

地统计学

在海洋渔业中的应用

陈新军 方学燕 杨铭霞 冯永玖 贾涛 / 著



科学出版社

地统计学在海洋渔业中 的应用

陈新军 方学燕 杨铭霞 冯永玖 贾涛 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

地统计学是在大量理论研究工作基础上形成的一门新的统计学分支。地统计学应用在海洋渔业上,一方面可以探讨其空间分布的异质性及自相关性,其次可对资源丰度空间分布、热点区域和中心渔场进行预测。本书共分4章:第1章为地统计学的基本概念及其在海洋渔业中的应用现状;第2章为东南太平洋茎柔鱼种群结构及其空间异质性分析,采用地统计学中空间异质性理论对茎柔鱼种群结构及其空间异质性进行分析;第3章基于地统计学的理论和方法开展秘鲁外海茎柔鱼资源的空间分布特征及变异机理研究;第4章为基于地统计学的西北太平洋柔鱼资源丰度空间变异研究。

本书可供应用数学、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、管理部门的工作人员使用和阅读。

审图号:GS(2019)64号

图书在版编目(CIP)数据

地统计学在海洋渔业中的应用 / 陈新军等著.—北京:科学出版社,2019.6
ISBN 978-7-03-061346-2

I. ①地… II. ①陈… III. ①地质统计学-应用-海洋渔业 IV. ①S975

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 107554 号

责任编辑:韩卫军 / 责任校对:彭 映

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>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年6月第一版 开本:720×1000 B5

2019年6月第一次印刷 印张:12 1/2

字数:250 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书得到国家自然科学基金项目(NSFC41276156)、“双一流”学科、上海市高峰学科 I 类(水产学)的资助

前 言

地统计学是以具有空间分布特点的区域化变量理论为基础,研究自然现象的空间变异与空间结构的一门学科。地统计学最早于 1985 年被引入渔业研究领域,最初用于分析渔业数据和进行生物量估计,之后在估计鱼类资源丰度、渔业调查和评估、空间异质性及群体分布结构研究等方面得到广泛应用。地统计学相对于传统的统计来说,明显的优势在于基于空间自相关的计算建模与估值分析。地统计学在海洋渔业的应用,首先可以探讨其空间分布的异质性及自相关性,其次可以对其资源丰度空间分布进行预测,甚至更可以对其资源量进行评估,也可以用来预测热点区域和中心渔场。近年来,上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室和陈新军教授研究团队,利用多年来的科学研究成果,组织有关研究人员对地统计学在海洋渔业中的应用成果进行总结,为地统计学在国内海洋渔业领域的广泛应用提供技术支撑。

本书共分 4 章。第 1 章为地统计学的基本概念及其在海洋渔业中的应用现状;第 2 章为东南太平洋茎柔鱼种群结构及其空间异质性分析,利用智利、哥斯达黎加、秘鲁外海海域多年的茎柔鱼资源探捕调查数据,依据茎柔鱼外部形态、角质颚及耳石形态特征数据,采用地统计学中空间异质性理论对茎柔鱼种群结构及其空间异质性进行分析;第 3 章为基于地统计学的秘鲁外海茎柔鱼资源分布的初步研究,以我国鱿钓生产统计数据为基础,基于地统计学的理论和方法,开展秘鲁外海茎柔鱼资源的空间分布特征及变异机理研究,掌握秘鲁外海茎柔鱼高产海域的分布规律,为渔业资源可持续开发与科学管理提供参考及理论支撑;第 4 章为基于地统计学的西北太平洋柔鱼资源丰度空间变异研究,采用地统计学方法,利用空间相关性、空间插值估计、变异函数分析、空间各向变异分析等计算手段,对西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变化及规律进行了研究,同时结合海表温度等海洋环境因子对其差异及变化进行解释。

