

渔业生物统计

夏世福 编著



YUYESHENGWUTONGJI

农业出版社

渔业生物统计

夏世福 编著

农业出版社

渔业生物统计

夏世福 编著

农业出版社出版(北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 7.5 印张 148 千字

1980 年 5 月第 1 版 1980 年 5 月北京第 1 次印刷

印数 1—2,000 册

统一书号 16144·1918 定价 0.78 元

前 言

在渔业资源调查过程中，如何使调查、实验获得正确的数据？如何分析被研究对象的各种事物和现象之间的关系？从而找出量的变动规律，需要应用生物统计的方法。

全书共分七章。简述了生物统计的概念和统计资料的收集、整理；平均数和离散度的意义及计算；假设检验和统计推断有关的概率论基本知识、几种分布及假设检验和统计推断的方法；属性统计；方差分析的概念和分析；相关分析的原理和方法以及实验统计。由于编写本书的目的在于帮助渔业生物科学工作者和水产技术人员掌握生物统计方法，因此，对所引用的计算公式的数学论证均从略。

限于作者的能力和水平，缺点和错误之处，请同志们提出批评和指正。

作 者

一九七八年十月

目 录

前言

第一章 绪论	1
(一) 生物统计的概念	1
(二) 统计资料的收集方法	4
(三) 统计资料的整理方法	7
(四) 渔业生物统计资料的收集、整理方法	17
第二章 平均数和离散度的概念及其计算方法	19
(一) 平均数的概念及各种平均数的计算方法	19
(二) 离散度的概念及其计算方法	31
第三章 假设检验和统计推断	37
(一) 有关概率的基本知识	38
(二) 概率分布	43
(三) 假设检验和统计推断	51
第四章 属性统计	65
(一) 实际观察计数和理论预计数之间吻合程度的检验	65
(二) 2×2 或四格列联表无关联性的检验	71
(三) $R \times C$ 列联表无关联性的检验	75
第五章 方差分析	78
(一) 方差分析的概念	78
(二) 方差分析的程序和方法	84

(三) 与方差分析有关的一些问题	105
第六章 统计相关和回归	111
(一) 相关的概念	111
(二) 相关关系紧密程度的测定	114
(三) 直线回归方程及回归系数	127
(四) 曲线相关和回归方程	137
(五) 复相关	144
(六) 高斯消去法(回代消去法)	150
(七) 阶段回归方法	160
第七章 实验设计	167
(一) 完全区组实验设计和实验结果分析	168
(二) 不完全区组实验设计和实验结果分析	175
(三) 正交实验设计和实验结果分析	186
参考文献	198
附录	199
(一) t 值表	199
(二) χ^2 值表	200
(三) 方差比值表(i)	201
(四) 方差比值表(ii)	202
(五) 方差比值表(iii)	203
(六) 方差比值表(iv)	204
(七) 相关系数表	205
(八) 标准正态分布概率积分表	206
(九) 随机数字表(I)	208
(十) 随机数字表(II)	210
(十一) 正交拉丁方表	212

(十二) 几种常用的均衡缺项区组实验(BIB)设计表	214
(十三) 处理数 t 在 10 以内的可能的 BIB 设计表	216
(十四) 几种尤登(Youden)方实验设计表	217
(十五) 常用正交表	218

第一章 绪 论

(一) 生物统计的概念

水产资源调查所获得的大量调查资料，经过生物统计方法进行整理，从中找出规律，阐明资源蕴藏量和量的变化规律以及影响产量提高的要素，寻求提高产量的途径。

生物统计的基本内容，是讨论生物调查实验研究中有关数量的问题。任何调查实验都离不开数据，调查实验的结果获得的数据，分析验证又必须以数据为依据，只有这样，才能获得确切的概念和有价值的结果。在水产资源调查和养殖实验也是如此。

数据能够表达事物各种状况最严格的关系，它能给我们一个明确具体的概念。生物统计所讨论的量要求质的共同性，不同质的量绝对不允许混淆。调查研究资料中质的共同性是应用统计方法的前提条件。不能把不同质的事物或现象混在一起进行统计，不然所得的结果将是谬误的。如我们进行鲟、鳇鱼养殖的生长实验，如果以投饵的种类和数量作为影响生长的因素，观测由于投饵种类和投饵量的不同而影响生长的情况，则养殖的其他条件和初养时鱼苗的大小和体质

