

农业试验设计

无锡县革命委员会文教局编

毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

一切可以到农村中去工作的这样的知识分子，应当高兴地到那里去。农村是一个广阔的天地，在那里是可以大有作为的。

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我县广大贫下中农和革命干部坚持以阶级斗争为纲，积极开展“农业学大寨”的革命群众运动，全县农村出现了革命和生产的一派大好形势，人们的思想和精神面貌发生了深刻的革命变化，粮食产量连年大幅度上升，一九七四年取得了粮食总产超10亿斤，增产超1亿斤的显著成绩。一九七五年在严重的自然灾害面前，粮食产量还超过了历史最高水平，林、牧、副、渔各个方面的产量也都有较大幅度的提高。大好形势的出现，在我们面前展现了一幅壮丽的前景，它鼓舞着全县人民去夺取革命和生产的更大胜利。

农业学大寨运动的深入开展，对科学种田提出了更高的要求，当前，群众性的农业科研活动正在蓬勃发展，社队两级的农科站也如雨后春笋般地建立起来。农科站的建立，迫切地需要一批有社会主义觉悟的、有文化的新农民，为此我们革命师生必须认真学习广大工农兵的丰富实践经验，切实掌握田间试验的方法和技术，为发展社会主义集体经济，普及大寨县贡献自己的力量。

搞好农业科学试验，特别是田间试验，需要解决的问题很多，例如试验方法的设计，试验方案的田间实施，试验结果的分析等等，都值得研究和探讨。这本教材主要介绍使用正交表安排农业科学试验和分析试验结果的方法，除此之外，结合介绍一些和试验设计密切有关的概念、方法和技能，供大家在开展农业科学实验活动时参考。

目 录

前 言

第一章 概述.....	(1)
第一节 试验为什么要设计.....	(1)
第二节 试验设计的基本知识.....	(3)
一 目标.....	(3)
二 因素和水平.....	(3)
三 正交表.....	(4)
第二章 试验的设计和分析.....	(7)
第一节 试验方案的设计.....	(7)
一 因素和水平的确定.....	(7)
二 试验方案的设计.....	(8)
三 试验指标的测定.....	(9)
第二节 试验结果的直观分析.....	(11)
一 计算试验结果.....	(11)
二 画出效果与因素关系图.....	(12)
三 分析因素的主次及因素影响指标的规律.....	(13)
第三节 正交试验法原理解释.....	(15)
一 均衡分散性.....	(15)
二 整齐可比性.....	(16)
第三章 试验方案的实施.....	(20)
第一节 试验地的选择与安排.....	(20)
一 试验地的选择.....	(20)
二 试验小区的安排.....	(21)
三 田间排列.....	(22)
第二节 田间试验的设计技巧和操作要求.....	(24)

一	田间试验的设计技巧	(24)
二	田间试验的操作技术	(28)
三	实施田间试验应注意的问题	(29)
第三节	试验数据的取得和整理	(31)
一	取样方法	(31)
二	数据整理	(32)
第四章	其它类型试验	(36)
第一节	多指标的试验	(36)
第二节	水平数不同的试验	(40)
一	利用混合水平的正交表	(40)
二	拟水平法	(42)
第三节	有交互作用的试验	(44)
第五章	正交表的方差分析	(53)
第一节	方差	(53)
第二节	正交表的方差分析	(56)
一	二水平情形	(56)
二	三水平情形	(59)
三	多水平与拟水平情形	(62)
四	有重复试验的方差分析	(63)
附 录		
一	常用正交表	(70)
1.	$L_4 (2^3)$	
2.	$L_8 (2^7)$	
3.	$L_9 (3^4)$	
4.	$L_{16} (4^5)$	
5.	$L_{16} (2^{15})$	
6.	$L_{25} (5^8)$	
7.	$L_{27} (3^{13})$	
8.	$L_8 (4 \times 2^4)$	
9.	$L_{18} (2 \times 3^7)$	
10.	$L_{16} (4 \times 2^{12})$	
11.	$L_{16} (8 \times 2^8)$	
12.	$L_{16} (4^4 \times 2^3)$	
二	F 分布表	(78)
三	平方表	(81)
四	随机数表	(83)