本书通读性好,实用性强。本书可为从事水生生物资源基础研究和应用研究

的科学家提供新的研究方法和研究手段；同时也可作为渔业资源学、渔场学、渔情预报学等课程的参考教材。

由于时间仓促，覆盖内容广，国内同类参考资料较少，书中难免会存在一些疏漏。望各读者提出批评和指正。

作者

2018年8月8日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地统计学的基本概念	1
1.1.1 地统计学的概念	1
1.1.2 地统计学的理论与方法	1
1.1.3 地统计学的应用	4
1.2 空间异质性及其种群空间结构中的应用	5
1.3 地统计学在海洋渔业中的应用现状	6
1.3.1 定量区域化变量的空间相关性	6
1.3.2 空间插值或估计	7
1.3.3 变异函数分析	7
1.3.4 空间各向变异分析	8
1.3.5 地统计学在海洋渔业中应用的优势	8
1.3.6 存在的问题	9
第 2 章 东南太平洋茎柔鱼种群结构及其空间异质性分析	11
2.1 科学问题与研究内容	11
2.1.1 科学问题	11
2.1.2 研究内容	11
2.1.3 技术路线	12
2.2 材料与方法	13
2.2.1 采样时间和海域	13
2.2.2 形态学测量	14
2.2.3 研究方法	16
2.3 研究结果	17
2.3.1 外部形态特征分析	17
2.3.2 角质颚形态特征分析	21
2.3.3 耳石形态特征分析	25
2.3.4 空间异质性分析	41
2.4 结论与分析	96

2.4.1	讨论与分析	96
2.4.2	结论	98
2.4.3	展望	99
第3章	基于地统计学的秘鲁外海茎柔鱼资源分布的初步研究	101
3.1	研究背景及其内容	101
3.1.1	研究背景	101
3.1.2	研究内容	103
3.2	基于 CPUE 的秘鲁外海茎柔鱼资源空间异质性	104
3.2.1	材料与方法	104
3.2.2	研究结果	107
3.2.3	分析与讨论	114
3.3	基于单因子的协同克里金法和普通克里金法比较茎柔鱼资源丰度空间分布	116
3.3.1	材料与方法	116
3.3.2	研究结果	118
3.3.3	分析与讨论	127
3.4	基于综合环境因子的协同克里金法研究茎柔鱼资源丰度空间分布	129
3.4.1	材料与方法	129
3.4.2	结果	130
3.4.3	分析与讨论	133
3.5	基于单因子的协同克里金法与 GLM 茎柔鱼资源丰度预报比较研究	134
3.5.1	材料与方法	134
3.5.2	结果	135
3.5.3	分析与讨论	136
3.6	基于 CPUE 和作业次数捕捞努力量的普通克里金插值法比较秘鲁外海茎柔鱼资源空间分布	138
3.6.1	材料与方法	138
3.6.2	结果	138
3.6.3	分析与讨论	143
3.7	结论与展望	144
3.7.1	结论	144
3.7.2	展望	145
第4章	基于地统计学的西北太平洋柔鱼资源丰度空间变异研究	146
4.1	科学问题与研究内容	146

4.1.1	问题的提出	146
4.1.2	研究内容及技术路线	147
4.2	材料和方法	149
4.2.1	材料来源	149
4.2.2	研究方法	149
4.2.3	地统计学方法	151
4.3	研究结果	155
4.3.1	柔鱼资源丰度的空间尺度分析	155
4.3.2	中小尺度下柔鱼资源丰度空间变异特征	158
4.3.3	基于不同插值法预测柔鱼中心渔场	164
4.3.4	基于协同克里金和普通克里金插值的柔鱼 CPUE 空间插值比较 分析	169
4.4	讨论与分析	173
4.4.1	柔鱼资源丰度研究尺度探讨	173
4.4.2	柔鱼资源丰度空间异质性特征分析	174
4.4.3	海洋环境变化对柔鱼渔场空间异质性及空间分布的影响	175
4.4.4	柔鱼中心渔场预测及其与海洋环境的关系	176
4.5	结论与展望	178
4.5.1	主要结论	178
4.5.2	存在的问题与展望	179
参考文献		181

