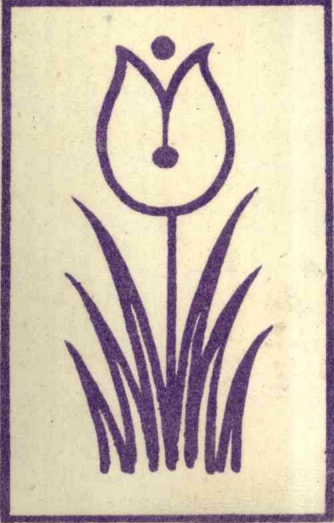


农业正交设计法

中国现场统计研究会农业优化组 著

		$L_9(3^4)$			
列 号		1234			
条 件 号	1	1132			
	2	2111			
	3	3123			
	4	1221			
	5	2233			
	6	3212			
	7	1313			
	8	2322			
	9	3331			
					

冶金工业出版社

农业正交设计法

中国现场统计研究会农业优化组 著

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

内 容 简 介

抓小田,带大田。通过试验田探索优良的栽培条件,使良种良法配套,以指导大田生产,实现农业高产、优质、低耗、高效,是广大农民的殷切期望,是农业科技人员的光荣职责。正交表方法发展并突破了传统的田间试验设计法,是适应这种要求的一项通用技术。该方法效益高、简单易行、适应面宽。所谓效益高,指的是在等量的投入下,能尽快获得丰硕的试验结果,产生较大的产出。就是说,同等的试验工作量,能得到超常而有效的推广应用意见。

本书系统介绍了多因素正交法以及多种灵活的措施,书中还包括联合方案、计算机优化设计、优良性论证、效益讨论、田间排列、小区估产、方差分析等章节,载有多种作物的试验实例。书末附有常用正交表、联合方案、正交拉丁方、统计用表、习题等。

本书可供农艺师、农林科技人员、试验工作者、农业管理人员和农业院校师生等参照使用。

图书在版编目(CIP)数据

农业正交设计法/中国现场统计研究会农业优化组著
北京:冶金工业出版社,1994.10
ISBN 7-5024-1641-2

I. 农… I. 中… III. 农业科学:数学—正交设计 IV. S11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 10630 号

出版人:卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)
北京城建康利胶印厂印刷;冶金工业出版社发行
1994 年 10 月第 1 版,1994 年 10 月第 1 次印刷
787×1092mm 1/16;13.25 印张;313 千字;206 页;1-5000 册
10.00 元

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 正交表方法与农业的关系	(1)
第二节 正交表	(1)
第二章 多位级正交试验	(4)
第一节 三位级的试验	(4)
第二节 四位级的试验	(13)
第三章 二位级与混合位级	(18)
第一节 二位级的试验	(18)
第二节 综合评分	(22)
第三节 混合位级表的使用	(26)
第四节 高位级品种试验	(32)
第四章 灵活运用	(37)
第一节 活动位级	(37)
第二节 配比试验及其它	(43)
第三节 关于挑因素	(48)
第四节 关于选位级和选用正交表	(50)
第五章 优良性	(53)
第一节 均衡分散性	(53)
第二节 整齐可比性	(57)
第三节 工作意义	(61)
第六章 正交表联合试验	(64)
第一节 乘以调整系数的(谷子)联合试验	(64)
第二节 混合表的(水稻)联合试验	(72)
第三节 加减调整常数的(棉花)联合试验	(79)
第四节 联合协作试验的简况	(84)
第五节 调整方法的讨论	(92)
第七章 田间排列	(96)
第一节 基本假定	(96)
第二节 单向区组效应	(97)
第三节 双向区组效应	(99)
第四节 正交拉丁方	(102)
第八章 小区抽样估产	(106)
第一节 小麦类	(106)
第二节 玉米类	(107)

第九章 误差、重复与方差分析	(108)
第一节 试验的分批与误差	(108)
第二节 两个总体的比较	(109)
第三节 单因素方差分析	(114)
第四节 双因素方差分析	(119)
第五节 多因素方差分析	(121)
第十章 计算机优化设计	(127)
第一节 概 述	(127)
第二节 畜群结构的探讨	(129)
参考文献	(134)
习题	(134)

附录一 常用正交表	(138)
-----------------	-------

甲、二位级

表 1 $L_4(2^3)$	(138)
表 2 $L_8(2^7)$	(138)
表 3 $L_{16}(2^{15})$	(138)
表 4 $L_{32}(2^{31})$	(139)
表 5 $L_{12}(2^{11})$	(140)
表 6 $L_8(4^1 \times 2^4)$	(140)

乙、三位级

表 7 $L_9(3^4)$	(140)
表 8 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$	(141)
表 9 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$	(141)
表 10 $L_{27}(3^{13})$	(141)
表 11 $L_{54}(3^{25} \times 2^1)$	(142)
表 12 关于 $L_{54}(6^1 \times 3^{24})$	(143)

丙、四位级

表 13 $L_{16}(4^5)$	(143)
表 14 $L_{16}(4^4 \times 2^3)$	(143)
表 15 $L_{16}(4^3 \times 2^6)$	(143)
表 16 $L_{16}(4^2 \times 2^9)$	(144)
表 17 $L_{16}(4^1 \times 2^{12})$	(144)
表 18 $L_{32}(4^9 \times 2^4)$	(144)
表 19 关于 $L_{32}(4^1 \times 2^{28})$ 、 $L_{32}(4^2 \times 2^{25})$ 、.....、 $L_{32}(4^3 \times 2^7)$	(145)

表 20 $L_{64}(4^{21})$	(146)
-----------------------------	-------

丁、五位级

表 21 $L_{25}(5^4)$	(147)
表 22 $L_{50}(5^{11} \times 2^1)$	(147)
表 23 关于 $L_{50}(10^1 \times 5^{10})$	(147)

