

水产生物统计

(1. 水产科学试验设计方法)

孙尽善 编著



农业部中等水产教育研究会

编者的话

一个好的科学试验设计方法，不仅可以节省人力、物力和时间，而且可以用较少的试验次数得到较为精确的结果。最近几十年来，国内外的试验设计发展迅速，已经形成一门独立的学科。目前我国工业、农业和国防科研部门都在大力使用和推广好的试验设计方法，并且已取得了显著效果。但在水养殖方面试验设计和统计分析知识的普及推广和应用方面，还处于低级阶段，这与四化建设的要求很不适应。水产养殖因素复杂，设备简陋，试验设计和统计分析的基本知识缺乏，要改变这种落后局面，必须大力宣传和普及科学试验设计和统计分析方法。这本小册子是受农业部中等水产教育研究会和《中等水产教育》编辑部的委托编写的，其目的就在于抛砖引玉，唤起水产养殖各界同事同仁对科学试验设计和统计分析方法的重视，使试验少走弯路，正确分析实验数据，多出试验成果，促使水产养殖事业的迅速发展。

本书共分八章，简要的介绍了水产养殖试验设计中的有关名词概念，试验设计中常用的随机方法，单因素试验设计方法，多因素试验设计方法，特别用专章介绍了目前较好地处理多因素试验的正交设计法。为了使知识系统完整，便于读者学习和实践中应用，对于采用各种科学试验设计方法进行试验所得的结果，本书也分别提供了试验结果的数据整

理方法和统计分析方法等。本书在介绍试验设计概念及试验设计和统计分析方法的同时，列举了它们在水产养殖方面的大量实践应用。

本书在编写上力求通俗易懂，便于自学。它是一本专门介绍水产养殖科学试验设计和统计分析知识的书，定为水产工作者和水产养殖技术人员所必读；它是一本试验设计的工具书，定为水产技术人员和水产工作者所必用。

另外，本书可与我编的《水产生物统计方法》配套作为水产学校水产养殖专业《生物统计》课的代用教材。在选作教材使用时，最好把该书的第七章和第八章放在《水产生物统计方法》之后讲授。这样处理的好处是：知识较为系统，便于学生学习理解和应用，有利于提高教学质量。

本书最后附有13个常用统计表及其查法，可供应用中参改。

本书也可供水产大中专院校的从事水产养殖专业的师生学习和参考。

由于编者水平有限，书中缺点、错误在所难免，敬请阅读、学习、使用本书的水产工作者、水产科技人员、水产院校的有关师生们，提出宝贵意见，以便今后有机会时修改、提高。

孙尽善

1989年5月于山东省水产学校

目 录

第一章	水产养殖科学试验的基本概念.....	1
§ 1	水产养殖科学试验的内容.....	2
§ 2	水产养殖科学试验的要求.....	4
§ 3	水产养殖科学试验中常用名词.....	6
§ 4	水产养殖科学试验设计的三大原则.....	14
§ 5	水产养殖科学试验的一般程序.....	18
§ 6	水产养殖科学试验方案的内容及拟定 方案的注意事项.....	20
第二章	水产养殖试验设计中常用的随机方法.....	26
§ 1	常用随机方法.....	26
§ 2	随机分组法.....	32
§ 3	经验数据法.....	34
第三章	水产科学试验中常用的单因素 试验设计方法.....	38
§ 1	单因素的对比试验设计法.....	38
§ 2	单因素的间比试验设计法.....	44
§ 3	单因素的随机区组试验设计法.....	46
§ 4	单因素的拉丁方试验设计法.....	52
§ 5	单因素的平衡不完全区组试验设计法.....	61
第四章	水产科学试验中常用的多因素 试验设计法.....	69