编 后

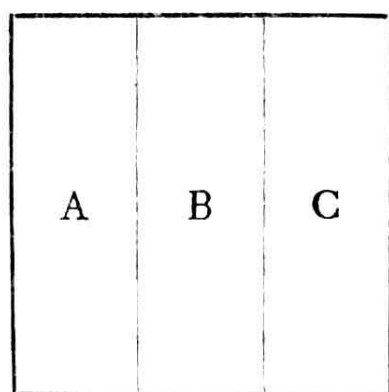
第一章 概 述

第一节 试验为什么要设计

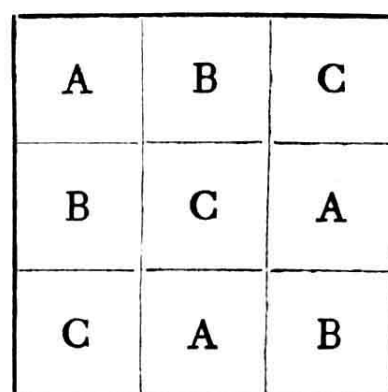
在农业生产中，要选择一个良种，或要找出某一品种的较好栽培技术措施，一般都要通过试验。如何来安排这些试验呢？这是一个方法问题。毛主席教导我们：“我们不但要提出任务，而且要解决完成任务的方法问题”。一个好的试验方法，只要用少量试验就能得到正确的结论和较好的效果；如果试验方法不好，就会浪费大量的人力物力，达不到我们预期的目的，因此，如何合理地设计试验是个值得研究的问题。为了说明这一点，我们可以先看一个简单的例子：

某公社为了探索由外地引进的水稻新品种 原丰早（A）、竹七（B）、广辐早（C）在本地区的适应情况及增产途径，需要进行对比试验。

一种试验的方法是把三个品种种在如图 1—1（1）所示的田里，如果试验的结果假设品种 A 产量最高，B 其次，C 最低，我们能否下结论说品种 A 最好呢？仔细观察一下就会发现，三个品种尽管种在相邻的三块地上，但三块地的土质不完全一样，如果正好品种 A 的这块田土质条件最好，品种 B 的那块田稍次，品种 C 的那块田最差，那么 A 的产量高并不一定说明品种 A 好。这时品种的好坏与土壤的肥瘠程度混杂在一起，给如何下结论带来了困难。因此，图 1—1（1）的这种设计是不好的。



（1）



（2）

图 1—1

另一种试验的方法是把三个品种种在如图 1—1（2）所示的田里，那末，无论是从纵的方向还是从横的方向来看，三个品种都刚好出现一次，这样，品种的好坏就不会

和土壤差异的作用混起来，由此可见，试验安排得是否合理，会从根本上影响到所要考察的结果。从这样一个很简单的例子，我们就会明白试验为什么要设计了。

为了进一步理解试验为什么要设计，我们再看一个例子：

洛社公社花渡大队张巷生产队为了探索氮、磷、钾肥对水稻产量的影响，他们根据实践经验取如表 1—1 所示的施肥量来作试验，从而寻找较好的施肥方案。

表 1—1

肥料种类 施肥量 施肥水平	A 碳铵(斤/亩)	B 过磷酸钙 (斤/亩)	C 氯化钾 (斤/亩)
1	3 0	3 0	1 5
2	4 0	3 5	2 0
3	5 0	4 0	2 5

为了表达简明起见，A 的三个施肥量用 A_1 、 A_2 、 A_3 表示，B 和 C 的三个施肥量分别用 B_1 、 B_2 、 B_3 和 C_1 、 C_2 、 C_3 表示。这样，三种肥料和三种施肥水平全部搭配起来就有 $A_1 B_1 C_1$ 、 $A_1 B_1 C_2$ 、 $A_1 B_1 C_3$ 、 $A_1 B_2 C_1$ 、 $A_1 B_2 C_2$ 、 $A_1 B_2 C_3$ 、…… $A_3 B_3 C_3$ 共 27 种，做这样的试验就要 27 次。这种方法称为全面试验，全面试验提供的信息比较丰富，但试验次数较多。如果肥料再增加一种，施肥水平再增加一个，那末，全面试验的次数就将急剧增加到 256 次，这是很难办到的。如何克服全面试验的缺点，保持它的优点呢？这就需要用科学的方法对试验进行合理的安排。