戊、高位级

表 24 $L_{12}(6^1 \times 2^2)$	(148)
表 25 $L_{49}(7^8)$	(148)
表 26 $L_{16}(8^1 \times 2^8)$	(148)
表 27 $L_{32}(8^1 \times 4^8)$	(149)
表 28 $L_{64}(8^9)$	(150)
表 29 $L_{27}(9^1 \times 3^9)$	(152)
表 30 $L_{54}(9^1 \times 3^{21} \times 2^1)$	(153)
表 31 $L_{81}(9^{10})$	(154)
表 32 $L_{24}(12^1 \times 2^{12})$	(156)
表 33 $L_{36}(12^1 \times 3^9)$	(157)
表 34 $L_{32}(16^1 \times 2^{16})$	(158)
表 35 $L_{64}(16^1 \times 4^{16})$	(159)
表 36 关于 $L_{64}(16^1 \times 4^{15} \times 2^3)$ 、.....、 $L_{64}(16^1 \times 4^1 \times 2^{45})$ 、 $L_{64}(16^1 \times 2^{48})$	(159)
表 37 $L_{54}(18^1 \times 3^{18})$	(160)
表 38 $L_{48}(24^1 \times 2^{24})$	(161)
表 39 $L_{64}(32^1 \times 2^{32})$	(162)

附录二 联合正交方案.....	(163)
表 1 2 个 $L_4(2^3)$	(163)
表 2 9 个 $L_9(3^4)$	(163)
表 3 8 个 $L_8(4^1 \times 2^4)$	(164)
表 4 16 个 $L_8(2^7)$	(165)
表 5 一套 9 个 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$	(166)
表 6 关于 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$	(167)
表 7 一套 $L_{16}(4^5)$	(168)
表 8 一套 $L_{25}(5^6)$	(169)
表 9 一套 $L_{16}(8^1 \times 2^8)$	(172)
表 10 一套 $L_{27}(9^1 \times 3^9)$	(173)
附录三 $m-1$ 个 m 阶的正交拉丁方	(175)
一、 $m=2$	(175)
二、 $m=3$	(175)
三、 $m=4$	(175)
四、 $m=5$	(175)
五、 $m=7$	(175)
六、 $m=8$	(176)
七、 $m=9$	(177)
附录四 统计用表.....	(178)
表 1 $F(a,b)$ 分布的 5% 和 1% 水平双侧临界值	(178)
表 2 $F(m,n)$ 分布的 5% 和 1% 水平单侧临界值	(179)
表 3 $t(l)$ 分布的 5% 和 1% 水平(单侧或双侧)临界值	(183)
表 4 $\chi^2(l)$ 分布的 5% 和 1% 水平单侧临界值	(183)
附录五 关于日本在农业试验中应用正交试验法的一些情况.....	(184)
附录六 交互作用和多因素最优化.....	(190)
附录七 习题答案.....	(199)

第一章 绪 论

第一节 正交表方法与农业的关系

当今是讲知识、讲科学和讲效益的时代。农业科学试验在农业生产中起着重要的作用。争取在最短的时间内,使用尽量少的人力、物力,获得有关农作物增产的优良条件,是农业科学试验的主要任务。

在农业试验中,常用的单因素对比法简单易懂,试验规模小,结果也易分析,能取得一定效果。由于农作物的生长发育往往受多方面综合作用的影响,因此在探讨综合性的增产栽培措施时,如果只考察单一因素所得的试验结果,有时会造成错觉,对问题的分析有一定的局限性,结论不够全面,以此指导大田生产,则收不到预期效果。农业上有时也采用多因素的完全组合试验,对多个因素同时进行考察,让各个因素都处于变动的状态下。这个方法克服了单因素对比法的缺点,有较全面指导生产的意义。但它的试验次数太多,需耗费大量的人力、物力和时间,难以实现完成。

正交试验法是农业上原有试验方法的发展和补充。当完全组合的数目众多时,按一套编好的正交表,选出代表性很强的少数几个条件做试验,找出较好的生产条件;再用一些简单的计算,进一步展望出可能更好的结果。这样,一年可能完成三、四年的试验任务。正交试验法在我国农村的部分地区已经采用。总结起来,该法有以下几个优点:首先,正交试验综合考察多种因素(项目),寻找增产的综合措施。例如,良种良法一起上,把品种的优良特性通过相适应的栽培方法表现出来。其次,能比较早地引出客观的结论,加快试验的进程,便于早日推广应用。第三,应用正交法,让各种因素处在同时变动的情况进行考察,通过少量有代表性的试验,分析出每种因素发挥作用的大小。在联合影响中分清主次矛盾,加深对农业规律的理性认识。第四,在面积宽广、土壤等客观条件不一致的地区,可以采用第六章的联合方案分工协作搞试验田,提高试验结果的可靠程度。分清共性与个性,既能抓住主要矛盾,又能因时因地制宜指导生产。同传统的增设小区重复以提高可靠度的方法相比,本书提出了整套的效益较高的田间试验设计方法。就是说,花费了相同数目的小区,能得到更多的信息和更可靠的结论。关于效益的讨论,可参看本书的第五章和第九章。

