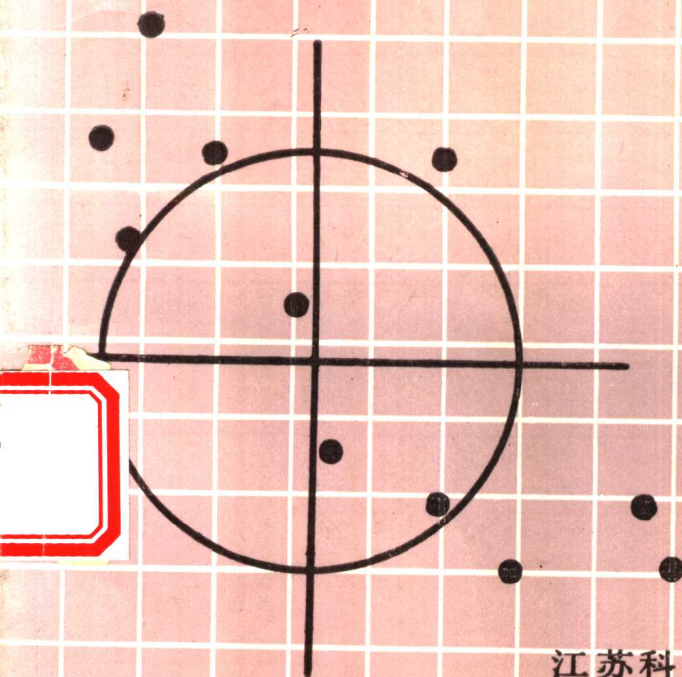


实用农业试验方法



江苏科学技术出版社

实用农业试验方法

莫惠栋 胡雪华 编著

江苏科学技术出版社

实用农业试验方法

莫惠栋 胡雪华 编著

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：江苏新华印刷厂

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 7.5 插页 2 字数 181,100

1987 年 11 月第 1 版 1987 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—4,000 册

ISBN 7-5345-0180-6/S · 23

统一书号：16196 · 312 定价：2.30 元

责任编辑 张湘君

前 言

试验都是在一定的环境中进行的。环境因素的严格控制，是获得精确试验信息的重要前提和关键。一个试验，如果许多环境因素都有较大的随机波动，就不可能提供精确的试验结果。农业试验大多是在田间条件下进行的，试验的背景和材料是变异性丰富的土壤和植物。加之，做一个试验要经过一个生长周期，少则几个月，多则要几年。在这一过程中，任何一次偶然的疏忽或意外事件，都可能使环境失控，造成试验偏差。所以，农业试验中环境因素的控制，既有特别大的难度（与物理、化学、工程方面的实验相比较），又有特别重要的意义。试验工作者，需要充分了解环境控制的基本原理和方法，又要时时事事谨慎小心，防患于未然，才能得到比较可靠的科学信息。

早在1984年，江苏科学技术出版社的同志就曾告诉我：许多从事基层农业科技工作的同志和农村知识青年（高中水平），迫切希望出版一本“怎样做好试验和分析试验结果”的实用工具书。他们希望我能承担这一任务。我个人在与一些同志的交往中，所见所闻，也深深感到有的试验实在是做得太马虎；更严重的是，个别试验结果竟被象“捏泥巴”一般的任意取舍。这种资料，与其信其有，可能还不如信其无。因为环境误差大得惊人，而环境控制和科学态度却似乎被遗忘了。这使我想到，普及试验设计和统计方法的基本知识，对于提高我国农业科研的水平和质量，确实还是一件刻不容缓的事。有鉴于此，我约请了上海农学院的胡雪华同志共撰本书。胡同志和我一起从事田间试验的实际工作达20年之久，1980年调沪后仍继续这一领域的教学和实践。因此，本书不仅