另外，在农业试验中，还应当充分重视减少试验误差的干扰，尽量保持试验条件的稳定。但由于农业试验的周期一般较长，天气变化难以控制，加工管理也不可能完全一致，这时，试验误差往往不可避免，因此在试验设计时，就要考虑到试验误差的影响，尽量提高试验的精度，排除误差的干扰。

几年来的实践证明，正交试验法（又称试验设计法）是解决因素多、周期长、误差大等试验问题的较好的方法，它方法简单，应用方便，是多快好省地进行农业科学实验的一种好方法。在以后的各节里，我们将对正交试验法的应用和原理，作一些简单的介绍。

第二节 试验设计的基本知识

一、目 标

搞试验，首先要弄清目标，也就是通过试验想达到什么目的。在生产实践中，我们总是希望增加产量，提高质量，降低成本，缩短生产周期，这里，产量、质量、成本、生产时间等就是我们搞试验的目标。目标可以是定量的，例如粮食亩产量多少斤，也可以是定性的，例如秧苗的颜色。当然，定性与定量之间也是可以转化的，有些定性的比较可以转化为定量的比较，例如用比色卡可以测定秧苗颜色的分数，或由有实践经验的贫下中农评出秧苗颜色的分数。不论是定量的目标，还是定性的目标，它们必须具备“可比较”这一条件。

目标也称指标，指标可以只是一个，也可以有几个。例如县农科所、梅村中学进行的前季稻中熟品种基本苗数与施肥量的正交试验，只有一个产量指标；而西漳公社旺庄大队农科站、天一中学旺庄点的培育壮秧试验，就有四个指标：茎粗、叶色、叶数、根数。这是两类不同的试验，前者叫做单指标试验，后者称为多指标试验。

二、因素和水平

我们搞试验的主要目的是找出影响试验结果的原因，以便探索生产的最佳条件，这个影响试验结果（指标）的原因，叫做因素。事物是复杂的，影响指标的因素往往很多，例如搞水稻栽培试验，影响水稻产量的因素有：品种、秧龄、移栽时间、肥料、插植密度和气候条件等等。我们在试验中要尽量抓住一些主要的因素。

因素可分为可控的和不可控的两类，如气候条件，目前人力还难以控制，这类因素称为不可控因素，在搞试验时，仅作分析参考，不列入设计方案。而水稻品种、秧龄、肥料等因素是人力可以控制的，这类因素叫做可控因素，在试验设计时，主要考察的是可控因素。

另外，象施肥量、秧龄、插植密度等可以通过数量反映出来的因素叫定量因素，另一类不使用数量表示的因素，象品种、施肥方式等叫定性因素。

在每个因素的试验范围内，选取适当的试验点叫做该因素的水平，例如施氮肥量的范围是15斤/亩—25斤/亩，在这个范围内取15斤/亩、20斤/亩和25斤/亩三个试验点，这三个试验点就是因素施肥量的三个水平，而象品种这样的定性因素，选定的几个品种就是它的几个水平。因素水平确定得好坏，会直接影响试验的效果，因此在挑选因素时，要排除那些对指标影响不大，或已经掌握得较好的因素，选择那些对指标可能影响较大，但又没有把握的因素来进行考察，特别注意不能把重要因素固定，否则，由于重要因素固定在不适当的水平上，就会使试验收不到预期的效果。

对于选出的因素，要定出它们的变化范围，在此范围内确定每个因素的水平。水平的间隔要适当，间隔过大，会漏掉最优水平组合，间隔过小，又难于鉴别比较。

以上两步不是数学方法所能解决的，需要通过调查研究，由试验者会同农技员、贫下中农、革命干部等根据试验目的、实践经验和专业知识认真商定。

三、正 交 表

正交表是用正交试验法来设计试验方案的一种必要工具，下面对正交表作一简单介绍。在本章的第一节里，我们看到对三种水稻品种进行对比试验时，以图1—1（2）中的安排方法为最好。