上述优点是由于正交表在数学结构上的内在整齐性,即每两列之间的正交性所带来的(参看第五章)。通过“抓小田、带大田”,达到发展农业生产,提高经济效益的目的。

第二节 正 交 表

农业正交法的基本工具是正交表,它是数学工作者已经制作好的规格化的表。

一、 $L_4(2^3)$ 和 $L_4(2^1)$

将 $L_4(2^3)$ 与 $L_4(2^1)$ 列成表 1.1 和表 1.2。先看 $L_4(2^1)$

表 1.1 $L_4(2^3)$

列 号		1	2	3
试 验 号	1	1	1	1
	2	2	1	2
	3	1	2	2
	4	2	2	1

表 1.2 $L_8(2^7)$

列 号		1	2	3	4	5	6	7
试 验 号	1	1	1	1	2	2	1	2
	2	2	1	2	2	1	1	1
	3	1	2	2	2	2	2	1
	4	2	2	1	2	1	2	2
	5	1	1	2	1	1	2	2
	6	2	1	1	1	2	2	1
	7	1	2	1	1	1	1	1
	8	2	2	2	1	2	1	2

“1”和“2”组成；不同的是，它只有 4 个横行，3 个纵列——它是最小的正交表，试验次数少，位级也少。然而，它也具有类似的两个特点：

(1) 每纵列恰有两个“1”和两个“2”；

(2) 任意两个纵列，其横方向形成的 4 个数字对中，(1,1)、(1,2)、(2,1)和(2,2)各出现一次。即数码之间的搭配也是均衡的。

二、 $L_9(3^4)$

表 1.3 $L_9(3^4)$

列 号		1	2	3	4
试 验 号	1	1	1	3	2
	2	2	1	1	1
	3	3	1	2	3
	4	1	2	2	1
	5	2	2	3	3
	6	3	2	1	2
	7	1	3	1	3
	8	2	3	2	2
	9	3	3	3	1

有 18 个横行，7 个纵列。第 1 纵列由数码“1”、“2”、“3”、“4”、“5”和“6”组成；而其余 6 列均由数码“1”、“2”和“3”组成。 $L_8(4^1 \times 2^4)$ 有 8 个横行；5 个纵列。第 1 纵列由数码“1”、“2”、“3”和“4”组成；而其余四列均由数码“1”和“2”组成。这两张表的任意两个纵列，数码间的搭配也是均

字母 L 是正交表的代号。

L 右下角的角码 8，表示它有 8 个横行，即用这张表安排试验，不带重复时，要安排 8 个小区。

括号内右上角的指数 7，表示这张表有 7 个纵列，每列可以考察一种因素，即用这张表来安排试验，最多可以考察 7 种因素。

括号内的底数 2，说明这张表中每一列只有“1”、“2”两种数字。就是说，用这张表安排试验时，每种被考察的因素最多只能取两种状态。

$L_8(2^7)$ 有 8 个横行和 7 个纵列，由数码“1”、“2”组成。它有两个特点：

(1) 每纵列恰有四个“1”和四个“2”；

(2) 任意两纵列，其横向形成的 8 个数字对中，恰好(1,1)、(1,2)、(2,1)、(2,2)各出现两次。就是说，对于任意两个纵列，数码“1”和“2”之间的搭配是均衡的。

$L_4(2^3)$ (表 1.1) 与 $L_8(2^7)$ 类似，也全由数码

从表 1.3 可看出， $L_9(3^4)$ 有 9 个横行，4 个纵列。由数码“1”、“2”和“3”组成。它也有与前两张表类似的特点：

(1) 每纵列“1”、“2”和“3”出现的次数相同，都是三次；

(2) 任意两个纵列，其横向形成的 9 个数字对中，(1,1)、(1,2)、(1,3)、(2,1)、(2,2)、(2,3)、(3,1)、(3,2)、(3,3)出现的次数相同，都是一次；即任意两列的数码“1”、“2”和“3”间的搭配是均衡的。

三、 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$ 和 $L_4(4^1 \times 2^4)$

表 1.4 和表 1.5 中因各列数码的个数不全相同，故统称混合位级正交表。 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$

衡的。

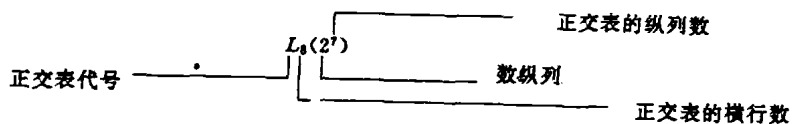
表 1.4 $L_{18}(6^1 \times 3^6)$

列 号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	3	2	2	1	2
2	1	2	1	1	1	2	1
3	1	3	2	3	3	3	3
4	2	1	2	1	2	3	1
5	2	2	3	3	1	1	3
6	2	3	1	2	3	2	2
7	3	1	1	3	1	3	2
8	3	2	2	2	3	1	1
9	3	3	3	1	2	2	3
10	4	1	1	1	3	1	3
11	4	2	2	3	2	2	2
12	4	3	3	2	1	3	1
13	5	1	3	3	3	2	1
14	5	2	1	2	2	3	3
15	5	3	2	1	1	1	2
16	6	1	2	2	1	2	3
17	6	2	3	1	3	3	2
18	6	3	1	3	2	1	1

表 1.5 $L_8(4^1 \times 2^4)$

列 号	1	2	3	4	5
1	1	1	2	2	1
2	3	2	2	1	1
3	2	2	2	2	2
4	4	1	2	1	2
5	1	2	1	1	2
6	3	1	1	2	2
7	2	1	1	1	1
8	4	2	1	2	1

上面介绍的是五张常用的正交表，它们都具有“搭配均衡”的特性，这也就是正交表的“正交性”的含义。正交表记号所表示的意思如下：



第二章 多位级正交试验

怎样用正交表安排农业试验和分析试验结果呢？下面用一些具体的例子来说明。

第一节 三位级的试验

一、棉花的四因素正交试验

做农业试验，总是有明确的目的。有时是为了获得丰产栽培措施，有时是为了试验新品种等等。总之，希望通过试验摸清规律，解决生产实际问题。因此，根据不同的试验目的，定出试验的考核指标，例如亩产量、农药拌种的保苗率、杀虫率等，用以反映试验结果的高低。下面的例子，是有关棉花的品种、密度、打顶期、氮肥用量的正交试验。该试验是山东省平度县白埠乡白埠七大队农科队 1979 年做的。

