑柔鱼资源补充量预报 .....              | 66         |
| 4.3.1 年 CPUE 变化趋势 .....              | 66         |
| 4.3.2 资源补充量影响因子 .....                | 66         |
| 4.3.3 预报模型实现及结果比较 .....              | 68         |
| 4.4 基于环境因子的阿根廷滑柔鱼资源量评估 .....         | 69         |
| 4.4.1 评估模型构建 .....                   | 69         |
| 4.4.2 似然函数及先验分布 .....                | 71         |
| 4.4.3 评估结果 .....                     | 71         |
| 4.5 讨论与分析 .....                      | 74         |
| <b>第 5 章 东南太平洋茎柔鱼渔情预报与资源评估 .....</b> | <b>78</b>  |
| 5.1 茎柔鱼渔业生物学概述 .....                 | 78         |
| 5.2 茎柔鱼中心渔场预报 .....                  | 78         |
| 5.2.1 中心渔场分布 .....                   | 78         |
| 5.2.2 模型实现及结果 .....                  | 82         |
| 5.2.3 模型分析 .....                     | 83         |
| 5.3 茎柔鱼资源补充量预报 .....                 | 86         |
| 5.3.1 年 CPUE 变化趋势 .....              | 86         |
| 5.3.2 资源补充量影响因子 .....                | 87         |
| 5.3.3 模型实现及结果 .....                  | 91         |
| 5.4 基于环境因子的茎柔鱼资源量评估 .....            | 91         |
| 5.4.1 评估模型构建 .....                   | 92         |
| 5.4.2 似然函数及先验分布 .....                | 93         |
| 5.4.3 评估结果 .....                     | 93         |
| 5.5 讨论与分析 .....                      | 97         |
| <b>第 6 章 主要结论与展望 .....</b>           | <b>101</b> |
| 6.1 主要结论 .....                       | 101        |
| 6.1.1 关于影响渔场分布的环境因子 .....            | 101        |
| 6.1.2 关于中心渔场预报的模型 .....              | 101        |
| 6.1.3 关于资源补充量的预报模型 .....             | 102        |

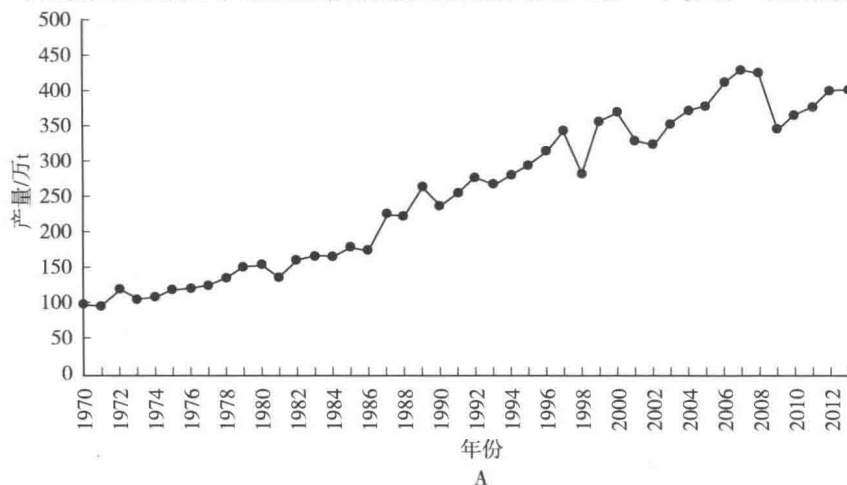
|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 6.1.4 关于短生命周期的渔业资源评估模型 ..... | 102 |
| 6.2 创新点 .....                | 103 |
| 6.3 存在的问题与展望 .....           | 103 |
| <b>主要参考文献</b> .....          | 105 |
| <b>附录</b> .....              | 118 |
| 附录1 FDP 软件使用方法 .....         | 118 |
| 附录2 CPUE 标准化代码片段 .....       | 122 |
| 附录3 贝叶斯资源评估代码片段 .....        | 123 |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 研究背景