如果把图1—1（2）中的A、B、C三个字母换成数字1、2、3，则得到这三个数字的一种排列（图1—2）。

1	2	3
2	3	1
3	1	2

图 1—2

仔细观察图1—2，就会发现在它的每一行、每一列中1、2、3正好各出现一次，具有这种性质的方块叫拉丁方。

把两个拉丁方重叠在一起，如图 1—3 所示。

1	2	3
2	3	1
3	1	2

1 一	2 二	3 三
2 三	3 一	1 二
3 二	1 三	2 一

一	二	三
三	一	二
二	三	一

图 1—3

可以看到，1、2、3 和一、二、三各碰一次，搭配均匀，既无重复，又无遗漏，具有这种性质的两个拉丁方叫做正交拉丁方。

有些正交表是把正交拉丁方拉长以后得到的，例如我们把开始时的两个正交拉丁方列入下表（表 1—2）。

表 1—2

C D A	B		
	1	2	3
1	1 一 ①	2 二 ②	3 三 ③
2	2 三 ④	3 一 ⑤	1 二 ⑥
3	3 二 ⑦	1 三 ⑧	2 一 ⑨

表中的①、②、③……等表示试验号，这样，就能得到正交表 $L_9(3^4)$ （表 1—3）。

表 1—3 $L_9(3^4)$

因素 试验号	A B C D			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1 (一)
2	1	2	2	2 (二)
3	1	3	3	3 (三)
4	2	1	2	3 (三)
5	2	2	3	1 (一)
6	2	3	1	2 (二)
7	3	1	3	2 (二)
8	3	2	1	3 (三)
9	3	3	2	1 (一)

必须说明，正交表不都是能用这个方法构作的，而用正交表安排试验的次数也常常不象正交拉丁方那样一定是正整数的平方。但是不论怎样生成的正交表，都要象 $L_9(3^4)$ 那样，任何两列之间和正交拉丁方的性质类似，相碰等次，搭配均匀。所以我们说正交表是正交拉丁方的自然推广。

用正交试验法安排试验，要用正交表，附录中给出了一些常用正交表。现以 $L_9(3^4)$ 为例说明正交表中一些符号的意义。

字母 L 表示它是一张正交表。

L 右下方的数码 9 表示该表有 9 行。用它来安排试验要做 9 个试验。

括号内的指数 4 表示该表有 4 列，用它来安排试验最多可以考察 4 个因素。

括号内的底数 3 表示该表每列有 1、2、3 三种数字，用它来安排试验时，被考察的因素一般都要求是三水平的。

$L_{8(4 \times 2^4)}$ 是混合水平的正交表，它的意思与前类似。它有 8 行 5 列，其中第 1 列是 1、2、3、4 四种数字组成，后 4 列是 1、2 两种数字组成，用它来安排试验要做 8 个试验，最多可以考察 1 个四水平和 4 个二水平的因素。

第二章 试验的设计和 分析

第一节 试验方案的设计

为了探索我县当前推广的前季稻三个中熟品种的综合栽培措施，为明年推广良种提供科学根据，县农科所、稻麦原种场和梅村中学应用正交试验法，对它们的栽培条件进行了优选试验，下面我们将以它为例子来说明正交试验法的应用。