第 1 章 绪 论

1.1 地统计学的基本概念

1.1.1 地统计学的概念

地统计学是以具有空间分布特点的区域化变量理论为基础，研究自然现象的空间变异与空间结构的一门学科。它是针对像矿产、资源、生物群落、地貌等有着特定的地域分布特征而发展的统计学，由于最先在地质学领域应用，故称为地统计学。

地统计学的主要理论是法国著名统计学家 G. Matheron 创立的，经过不断完善和改进，目前已成为具有坚实理论基础和实用价值的数学工具。地统计学的应用范围十分广泛，不仅可以研究空间分布数据的结构性和随机性、空间相关性和依赖性、空间格局与变异，还可以对空间数据进行最优、无偏内插估计，以及模拟空间数据的离散性及波动性。地统计学由分析空间变异与结构的变异函数及其参数和空间局部估计的克里金(Kriging)插值法两个主要部分组成，目前已在地球物理、生态等领域应用。

1.1.2 地统计学的理论与方法

1.1.2.1 基本理论

地统计学处理的对象为区域化变量，即在空间分布的变量。通常一个区域化变量具有两个性质：①在局部的某一点，区域化变量的取值是随机的；②对整个区域而言，存在一个总体或平均的结构，相邻区域化变量的取值具有该结构所表达的相关关系。区域化变量的两大特点是随机性和结构性。基于此，地统计学引入随机函数及其概率分布模型为理论基础，对区域化变量加以研究。区域化变量

可以看作是随机变量的一个现实(realization)。对于随机变量而言,必须在已知多个现实的前提下,才可以总结出其随机函数的概率分布。

而对地学数据来讲,往往我们只有一些采样点,它们可以看作随机变量的一个现实,所以也没有办法来推断整个概率分布情况。为此,必须制定一些假设,即平稳性假设,假定在某个局部范围内空间分布是均匀的。

地统计学的主要用途是研究对象空间自相关结构(或空间变异结构)的探测以及变量值的估计和模拟。不管哪一种用途,地统计学分析的核心是根据样本点来确定研究对象(某一变量)随空间位置而变化的规律,以此去推算未知点的属性值。这个规律,就是变异函数。通常,我们利用采样点及变异函数的计算公式得出样本点的实验变异函数,拟合后的曲线为经验变异函数。观察该变异函数的分布图像,寻找地统计学提供的某一种理论模型或者多个理论模型的线性组合进行拟合。常见的理论模型有:线性模型、球状模型、指数模型、高斯模型、幂指数模型等。

1.1.2.2 基本方法

运用地统计学进行空间分析基本包括以下几个步骤,即数据探索性分析,空间连续性的量化模型,未知点属性值的估计,对未知点局部及空间整体不确定性的预测。用户可根据自己的需要截止到中间某一项。数据探索性分析主要是通过频率分布图、散点图、位置图等对数据的统计分布特征做初步的考察,这个过程最容易发现的问题就是数据的集聚,以及异常点极值的出现。通常,可利用适当的变换,如对数变换来解决。

地统计学的研究方法包括局部估值(local estimation)、局部不确定性(local uncertainty)预测、随机模拟及多点地统计学四种。

1. 局部估值

局部估值是地统计学中最为传统的一种计算方法,最初应用于矿产部门,作为矿产储量计算的基本方法取得了相当丰硕的成果。在地统计学领域,克里金(Kriging)是局部估值的主要方法,它是大家公认的估计方法的总称。实际上,它也是一种广义的最小二乘回归算法,而其最优目标定义为误差的期望值为0,方差达到最小。包括简单克里金(simple Kriging)、普通克里金(ordinary Kriging)、趋势克里金(Kriging with a trend model)、因子克里金(factorial Kriging)、协同克里金(co Kriging)、块状克里金(block Kriging)等。

2. 局部不确定性预测

地统计学的估计功能主要是求得一个无偏的最优估值,同时给出每个估值的

误差方差,用以表示其不确定性。

这种方法的优点是简单,只需要主变量之间的关联关系。但其缺点是:①认为误差的分布是对称的,但在实际情况中,低值区往往被高估,而高值区往往被低估。②认为误差的方差只依赖于真实值的形状,而不考虑具体每个值的影响,即所谓的同方差性。