头足类 (Cephalopoda) 被认为是世界海洋渔业资源中 3 种未充分开发利用的种类之一。世界头足类总产量基本上呈稳步上升的趋势, 2007 年达到最高值, 为 430.91 万 t, 2012 年为 402.76 万 t (图 1-1A)。1991—2012 年, 头足类产量占全球海洋捕捞产量的 3.04%~4.75%。目前, 头足类中规模开发的种类主要有柔鱼类 (Ommastrephidae)、枪乌贼 (Loliginidae)、乌贼类 (Sepiidae) 和章鱼类 (Octopus) (图 1-1B), 以柔鱼类所占比重最大 (陈新军等, 2012d)。1970—2012 年柔鱼类产量在世界头足类产量中的比重见图 1-2。在柔鱼类中, 现已规模开发的种类主要有太平洋褶柔鱼 (*Todarodes pacificus*)、柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*)、双柔鱼 (*Nototodarus sloani*)、阿根廷滑柔鱼 (*Illex argentinus*)、茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*)、鸢乌贼 (*Symplectoteuthis oualaniensis*) 等 (陈新军, 1996)。

我国是头足类主要生产国家之一, 2001—2012 年头足类年产量为 47.65 万~108.69 万 t。我国于 1989 年成功开发日本海的太平洋褶柔鱼资源后, 1993 年开始对西北太平洋柔鱼资源进行探查调查, 第二年便有一定规模的鱿



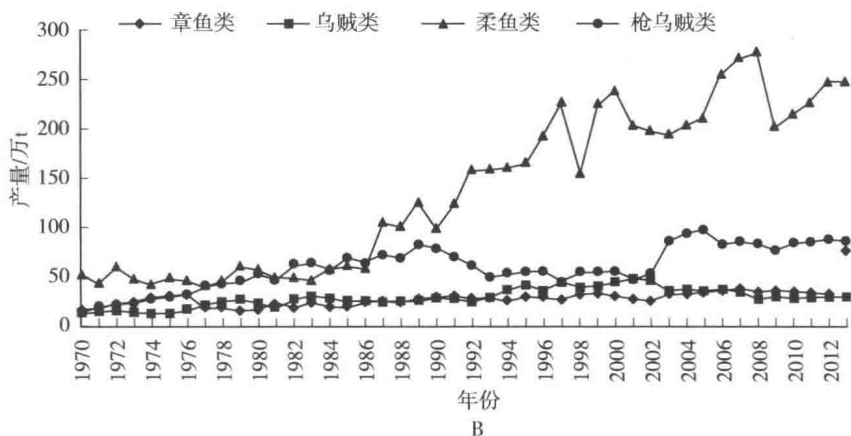


图 1-1 1970—2012 年世界头足类产量 (A) 及主要类别组成 (B)