§ 1	多因素试验的必要性和优越性	69
§ 2	多因素试验的随机区组设计法	71
§ 3	多因素试验的裂区设计法	75
§ 4	多因素试验的拉丁方设计方法	82
§ 5	多因素的对比、间比试验设计法	86
第五章	多因素试验的正交试验设计方法	90
§ 1	正交试验概述	90
§ 2	一般正交试验设计方法	97
§ 3	水平数不等的正交试验设计法	101
§ 4	有交互作用的正交试验设计法	107
§ 5	利用正交表进行简单混杂的试验设计方法	112
§ 6	正交试验法原理的直观解释	118
§ 7	正交试验设计方法的优缺点	121
§ 8	正交试验设计中应注意的问题	121
第六章	试验结果数据的整理方法	123
§ 1	统计图表	124
§ 2	间断性数据的整理方法	139
§ 3	连续性数据的整理方法	141
第七章	单因素试验结果的统计分析方法	150
§ 1	单因素对比试验结果的分析方法	150
§ 2	单因素间比试验结果的分析方法	159
§ 3	单因素随机区组试验结果的分析方法	163
§ 4	单因素拉丁方试验结果的分析方法	173
§ 5	单因素不完全区组试验结果的分析方法	178

第八章	多因素试验结果的统计分析方法	185
§ 1	多因素对比试验结果的分析方法	185
§ 2	多因素间比试验结果的分析方法	187
§ 3	多因素拉丁方试验结果的分析方法	190
§ 4	多因素裂区试验结果的分析方法	195
§ 5	多因素正交试验结果的分析方法	203
《附录》	生物统计常用统计表及其查法	219
1.	随机数字表	220
2.	标准拉丁方表	228
3.	平衡不完全区组 (BIB) 设计表	231
4.	常用正交表	240
5.	正态分布表	259
6.	标准正态分布临界值 u_{α} 表 (两尾)	266
7.	t分布表	268
8.	F检验表	272
9.	SSR表	278
10.	相关系数检验表	284
11.	符号检验表	289
12.	秩和检验表	292
13.	χ^2 分布表	296

第一章 水产养殖试验的基本概念

试验设计是数理统计学的一个重要分支，发展到今天已有近50年的历史，其内容正通过实践逐步完善和丰富起来。

水产养殖科学试验设计，广义理解是指在水产养殖科研工作未进行前，对整个水产养殖试验研究课题的设计，它包括试验方案的制定，试验单位的选择和分组以及相应的资料收集、整理、试验实施和统计分析方法等内容。而狭义的理解是专指对水产养殖科学试验方法的考虑，也可以理解为对某一水产养殖具体试验的设计，它主要包括：试验的目的要求，试验的因素和水平的确定，试验方法的选择，试验的具体实施，试验结果的记录、整理和统计分析等。

水产养殖科学试验设计，是进行水产养殖科学研究工具，也是决定水产养殖科研工作成败的一个重要环节。一个复杂的水产养殖试验，如果设计的好，就可以用较少的人力、物力和时间，最大限度地获得丰富而可靠的资料。反之，如果考虑不周，不仅得不到丰富的资料，而且会给经济上带来不必要的损失。因之，在水产养殖科学试验中，正确的掌握科学试验设计技术和统计分析方法，对开展水产养殖科学研究工作，发展水产养殖生产，都具有重要意义，也是水产生物学领域实现现代化的必要条件。

本章将简要介绍水产养殖科学试验的内容，水产养殖科学试验的要求，水产养殖科学试验设计中的有关名词，试验

设计的三大原则，水产养殖试验的一般程序以及水产养殖试验方案的制定等知识。

§ 1 水产养殖科学试验的内容

水产养殖科学试验常见的有品种比较试验，养殖技术措施比较试验，病虫害不同防治措施的比较试验，饵料试验，人工育苗催产孵化试验，生产适应性试验等等。

一、品种比较试验

品种比较试验是指将外地引进的水产养殖新品种或本单位培育的水产养殖新品种同当地大面积推广的现有水产养殖品种作比较试验，以选出优质高产的水产养殖新品种，并在生产中加以推广。