介绍了前人已有的知识积累，也包含了我们自己做试验研究的若干体会和见解。我们希望它能有助于我国农业试验质量的提高。

但是，要将试验的环境设计和统计方法写得简明易懂而又能引起读者的兴趣，对于我们确实是件难事。因为我们缺乏这方面的写作经验，而我们的文笔又缺乏风采。更重要的是，有些科学内容，当被简化或以通俗比喻表达时，往往显得不那么严格、确切，或不那么全面、周密。所以，现在呈于读者面前的本书，虽已三易其稿，但我们只能说仅是尽了我们的心力。存在的问题肯定还有不少。我们期望各方面的读者提出意见、批评，并给予指正，以便日后修订。

莫 惠 栋

于 江 苏 农 学 院

1986年8月

目 录

第一章 农业试验概论	1
§ 1.1 为什么要做试验?.....	1
§ 1.2 何谓处理因素?何谓环境因素? 试验中如何 分别对待这两类因素?	2
§ 1.3 何谓处理效应?何谓简单效应和主要效应? 何 谓交互作用效应? 怎样正确利用交互作用效应? ...	5
§ 1.4 何谓试验误差? 它的存在对处理效应有何影 响?	10
§ 1.5 试验误差有哪些来源?如何控制?	13
第二章 田间试验的准备和设计	15
§ 2.1 怎样选择和培养试验地?.....	15
§ 2.2 怎样确定试验的处理?.....	16
§ 2.3 试验为什么要进行环境设计?环境设计的基 本原则是什么? 有哪些类别?	19
§ 2.4 何谓小区技术?其基本内容有哪些?	21
§ 2.5 何谓对比和间比试验?如何设计? 有哪些 优缺点?	26
§ 2.6 何谓完全随机试验?如何设计? 有哪些优 缺点?	29
§ 2.7 何谓随机完全区组试验? 如何设计?有哪些 优缺点?	31

§ 2.8	何谓拉丁方试验?如何设计? 有哪些优缺点?	36
§ 2.9	何谓裂区试验?如何设计? 怎样应用?	42
§ 2.10	何谓试验档案? 包含哪些基本内容? 如何 建立?	46
第三章	田间试验的实施	49
§ 3.1	怎样整理和区划试验地?	49
§ 3.2	怎样布置试验?	51
§ 3.3	怎样进行试验地的田间管理?	54
§ 3.4	为什么要对试验进行观察记载?其基本内容 有哪些?	57
§ 3.5	怎样收获和测定试验地产量?	60
第四章	常用统计方法	67
§ 4.1	何谓统计方法?有何功用?	67
§ 4.2	一个变数有哪些基本特征数?有何意义? 怎样 计算?	70
§ 4.3	何谓标准误?怎样计算标准误? 如何由标准误 推断误差范围?	75
§ 4.4	何谓假设测验(显著性测验)?怎样进行假设测 验?应注意哪些问题?	78
§ 4.5	何谓参数的区间估计?怎样进行估计? 它与假 设测验的显著性有何关系?	84
§ 4.6	何谓方差分析?怎样分解不同变异来源的变 异?怎样测验不同变异来源的均方的显著性?	87
§ 4.7	何谓多重比较?怎样进行多重比较和标记多重 比较的结果?	92
§ 4.8	何谓线性回归分析?这一分析包含哪些基本特	