1. 试验目的

平度县属于山东省棉花枯萎病重病区，种常规品种，因病死苗减产（绝产）损失很大，是 70 年代中期棉花生产的重大障碍。1975 年引入几个抗枯萎病品种，收到明显的防止因病死苗效果，但丰产性欠佳、品质不良。大田生产急待选定新育成的抗病而高产的良种，并掌握其相应的栽培措施，以促进棉花生产。

考核指标：皮棉亩产量（千克）。

2. 制定因素位级表

根据当地的情况和以往的经验，知道棉花的品种、适宜的密度、打顶期及氮肥用量对棉花产量有明显的影响，这些称做因素。一般地，因素的排列次序以采用操作时间出现的次序为宜。对每个因素都要安排若干个试验状态，也就是通常说的采用若干种处理方式。在正交法中把各个因素的不同试验状态称作位级。

第一种因素是棉花的品种，简记为 A 。平度县是棉花枯萎病的重病区，品种有当地已大面积种植的陕 401、陕 721 和新育成的 86-1。位级数码和品种的对应关系是：第一位级 A_1 ：陕 721；第二位级 A_2 ：陕 401；第三位级 A_3 ：86-1。这样，就选出三个品种参加试验。

第二种因素是种植密度（疏密程度），简记为 B 。第一位级 $B_1=4000$ 株/亩，第二位级 $B_2=6000$ 株/亩，第三位级 $B_3=5000$ 株/亩。试验中采用了三种不同的种植密度。

第三种因素是打顶日期，即确定棉株何时打顶（打去棉株顶心，亦即留果枝的多少），简记为 C 。第一位级 C_1 ：20/7；第二位级 C_2 ：30/7；第三位级 C_3 ：10/7。就是说，分别采取三种不同的打顶日期。

第四种因素是氮肥用量，即每亩施用的纯氮量，简记为 D 。第一位级 D_1 ：22.5 千克/亩；第二位级 D_2 ：17.5 千克/亩；第三位级 D_3 ：20 千克/亩。这里规定了三种氮肥施用量。

现把以上的讨论，综合成一张因素位级表（见表 2.1）：四种因素，每种因素分三个位级。

各种因素以什么样的状态参加试验，可以根据以往的经验来确定，也可以新设置一些状态，以便考察更多的情况，求得较好的搭配。每种因素的试验状态选好以后，哪个作位级 1，哪

个作位级 2,哪个作位级 3,都是人为决定的。对定量的因素,不一定要按从小(大)到大(小)或从弱(强)到强(弱)的次序排列,而是由试验工作者自行规定。这在数学上称为随机对应。就是说,位级对应随机化。

表 2.1 因素位级表

因 素	品 种 A	密度(株/亩) B	打顶期(日/月) C	亩施纯氮(千克) D
位级 1	陕 721	4000	20/7	22.5
位级 2	陕 401	6000	30/7	17.5
位级 3	86-1	5000	10/7	20.0

3. 安排试验计划

从上面的讨论可以看出,需要考察四种因素(采取固定用量或固定措施的因素不包括在内),每种因素安排了三个位级。附录一的表 7 中 $L_9(3^4)$ 最多能考察四种三位级的因素,所以这个试验可用 $L_9(3^4)$ 这张表来安排。步骤如下:

(1)因素顺序上列。按照因素位级表中固定下来的四种因素的次序 A(品种)、B(密度)、C(打顶日期)、D(亩施纯氮),放到 $L_9(3^4)$ 的四个纵列上,每列上放一种。

(2)位级对号入座。四种因素分别在四列上安置好以后,再把相应的位级数码按因素位级表所对应的关系对号入座。具体地说,就是把因素 A、B、C、D 所在的 4 列中的数字 1,2,3 的后面分别写上表 2.1 中它们所代表的具体位级。现在详细说明如下。

第 1 列由品种 A 占有。在第 1 列的三个数码“1”的后面都写上“陕 721”,即因素位级表中因素 A 的位级 1 对应品种 A_1 ;在第 1 列的三个数码“2”的后面都写上“陕 401”,即 A_2 ;在第 1 列的三个数码“3”的后面都写上“86-1”,即 A_3 。

第 2 列由种植密度 B 占有。在第 2 列的三个数码“1”的后面都写上“4000”,即因素 B 的位级 1 表明每亩种植 4000 株的密度;在第 2 列的三个数码“2”的后面都写上“6000”,即因素 B 第二位级对应的种植密度为 6000 株/亩;在第 2 列的三个数码“3”的后面都写上“5000”,即因素 B 第三位级对应的种植密度为 5000 株/亩。

其余第 3,4 列的填法与第 1,2 列一样。这样就得到表 2.2。

(3)列出试验条件。表 2.2 是一张列好的试验方案表。怎样按照这张表来做试验呢?表的每一横行,代表着要试验的一号条件,按照每号条件来做试验。该表共 9 个横行,代表了 9 种不同的试验条件,可分别在 9 个不同的小区内实行。例如第 1 号小区试验 $A_1B_1C_3D_2$ (第一横行),具体内容是:选用陕 721 作种子,每亩种植 4000 株,在 7 月 10 日(10/7)棉株打顶,每亩施用 17.5 千克纯氮肥;再如第 3 号小区试验 $A_3B_1C_2D_3$,具体就是选用 86-1 作种子,每亩种植 4000 株,7 月 30 日(30/7)棉株打顶,每亩施用 20 千克纯氮肥。第 2,4,5,6,7,8,9 号小区的试验条件,采用类似的方法列出。到此,完成了试验方案的制订工作。

