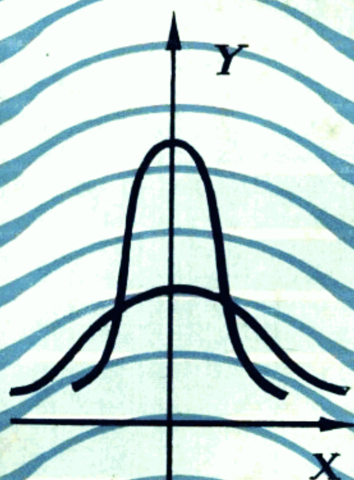
水产生物统计



山东省水产学校

编 者 的 话

《水产生物统计》是一门应用概率论和数理统计的原理和方法研究水产生物科学中随机现象的学科。由于在水产生产和水产生物科学研究中随机现象是普遍存在的，因之，《水产生物统计》，有着广泛的应用。

随着我国现代化建设事业的迅速发展，在从事水产工作的各行各业中，愈来愈多的人迫切需要学习和掌握水产生物统计的知识，为了适应这一形势的要求和校内教学内容改革的需要，从1978年起通过教学实践和结合水产生产以及水产科学研究的实际，经过三次较大的改写，在1981年试用的同名讲义基础上，编写了这本《水产生物统计》教材。

本书可供水产大专和中等水产专业学校的海淡水养殖专业选作试用教材或参考书。也可供没有学过生物统计的从事农牧渔业的广大工作人员和水产研究部门的科技工作者等自学参考。

本书内容包括三大部分，即基础概率、水产生物统计方法、试验设计和试验结果的统计分析。

在基础概率部分主要结合水产生产和水产科研实际介绍随机事件及其概率，随机变量及概率分布，水产中常用的几种概率分布以及随机变量的数字特征等。这一部分主要为学习第二部分水产生物统计方法，打下必要的理论基础。本教材将该部分单独设立，这也是与其他的生物统计书籍不同之处。对于已有概率知识的教学对象或自学者，可将该部分跳过，直接从第二部分学起。

在水产生物统计方法部分中，主要介绍统计图表的绘制，样本数据资料的搜集、整理与初步分析，统计假设检验，变量分析（即习惯上叫的方差分析），x^2测验，回归与相关等。这一部分是本书的主要内容。统计图表是统计工作者的一种常用工具，它简单却很实用，考虑到目前不少水产工作者，在应用绘制统计图表时，常出现不合理现象，因之，本书也将它作为一章介绍，以引起读者注意。资料的搜集、整理与分析属于描述统计学的内容。在统计假设检验方差分析和x^2测验中，四种主要的统计测验法即U、t、F、x^2测验都通过实例进行了介绍。回归与相关一章中，主要介绍了线性回归与线性相关，也简单的介绍了多元回归。

在试验设计部分中，主要介绍了试验设计的一般概念，五种常用的试验设计方法，在介绍试验设计方法的同时，结合实例也对试验结果进行了统计分析，这样知识较为全面，且便于读者在今后的实际工作中效仿参考。本部分的分析方法主要采用了方差分析，这也是对于最重要的分析方法——方差分析法的再复习，这样处理实践证明对于读者熟练地掌握方差分析这种工具是有利的。考虑到正交试验设计法，是处理多因素试验的

最有利的方法，应用广泛且有发展势头，因而本书中将它作了专章介绍。

在这次整理编写中注意了以下几点：

1．在编写中注意了由浅入深和由具体到一般，对于基本概念、公式和方法作了较详细的阐述，力求条理清楚，通俗易懂。着重方法的应用，对于统计理论方面未克兼顾，其目的是使读者学习后能在今后自己所从事的水产生产和水产生物科学研究中仿照应用，并能解释和分析自己试验的结果。

2．在编写中紧扣水产实际，注意了理论联系实际的原则，对于基本概念、公式和统计方法，多举了海淡水养殖专业中的有关例子加以解释，使学员更好地理解统计中的概念公式和方法。书中的例题和习题也都尽可能结合水产养殖专业中的实际，学以致用，以引起学生的学习兴趣。

3．在编写中注意了全书的系统性，但各部分也有相对的独立性，这有利于不同的教学与学习要求，不同的教学时间选用不同的部分内容和章节。

4．在编写中考虑到本书主要作为一本教科书，且为海淡水养殖专业所公用，因之，在例题和习题的配备上注意了海淡水两者兼顾。每章后附有习题，可供学员复习和练习选用参考。为了使用方便书后附有常用统计表12个。