征数?有何意义? 怎样计算?	95
§ 4.9 怎样测验线性回归的显著性?怎样计算回归统计数的标准误和推断这些统计数的相应参数的1- α 置信区间?.....	99
§ 4.10 何谓线性相关分析? 这一分析的基本特征数是什么?怎样计算和测验? 线性相关分析与线性回归分析有何关系?.....	104
第五章 试验结果的分析	110
§ 5.1 怎样分析对比设计的试验结果?.....	110
§ 5.2 怎样分析间比设计的试验结果?.....	116
§ 5.3 怎样分析完全随机设计的试验结果?.....	121
§ 5.4 怎样分析随机完全区组设计的试验结果?.....	124
§ 5.5 在有两个或两个以上试验因素时,为什么要对处理项的自由度和平方和进行再分解? 怎样分解和分析?.....	129
§ 5.6 怎样分析拉丁方设计的试验结果?.....	142
§ 5.7 怎样分析裂区设计的试验结果?.....	150
§ 5.8 何谓缺值?试验中如有个别缺值,怎样进行估计和分析?.....	158
§ 5.9 怎样布置品种区域试验和对试验结果进行综合分析?.....	165
第六章 试验抽样和抽样方案设计	182
§ 6.1 何谓试验抽样和抽样单元?怎样设立试验的抽样单元?.....	182
§ 6.2 在试验抽样中,怎样确定平均数及其差数的样本容量?.....	188

§ 6.3 在试验抽样中,怎样确定二项成数及其差数的 样本容量?.....	192
§ 6.4 怎样分析试验抽样的结果?.....	195
§ 6.5 怎样根据抽样结果的信息反馈,改进试验抽样 方案?.....	200
附 表	207
表1 350组1~9随机数字.....	208
表2 $k \times k$ 拉丁方的标准方	210
表3 t 分布的临界 t_{α} 值(t 表).....	214
表4 F 分布的 $F_{0.05}$ (上)和 $F_{0.01}$ (下)值(F 表)	215
表5 相关系数的 $r_{0.05}$ 和 $r_{0.01}$ 临界值(r 表)	225
主要统计符号注释	226
主要参考文献	231

第一章 农业试验概论

§ 1.1 为什么要做试验?

试验的目的在于寻找问题的解答。农业试验就是要回答农业生产和科研所提出的问题。因此,农业试验是源于农业生产和科研的实践,又是为发展农业生产和农业科学服务的。农业试验的一般目的,可归纳为以下四个方面:

1. 总结群众经验 我国的农业生产已有几千年的历史。农民中的生产经验极为丰富,生产上的问题往往有着多种解决办法。但是,这些经验或办法,常常带有较强的条件性,或线条较粗,或偏于感性认识,有些甚至是可意会而难以言传的。一般都需通过农业试验的系统而精心的研究,才能逐步上升到理论高度,成为指导大面积农业生产的一般原则。解放后,我国农业科学工作者曾对农业劳动模范的高产经验做过广泛的科学总结,如江苏省农科院等单位对农业劳动模范陈永康的晚粳“三黄三黑”高产经验总结等,都是这一方面试验研究的范例。

2. 改进技术关键 这里有两种含义:一是为改进某些已知的关键技术而进行的试验;二是为剖析综合措施中若干技术效应的相对重要性而进行的试验。前者如选育高产优质的作物新品种,研制效率更高的新农药等,意义清楚,毋需细述。后者则着重于发现已有技术系统中的关键技术,并改进不完善的、废除无效的那些技术。例如,我国有不少山芋产区都流行过翻蔓技术,但在大量的精细试验中却发现,在多数情况下,翻蔓往往是破坏山芋群体的正常光合作用体系、降低芋块产量的一个因素,而不是提高产量的作业。所谓“翻蔓增产”乃是一种假象,而与翻蔓同时进

行的除草、松土、施肥等措施才是起增产作用的。因而，已故山芋专家张必泰等提出了“无事不翻蔓”的认识和“改翻蔓为提蔓”的措施，使许多地区既节约了劳力，又提高了芋块产量。

3. 推广新的成果 “新”是一个相对的概念。过去没有的(如一些农用化学药物)，现在有了，当然是新；外地早已有了，本地还没有，也是新。由于农业生产的地区特点差别很大，新的东西并不见得必能为我所用。一般地说，凡属农业上的新技术、新品种或新工艺，都需经过在本地的试验，才能确定它们是否有推广应用价值和如何推广应用。未经试验就“一轰而起”是十分有害的。例如，一个新品种，在外地是高产稳产、众人称誉。但能否引来本地栽培？如果可以栽培，又如何因地制宜地加以利用，才能发挥最大的增产效果？有没有其他“副作用”？就需要有一系列的试验来回答。由于科学技术发展日新月异，新的成果不断推出，这类试验是面广量大的。