4. 试验过程

按照前面已经安排好的 9 个条件分别试验。

下面介绍这个例子的实际情况,不一定带有普遍意义。试验地是黄壤土,前作棉花,肥力均匀,地力一致。冬耕深 0.23 米(7 寸),春季精细地耙耩。小区面积 0.1 亩,四周设保护行。每亩施用的纯氮量是把有机肥等的施用量,通过化验折算出来的,不足部分用硫酸铵补充。田间安排

时,将相同纯氮用量的三个小区放在一个区组内,以便于管理。播种期4月20日。当年棉花发苗较晚。全生育期肥水管理中上。初霜期10月21日,早于常年。

做正交试验时,应该使没有排在正交表上的因素保持良好的状态,而且在各个小区中尽量不变。比如9个小区的地力应该尽量一致,肥力应尽量均匀。但由于种种原因的影响,想使整个试验的土壤肥力、栽培管理条件等保持高度一致是很困难的。所以,在小区的安排上采用随机化的方法。必要时采取某种重复的措施。

表 2.2 试验方案表

因 素		品 种 A	密 度(株/亩) B	打顶日期(日/月) C	亩施纯氮(千克) D
列 号		1	2	3	4
试 验 号	1	1(陕 721)	1(4000)	3(10/7)	2(17.5)
	2	2(陕 401)	1	1(20/7)	1(22.5)
	3	3(86-1)	1	2(30/7)	3(20)
	4	1	2(6000)	2	1
	5	2	2	3	3
	6	3	2	1	2
	7	1	3(5000)	1	3
	8	2	3	2	2
	9	3	3	3	1

5. 试验结果的处理

收获全部完毕后,将各小区产量及折成的皮棉亩产量,填入表 2.3 最后两列(具体结果已填在表 2.3 的右上方)。

直接看,可靠又冒尖 直接比较 9 个小区的亩产量,可以看出:第 9 号小区的产量最高,亩产 67.0 千克。它的试验条件是:品种 86-1(A_3),每亩种植 5000 株(B_3),7 月 10 日打顶(C_3),每亩施用 22.5 千克纯氮(D_1)。通过比较全体实验结果,直接得出的好条件,称为直接看的好条件。正交表中好条件的结果一般是比较冒尖的。由于是通过实践得到,结果也比较可靠,可以拿到示范田组织小范围推广。本例中,直接看的好条件是 $A_3B_3C_3D_1$ 。第 1 号条件 $A_1B_1C_3D_2$ 亩产 59.6 千克,居第二位。

“算一算”,有效待检验 正交试验的数量结果,经过简单计算,观察变化的趋势,就有可能找出更好的条件。主要做以下几项工作:

(1)通过计算,观察每种因素中哪个位级的总效果比较好。把几个因素的好位级组合在一起,称作“算一算的好条件”。为今后继续试验提供参考。

具体的算法参看表 2.3 的下半部分。在每一列的下方标着 $I, I, II, R; i, ii, iii, r$ 的值。它们的算法如下:

如第 1 列是试验的品种这个因素,它的 $I = 169.8$ 是由第 1 列 3 个位级 1(A_1)所在行的产量加在一起得到的。第 1 列的数码“1”位于第 1、4、7 行,所以, $I = \textcircled{1} + \textcircled{4} + \textcircled{7} = 59.6 + 51.5 + 58.7 = 169.8$,这里的 $\textcircled{1}$ 、 $\textcircled{4}$ 、 $\textcircled{7}$ 分别代表第 1、4、7 号小区的亩产量。类似地,第 1 列的 II 是由第 1 列中 3 个位级 2(A_2)对应的产量加在一起得到的,即: $II = \textcircled{2} + \textcircled{5} + \textcircled{8} = 45.2 + 51.8 + 44.6$

=141.6。第1列的Ⅲ是由第一列中3个位级3(A₃)的产量加在一起得到的。同理,其Ⅱ和三列的Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ都是按这种方法算出的。

为了检验每列的Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的计算是否正确,可以计算一下每一列三个和数Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ之和;各列的Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ应该彼此相等(都应等于9个小区的产量的总和485.1千克)。否则,计算就有错。如有错,则要找出差错,改正过来。

表 2.3 结果与计算

因 素		品 种 A	密度(株/亩) B	打顶日期(日/月) C	施纯氮 D(千克/亩)	指标:皮棉产量(千克)	
列 号		1	2	3	4	小区产量	折合亩产
试 验 号	1	1(陕 721)	1(4000)	3(10/7)	2(17.5)	5.96	59.6
	2	2(陕 401)	1	1(20/7)	1(22.5)	4.52	45.2
	3	3(86-1)	1	2(30/7)	3(20)	5.00	50.0
	4	1	2(6000)	2	1	5.15	51.5
	5	2	2	3	3	5.18	51.8
	6	3	2	1	2	5.67	56.7
	7	1	3(5000)	1	3	5.87	58.7
	8	2	3	2	2	4.46	44.6
	9	3	3	3	1	6.70	67.0
Ⅰ		169.8	154.8	160.6	163.7	Ⅰ + Ⅱ + Ⅲ = 485.1	
Ⅱ		141.6	160.0	146.1	160.9		
Ⅲ		173.7	170.3	178.4	160.5		
R		32.1	15.5	32.3	3.2		
i		56.6	51.6	53.5	54.6	i + ii + iii = 161.7	
ii		47.2	53.3	48.7	53.6		
iii		57.9	56.8	59.5	53.5		
r		10.7	5.2	10.8	1.1		

Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ分别代表着本列因素位级号码“1”、“2”和“3”所对应的各三次亩产量之和,是正交表式计算中最主要的结果。这些亩产量之和当然同所对应的位级有直接的关系;但是,不要理解为仅仅是对应位级所产生的效果。因为除了试验误差以外,还有其它列因素的位级同这个位级的特殊搭配所产生的效果。在这种理解下,计算结果不是绝对可靠的。但在整齐可比的背景下(参看第五章第二节),毕竟由于每个位级都参加了三回,仅仅在相对的参考意义下,在颇大程度上反映着三个位级的效果。

比较每一列和数Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的大小。和数最大的一个对应的位级可能会导致较高的产量。例如,第3列的Ⅰ=160.6,Ⅱ=146.1,Ⅲ=178.4,其中以Ⅲ=178.4最大。Ⅲ是位级3的三个亩产量之和,所以,对比打顶日期C因素,在较早的7月10日(第三位级)打顶可能会比较晚的两个日期打顶能获得更高的产量。仅仅从计算的角度看,在第3种因素C的三个位级中,应该采用C₃。用同样的方法可得:第1列是Ⅲ最大,第2列也是Ⅲ最大,第4列Ⅰ最大。综合以上结果,得出“算一算”的好条件A₃B₃C₃D₁。“算一算的好条件”有时也称作“可能好组合”。本例中,

“可能好组合”同直接看的好组合完全吻合。

对于一般的试验，“算一算”的好条件往往不在正交表中出现，未曾参加试验。在多数项目中，可能好配合会超过直接看的好条件；在少部分项目中，“算一算”的好组合也可以比不上直接看的好条件。究竟谁好谁差，有待于补充试验后通过实践的比较来核实。

算完每种因素的 I、II 和 III 后，画定量因素的趋势图。趋势图的作用很大，是一项重点工作。一方面，为了突出重点，另一方面，为了把其余的计算工作连在一起紧凑地讲完，所以把本来属于(1)部分的“趋势图”单独的抽出来放在后面的(4)中专门介绍。

(2)对于有因素的列，极差 R 是在 I、II 和 III 三个数中，用最大数去减最小数求得。例如，第 1 列：I = 169.8, II = 141.6 最小, III = 173.7 最大, 则 $R = III - II = 173.7 - 141.6 = 32.1$ 。每种因素对结果所起作用的大小，大致可以用极差 R 来衡量。 R 较大的因素可能对试验的影响比较大。这个例子的考核指标是亩产量，极差大意味着因素的不同位级对产量造成的差别比较大，这通常是重要因素。第 1 列的 $R = 32.1$ ，比其余各列的极差都大。这表明对产量来说，品种是主要因素。86-1 明显地比陕 401 产量高，要想进一步做试验，可以淘汰品种陕 401。第 4 列的 $R = 3.2$ ，比第 1 列的 R 小得多，意味着品种的选取比纯氮的施用量，显得重要。

按照极差 R 的大小，将试验中因素的大致主次顺序，以及可能的好位级排列出来：

主		次	
品种	打顶日期	密度	亩施纯氮
A_3	C_3	B_3	D_1

(3) I、II 和 III 都是三个亩产量之和，相当于亩产量的三倍，考虑到人们习惯于通过亩产量来权衡产量的高低的原因，可以把 I、II 和 III 都除以 3，变换成平均产量，相当于亩产量的水平，分别记作 $i = I/3, ii = II/3, iii = III/3$ 。例如第 1 列：

$$i = 169.8 \div 3 = 56.6, ii = 141.6 \div 3 = 47.2, iii = 173.7 \div 3 = 57.9.$$

顺便算出各列因素三个位级平均产量， i, ii 和 iii 的极差 r ，并可核对 R 。

(4)画趋势图。对于定量的因素，所谓画趋势图，指的是用几何图形表示因素的定量位级和定量结果的关系。通过几何图形直接观察试验结果随着自变量(位级)变化的大体趋势。为了能观察出趋势，一般限于对不少于三个位级的因素才画趋势图。对只分两个位级的因素，只需澄清位级效果的高低，不必画趋势图。