等均应相同，否则最后所得的结果就不便比较，如勉强比较，所得的结果也不可靠。在进行渔业资源调查时，一般要统计鱼群的年龄组成，必须首先搞清楚所要统计的材料是否属同一种类、同一种群和同一群体(生殖、索饵、越冬)等等，不然我们根据统计的结果进行分析时，将不可能得出正确可靠的结论。

生物统计讨论的量，从质的方面说，要求具有共同性，但从质的各个个体或部分的量又具有变异性。天然水域中，不仅不同年龄的鱼，就是同一年龄的鱼其体长重量都是不同的。再如同一养殖条件下的养殖生物，每个个体增长量也是不同的。事物本身具有着变异性，同质也只具有相对的意义。用生物统计方法可以分析渔业生物本身及其在各种环境条件影响下所具有的变异性。

生物统计对生物学来说只是一种辅助方法，但它必须遵循生物学原理，才能对所得的资料进行统计分析。我们不能凭空计算毫无关联的事物之间的相关关系，如非鱼类摄食的饵料生物量及其他环境因素等的变化与鱼类生长之间的关系等等。即使可以计算出很大的相关系数，也不能说明它们之间的关系就非常紧密。生物统计遵循在生物学调查实验有如下功用：

1. 帮助调查实验工作人员正确地归纳调查实验中的 数据资料；

2. 确定被研究对象的各种特征、性状的变异程度 及其在数学上所表现的特点；

3. 分析实验误差的范围,评定其精确度,以便得出有一定置信程度的数字结论;

4. 正确地推断各实验处理间的差异;

5. 求出两个或两个以上变数间关系的公式,同时寻求这个关系的特性及关系的显著程度,使实验者获得预测或预期的方法;

6. 提供获得各类实验数据的正确统计方法和提高观测数据精确性的原则与措施,帮助实验者正确地设计实验和组织测定工作。

生物统计依生物学原理对观测资料进行统计分析时,依据的基本理论主要是概率论原理以及和它有关的误差理论与最小二乘法。如实验数据的误差分析、显著性检验、置信界限、算术平均数和回归方程等,都是根据这些原理得出的,由于概率论是建立在随机抽样上,因此在应用生物统计方法时,必须把随机抽样的概念弄清楚。随机抽样是在选择观察样品时,不带任何的主观成分,总体中的每一个单元都有同等中选的机会。总体是在同一基础上的各个单元结合起来的集团,包括被研究事物的全部情况。样品是从总体中分割出来的一部分。例如我们研究某养殖场海带的生长情况,则该养殖场各个养殖区的所有海带生长情况称为总体,而该养殖场部分海带的生长情况称为样品。总体的大小或含量根据我们研究的任务和内容也有不同。就同样的海带生长情况的研究来看,如果我们研究的是我国海带的生长情况,则全国各个海区所有海带的生长情况构成一个总体;如果我们研究的

只是一个养殖区的海带生长情况，则该养殖区的海带生长情况就构成一个总体。样品的大小或含量则根据从总体中抽取的单元数而定，目前尚无定论。有用抽样观测的单元数大于30者作为大样品的标准，仅可作为参考。另外在我们所讨论的以渔业生物作为研究对象的情况来看，除养殖生物外，水域中自然生活的生物，特别是海洋生物，其数量是很大的，虽非无限，但不可能得到全部资料。只能用足够大的样品资料去近似地估计总体的情况。

（二）统计资料的收集方法

在未进行统计工作之前，须先进行观测工作，大量收集研究所需要的资料。观测在水产科学研究上就是我们通称的调查实验。为了使统计分析能得出正确的结果，收集的统计资料必须是真实的、系统的和全面的。

进行任何生物调查实验都有一定的目的，如鱼类资源调查的目的在于了解资源的数量和数量变动的规律；养殖实验的目的在于掌握影响养殖对象生长的规律，等等。根据观测的目的，确定观测的对象、观测的单元和判据。在鱼类资源调查工作中观测的对象是鱼。鱼不仅有若干种类，同一种类之中又有不同的种群，要研究它们的资源问题，就必须一一将它们划分清楚，作出明确具体的规定，不可混淆。观测单元就是观测对象的组成要素，仍以鱼类资源为例，观测单元是每一尾鱼。鱼所具有的可以反映资源变化规律的特征的本质