二、养殖技术措施比较试验

水产养殖技术措施的比较试验，种类繁多，项目各异。如施肥试验，可以是各种肥料的比较，也可以是各种施肥量的比较，或两者的综合。再以池塘养鱼为例，混养品种搭配比例多少才能高产？须要经过试验，以得出合理的混养品种的搭配比例。网箱养鱼的密度试验，通过试验找出合理的放养密度，以达高产目的。海带养殖中的垂养平养比较试验、单密夹与三簇夹对比试验、扇贝养殖中的倒笼与不倒笼对比试验，一条龙与顺流架子养殖对比试验，催产孵化中的一次催产还是两次催产的比较试验，施肥中的挂袋与泼洒方法对比试验，投饵中的日投饵一次与日投饵多次的对比试验等等，均属于养殖措施比较试验。

三、病虫害不同防治措施的比较试验

对于鱼虾贝蟹及各种藻类的病虫害，诸如鱼类的赤皮病、水霉病、烂鳃病、肠炎、出血病、红线虫病、隐鞭虫病、粘孢子虫病等等，虾类的黑斑病，海带的白点病、烂梢病等等，都需要采用合理措施，有效防治。而各种防治处理的效果如何？必须先进行比较试验，待取得比较成熟的经验，然后才能推广。

四、饵料试验

饵料是鱼虾养殖重要的物质基础。只有投喂优质饵料，才能促进鱼虾的迅速健康成长。目前在水产养殖中，优质饵料不足是影响大面积鱼虾养殖的一大难题，开辟新饵料资源，大批量地生产人工配合优质饵料，实属目前水产养殖业的当务之急。一种新的饵料只有通过试验才能决定是否可取，任何一种人工配合饵料，只有与常用饵料进行对比试验以后，实践证明有效，才能推广。诸多饵料只有进行筛选试验，才能得出优质廉价品。在人工配合饵料本身，各种原料的配比，只有通过试验也才能得出最佳配比。因之，饵料试验是水产养殖科学试验中一项必不可少的试验。

五、适应性试验

对外地引进的水产养殖品种和外地的水产养殖措施，均应经过适应性试验阶段，以确定它们是否适应本地区的环境条件，是否适应在本地区推广。例如对虾育苗在高盐度海域的技术措施，在低盐度海域是否也完全能用？南方的优良品种引进北方是否适应？外国的优良品种引进我国是否可行？只有经过适应性试验，才能确定。

以上列举的只是水产养殖科学试验常见的项目，远非水产养殖科学试验的全部。

随着现代科学的进步，近年来，水产养殖生产在现在的基础上，将要向水产养殖生产的深度和广度进军，水产养殖科学试验的领域也必将不断扩大，更多更新的水产养殖科学试验课题有待我们去进一步发掘和解决。

§ 2 水产养殖科学试验的要求

水产养殖科学试验的目的在于把试验结果应用于水产养殖的生产实践，因而，水产养殖试验必须符合以下要求：

一、提出的试验项目必须来自水产生产的实践，而且要有明确的试验目的。

进行水产养殖科学试验，只有紧密地联系当地水产实际，确实抓住水产生产上的关键问题，才是有的放矢。只有结合水产实际的成功试验，才能最终解决水产养殖生产上的问题。同时也要注意具体试验项目的目的性，试验目的必须明确，不能含糊笼统。例如，扇贝养殖高产模型试验，就是当前扇贝养殖中的一项重要课题，其目的就是通过这个试验找出笼养扇贝的主要因素，找出提高笼养扇贝产量和品质的最佳生产条件，以提高单位面积的扇贝产量。

二、试验项目要有代表性，在生产上有推广价值。

试验项目的代表性，主要指两个方面，其一是自然条件方面，如气候条件，南北方就不一样，是海水养殖还是淡水养殖，养殖对象和技术措施也不一样。试验项目要考虑到今后推广的地区和水面条件相类似。其二是生产组织和经济条件方面也要有代表性，如水产养殖中的新饵料试验，试验项目的确定要考虑到当地的饵料资源和饵料成本，如果资源