实际上被一个大值和小值包围的点,其估值的误差一般要比被两个同规模小值包围估值点的误差要大。所以,应确实考虑所估计点周围样本点本身值的影响,即利用条件概率模型来推断不确定性。通常有两种方法:参数法(众高斯方法)和非参数方法(指示克里金方法)。

众高斯方法(multi Gaussian approach):到目前为止,这是应用最广泛的参数化方法。它假定所研究区域的概率分布可以用一个统一的公式表达,最终的概率依赖于相关参数。对应于众高斯方法,即是均值和方差。我们利用克里金方法来估计这两个参数,同时利用光滑样本点频率分布图方式来平滑、增加其概率分布函数。

众高斯方法要求多点分布必须是标准正态,该方法未考虑极大值与极小值间的关联。对于样本点的指示变异函数不支持双高斯分布,或者作为关键的辅助信息与主变量之间不满足众高斯分布的情况,这时就需要采用指示克里金方法。

指示克里金(indicator Kriging):利用指示克里金方法估计未知点的不确定性,首要的一步是将各种来源的信息进行指示编码。即利用不同的阈值将原数据分为大小合适的间隔,考虑该间隔内点的关联关系及其不同的关联之间的关系。这样,就有效地解决了众高斯方法的缺点。

3. 随机模拟

根据随机变量的定义,每个变量可以有多个现实,也就是说每个未知点的估值可以有多种情况,但前提是总体趋势的正确性,这种方法就是随机模拟(simulation)。随机模拟可以利用各种不同类型数据(如“硬”的采样点数据,“软”的地震数据)再现已知的空间格局。“硬数据”指在采样点精确测量的变量值,“软数据”指关于该变量各种类型的间接测量值。随机模拟可以生成众多的现实,每一个现实展现同一种格局。在单变量分布模型中,通过随机变量的系列结果来统计其不确定性,与此类似,一系列随机产生的现实,可以作为模型的输入,也可以表达输出结果的不确定性。这些随机现实是等概率的,即没有哪一个现实是最好的。

4. 多点地统计学

多点地统计学(multi-point geostatistics)的发展主要得益于地统计学在石油领域的应用。早期,地统计学多用于煤炭问题,通过块状估值得出可开采储量。

但在对石油储区的研究中,人们发现单纯的某个点的渗透性是没有意义的,应该以流的观点来看待渗透性问题。这就使得对渗透性的连通性或其空间格局的量化比得到某局部点的精确值更为重要,而不是光滑的估计。传统的地统计学借助于煤炭科学的思想,利用变异函数来量化空间格局。但变异函数只能度量空间上两个点之间的关联,所以表现空间格局有很大的局限性。对于关联性很强的情况,或所研究对象具备较为明显的曲线特征,这时要想量化其空间格局需要包含多个空间点。在图像分析中,通过多点模板或者窗口来量化其格局。意识到变异函数在表达地质连续性上的局限性后,地统计学家开始将图像分析中的思路借鉴过来,一个新的领域在地统计学中升起:多点地统计学。

原本地统计学模拟包括认知和再现两部分。认知通过变异函数来完成,而再现通过序列高斯模拟的多个现实来完成。多点地统计学进一步改善了认知部分,即通过多个点的训练图像来取代变异函数,更有效地反映了研究目标的空间分布结构。而对于图像分析而言,它只注重认知部分,但没有再现功能。

多点地统计学的核心是训练图像。由于在地统计学中也出现过多点信息,但从未被量化过,而一般是将信息隐含后应用到具体问题模型中去。这种方法主要是由石油领域的问题引出,因此也主要应用在这个领域。

1.1.3 地统计学的应用

地统计学是统计的一类,用于分析和预测与空间或时空现象相关的值。它将数据的空间(在某些情况下为时态)坐标纳入分析中。最初,许多地统计学工具作为实用方法进行开发,用于描述空间模式和采样位置的插值。现在,这些工具和方法已得到了改进,不仅能够提供插值,还可以衡量所插入值的不确定性。衡量不确定性对于正确制定决策至关重要,因为其不仅提供插值的信息,还会提供每个位置的可能值(结果)的信息。地统计学分析也已从一元演化为多元,并提供了可用于补充(尽可能稀疏)主要感兴趣变量的辅助数据集的机制,从而可以构建更准确的插值和不确定性模型。