属性，如生殖力、生长率、世代强度、死亡率等就是需要观测的判据。

观测工作按观察的范围可分全面观测和非全面观测。全面观测的范围包括组成总体的所有单元；非全面观测只是对其中一部分单元进行观测。

全面观测是最重要的观测方法，通过全面观测能够了解到所有观测单元的全面情况，这对研究工作具有非常重要的意义。以渔业资源的调查研究为例，渔产量的变化在一定条件下，可以反映资源的面貌，搞资源调查研究工作需要全面地掌握渔业情况的资料，这就需要进行全面观测，布置定期报表，及时掌握全面变化情况。全面观测又分为一次性观测和连续观测。一次性观测是根据需要组织的为时较短的全面观测，如五十年代末六十年代初有关单位组织的渔业资源普查、海洋普查等。连续观测是经常进行的观测，如渔产量统计、鱼类生物学测定等。全面观测虽然非常重要，但由于观测的单元多，花费的人力、物力大，不可能经常举行；并且观测的项目较少。为了取得连续的、完整的资料，也可以在一次性观测的基础上，选择少数单元进行比较全面的观测，例如在渔业资源普查的基础上，选择少数点或断面进行定期调查，取得需要的材料。

非全面观测是对调查总体的一部分单元进行观测，因此花费的人力、物力和时间都比较少，获得资料迅速而且及时。非全面观测又分为抽样观测、重点观测和典型观测三种。是按照抽样的原理，抽取一定数量的样品进行观测，并

将观测的结果用来推断整个总体。抽样的方法有三种，即随机抽样、机械抽样和分类抽样。随机抽样是由整个总体中用任意抽选的方法。如将被观测的单元编以号码，用抽签的方法或查随机数字表的方法，抽取一定单元作为样品（活的渔业生物不可能编号抽样，可用没有或较少选择性的渔具捕获的标本作为样品，以避免人为的选择）。随机抽样可以做到使总体的每个单元都有同等中选的机会。机械抽样是按一定序列（如按相互间距离、按棋盘方式等）抽出被观测的单元，也可避免人为的主观选择，做到随机化。分类抽样是预先将被研究的总体划分为不同的类型组，然后再在各类型组内进行随机抽样或机械抽样。如果将被观测的单元划分为类群，抽样时按群抽出，又称为整群抽样。抽样观测是生物学实验研究工作上最常用的观测方法。重点观测是对总体中占绝大比重的那些单元进行观测，而略去那些比重小的单元，也可以说是范围比较小的全面观测。这种观测最适宜于调查对象比较集中的场合。典型观测是根据调查的目的要求，对被调查对象加以分析研究后，选出一部分单元，即所谓典型进行深入细致的调查，典型观测最适于用来研究某些比较复杂的专门问题。重点观测和典型观测在社会经济调查中经常采用，是对统计资料不要求全面性时所采用的方法。在生物研究工作上则看情况采用。

全面观测、抽样观测、重点观测、典型观测都是重要的观察方法，在生物实验研究工作上究以何者为优，不能一概而论。如水产资源调查，普查（全面观测）固然重要，但普

查不能经常举行，而且费用大，观测判据少，不能系统地深入，只能了解总的一般情况。因此在普查的基础上，还应根据需要进行重点观测，如为了了解某种鱼类行动习性，所采取的重点渔场调查等。在资源调查工作中，观测对象的整个总体是无法进行全面观测的，只能进行抽样观测。在养殖实验中，养殖对象虽然可以全部取出来观测，但会造成损失也不宜采用，仍以抽样观测为宜。有的调查实验，如海带养殖的肥区和瘠区，滩涂调查的若干不同生物的分布区，如果可以事先划分为若干类型，采取分类型以后，再进行随机抽样，可能会具有更大的代表性。有的调查实验，如鱼类的分类形态特征，同一种类的差异一般较小，为了深入细致地进行观测，选择比较典型的样品作典型观测，以减少大量观测带来的观测误差，其代表性将较进行其他观测方法为优。

在生物实验研究工作上，如果选择最有科学根据的方法来对被观测的对象进行观测，才最具有代表性，是一个非常重要的问题。必须根据研究对象的特点，作深入细致的研究才能解决。