缺乏或成本昂贵，就是试验成功，也难于推广，这样的试验就缺乏代表性。

三、试验项目要从本单位实际出发，同时也要参考别人的经验。

试验项目的选择，必须有的放矢，即要根据本单位的需要，也要参考别人在这方面已取得的经验，不要重复那些别人在相同情况下已经做过多次，而且证明是完全有效的试验。但是也要看到由于水产养殖生产的地区性比较强，有些经验在外地已证明有效，在本地是否有效，却还有待验证。如对虾人工育苗在胶东沿海多年来一直成功，那末，在黄河入海处的沿海低盐度水域是否能育苗成功，还要通过人工育苗试验来证明，如果不经试验，盲目推广，就会给生产带来重大损失，类似这样的教训在历史上是屡见不鲜的。

四、水产养殖科学试验要有一定的精确度

实践证明，在水产养殖科学试验中，试验的精确度越高，试验的结果就越可靠。如果试验不够精确，往往不能充分显示出来某种先进技术的优点，甚至优劣颠倒，失去试验中可比较的意义。要做到试验结果的精确，就要有科学周密的试验设计，精心的试验操作，完整的记录等一系列工作来保证。

五、水产养殖科学试验要有重演性

所谓试验的重演性，即在类似条件下进行再试验或大面积生产，能获得原试验相同（或相近）的结果。必须具有这样的重演性，其试验结果才能应用于生产。纵观水产养殖试验，有不少项目总结经验有条有理，但是别人也在类似条件下按这些经验方法去做试验时，却得不出类似的结果。究其

原因，就是试验缺乏重复，偶然因素干扰严重，也就是试验缺乏重演性所致。为了提高水产养殖试验的水平，使试验结果可靠，并能应用于生产，试验的重演性这一原则必须很好地贯彻。

§ 3 水产养殖科学试验常用名词

水产养殖试验与其他专业中的试验一样，牵扯到常用的名词有试验指标、试验的因素、试验因素的水平、试验处理（或水平及水平组合）、单因素试验、多因素试验、试验因素的主效和因素间的交互作用等。弄清楚这些名词，将是水产养殖搞好科学试验设计不可缺少的知识。

一、试验指标

水产养殖科学试验中，用来衡量试验效果的量叫试验指标。在任何一项水产养殖科学试验前，都必须确定试验的指标，没有试验指标，试验结果的好坏就没有比较标准，因而也就无法分析。水产养殖上的试验指标一般分为两类，即定量指标与定性指标。

1. 定量指标：

所谓定量指标，是指能用数量表示的指标。如在水产养殖试验中常用的有：水产品的亩产量，鱼虾贝类的体长与体重，某些养殖品种的日增重、日增长，鱼虾贝蟹在人工育苗中的孵化率、幼苗成活率，某种鱼病的发病率，苗种合格率，饵料系数，水产品的商品率等等，这些都是能用数量表示的指标，亦即定量指标。

2. 定性指标：

所谓定性指标,是指不能直接用数量表示,只能用人的感官来鉴定(如手摸、眼看、舌味)的指标,如鱼的肤色,鱼虾贝蟹的雌雄,鱼病的好转、痊愈或死亡,胚胎发育的进度等等。它们一般都不能以数量来表示,而只能用定性的办法来表示。对于定性指标,在对试验结果进行统计分析时,一般都要首先采用分等级或评分的办法,将定性指标化为定量指标,然后再进行分析。

二、水产养殖中的试验因素

在水产养殖科学试验中,对试验指标有影响,试验需加以考察的条件,叫试验中的因素。它一般分为可控因素与不可控因素两类。

1. 可控因素:即在试验中,可以人为的加以调节和控制的_{因素}。如在品种对比试验中,选几个品种,人们可以事先决定;网箱养鱼的放养密度试验,每箱放多少尾可以人为控制,室内育苗中的光照强度,海带养殖中的施肥量及肥料种类等,在试验中都可以事先人为调节和控制,这都属可控因素。