一、因素和水平的确定

1. 确定因素

经有实践经验的贫下中农、科技人员的研究分析，选择了对试验指标（产量）影响较大的三个因素：品种（A）、基本苗数（B）、施氮肥量（C）（氮肥量指纯氮量）。

2. 确定各个因素所取的水平

我县准备推广的三个中熟品种是：原丰早、竹七、广辐早，因此，因素A（品种）取三个水平，分别用 A_1 、 A_2 、 A_3 表示，这里：

A_1 ——原丰早， A_2 ——竹七， A_3 ——广辐早；

根据以往经验和有关资料确定因素B（基本苗数）、C（施纯氮量）的试验范围为：

B、基本苗数：28.8万/亩——38.4万/亩；

C、施纯氮量：15 斤/亩——25 斤/亩。

经研究，因素B、C也各取三个水平，分别用 B_1 、 B_2 、 B_3 和 C_1 、 C_2 、 C_3 表示，这里：

B_1 ——28.8万/亩， B_2 ——33.6万/亩， B_3 ——38.4万/亩；

C_1 ——15 斤/亩， C_2 ——20 斤/亩， C_3 ——25 斤/亩。

列出因素水平表：

表 2—1 因素水平表

因素 水平	A 品 种	B 基本苗数	C 施纯氮量
1	原 丰 早	28.8 万/亩	15 斤/亩
2	竹 七	33.6 万/亩	20 斤/亩
3	广 辐 早	38.4 万/亩	25 斤/亩

二、试验方案的设计

1. 选用合适的正交表

用正交试验法制定试验计划时，要选用合适的正交表，附录中给出了一些常用的正交表，例如 $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_9(3^4)$ 、 $L_{16}(8 \times 2^8)$ 等，供大家选用。

制定试验方案时，选用什么正交表合适，要依据试验中确定的因素和水平的多少而定。一般先根据水平数选取正交表，因素是几水平，就只能用几水平的正交表。如全是三水平时，可选用 $L_9(3^4)$ 或 $L_{27}(3^{13})$ ，全是四水平时，选 $L_{16}(4^5)$ 等，既要能排下试验因素，又要使试验次数尽可能地少。

上面所举的例子是 3 因素三水平的试验，因此选用正交表 $L_9(3^4)$ 较好。

2. 利用正交表得出试验方案

把表 2—1 中的三个因素 A 品种、B 基本苗数、C 施纯氮量放到表 $L_9(3^4)$ 的任意三列的表头上，例如放在前三列上。

把 A、B、C 对应三列的“1”、“2”、“3”翻译成具体的水平，即 A 列的“1”填上因素 A 的第一水平原丰早，A 列的“2”填上 A 的第二水平竹七，……。C 列的“3”填上因素 C 的第三水平 25 斤/亩，得表 2—2。

表 2—2 水稻中熟品种试验方案

因素 试验号	A 品 种	B 基本苗数(万/亩)	C 施纯氮量(斤/亩)
1	1 (原丰早)	1 (28.8)	1 (15)
2	1 (原丰早)	2 (33.6)	2 (20)
3	1 (原丰早)	3 (38.4)	3 (25)
4	2 (竹 七)	1 (28.8)	2 (20)
5	2 (竹 七)	2 (33.6)	3 (25)
6	2 (竹 七)	3 (38.4)	1 (15)
7	3 (广辐早)	1 (28.8)	3 (25)
8	3 (广辐早)	2 (33.6)	1 (15)
9	3 (广辐早)	3 (38.4)	2 (20)

这样，试验方案就设计好了，九次试验是：第一号试验条件是品种原丰早，基本苗数28.8万/亩，施纯氮量15斤/亩；第二号试验条件是原丰早，33.6万/亩，20斤/亩，…；第九号试验条件是广辐早、38.4万/亩，20斤/亩。

三、试验指标的测定

在试验方案确定后，要严格按照试验方案进行田间试验，试验后按不同要求测定指标，本例的指标是产量，对小区进行单收单脱，得出各试验号的产量，第一重复的九个试验号，分别为：20.88，19.83，19.71，16.69，17.24，17.03，19.35，17.41，18.18；第二重复的九个试验号分别为：22.05，22.50，20.50，17.58，16.64，15.40，17.41，19.68，18.43，算出两个重复中相同试验号的平均产量，填入表2—3。