在编写过程中得到我校分管教学的领导、数学教研组和养殖科部分有关同志的热情支持和帮助，特表谢意。

本书是把概率和数理统计知识引进水产养殖专业的初步尝试。由于编者水平有限，再加上编印时间仓促，书中缺点错误难免，渴望看到本书的同志热心的读者给予帮助，并提出积极性的改进意见。

孙尽善

一九八四年三月

目　录

附：常用统计用表

第 一 部 分

基 础 概 率

概率论是一门研究大量随机现象的规律性的数学学科，它理论严谨，应用广泛，是发展迅速的一个数学分支。目前概率论的理论和方法已广泛应用于工业、农业、军事和科学技术等领域，内容极其丰富。本书结合水产生产和水产生物科学研究的实际，采用直观的方法介绍概率论的一些基本知识，为学习第二部分——水产生物统计方法，提供必要的理论基础。第一部分内容有随机事件及其概率、随机变量及其概率分布、水产生产和水产生物科研中常用的几种随机变量的概率分布、随机变量的数字特征等四章。

第一章　随机事件及其概率

随机事件及其概率是概率论中两个最基本的概念，概率的性质和计算是概率论中最基本的问题。本章采用直观方法讲述这些内容。

§1　随 机 事 件

水产生物统计是用概率统计的原理和方法研究水产生物科学中随机现象（或事件）的规律性的一门学科。为了说明什么是随机事件，让我们先来看几个例子。

例 1　某海区明年四月份的平均水温大于10℃。

由于海水温度的变化受多种因素的影响，所以，我们不能完全准确的预测明年四月份该海区的平均水温大于10℃。

例 2　利用LRH—A催产鲢鱼试验，每公斤体重注射1.5微克是否成功，在试验以前成功与否实验人员是不能准确予言的。

例 3　在亲鱼池中任意捕三尾鱼，其中雄鱼可能是 0 尾，可能是 1 尾，可能是 2 尾，也可能是 3 尾，在没有捕上来以前，其雄鱼尾数是不能确定的。

例 4　某养殖队，改变养殖措拖后海带亩产量可能低于2000斤，可能在2000斤与2500斤之间，也可能高于2500斤，在收割前是不能准确予言的。

以上现象的共同特点是：在一定条件下，一种事物可能出现这种结果，也可能出现另一种结果，呈现出一种偶然性。这种在一定条件下可能发生也可能不发生的事件，称为随机事件。随机事件在水产生产和水产生物科学研究中会经常遇到。

各种随机事件的内容千变万化，但随机事件本身并非杂乱无章，而是有着一定规律的，人们在实践中可以逐步认识和掌握它。

随机事件又简称事件，常用大写字母A、B、C……表示。

和随机事件相对应的还有必然事件和不可能事件。必然事件是在一定条件下必然会发生的事件（记为U），例如，纯种鲤鱼的后代一定是鲤鱼。不可能事件是在一定条件下必然不会发生的事件（记为V），例如，一粒未受精的鱼卵能孵化出一尾 鱼苗，就是一个不可能事件。

§2 事件间的关系及其运算

客观世界中的事件不是彼此孤立的，而是互相联系的，对于事件间互相关系的研究，有助于我们由简单事件去认识复杂的事件。

一、事件的包含和相等

如果事件A发生必然导致事件B发生，我们称事件B包含事件A，记作

$A \subset B$ 或 $B \supset A$

例如，B：“虾苗成活率小于80%”

A：“虾苗成活率是70%”

则有 $B \supset A$

如果 $A \supset B$ 同时 $B \supset A$，则称事件A与事件B相等，记作：$A=B$

二、事件的和

由事件A与事件B中至少有一个发生而构成的事件，称为事件A与B的和，记作

$A \cup B$ （或 $A+B$）

类似地，由事件A_1，A_2，……An中至少有一个事件发生而构成的事件，称为事件A_1，A_2……An的和，记作

$$A_1 \cup A_2 \cup \cdots\cdots \cup An = \bigcup_{i-1}^{n} Ai$$

例如，养殖海带，固定筏子的木橛的长短与粗细都有一定的要求，检查一个木橛合格，就有如下事件：

A：“木橛粗细不合格”

B：“木橛长短不合格”

C：“木橛不合格”

则有 $A \cup B = C$ 或 $A+B=C$

三、事件的积

事件A与事件B同时发生构成的事件，叫做事件A与事件B之积，记作

$A \cap B$，或AB

类似地，事件A_1，A_2，……An同时发生构成的事件，叫做事 件A_1，A_2，……An

的积，记作

$A_1 \cap A_2 \cap \cdots\cdots \cap An$　　或记作

$$\bigcap_{i-1}^{n} Ai = A_1 A_2 \cdots\cdots An$$

例如，国家规定的"盐干海带一级品"的标准为：

A："去根后长度100cm以上"