2. 不可控因素:即在水产养殖科学试验中,不能(或暂时不能)人为调节和控制的_{因素}。如气候、雨量在室外试验中,目前一般是无法控制的,这都属不可控因素,但它们对试验有直接或间接的影响。在水产养殖科学试验中,特别是在大面积的海域或滩涂进行试验中,不可控因素甚多,这也是水产养殖科学试验目前难度较大的原因,了解这些问题,对于试验设计和结果分析都是十分重要的。

三、试验因素的水平(也叫梯度或等级):

在水产养殖科学试验中,一个试验因素的不同状态,就

叫做因素的水平。一般它可分为数量水平或质量水平两类。

1. 数量水平：即因素的不同状态能用数量表示的水平。例如：网箱养鱼密度试验，假若分 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 四种密度，且设 $B_1=200$ 尾/箱， $B_2=250$ 尾/箱， $B_3=300$ 尾/箱， $B_4=350$ 尾/箱，则 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 四个放养密度，即从量的方面分为四个水平。又如鱼虾和藻类的施肥量试验，假设分三个等级（水平），第一水平定为每亩施N肥10公斤，第二个水平定为每亩施N肥20公斤，第三个水平定为每亩施N肥30公斤，就肥料这个因素来说，试验中它就从量的方面分为10、20、30公斤这三个水平。数量水平在水产养殖科学试验中，是经常地大量用到的，它也是试验结果进行统计分析的前提和条件。

2. 质量水平：即试验因素的各种状态不能用数量表示，而能从质的不同来区分的水平。例如，研究罗非鱼不同品种的生长情况，若 A_1 代表尼罗罗非鱼， A_2 代表莫桑比克罗非鱼， A_3 代表伽利略罗非鱼，作为试验中的品种这个因素来说， A_1 、 A_2 、 A_3 就是从质的方面来分的三个水平，质量水平在水产养殖试验中也会经常遇到。又譬如，在扇贝进行笼养时，倒笼养殖，不倒笼养殖就可以看成对管理措施这个因素来说从质的方面分的两个不同水平。

四、单因素试验

在水产养殖科学试验时，只包含一个因素（或因子）的试验叫单因素试验。但必须注意一个试验因素至少要设两个水平才能进行比较，否则其本身不能构成试验因素。如，网箱养鱼密度试验，只设置一个密度 B_1 ，则就无法做对比试验，得不出最佳的放养密度，因而“密度”这个因素就构

不成“试验因素”了。如果对于放养密度设置两个不同的水平 B_1 和 B_2 ，通过 B_1 及 B_2 两个水平的对比试验，就可找出一个比较好的放养密度。单因素试验比较简单，它在品种、密度、施肥量和管理措施等试验中经常用到。

五、多因素试验

在水产养殖科学试验中，包含两个或两个以上因素的试验，叫多因素试验。多因素试验是以各因素的所有水平组合为对象进行试验的。例如，网箱养鱼三因素三水平试验，拟定的因素水平如下表 1—1。

表 1—1 网箱养殖罗非鱼试验的因素和水平表

因素 水平	A (品种)	B (放养密度)	C (饵料)
1	尼罗罗非鱼 (A_1)	$B_1=200$ 尾/箱	$C_1=I$
2	莫桑比克罗非鱼 (A_2)	$B_2=300$ 尾/箱	$C_2=II$
3	伽俐略罗非鱼 (A_3)	$B_3=400$ 尾/箱	$C_3=III$

这个试验所有的水平组合如下：

A ₁	B ₁	C ₁ A ₁ B ₁ C ₁ (1)
		C ₂ A ₁ B ₁ C ₂ (2)
		C ₃ A ₁ B ₁ C ₃ (3)
	B ₂	C ₁ A ₁ B ₂ C ₁ (4)
		C ₂ A ₁ B ₂ C ₂ (5)
		C ₃ A ₁ B ₂ C ₃ (6)
	B ₃	C ₁ A ₁ B ₃ C ₁ (7)
		C ₂ A ₁ B ₃ C ₂ (8)
		C ₃ A ₁ B ₃ C ₃ (9)