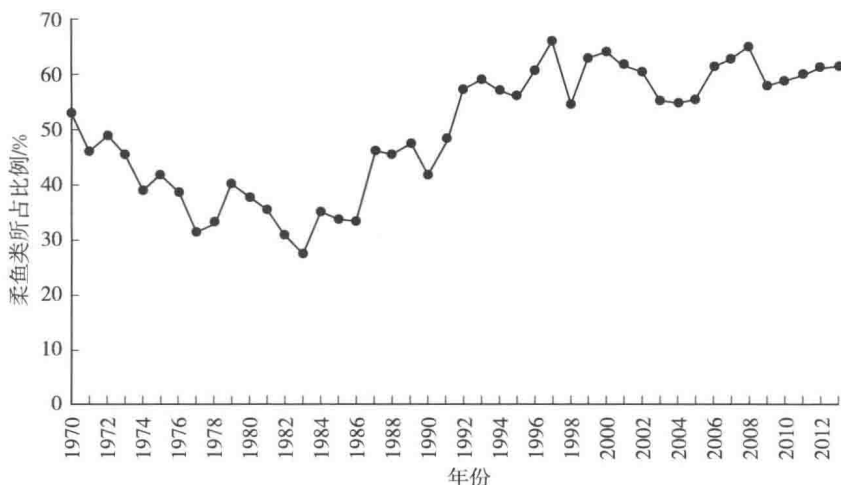


图 1-2 1970—2012 年柔鱼类产量在世界头足类产量中的比例

钓船投入生产,此后作业规模不断扩大,作业渔场不断向东拓展(陈新军,1996)。1996—1997年我国鱿钓船首次前往新西兰海域对双柔鱼进行大规模生产,由于产量不稳定,单船产量较低(陈新军等,2012d),因此1997年进入西南大西洋对阿根廷滑柔鱼进行生产,1999年开始有较多的鱿钓船投入生产,作业海域包括阿根廷专属经济区(exclusive economic zone, EEZ)、马尔维纳斯群岛专属经济区及公海(陈新军,1996)。2001年开始对秘鲁外海茎柔鱼资源进行商业性开发,随后又分别于2006年、2009年、2011年对智利外海、哥斯达黎加外海与赤道附近海域茎柔鱼资源进行探捕调查,并取得成功(陈新军等,2012a;刘必林等,2009;李纲等,2011;陈新军等,2012b)。2003—

2005 年我国鱿钓船对西北印度洋鸕乌贼资源进行探捕调查, 2006 年该渔业捕捞产量超过 5 000t (陈新军等, 2012d)。目前, 大洋性经济柔鱼类, 包括西北太平洋柔鱼、西南大西洋阿根廷滑柔鱼、东南太平洋茎柔鱼已成为我国远洋鱿钓作业的主要捕捞对象 (表 1-1)。

表 1-1 2002—2013 年我国鱿钓船捕获柔鱼、阿根廷滑柔鱼、茎柔鱼总产量及平均单船产量 (t)

| 年份   | 柔鱼      |        | 阿根廷滑柔鱼  |        | 茎柔鱼     |        |
|------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|      | 总产量     | 平均单船产量 | 总产量     | 平均单船产量 | 总产量     | 平均单船产量 |
| 2002 | 84 487  | 233    | 86 558  | 892    | 50 000  | 1 163  |
| 2003 | 82 949  | 404    | 97 035  | 1 021  | 80 100  | 1 083  |
| 2004 | 106 532 | 502    | 13 435  | 144    | 205 600 | 1 728  |
| 2005 | 98 372  | 433    | 40 018  | 540    | 86 300  | 927    |
| 2006 | 108 097 | 330    | 103 286 | 1 812  | 62 000  | 1 441  |
| 2007 | 113 117 | 443    | 183 753 | 3 402  | 46 400  | 1 252  |
| 2008 | 106 018 | 410    | 197 186 | 3 399  | 80 700  | 1 631  |
| 2009 | 36 763  | 134    | 60 717  | 1 046  | 64 400  | 1 192  |
| 2010 | 55 350  | 211    | 34 775  | 610    | 139 900 | 1 344  |
| 2011 | 54 218  | 283    | 12 302  | 473    | 250 600 | 1 457  |
| 2012 | 34 412  | 152    | 58 974  | 567    | 221 100 | 870    |
| 2013 | 51 987  | 219    | 106 550 | 705    | 242 200 | 1 181  |

开发和利用大洋性柔鱼类资源不仅为我国近海渔民提供更多的就业机会, 而且会带动运输、加工、出口贸易等行业的发展, 具有显著的经济效益和社会效益, 对维护我国在国际公海的海洋权益, 将我国建设成为海洋强国具有重要的意义 (刘连为, 2014)。

西北太平洋柔鱼、西南大西洋阿根廷滑柔鱼、东南太平洋茎柔鱼不但资源丰富而且分布广泛, 同时在海洋生态系统中占据着举足轻重的地位 (陈新军等, 2012d), 是世界主要远洋渔业国家和相关沿海国, 以及区域性国际渔业组织 (如北太平洋渔业管理组织、南太平洋渔业管理组织) 重点关注和管理的对象, 因此上述大洋性经济柔鱼类的中心渔场预报、资源补充量预报和资源量评估的研究已成为重要的课题, 是确保上述资源可持续开发和利用以及科学管理的基础。