(三) 统计资料的整理方法

通过观测收集到大量的原始资料，如鱼类生物学测定的体长、体重、性别、年龄等资料；养殖实验的各种人为条件和养殖对象的长度、重量、产量等资料。这些资料依据研究任务的要求，加以科学的整理，使其系统化，才能对被观测

对象所表现的各种特征进行分析，找出规律。例如各次鱼类生物学测定所得的鱼体长度，经过分组以后，可以了解长度分布特征；如果进行的是生殖鱼群调查，从长度分布特征有可能找出鱼群分批产卵的规律。统计资料的整理程序和大致内容是：

1. 对原始资料进行严格的检查，检查资料的正确性。检查的方法有逻辑检查和计算检查，检查中发现有误差，应及时加以修正或补充；

2. 将原始资料进行汇总，加以分组，使材料系统化。分组是按照一定的变动标志，如长度、重量的适当组距、性腺的成熟等级、摄食强度的等级以及时间等等，将观测集团分成许多部分，然后进行汇总，表现出观测集团的综合特征，如长度组成、性成熟组成和分布情况等；

3. 计算出各组的合计数和总计数，这样可以对观测得来的资料有一个总的概念，不仅可以了解分组的情况，而且可以获悉全貌。观测资料分组汇总以后，更便于计算统计参数。

将观测得来的资料按数量标志进行分组所构成的数列称为变量数列或分配数列。变量数列的组数不宜过少也不宜过多，过少过多都会使变量的分配不清晰，一般以 15—25 组为宜。以组数除最大变量与最小变量之差的商，取其整数，即得组距，然后以整数为中值，则各组的上、下限即可定出。变量数列包括两个要素即变量与次数(频数)。数量标志所表现的具体数值，如长度、重量等都是变量，在变量数列

中分配在各组的单元数,如某长度组鱼的尾数则称为次数。次数用绝对数表示称为频数,用相对数(%)表示称为频率。变量如为非连续变化(即离散型变量),相邻两组限不宜相同,如鱼卵 1—5 万粒、6—10 万粒……等等;变量如为连续变化(即连续型变量),相邻两组的组限是相同的,如体长 5—15 厘米、15—25 厘米……等等,如适为相邻组限的变量,下限(数值小者)归到本组,上限(数值大者)归到下一组,即统计上习惯的所谓上组限不在内的办法。如 15 厘米归到 15—25 厘米一组,25 厘米则归到 25—35 厘米一组。分组后的资料一般用组中值代表,并以组中值称呼该组。所以组中值为整数,计算时会方便得多。

现将测得来的资料按一定时间进行分组所构成的数列称为时间数列,或动态数列。可以反映某种特征在各个不同时期的变动情况,深入分析后,可以找出有关的规律。

例 1.1 我们测得 100 尾小黄鱼的体长(单位:毫米)数据如下:

175、189、199、206、217、230、254、254、284、176、
177、186、204、208、219、233、250、249、224、176、
182、189、202、210、214、221、234、246、247、250、
231、185、187、186、194、192、190、193、192、187、
199、203、198、195、200、204、201、197、196、203、
214、212、207、209、208、211、214、213、212、212、
210、224、221、219、220、215、220、216、218、225、
234、231、226、229、232、227、229、237、242、244、
235、238、240、249、250、253、251、248、253、249、
254、248、252、258、255、264、267、273、270、274。

从以上数据看不出任何问题,如按 10 毫米进行分组则表现为表 1.1 的形式。可看出鱼体的长度集中分布在组中值为 210 和 250 毫米处。按这种分组方法获得的数列为变量数列(表 1.1)。

表 1.1 小黄鱼体长分组频数

(单位: 毫米)

组 限	组 中 值	频 数
165—175	170	1
175—185	180	5
185—195	190	11
195—205	200	13
205—215	210	16
215—225	220	12
225—235	230	12
235—245	240	5
245—255	250	18
255—265	260	2
265—275	270	4
275—285	280	1
合 计	—	100

整理后的统计资料一般表现为统计表和统计图的形式。统计表为必用的形式,用统计表能把大量统计资料积累和保存下来,便于分析对比和阐述需要说明的问题,比长篇累牍更具有说服力,是科学工作者不可缺少的工具。统计表应遵