B："平直部分70cm以上"

C："最宽叶体部分14cm以上"

D："平直部分色为黑褐色"

E："从基体基部起70cm内无黄白边"

F："含水份不超过34%，用盐量不超过25%"

G："含盐硝、砂土、杂质不超过4%"

则有　"盐干海带一级品"$=A \cap B \cap C \cap D \cap E \cap F \cap G$

四、不相容事件

若事件A与事件B不能同时发生，即$AB=V$时，则A与B为互不相容事件(或互斥)。

例如，A"甲池对虾成活率是70%"

B"甲池对虾成活率是60%"

则有　$A \cdot B = V$

五、对立事件（或互逆事件）

若A事件与B事件不能同时发生，但必发生其一，则事件A与事件B为对立事件。即有$AB=V$，$A \cup B = U$。A的对立事件记为$\overline{A}$

例如，A："甲池对虾的成活率大于70%"

B："甲池对虾的成活率不大于70%"

则有　$AB=V$，$A+B=U$

以上事件的关系和运算，可以用图1—1表示。

关于图1—1的解释如下：设事件A是随机点落在A圆内，事件B是随机点落在B圆内，则事件$A \cup B$，$A \cap B$，$\overline{A}$分别表示随机点落在上图1—1的阴影部分内。

§3　随机事件的频率、概率的统计定义

对于随机事件，我们知道它在条件具备时可能发生也可能不发生。我们仅知道这一点是不够的，这只是随机事件所具有的偶然性的一面，其实它还有规律性的一面。

一、频率：

随机事件的规律性，可以通过大量重复试验观察到，为了说明这一点，我们来看下面的例子。

例1　对虾人工育苗，研究孵化情况，一粒受精卵能孵化出虾苗是一个随机事件，

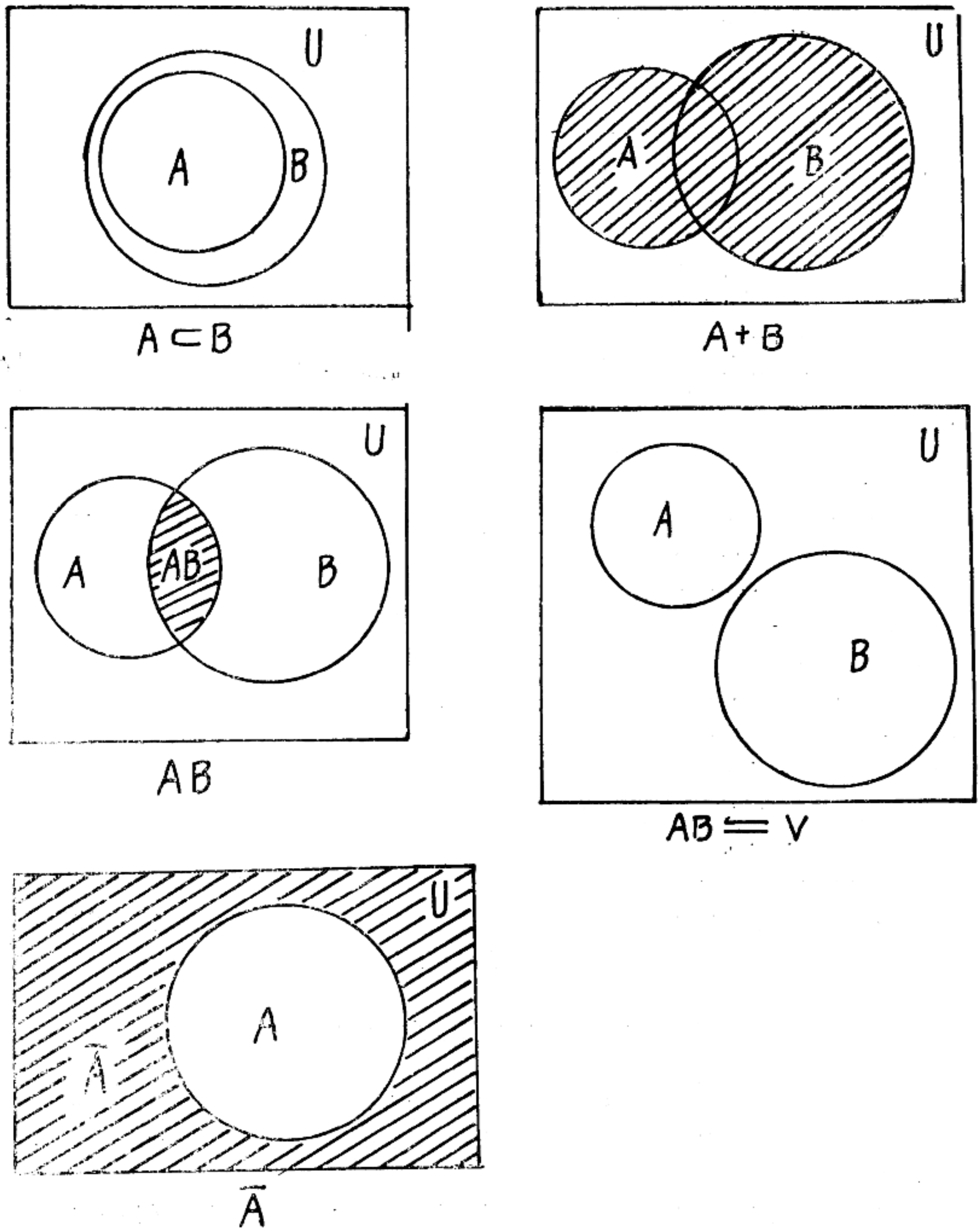


图 1—1

为了观察这个随机事件的规律、试验情况记录如表1－1

表1－1　　对虾人工育苗试验记录

放受精卵粒数(n)	5	7	14	50	100	300	600
孵出虾苗数（m）	5	5	9	44	91	272	542
出苗频率（m/n）	1.00	0.71	0.64	0.88	0.91	0.91	0.90

例2　某养殖公司养殖的海带，发生了白点病，为了调查病情进行抽样检查，检查结果如下表1－2

表1－2　　某海区海带白点病发病调查情况

抽查株数（n）	5	10	15	20	25	30	35	40	50
发病株数（m）	3	5	10	10	13	14	17	19	24
发病频率（m/n）	0.60	0.50	0.67	0.50	0.52	0.47	0.49	0.48	0.48