## 1.2 国内外研究现状及存在问题

众多研究表明: 海洋环境在大洋性经济柔鱼类的生活史过程中起着重要的

作用,海洋环境的变化在某种程度上决定着柔鱼类的分布和资源量多少(Rodhouse, 2001; Anderson 等, 2001; Palacios 等, 2006),因此大洋性经济柔鱼类的渔场预报、资源补充量预报以及资源评估始终离不开其栖息环境,即海洋环境因子。另外,随着海洋卫星遥感技术的普及以及反演精度的提高,人们能快速准确地获取大范围内的海况信息,为大洋性经济柔鱼类渔情预报技术提供了可能。本节从鱿鱼生活史、渔场预报技术、资源量变化与海洋环境关系、资源评估等方面来阐述。

### 1.2.1 鱿鱼类生活史及生态地位

鱿鱼类为短生命周期的物种,通常寿命不超过2年(Roberts, 1998)。一生只产卵一次,产卵后即死亡(Roberts, 1998),因此每一代的资源量多少都完全取决于上一代亲体所产生补充量以及补充量在进入该种群前的存活率,这种生活史模式不同于长生命周期鱼类,如果人们还是利用已有的传统模型对其补充量进行预测,以及描述亲体与补充量之间关系,其准确性将大大降低(Pierce 等, 2003)。其原因在于:①环境变化对其生活史各个阶段(孵化、稚仔鱼、成鱼和产卵)的影响很大(Waluda 等, 2001a; Villanueva, 1995、2000; Villa 等, 1997; Sims 等, 2001; Rodhouse 等, 1994; Boyle 等, 1995; Moreno 等, 2007; Ichii 等, 2009)(图1-3)。其中从孵化到稚仔鱼被认为是一个非常重要的阶段,也是目前最不被了解的阶段(Pierce 等, 2003),研究环境变化对该阶段的影响对准确估算鱿鱼类孵化成功率有着重要的意义。

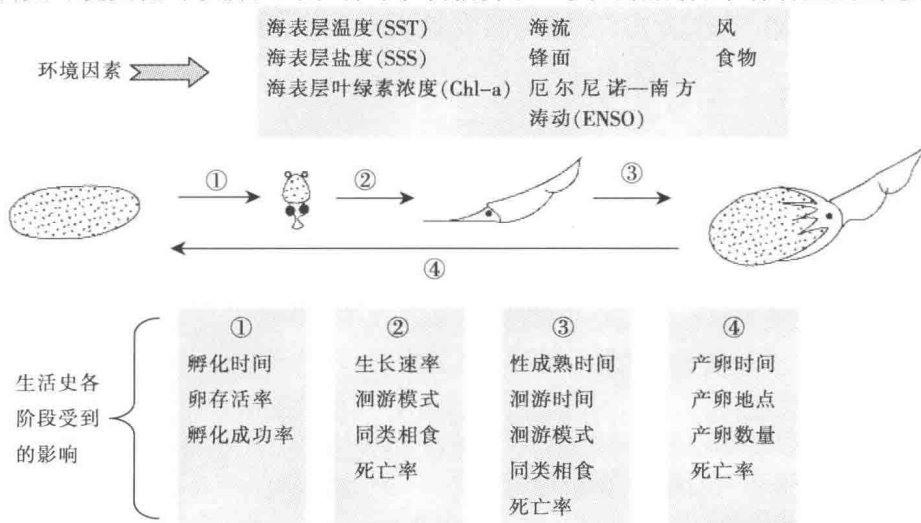


图1-3 鱿鱼类生活史中受到环境因子影响的示意

② 鱿鱼类没有剩余群体，只有当代的补充群体。

鱿鱼类是海洋生态系统中重要的组成成分，其在海洋生态系统的营养阶层中处于中间地位。作为捕食者，其主要捕食一些小鱼和小虾；作为饵料，其主要被海洋大型鱼类和哺乳动物捕食。因此鱿鱼类资源量的变动直接影响其捕食者和食物的种群数量，从而影响整个生态系统的结构。例如目前一些作为鱿鱼类捕食者的传统捕捞对象种类资源量的下降，被认为是这些鱿鱼类资源量增长的原因之一（周金官等，2008；Agnew 等，2002）。