4. 发展农业科学 试验不同于生产的显著特点有二：一是可以严格控制某些条件，突出要研究的因素；二是不怕失败，而且通常正是不断地从失败中吸取教训，直至取得预期的成功。因此，试验不仅可以提供生产上尚未明确的新的事实，以形成新的科学观念或假定，而且可以一定的科学观念或假定为前提，设计出相应的试验，来验证其正确性。上世纪，孟德尔提出遗传学上的分离和独立分配定律，本世纪，我国学者提出水稻这类自花授粉作物的杂种优势利用理论等，可以说都是源于一系列的创新试验。我们通常说，农业生产的发展是农业科学发展的基础，这当然是对的。但是，农业科学的基础理论工作，又是可能走在农业生产前头的。这就要依靠试验实践。我国在这一方面的试验研究，还比较薄弱，是亟待加强的。

§ 1.2 何谓处理因素？何谓环境因素？试验中如何分别对待这两

类因素？

构成事物的要素、成分或决定事物发展的条件，称为因素（据《辞海》）。影响农业生产（譬如产量）的因素极多。例如：在自然因素方面有温、光、气、热；在技术因素方面有土、肥、水、种、密、保、工、管；在社会因素方面有体制、劳力、销售、价格等等。而这些因素通常还都能再分为若干较小的因素。如“光”因素可再分成光强、光长、光质等因素；“肥”因素可再分成肥料种类、施肥数量、施肥时期、施肥方法等因素。这些和农业生产过程和结果有关的因素，总称为生产因素。

生产因素当然都能对生产起作用（尽管作用的大小是各不相同的）。但是，迄今为止，还没有过全面研究所有生产因素的试验。其原因很简单：试验规模太大了，现有的科学水平还难以处理它。因此，通常的做法总是在一个试验中只研究一部分生产因素（一般是一个或几个）。这些选定要研究的生产因素，就称为处理因素或试验因素；而那些暂不研究的生产因素，则称为环境因素或试验背景。对一个试验而言，处理因素显然是少量的，而环境因素则是大量的。

处理因素必须是：①可控的；②在数量或质量上具有不同等级或水平的。例如，一个小麦播种量试验，播种量有每亩 5, 10, 15, 20 和 25 公斤。这里的处理因素只有一个，即播种量，而 5, 10, 15, 20 和 25 公斤则是播种量这个因素按数量水平划分的 5 个等级。简单地说就是：处理因素为小麦播种量，具 5 个水平。又如，一个棉花品种试验，有 A、B、C、D、E、F 6 个品种。这里的 A、B、…、F 是品种这个因素按质量（这种质量是不同的遗传背景）水平划分的 6 个等级，亦可简称为：处理因素为棉花品种，具 6 个水平。以上试验中的每一个水平又称为一个处理。

当处理因素在两个或两个以上时，处理将是各因素不同水平的组合，因而处理数等于各因素水平数的乘积。例如，一棉花试

验,处理因素有:品种(敬安508和徐州1818),具2水平;播种期(4月20日和5月5日),具2水平;种植密度(每亩3 000,6 000,9 000株),具3水平。则该试验共有 $2 \times 2 \times 3 = 12$ 个处理(或称处理组合),名单如下:

- (1) 敬安508, 4月20日播,每亩3 000株;
- (2) 敬安508, 4月20日播,每亩6 000株;
- (3) 敬安508, 4月20日播,每亩9 000株;
- (4) 敬安508, 5月5日播,每亩3 000株;
- (5) 敬安508, 5月5日播,每亩6 000株;
- (6) 敬安508, 5月5日播,每亩9 000株;
- (7) 徐州1818, 4月20日播,每亩3 000株;
- (8) 徐州1818, 4月20日播,每亩6 000株;
- (9) 徐州1818, 4月20日播,每亩9 000株;
- (10) 徐州1818, 5月5日播,每亩3 000株;
- (11) 徐州1818, 5月5日播,每亩6 000株;
- (12) 徐州1818, 5月5日播,每亩9 000株。