地统计学在科学和工程的许多领域中被广泛应用,例如:采矿行业在项目的若干方面应用地统计学,最初需量化矿物资源和评估项目的经济可行性,然后须每天使用可用的更新数据以确定哪种材料应输送到工厂以及哪种材料是废弃物。在环境科学中,地统计学用于评估污染级别以判断是否对环境和人身健康构成威胁,以及能否保证修复。在土壤科学领域中的应用则着重绘制土壤营养水平(氮、磷、钾等)和其他指标(例如导电率),以便研究它们与作物产量的关系和规定田间每个位置的精确化肥用量。在气象领域的应用包括温度、降水量和相关的变量(例如酸雨)的预测。地统计学在公共健康领域也有一些应用,例如,预测环境污染程度及其与癌症

发病率的关系。现在,地统计学在海洋渔业中也得到了重要应用。

1.2 空间异质性及其种群空间结构中的应用

空间异质性(spatial heterogeneity)在20世纪90年代生态学的研究中引起了科学家的广泛兴趣,是生态学家研究分析不同空间尺度的生态学系统过程和功能中最感兴趣的问题。空间异质性指系统或系统属性在空间上的变异性(variability)和复杂性(complexity),包括系统属性的空间特征、空间相关和空间构型。系统属性是指生态学所包含的任何变量,如植被类型、生物量、种群密度、土壤氮含量等。变异性涉及系统属性的定量和数量描述,但复杂性要考虑系统属性的类型或定性描述。当测定系统属性的变异性 and 复杂性仅考虑结构特征,而不考虑功能作用时,空间异质性可称为结构异质性(structure heterogeneity);同样,如果对测定的系统变异性 and 复杂性与生态学过程和功能关联分析时,可称为功能异质性(functional heterogeneity)。

空间异质性在生态学中,特别是景观生态学中是一个重要概念,它表征生物系统的主要属性,是形成空间景观格局的重要原因。研究认为空间异质性是限制干扰传播的重要因素,同时在生态系统的多样性及动态方面发挥作用。但对于空间异质性的定量分析,一直缺乏有效的方法(Li and Reynolds, 1995),尤其在空间异质性与生态学相关模型的耦合分析中。但关于空间异质性程度及变化的定量数据有助于我们改进相关的空间模型,同时有助于理解生态学的复杂变化过程及反馈的机制(Kirk et al., 1991)。

对于空间异质性的定量研究可从两个方面分析:首先是空间特征(spatial characteristics),其次是空间比较(spatial comparison)。对空间特征分析主要运用数学方法,如信息指数、变异函数、分维数等,实现景观上某些属性的空间变异量化。空间特征的研究有助于探测空间格局,并且可以对不同尺度的空间异质性程度及变化进行分析。将这些定量信息与实际观测值及生态学系统的模型结合,可有效解释观测的某种格局对生态学系统过程与功能的影响。空间比较是运用数学方法对景观属性的空间变异程度进行对比。在同一系统中观测同一变量在不同观测时间内的变动模式,然后对不同地点上的同一变量与不同系统之间的变量进行比较,最后在同一地点上建立不同变量之间的相关关系。Leadley等(1996)运用这种方法获得了归一化植被指数与生态系统中生物量间的关系,模拟预测了生物量的变化模式。

空间异质性分析在植物学、土壤学、森林学中已有广泛应用(Kirk et al., 1991; Leadley et al., 1996)。在渔业研究中,王政权(1999)对水生甲壳类动物

种群, Addis 等(2009)对地中海海胆(*Paracentrotus lividus*), Agostini 等(2008)对北太平洋梭鲑(*Merluccius productus*), 张寒野和胡芬(2005)对冬季东海太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)进行了研究, 通过空间异质性分析可以定量分析种群空间分布类型, 解释种群结构形成机制。