### 1.2.2 鱿鱼类栖息环境

鱿鱼类分布广泛，主要分布在区域性的重要大洋性生态系统中，如各大洋的高流速的西部边界流、大尺度沿岸上升流和大陆架海域（Roper, 1983；Roper 等，1984）（图 1-4）。其中栖息在各大洋西部边界流和上升流附近海域的种类，资源量极大，也是目前海洋环境变化对鱿鱼类影响的研究重点（Anderson 等，2001）。

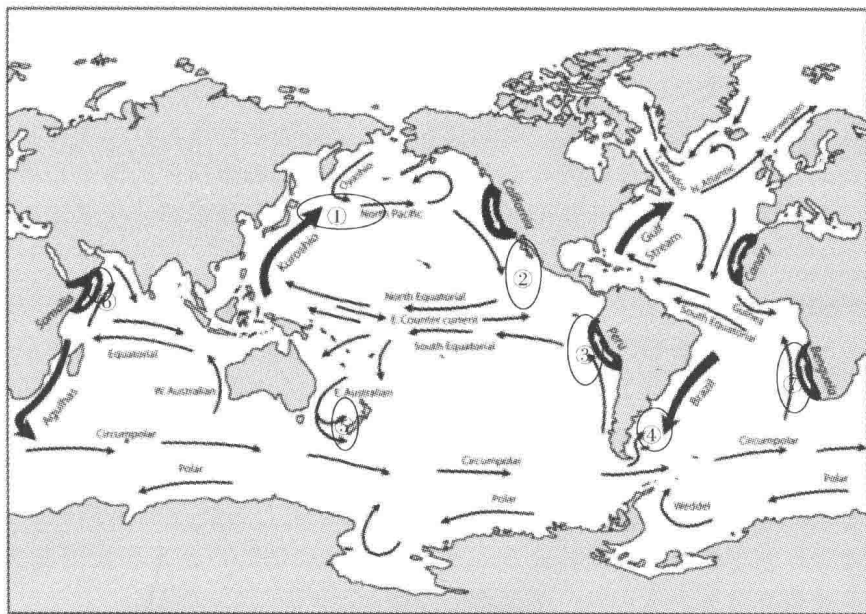


图 1-4 主要鱿鱼类在海洋大尺度海流中的分布示意

① 黑潮与亲潮交汇区：北太平洋柔鱼 ② 加利福尼亚寒流上升流区域：乳光枪乌贼 ③ 秘鲁寒流上升流区域：茎柔鱼 ④ 巴西暖流和福克兰海流交汇区：阿根廷滑柔鱼 ⑤ 新西兰西部东澳暖流区域：新西兰鱿鱼 ⑥ 印度洋西北部上升流海域：鸢乌贼 ⑦ 本格拉寒流上升流区域：好望角枪乌贼

分布在西部边界流海域典型的柔鱼类有西南大西洋的阿根廷滑柔鱼、西北太平洋的柔鱼和日本周边海域的太平洋褶柔鱼。西部边界流从赤道附近携带大量的热量与高纬度冷水海流相遇后,在锋面形成涡流和一些异常的水团,这种环境特征能够给鱿鱼类不同生活史阶段带来营养和合适的生存环境(O'Dor, 1992; Mann 等, 1991)。例如分布在西北太平洋的柔鱼,属于大洋性洄游的种类,每年进行着南北洄游(Saijo 等, 1970),北上的黑潮不但帮助其输送稚仔鱼和浮游植物,而且黑潮北上到高纬度与亲潮相遇而形成的锋面和涡流等,这些都有助于提高高纬度海域形成丰富的初级生产力(Bower 等, 2005)。同样在西南大西洋海域,巴西暖流和福克兰海流交汇处形成的暖水团,给阿根廷滑柔鱼的补充群体提供了适宜的海洋环境(Waluda 等, 2001a)。