表 2—3

前季稻中熟品种试验的结果与分析

试验号 列号	A 品 种	B 基本苗数 (万/亩)	C 施纯氮量 (斤/亩)	指 标 (斤)		
				重复 I	重复 II	平 均
1	1 (原丰早)	1 (28.8)	1 (15)	20.88	22.05	21.465
2	1 (原丰早)	2 (33.6)	2 (20)	19.83	22.50	21.165
3	1 (原丰早)	3 (38.4)	3 (25)	19.71	20.50	20.105
4	2 (竹 七)	1 (28.8)	2 (20)	16.69	17.58	17.135
5	2 (竹 七)	2 (33.6)	3 (25)	17.24	16.64	16.94
6	2 (竹 七)	3 (38.4)	1 (15)	17.03	15.40	16.215
7	3 (广辐早)	1 (28.8)	3 (25)	19.35	17.41	18.38
8	3 (广辐早)	2 (33.6)	1 (15)	17.41	19.68	18.545
9	3 (广辐早)	3 (38.4)	2 (20)	18.18	18.43	18.305
K_1 各列“1”对应 试验指标之和	62.735	56.98	56.225	注：指标为每小 区0.025亩的产量		
K_2 各列“2”对应 试验指标之和	50.29	56.65	56.605			
K_3 各列“3”对应 试验指标之和	55.23	54.625	55.425			
k_1	20.91	18.99	18.74			
k_2	16.76	18.88	18.87			
k_3	18.41	18.21	18.48			
R	4.15	0.78	0.39			

第二节 试验结果的直观分析

一、计算试验结果

通过试验结果的分析,要达到以下三个目的:①找出最优水平组合;②分析因素的主次,在错综复杂的因素中找出主要因素;③分析各因素影响指标的规律。具体步骤如下:

1. 计算各因素各水平的平均效果

首先计算各因素各水平所得的产量之和。

从试验方案知道,品种原丰早共做了三次试验,竹七和广辐早也各做了三次试验;为了比较原丰早、竹七、广辐早那一个品种产量高,可计算各品种所在列(第1列)的三次试验的产量和,分别用 K_1 、 K_2 、 K_3 表示。

A取 A_1 (原丰早)时, $K_1 = A_1$ 条件下产量之和 = 第1列中“1”对应的试验指标之和 = $21.465 + 21.165 + 20.105 = 62.735$;

A取 A_2 (竹七)时, $K_2 = A_2$ 条件下产量之和 = 第1列中“2”对应的试验指标之和 = $17.135 + 16.94 + 16.215 = 50.29$;

A取 A_3 (广辐早)时, $K_3 = A_3$ 条件下产量之和 = 第1列中“3”对应的试验指标之和 = $18.38 + 18.545 + 18.305 = 55.23$;

这样,就算得了A列的 K_1 、 K_2 、 K_3 。

由于每个品种都做了三次试验,所以把 K_1 、 K_2 、 K_3 分别除以3,得到各品种的平均产量,分别用 k_1 、 k_2 、 k_3 表示,由此可得: $k_1 = 20.91$, $k_2 = 16.76$, $k_3 = 18.41$ 。

同理,为了比较基本苗数28.8万/亩、33.6万/亩、38.4万/亩哪一种产量高,可计算基本苗数所在列(第2列)的 K_1 、 K_2 、 K_3 和 k_1 、 k_2 、 k_3 ;

$K_1 = B_1$ 条件下产量之和 = 第2列中“1”对应的试验指标之和 = $21.465 + 17.135 + 18.38 = 56.98$,

$K_2 = B_2$ 条件下产量之和 = 第2列中“2”对应的试验指标之和 = $21.165 + 16.94 + 18.545 = 56.65$,

$K_3 = B_3$ 条件下产量之和 = 第2列中“3”对应的试验指标之和 = $20.105 + 16.215 + 18.305 = 54.625$,

把 K_1 、 K_2 、 K_3 分别除以 3 得到： $k_1 = 18.99$ ， $k_2 = 18.88$ ， $k_3 = 18.21$ 。它们分别表示基本苗数是 28.8 万/亩、33.6 万/亩、38.4 万/亩时的平均产量。

对施纯氮量同样可作类似的计算。

2. 计算极差

为了比较哪个因素对产量的影响大，还需计算每列平均产量的极差（用 R 表示）。极差就是一组数中最大值与最小值的差，对于因素 A，极差 $R_A = 20.91 - 16.76 = 4.15$ ，对于因素 B，极差 $R_B = 18.99 - 18.21 = 0.78$ ，对于因素 C，极差 $R_C = 18.87 - 18.48 = 0.39$ 。