代表因素的横轴，要按照各位级的实际用量(不是按位级号码的大小)划分；反映效果的纵

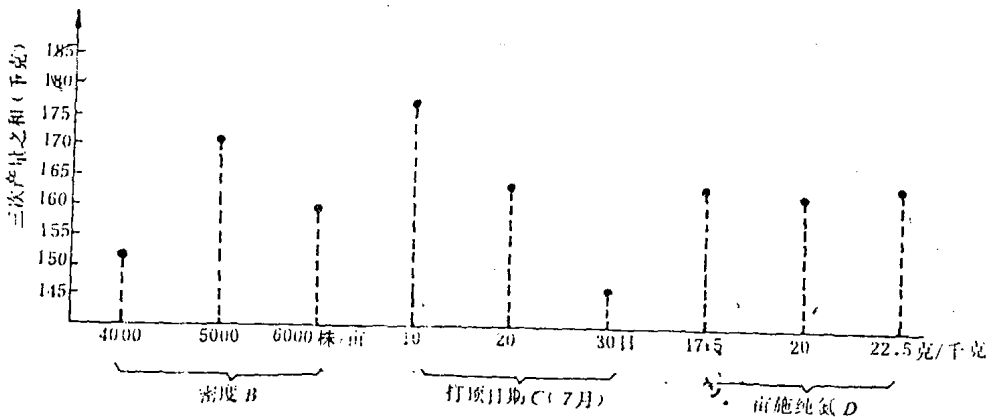


图 2.1 植株密度、打顶日期与亩施纯氮肥的趋势图

轴以对应的结果之和划分。通过三个点的高度观察这个因素的变化趋势。本例中,因素 A 是品种,不是定量因素,无法定义横坐标,画不了趋势图。另三种因素是定量趋势图见图 2.1。因素 B 的趋势图在最左边。横坐标是按照密度值 4000、5000、6000 株/亩的大小标出,不是按照位级 1(4000)、位级 2(6000)、位级 3(5000)的位级数码值来标。对于密度的每个位级,按照它所对应的三次产量之和来点出高度。4000 是位级 1, $I = 154.8$; 5000 是位级 3, $I = 170.3$; 6000 是位级 2, $I = 160.0$ 。从图形上看出:中等密度 5000 株/亩的产量最高,较密的 6000 株/亩的产量比较稀的 4000 株/亩稍高。最高产量的密度大致应在 $B_4 = 5100$ 株/亩的位置(经过二次回归的估计,也是这样的)。图 2.1 的中部是打顶日期 C 的趋势图。表现出打顶日期越早越好,这意味着,较早的 7 月 10 日也可能迟了,整个时间范围都选得偏晚了。但是,打顶日期与当年的气候条件有密切的关系,并不带有常年的普遍意义。倘若第二年的气候条件能基本不变,7 月 5 日打顶 C_4 可能更好。纯氮肥用量 D 的趋势图在最右边,从图形或极差很小都可看出:三种氮肥用量的产量高度差别不大。土壤的氮肥不甚缺乏,为了降低成本,用较低的纯氮肥量 $D_4 = 16$ 千克/亩似乎更好。通过选择范围比较宽的趋势图估计出的好位级同直接比较三个位级得出的好位级相比,前者往往更为周到有效。把由趋势图估出的好位级组合在一起, $A_3B_4C_4D_4$ 被称作“更好的算一算条件”或“大范围的可能好组合”。

在一批正交试验中,发现有像本例因素 C 那样的趋势图,用量越低越好;或者发现有用量越高越好的趋势图,那么,这就是本批试验在认识上的重要收获。因为这种因素的整个范围都选偏了:前者是全体位级都选高了,后者是全体位级都选低了。鉴于这种情况,在下批试验中,把用量调整到合理值的位置,试验效果可能取得大幅度的进展。

结果的利用 计算结果的相对性很强。当因素的位级有所改变时,试验结果及其计算结果通常会随着起变化。除此以外,即令被考察的各种因素以及它们的试验状态一概保持不变,如果改变因素在列上的位置安排(例如把第 1 列上的因素与第 2 列上的因素对换),或者位级号码同试验状态的对应关系发生了变化,每个位级的结果之和都可能发生变化,极差 R 也随着起变化。况且,对于同样一张正交表,按照完全相同的条件,前后分别做了两批试验,由于存在有试验误差,两批试验结果以及相应的计算结果也可能不尽相同。所以计算结果不是绝对可靠的。

现在讲一下,在做完一批正交试验后,怎样利用这批试验得到的结果。为了文字上的简便,本书自此以后,把“直接看的好条件”和“算一算的好条件”分别简称作“直接看”和“算一算”。首先要问:在生产上应该采用怎样的好条件?假如“直接看”已能满足需要,则问题初步得到解决。假如还需继续试验,那主要看后继的试验是否容易安排进行。如果接着做的试验容易完成,那末,参数优化的任务不难实现,能够向生产部门提供应采用的好条件。如果后继试验不易完成,占用的时间很长,比如农业大田试验,补充试验的结果必须再等一年。那么,为了第二年生产上首先推广应用,只好以“直接看”为主,参照“算一算”,结合着常年的经验、新科学技术、当时的情况以及具备的条件,提出系统的配套措施,在示范田中因地制宜和因时制宜地进行推广。这是因为:“直接看”毕竟是由农田生产的实践得到的,具有一定的可靠性;而“算一算”没有试验过,效果是否真正好还不落实;大面积推广,没有足够的根据,应持慎重的态度,不要轻率推行。

其次,考虑第二年试验田的安排。由于部分实施相对于全面试验比例很低,所以“算一算”常不在正交表中出现。而它在多数项目中能够超过“直接看”,应该引起重视。一般说来,应该在第二年的试验田中对它进行检查和比较。可是,正因为大田试验的时间长,在第二年的试验

中不应该只单独试验“算一算”这一个条件。因为,第一,“算一算”在少数项目中,有可能比不上“直接看”;第二,即令“算一算”超过了“直接看”,但它也未必是最好的条件。为了最优化,或者为了追求可能更好的条件,在第二年的试验中,应该以“算一算”为主,以“直接看”为辅;结合着当时的农情和新技术措施,再挑因素,按照上一年正交表的位级效果或者趋势图,选几个合理的位级,重新制订因素位级表,通过套正交表定出各个试验小区的栽培条件。不仅对于时间长的试验田,就是对于容易完成的试验,第二批大体上也应该遵循这种安排的格式,就是说:以“算一算”为主,“骑着马找马”,通过第二批正交撒网的试验来寻求优良的条件。由于有第二批撒网的实践把关,换言之,通过在首批好条件周围的不同位置的实际效果来逼出进一步好条件的位置。这样一来,首批的“算一算”不是绝对可靠的,是真好还是较差,就无关紧要了!这种安排,可以减少批数、加快进度,通过少数批的正交撒网,迅速达到最优化的目的。试验误差很小时,两批试验就能优化或者基本上优化;若试验误差大,三、四批试验能够达到优化的水平。

最后作一点补充,就是把一个组合条件安排成正交表的某一号条件,是容易办到的工作。例如,我们想把首批试验的大范围可能好组合列成第二批正交试验的第3号条件,只需在第二批因素位级表中,对于每种因素,把好组合的试验状态对应上第3号条件的位级号码即可。无论是把“算一算”安排到下批正交表中,还是在正交表外,与正交试验同一批,另增加一号前批大范围的可能好组合,都能做到在第二批撒网的同时,兼顾检验“算一算”的要求。在第二批试验中,不必须检验“算一算”。