与沿岸上升流生态系统有关的鱿鱼类,主要有分布在秘鲁寒流区域的茎柔鱼、本格拉寒流区域的好望角枪乌贼(*Loligo reynaudi*)、加利福尼亚寒流区域的乳光枪乌贼(*Loligo opalescens*)和印度洋西北部海域的鸢乌贼。这些低流速东部边界流通过表层埃克曼作用,将底层富含营养盐的海水输送至表层,从而为鱿鱼类提供丰富的营养物质(Demarq 等, 2000)。

分布在近岸大陆架海域的鱿鱼类则主要受到陆地河流、降水等环境因素的影响,如枪乌贼类(Bakun 等, 1998)。

这些海域的环境特点虽然为鱿鱼类提供了适宜的栖息条件,但是其自身的时空变动以及外因诱导使其发生的变化,都会给鱿鱼类生活史的各个阶段带来影响。例如黑潮发生大弯曲、厄尔尼诺现象等的出现,使得西北太平洋柔鱼冬春生西部群体产卵场海域适合产卵和孵化的水温范围减少,从而降低了柔鱼孵化的成功率(Cao 等, 2009);由于西北太平洋柔鱼秋生群体在生活史的前半周期所栖息环境中的初级生产力要比冬春生群体丰富,因此秋生群体在前半周期的生长速率大于冬春生群体(Ichii 等, 2009);巴西暖流的减弱使得阿根廷滑柔鱼栖息环境中适合生存的水温范围大大降低,导致其死亡率增加,从而进一步影响到来年的补充量(Waluda 等, 2001a)。总之,只有当栖息地环境的变化与波动对鱿鱼类生存和生长有利,并且在时间上与鱿鱼类生活史阶段同步,才会有利于鱿鱼类资源补充量的发生、发展和增加,否则会大幅度减少,这也是鱿鱼类被称为生态机会主义者的原因。

### 1.2.3 渔场预报技术研究

准确的渔场预报可以指导企业合理安排渔业生产,缩短寻找渔场的时间,减少成本,提高渔获产量(陈新军, 2004)。早在 20 世纪初期,人们就依据捕捞经验尝试进行海洋渔场渔情分析及预测,我国于 20 世纪 50 年代初开始对近

海主要经济鱼种进行渔情预报工作,积累了丰富的经验。20世纪80年代以来,地理信息系统的发展为渔情分析和渔场预报研究提供了强大的分析工具,海洋卫星遥感技术的普及,实时船位监控及海事卫星通信技术使得渔船能有效地接收渔情预报机构的实时预报,这些技术的使用使得渔场预报尤其是远洋渔场预报更为简便。

渔场预报应用海洋卫星遥感环境数据通常有两种方法:第一种是利用卫星遥感图片匹配柔鱼类渔场栖息环境特征(表1-2),结合产量数据从而推断大洋性柔鱼类的产卵场和索饵场。如Waluda等(1999、2001a)使用卫星遥感合成图片推断西南大西洋阿根廷滑柔鱼孵化场、索饵场分布;Rodhouse等(2001)使用卫星遥感观测茎柔鱼作业渔船的位置分布推断茎柔鱼索饵场的分布情况。

表1-2 海洋特征环境及其与渔业资源的关系

(Solanki等,2003)