习惯上,我们把只有一个处理因素的试验称为单因素试验;有两个或两个以上处理因素的试验称为多因素试验。

需要注意:一个因素,如果是不可控的(例如在田间条件下,光、温等自然因素),或者不能在数量或质量上划分不同水平的,就不能成为处理因素。

对于环境因素,应当注意到,它们虽非试验中的研究对象,但因是生产因素,同样会对试验结果发生影响。为了提高试验的精确性(这是从降低试验误差的角度考虑的),通常总是尽量将它们保持在某种特定的水平上,以减少干扰,突出处理的作用。例如,一个品种试验,除品种不同外,其余的都是环境因素,都应该没有水平变化,如同期播种、同样施肥等等。这种在同等的背景上作比较的方法,称为“唯一差异原则”。这是在处理因素数总是大大

小于生产因素数时，不能不采用的试验对策。所以生产因素在试验中的安排，一般可归纳于下：

生产因素 { 处理因素：少数几个，每一个都必须有若干不同的水平。
环境因素：大量的，每一个都应在各自的某一特定水平上。

上述处置方法的一个潜在缺点是，可能造成精确性和准确性的矛盾，即试验是精确的(误差小)，但却可能是不准确的。仍以品种试验为例来说，若某水稻品种极耐肥，在高肥条件下可获得很高的产量；但试验是常肥条件，它就可能因“吃不饱”而无突出表现，以致未被选拔。又如，某小麦品种耐迟播，推迟播期产量并不显著降低(一般品种推迟播期都会明显的降低产量)；但在正常播期试验时，它的产量可能还不如其他的“竞争者”，以致屡屡落选。这类事件在农业试验的历史上是常有发生的。其根本原因就在于：作为环境因素的施肥量或播期，都只有一个水平；当处理因素和环境因素存在交互作用(见§1·3)时，它不能提供任何信息。这个问题的解决，有赖于试验者已经获得的信息、经验和对于试验的敏锐观察。当发现处理因素与某个或某些环境因素可能存在交互作用时，应及时地(当季或下一季)将那些环境因素变为处理因素。如上例，若已了解到各品种的耐肥性可能不同或在不同播期的反应可能不同，则应将品种试验，变为品种和施肥量或品种和播种期的二因素试验。

§ 1·3 何谓处理效应？何谓简单效应和主要效应？何谓交互作用效应？怎样正确利用交互作用效应？

在同等试验背景下，处理平均数的差数称为处理效应。例如，一个秧苗素质试验，得到三蘖秧(栽插时每苗已有两个分蘖)的平均产量 $\bar{y}_1 = 40$ 公斤，无蘖秧(栽插时秧苗尚无分蘖)的平均产量

$\bar{y}_2 = 34$ 公斤,因而三蘖秧对无蘖秧的处理效应为 $\bar{y}_1 - \bar{y}_2 = 6$ 公斤。但是,为了便于建立数学模型和进行一般化的分析,更通常的表述是,将处理平均数与全试验总平均数的差数定义为处理效应。仍以上例来说,可求得试验总平均数 $\bar{y} = \frac{1}{2}(\bar{y}_1 + \bar{y}_2) = 37$ 公斤。于