把以上结果分别填入表 2—3。

二、画出效果与因素关系图

为了直观地看出指标随因素水平变化的规律，我们经常作出效果与因素关系图。以产量为纵坐标，水平为横坐标作图（图 2—1）。

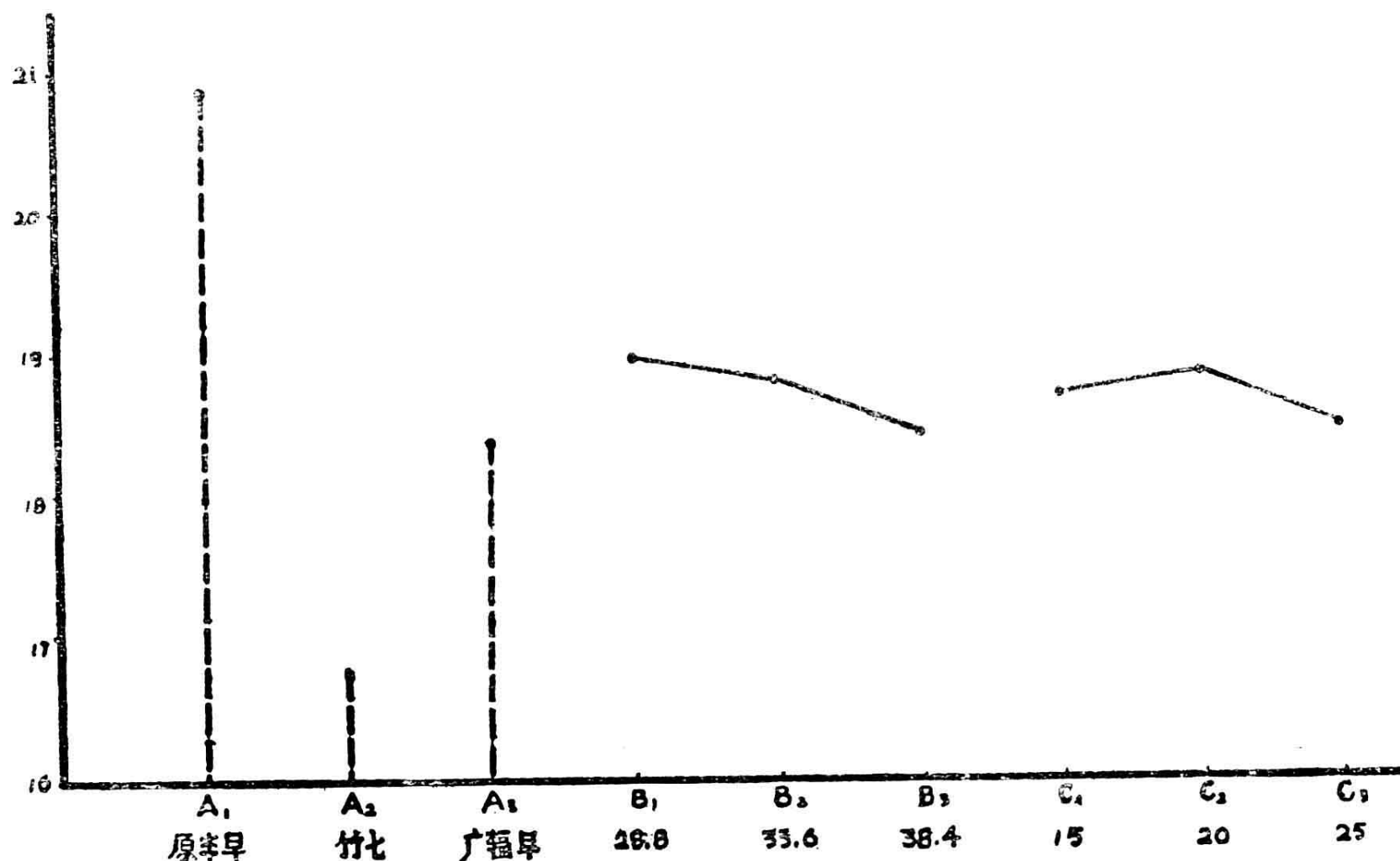


图 2—1 效果与因素关系图