| 特征类型 | 特征描述                                          | 与渔业资源的关系                                                                                        |
|------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 海洋锋面 | 锋面是两个具有不同性质水团的边界。锋面形成的断层很容易地从叶绿素a或海表层温度图像中检测到 | 高叶绿素a浓度海域具有更高的海洋生产力,因此资源持续时间长。高海面温度距平均值是上升流的一个指标,上升流海域含有丰富的营养盐                                  |
| 湾流   | 从主流分离出的弯曲或回转的海流,可以通过卫星图像的曲率检测到                | 湾流覆盖面积大,所以即使其特征发生变化,其潜在区域不可能完成转移。与线性海流相比,湾流含有高浓度的浮游植物。湾流可以形成封闭环境,限制资源,也可以形成环流,具有更高的生产力,对资源勘探很重要 |
| 海洋漩涡 | 海洋漩涡分布在主流边界,以环形运动,能够从长时间序列图像上观察到              | 漩涡水团具有深层次的搅拌作用,形成富营养盐的生产力高水域。具有视觉的捕食者,如金枪鱼喜欢栖息在这一海域                                             |
| 环流   | 环流从湾流和漩涡衍生出,很容易从遥感图像辨识出                       | 环流是已形成的具有高生产力的本地生态系统,具有二、三级生产力                                                                  |
| 蘑菇状流 | 从遥感图像上观测到的是一个蘑菇形状                             | 蘑菇状流形成一个封闭的口袋环境,其边缘特征很重要,有时由于风力驱动作用从内部形成环流,可能更具有生产力                                             |

第二种是利用卫星遥感的数字信息结合产量数据,建立预报模型来预报柔鱼类的渔场分布。现代统计理论、数值计算方法、数据挖掘及人工智能等理论

和技术的使用,使得渔场预报模型发展日新月异(陈新军等,2013)。大洋性经济柔鱼类使用的渔场预报模型有统计学模型,如一般线性回归模型、广义回归模型、空间分析和插值等,以及机器学习和人工智能方法,如人工神经网络、范例推理等。

### 1. 统计学模型

(1) 一般线性回归模型。一般线性回归模型结构稳定,操作方法简单,在早期的实际应用中取得了一定的效果。如陈新军等(1995)认为,西北太平洋柔鱼单位捕捞努力量渔获量(CPUE)(kg/d)与0~50m水温差 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ 具有线性关系,可以建立预报方程 $CPUE = -880 + 365\Delta T$ 。但一般线性模型方差小,偏差大,用于预报存在一定的局限性。一方面,渔场形成与海洋环境要素之间的关系具模糊性和随机性;另一方面,实际的渔业生产和海洋环境数据,一般并不满足一般线性模型对于数据的假设,因而导致回归方程预测效果较差(Franklin, 2010),所以逐渐被更为复杂的多项式回归(邵全琴等, 2005)、指数回归(陈新军等, 2009)和分位数回归(冯波等, 2010)等模型取代。

(2) 空间分析和插值。空间分析的基础是地理实体的空间自相关性,即距离越近的地理实体相似度越高,距离越远的地理实体差异性越大(Tobler, 1970),主要用来分析渔业资源在时空分布上的相关性和异质性,如渔场重心的变动、渔业资源的时空分布模型等。如利用地统计学方法分析了西北太平洋柔鱼资源的空间尺度,认为小尺度下空间结构差异主要反映了柔鱼群体自身的种群结构特征,中尺度下主要反映了海洋环境对柔鱼群体结构产生的影响,大尺度下则不适于柔鱼种群空间分布格局的研究;同时也利用基于地统计学的插值法分析了西北太平洋柔鱼中心渔场。渔业具有非常强的动态变化特征,而地统计学方法从本质上讲是一种静态方法,因此对渔业数据的收集方法具有严格的要求。

**2. 机器学习和人工智能方法** 关于空间的渔场预测也可以看成是一种“分类”,即将空间中的每一个网格分成“渔场”和“非渔场”的过程。这种分类过程一般是一种监督分类(supervised classification),即通过不同的方法从样本数据中提取渔场形成规则,然后使用这些规则对实际的数据进行分类,将海域中的每个网格点分成“渔场”和“非渔场”两种类型。提取分类规则的方法有很多,一般都属于机器学习方法。而机器学习和人工智能方法众多,目前在柔鱼类渔场预报方面应用有人工神经网络、基于规则的专家系统和范例推理方法(樊伟等, 2005)。

(1) 人工神经网络模型。人工神经网络模型是模拟生物神经系统而产生的。它由一组相互连接的结点和有向链组成。人工神经网络的主要参数是连接