设事件A在n次重复试验中发生了m次，则比值m/n叫做事件A的频率。

从上面的两个例子中，一粒对虾卵可以看成一次试验，能孵出一个虾苗是一个随机事件，检查一棵海带也是一次试验，查出一棵患白点病的海带也是一个随机事件。从例1和例2中可以看到，在每次重复试验中，同一事件的频率有波动，带有偶然性。但在多次重复试验中，频率却经常稳定在一个固定的数值附近。从例1看，频率稳定在0.90，从例2看频率稳定在0.48。而且随着试验次数的增多，这种稳定在一个数值附近的趋势越来越显著，这是一个非常重要的事实，我们通常把这一事实说成频率具有稳定性。

二、概率的统计定义

频率的稳定性揭示出一个随机事件出现的可能性有一定的大小。频率稳定在较大的数值时，表明相应事件出现的可能性大；频率稳定在较小数值时，表明相应事件出现的可能性小。而频率稳定的这个固定数值就是相应事件出现可能性大小的一个客观定量的度量，这个数值就叫相应事件的概率。

概率的统计定义：设进行了n次重复试验，其中事件A出现了m次，若随着试验次数n的增大，事件A出现的频率m/n就稳定在某个数值P，那末我们定义事件A的概率为P，即

$P(A) = p$ ………… （1—1）

在一般情况下，固定的数值P是不可能精确的得到的，因此通常在n充分大时，以事件A的频率作为事件A的概率P的近似值，即

$$P(A) \approx \frac{m}{n} \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1-2)$$

在例1中若用A表示孵化出虾苗这一事件，则$P(A) = 0.9$。在例2中若用B表示海带发病株数这一事件，则$P(B) = 0.48$

由于频率m/n总是介于0，1之间，故随机事件的概率也总是介于0，1之间，即

$0 \leqslant P(A) \leqslant 1$

在A为必然事件时有：$P(A) = P(U) = 1$

在A为不可能事件时有：$P(A) = P(V) = 0$。

§4 概率的古典定义

上述概率的统计定义，它既是概念，同时也提供了近似计算概率的方法。但在某些特殊情况下，有些事件的概率不必经过大量的试验，也可以完全确定。这类事件有如下特点：

（1）在一次试验中，所有可能出现的试验结果的个数是有限的，一般记为N。

（2）在所有N个试验结果中，每一个试验结果出现的可能性是相等的，而且它们是互不相容的。

现举例说明如下：

例1 在一个养有N尾对虾的试验池中，准备抽取对虾检查生长情况，试验为任意从池中扑取一尾，所有可能出现试验结果的个数为N，由于N尾对虾中每一尾虾被扑到的可能性是相同的，因此，每个试验结果出现的可能性是相等的，而且它们互不相容。