1.3 地统计学在海洋渔业中的应用现状

地统计学是 20 世纪 60 年代发展起来的一门新兴的数学地质学科分支。20 世纪 40 年代末期, 一些地质学家在对地质矿产资源进行定量估计和评价时发现, 经典统计学没有考虑到地质样品或块段体积的大小, 没有考虑到品位的空间变化特征, 也没有考虑到品位之间的空间相关性及估计精度的概念, 因而在地质估计和评价方面存在许多不能克服的缺陷(王仁铎和胡光道, 1987)。后来法国著名学者 G. Matheron 教授创立了以“克里金”为核心的计算方法, 之后很多学者将不同阶段的地统计学研究成果进行归纳整理, 系统化后的地统计学才在土壤学、水资源研究等领域得以广泛应用。

地统计学以区域化变量理论为基础, 由变异函数和克里金插值两部分组成, 主要目的是对特定空间内的变量进行变异性建模, 并基于此模型进行变量估值。其最早于 1985 年被引入渔业研究领域, 最初用于分析渔业数据和进行生物量估计(Conan, 1985), 之后在估计鱼类资源丰度(Pelletier and Parma, 1994; Maynou et al., 1998)、渔业调查和评估(Petitgas, 2001; Addis et al., 2012)、空间异质性及群体分布结构研究(Barange and Hampton, 1997)等方面的应用较为广泛。

相对传统的统计学, 地统计学明显的优势在于基于空间自相关的计算建模与估值分析。自然界中的所有生物都不是独立存在的, 个体与个体之间、个体与周围环境之间, 相互影响无处不在。牵一发而动全身的原理在地统计学这门学科中得到很好的量化诠释, 地统计学可以弥补传统统计学随机独立性假设的局限性, 有助于用普遍联系的方法解决问题。将地统计学应用到海洋渔业中, 一来可以探讨其空间分布的异质性及自相关性, 二来可以对其资源丰度空间分布进行预测, 甚至可以对其资源量进行评估, 也可以用来预测热点区域和中心渔场。

1.3.1 定量区域化变量的空间相关性

区域化变量的空间相关性分析在渔业中已有所应用, 如国外学者 Grados 等(2012)将地统计学应用到秘鲁沿海氧跃层深度、大型浮游动物和饵料鱼的多尺度

空间关系分析中; Stelzenmüller 等(2006)应用地统计学方法探讨不同类型的渔具是否对德国海湾比目鱼中尺度空间分布有影响, 对由不同渔具捕获的渔获物的相关数据进行空间结构分析, 结果显示均存在空间自相关。国内学者 Lin 等(2011)尝试用地统计学研究日本秃头鲨全年空间的分布, 探讨了水层空间变化和经向的空间尺度对资源分布的依赖性, 研究表明日本秃头鲨在其研究水域内四季呈现密度等级分布。苏奋振等(2004)运用空间自相关指数分析东海区底层及近底层鱼类资源的空间自相关性, 结果表明其空间分布具有中等自相关特性, 空间变异中由随机引起的变异大于由空间相关尺度过程引起的变异。

1.3.2 空间插值或估计

地统计学方法中, 克里金插值技术的一个突出特点是在空间相关分析基础上对未取样点的插值和估值, 估计预测邻近点的分布情况, 并且能利用调查到的信息有效避免系统误差(程勳, 2009)。国外一些学者将此技术应用到海洋生物资源分布的研究中, Vining 等(2001)用普通克里金插值法对白令海扁足拟石蟹的资源分布和资源量进行了分析, 并将 1995 年和 1998 年的情况做了比较; Guillemette 等(2011)应用普通克里金插值法研究玛格丽特河部分河段的热体质特性, 以探索热带鱼类所需最大和最小的适应温度值; Maynou 等(1998)应用普通克里金插值法绘制出了地中海西北部底栖资源量分布图, 并根据资源分布图确定了达到商业开发水平的资源分布区域; Palialexis 等(2011)将普通克里金法与人工神经网络方法相结合, 预测鱼类资源的分布情况。