A_2	B_1	$C_1 \dots\dots\dots A_2 B_1 C_1 \dots\dots\dots (10)$
		$C_2 \dots\dots\dots A_2 B_1 C_2 \dots\dots\dots (11)$
		$C_3 \dots\dots\dots A_2 B_1 C_3 \dots\dots\dots (12)$
	B_2	$C_1 \dots\dots\dots A_2 B_2 C_1 \dots\dots\dots (13)$
		$C_2 \dots\dots\dots A_2 B_2 C_2 \dots\dots\dots (14)$
		$C_3 \dots\dots\dots A_2 B_2 C_3 \dots\dots\dots (15)$
	B_3	$C_1 \dots\dots\dots A_2 B_3 C_1 \dots\dots\dots (16)$
		$C_2 \dots\dots\dots A_2 B_3 C_2 \dots\dots\dots (17)$
		$C_3 \dots\dots\dots A_2 B_3 C_3 \dots\dots\dots (18)$
A_3	B_1	$C_1 \dots\dots\dots A_3 B_1 C_1 \dots\dots\dots (19)$
		$C_2 \dots\dots\dots A_3 B_1 C_2 \dots\dots\dots (20)$
		$C_3 \dots\dots\dots A_3 B_1 C_3 \dots\dots\dots (21)$
	B_2	$C_1 \dots\dots\dots A_3 B_2 C_1 \dots\dots\dots (22)$
		$C_2 \dots\dots\dots A_3 B_2 C_2 \dots\dots\dots (23)$
		$C_3 \dots\dots\dots A_3 B_2 C_3 \dots\dots\dots (24)$
	B_3	$C_1 \dots\dots\dots A_3 B_3 C_1 \dots\dots\dots (25)$
		$C_2 \dots\dots\dots A_3 B_3 C_2 \dots\dots\dots (26)$
		$C_3 \dots\dots\dots A_3 B_3 C_3 \dots\dots\dots (27)$

由此可见，这个三因素三水平的试验，全面水平组合共有27个，习惯上把这样的三因素三水平的试验简记为 $3 \times 3 \times 3$ 型试验（或 3^3 型试验）。如果有两因素每个因素各三个水平，则可记为 3^2 型试验，其全面水平组合共9个，余类推。

水平组合又叫“处理”，如上例的网箱养殖罗非鱼的试验，共有27个处理，即共需27个网箱进行试验。第1号网箱即安排第(1)处理 $A_1 B_1 C_1$ ，它的具体安排是在第1号网

箱中放养品种为尼罗罗非鱼，放养密度是200尾/箱，投喂Ⅰ号饵料。第2个网箱安排第(2)号处理 $A_1B_1C_2$ ，它的具体安排是第2号网箱放养品种为尼罗罗非鱼，放养密度为200尾/箱，投喂Ⅰ号饵料，……第27号网箱安排第(27)个处理 $A_3B_3C_3$ ，其具体安排是第27号网箱放养品种为伽利略罗非鱼，放养密度是400尾/箱，投喂Ⅲ号饵料。这27个处理(水平组合)就是网箱养殖罗非鱼试验的构成设计。它是一个多因素多水平试验。实践证明多因素试验比单因素试验效率高，但比单因素试验从设计到实施要复杂的多。

六、试验因素的主效应与交互作用

什么是试验因素的主效应与交互作用？为了说明这个问题，请看下例：

设有N肥和P肥各10公斤，问将这两种肥料混合施于1亩的海带上增产效果好，还是N、P分别单独施于1亩的海带上增产效果好？

上面所提的问题，目的在于了解N、P分施上算，还是合施上算？这个问题的最终正确解答，必须通过试验。其试验的因素水平为下表1—2。

表1—2 因素水平表

因素 \ 水平	N	P
1	$N_1 = 0$	$P_1 = 0$
2	$N_2 = 10$ (公斤/亩)	$P_2 = 10$ (公斤/亩)

显然，这是一个 2^2 型多因素试验。其所有的水平组合(处理)为：