我们把一次试验中，每一个可能出现的结果叫做基本事件。于是有概率的古典定义如下：如果一个试验的基本事件的总数为N，事件A所描述的内容一共含有基本事件M个，那么，事件A的概率就是：

$$P(A) = \frac{M}{N} \cdots\cdots \quad (1-3)$$

例2 一个网箱里装15尾亲鱼，其中雌鱼10尾，雄鱼5尾，从中任取一尾，问取到雌鱼的概率是多少？

解：设A：“取到雌鱼”的事件。总共可能出现的结果数是15，即基本事件的总数$N=15$而事件A包含有10个基本事件，即$M=10$，故由（1—3）式得：

$$P(A) = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$$

例 3　已知 1 号池混养50尾亲鱼，其中有鲢鱼15尾，鳙鱼35尾，求一次捕10尾都是鳙鱼的概率。

解：A：“捕10尾都是鳙鱼”

从50尾鱼中，每次抽10尾的抽法共有 C_{50}^{10}，即 $N=C_{50}^{10}$。要使10尾都是鳙鱼，只能在35尾鳙鱼中抽取，共有抽法 C_{35}^{10}，即 $M=C_{35}^{10}$，由公式（1－3）得：

$$P(A)=\frac{C_{35}^{10}}{C_{50}^{10}}=\frac{\dfrac{35!}{10!(35-10)!}}{\dfrac{50!}{10!(50-10)!}}$$

$$\frac{35!40!}{25!50!}=0.0179$$

即任捕10尾都是鳙鱼的概率为0.0179，这是个小概率事件。

例 4．某成鱼养殖场 2 号池出现了烂腮病，每100尾鱼中有24尾患了烂腮病，现任捕 3 尾问：

① 3 尾都没有患烂腮病的概率；

② 3 尾中有一尾患烂腮病的概率；

③ 3 尾都患了烂腮病的概率。

解：①设A：“三尾都没患烂腮病”

$$\text{则有 } N=C_{100}^{3}=\frac{100!}{3!(100-3)!}=\frac{100\times 99\times 98}{3\times 2}=161700$$

$$M=C_{76}^{3}=\frac{76!}{3!(76-3)!}=\frac{76\times 75\times 74}{3\times 2}=70300$$

$$\therefore\ P(A)=\frac{70300}{161700}=0.435$$

②设B：“3 尾中有一尾患烂腮病”

$$\text{则有}N=C_{100}^{3}=161700$$

$$M=C_{76}^{2}\cdot C_{24}^{1}=68400$$

$$\therefore\ P(B)=\frac{68400}{161700}=0.423$$

③C：“三尾都患了烂腮病”

则有$N = C_{100}^{3} = 161700$

$$M = C_{24}^{3} = \frac{24!}{3!(24-3)!} = 2024,$$

$$\therefore\ P(C) = \frac{2024}{161700} = 0.013,$$

这也是小概率事件。

§5 概率的基本运算法则

要计算较为复杂的事件的概率，用古典定义和概率的统计定义有关公式，直接计算往往是不方便的，有时甚至是做不到的，这就要用间接法，即从事件的关系上来寻求计算事件的概率问题。

一、概率的加法定理

加法定理：两个事件和的概率，等于每个事件概率之和，减去两个事件积的概率。即：

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$

证明：我们下面就概率的古典定义来证明这个定理。

设某一试验中总共有N个等可能的试验结果，事件A包含了M_1个试验结果，事件B包含了M_2个试验结果。我们这里没有假定A和B互不相容，因而一般都存在着既属于A也属于B的试验结果，设这样的试验结果有R个，也就是事件AB所包含的试验结果有R个。

因为A＋B表示事件A或事件B至少有一个发生的事件，所以A＋B所包含的试验结果数为$M_1 + M_2 - R$，依据概率的古典定义有

$$P(A+B) = \frac{M_1 + M_2 - R}{N}$$

$$= \frac{M_1}{N} + \frac{M_2}{N} - \frac{R}{N}$$

但$\frac{M_1}{N} = P(A)$，　$\frac{M_2}{N} = P(B)$，　$\frac{R}{N} = P(AB)$

$$\therefore P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB) \cdots\cdots (1-4)$$