6. 推广应用后的效果

白埠乡为了运用该试验结果,指导大田棉花生产,压缩了陕401、陕721的种植面积,于1979年冬从中国农科院植保所(河南)引进86-1品种,于1980年取代前者而普及;种植密度随品种、肥力的改变适当下降,由1979年的4578株/亩减至1980年的4165株/亩。基于亩施纯氮肥量的极差很小,即每亩施氮肥17~23千克,而产量变动幅度不大,所以1980年未盲目大量增施氮肥。根据棉花发育的进程和当年初霜出现的早晚,确定适当的打顶日期。该乡1980年种植35000亩棉花,亩产皮棉平均达62.3千克,较1979年每亩增产32.4千克,总产增加22680担,增加经济收入430余万元,足见其成效显著。

二、棉花地膜覆盖栽培试验

上面讲的试验是已经完成的,也看出了应用的效果。现在简要地再介绍一个改进生产技术的例子,同时复习一下正交表的使用方法。

1. 试验目的

近年来,棉花生产实践表明,地膜覆盖栽培是高产的重要途径。但在一定的地区范围内,必须有与之相适应的优良品种与栽培技术,才能充分发挥地膜覆盖栽培的优势,充分挖掘增产潜力,提高经济效益。棉花地膜覆盖栽培的单项措施已有不少报道,可资借鉴。为了探索棉花地膜覆盖栽培配套技术,指导大田生产,山东省平度县白埠乡任家庄,1984年运用正交法安排了这项试验。

考核指标:皮棉产量(千克/亩)

2. 制定因素位级表

在棉花地膜覆盖栽培中,根据经验,选取了四种因素,每种因素仍选用了三个位级。制订的因素位级表如表2.4所示。

表 2.4 因素位级表

因 素	品 种 A	覆盖度(%) B	覆盖方式 C	除草剂用量 D(克/亩)
位级 1	鲁抗一号	30	平覆	200
位级 2	86-1	80	凹覆	0
位级 3	80-9	50	垡覆	100

3. 确定试验方案

仍选用 $L_9(3^4)$ 表安排, 参看表 2.5 的左上部分。

4. 试验过程

试验地选在当地有代表性的粘壤土, 前作棉花, 肥力均匀, 地力一致, 冬耕深 0.20 米(6 寸), 春季精细地耙耩。小区长 20.2 米, 宽 3.3 米, 面积 0.1 亩, 5 行区。等行距 0.67 米(2 尺), 株距 0.22 米(0.67 尺), 播种密度 4500 株/亩。按当地常规方法播种, 即开沟、浇水、接墒、等距点种。播种期 4 月 15 日, 随播种随覆盖, 膜厚 0.015 毫米, 5 月 10 日棉苗子叶变绿, 及时放苗。全生育期肥水管理中上。

5. 试验结果

将每号条件的产量(小区产量, 折合成亩产)列入表 2.5 的右边两列。比较 9 个小区的产量, 可知第 4 号小区的产量最高。所以, 单从产量看, 直接看的好条件是第 4 号条件: $A_1B_2C_2D_1$ 。

按照前例的方法, 算出 $I, II, III, R, i, ii, iii, r$ 。对于每一列, 比较 I, II 和 III 的大小, 可以看出: 第 1 列是 I 最大, 第 2 列是 II 最大, 第 3, 4 列都是 I 最大。所以, 单从产量看, 形式上的“算一算”是 $A_1B_2C_1D_1$ 。

还应该结合趋势图和经济成本一起衡量。这个实例只有两个定量因素: 覆盖度 B 和除草剂拉索的用量 D 。按照图 2.2 的趋势图, 产量随 B 的增大而递增, 但是覆盖度 $B_2=80\%$ 的平均亩产 $ii=79.0$ 千克, 比起 $B_3=50\%$ 的 $iii=77.5$ 千克仅高出 1.5 千克。由于 B_2 的投资比 B_3 大得多, 所以在在大田生产中用 50% 的覆盖度 B_3 即可。

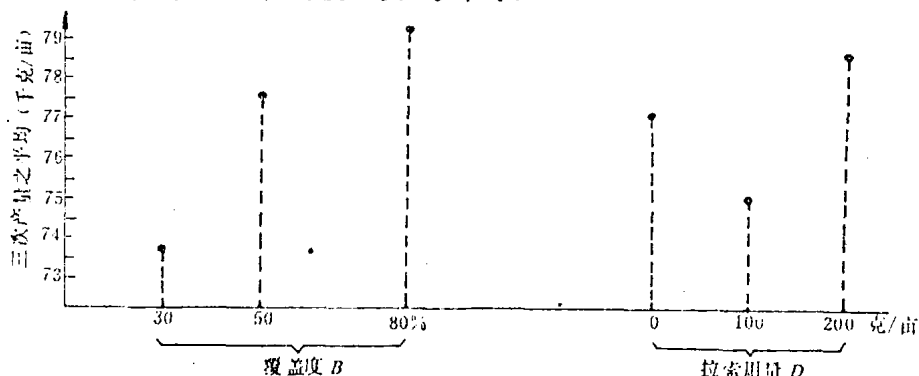


图 2.2 趋势图

再看除草剂 D : $D_2=0$ 克/亩, $ii=77.0$ 千克; $D_3=100$ 克/亩, $iii=75.0$ 千克; $D_1=200$ 克/亩, $i=78.3$ 千克。两头高, 中间低, 看来有些不规则。这是由于以下三种原因综合造成的: 第一, 平均亩产的极差 $r=3.4$ 千克很小, 三个平均亩产的实际差别本来不大; 第二, 存在试验误差; 第三, 受到位级之间特殊搭配的影响, 计算结果不是绝对可靠的, 稍微差一点, 不规则性就