利用克里金插值方法可以对渔获量数据进行插值, 在此基础上进行资源总量或空间位置的估计。例如 Simard 等(1992)利用普通克里金法估计加拿大北方长额虾(*Pandalus borealis*)的资源量并绘制其空间分布, Monestieza 等(2006)使用地统计学方法对地中海西北部长须鲸(*Balaenoptera physalus*)的空间分布进行预测。冯永玖等(2014a)以 2007 年和 2010 年西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)渔业的原始生产统计数据为基础, 对西北太平洋柔鱼资源空间分布及其变动进行了研究, 认为 2007 年西北太平洋柔鱼渔场的形成受温度和海流的影响, 2010 年整个西北太平洋柔鱼渔场受亲潮势力影响。

1.3.3 变异函数分析

在渔业资源评估中, 国内外学者在地统计学变异函数模型的基础上对鱼类种群的资源分布进行了计算。Rueda 等(2003)应用地统计学提供的变异函数模型对哥伦比亚某河口潟湖中的多种鱼类资源进行了计算, 对资源的空间种群结构大小

和经济开发可能性做出了评估；张寒野等(2005)以变异函数为工具，分析带鱼和7种小型鱼类(黄鲫、棘头梅童鱼、鰕齿鱼、六丝钝尾虎鱼、发光鲷、七星底灯鱼和细条天竺鲷)的空间异质性及其空间关系。结果表明，带鱼的变异函数曲线与细条天竺鲷、六丝钝尾虎鱼和发光鲷的曲线极为相似，对不同距离的变异函数值进行相关分析，带鱼与上述三种小型鱼类均达到极显著相关水平($P < 0.01$)。

Petitgas 和 Levenez(1996)对克里金理论及其在渔业中的应用进行了概括综述，Rivoirard 等(2008)介绍了其在渔业上的典型应用案例，并为资源评估提供指导。Petitgas 和 Levenez(1996)认为，变异函数的变程和基台值分别与取样单位区域中浮游群体的聚集数量和规模大小有关，变程可以用来描述底栖和浮游鱼类群体的聚集范围(Sullivan, 1991; Petitgas, 1993)。Maravelias 等(1996)认为，不同的变程值代表不同的大西洋鲱(*Clupea harengus*)的集群大小，中尺度值(12km)代表中尺度的鲱群体，较大的变程值(37km)代表较大的聚集范围。Bez 和 Rivoirard(2001)利用变异函数参数来描述大西洋鲈(*Scomber scombrus*)集群的空间结构，确定其与其他鱼类等浮游生物聚集空间尺度的区别。Simard 等(1992)采用空间自相关研究加拿大北方长额虾(*Pandalus borealis*)资源量的空间分布结构。张寒野和林龙山(2005)利用变异函数分析了东海带鱼(*Trichiurusaponicu*)与其中小型鱼类的空间相关性，从空间追随关系上确定带鱼的主要摄食对象。

1.3.4 空间各向变异分析

群落中物种的空间分布格局动态可以反映群落的演替阶段(王鑫厅等, 2009)，空间各个方向上的变异性可以指示和判断群落的动态规律。苏奋振等(2003)对东海水域中上层鱼类资源进行空间变异分析， 45° 和 135° 方向上变异曲线斜率急剧变化，表明这两个方向上存在重要的环境动力过程；张寒野和胡芬(2005)计算冬季东海北部和南部太平洋褶柔鱼不同方向上的分维数，研究结果表明在东海北部和东海南部最高分维数分别为 135° 、 90° 及 45° 方向，结合环境因素分析，前者与东南—西北方向的黄海暖流和西—东方向的长江冲淡水一致，后者在此方向分布上的同质性与西南—东北方向的黑潮主干及台湾暖流相对应。

1.3.5 地统计学在海洋渔业中应用的优势

地统计学在海洋渔业研究中有较大的应用前景。地统计学方法提供了生物种群或群落空间结构上更为丰富的信息，包括生物群体的聚集程度、聚集范围、各向异性等。克里金插值法能对数据进行权重分析，为处理大量样本提供方便