是三蘖秧的处理效应为: $t_1 = \bar{y}_1 - \bar{y} = 3$, 即三蘖秧比总平均数高 3 公斤; 无蘖秧的处理效应为: $t_2 = \bar{y}_2 - \bar{y} = -3$, 即无蘖秧比总平均数低 3 公斤。这样做的一个好处是,对于任一处理的平均数,都可以用一个数学模型:

$$\bar{y}_i = \bar{y} + t_i$$

来表示。如这里的 $\bar{y}_1 = \bar{y} + t_1 = 37 + 3 = 40$, $\bar{y}_2 = \bar{y} + t_2 = 37 + (-3) = 34$ 。需注意,这仅是表达方式的改变,对结果没有任何影响。例如,三蘖秧对无蘖秧的效应仍为 6 公斤 $[\bar{y}_1 - \bar{y}_2 = (\bar{y} + t_1) - (\bar{y} + t_2) = t_1 - t_2 = 3 - (-3) = 6]$ 。

当处理因素为两个或两个以上时,同样背景下,一个因素的任两个水平间平均数的差数,称为简单效应;而简单效应的平均数则称为该因素的主要效应,或简称主效。例如,设有一氮(N)、磷(P)肥二因素试验, N和P因素各有两水平(n_1 = 不施 N, n_2 = 施 N 20 公斤/亩; p_1 = 不施 P_2O_5 , p_2 = 施 P_2O_5 15 公斤/亩),得

表 1 氮、磷肥二因素试验结果
(正交互作用)

N	P		P 的效应	平均数
	p_1	p_2		
n_1	200	230	30	$\bar{n}_1 = 215$
n_2	260	310	50	$\bar{n}_2 = 285$
N 的效应	60	80	20	
平均数	$\bar{p}_1 = 230$	$\bar{p}_2 = 270$		$\bar{y} = 250$

到其四个处理 n_1p_1 (不施)、 n_2p_1 (施N)、 n_1p_2 (施P) 和 n_2p_2 (N、P兼施) 的平均产量于表 1。由之即可算得：

在 p_1 下 N 的简单效应：

$$N_1 = n_2p_1 - n_1p_1 = 60 \text{ 公斤}$$

在 p_2 下 N 的简单效应：

$$N_2 = n_2p_2 - n_1p_2 = 80 \text{ 公斤}$$

这就是：不施 P (p_1) 时施 20 公斤 N，增产 60 公斤；施 15 公斤 P_2O_5 (p_2) 时施 20 公斤 N，增产 80 公斤。因此，施 20 公斤 N 的平均效应，即 N 因素主效为：

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2}{2} = 70 \text{ 公斤}$$

同理可以算得：

在 n_1 下施 P 的简单效应：

$$P_1 = n_1p_2 - n_1p_1 = 30 \text{ 公斤}$$

在 n_2 下施 P 的简单效应：

$$P_2 = n_2p_2 - n_2p_1 = 50 \text{ 公斤}$$

P 因素的主效：

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2}{2} = 40 \text{ 公斤}$$

由上述结果还可看到，N 的简单效应随 P 的水平而不同，P 的简单效应亦随 N 的水平而不同，即 N 和 P 对于产量的效应不是独立的。因素效应的不独立性称为交互作用，简称互作。互作效应为简单效应差数的平均数。如本例可算得 N、P 的互作效应 $\bar{NP}$ 为：

$$\begin{aligned} \bar{NP} &= \frac{N_2 - N_1}{2} = \frac{P_2 - P_1}{2} = \frac{(n_1p_1 + n_2p_2) - (n_1p_2 + n_2p_1)}{2} \\ &= \frac{20}{2} = 10 \end{aligned}$$

即N、P肥“合用” (n_1p_1 和 n_2p_2 , 即一因素的低水平配另一因素的低水平, 高水平配高水平)比分用 (n_1p_2 和 n_2p_1 , 即一因素的高水平与另一因素的低水平相配)平均增产10公斤。

上述结果如变换成与总平均数的离差形式, 亦可方便地写成数学模型。设 $\bar{N}_i$ 为N的主效, $\bar{P}_i$ 为P的主效, $\overline{NP}_{ij}$ 为NP交互效应。则由表1可得: $\bar{N}_1 = \bar{n}_1 - \bar{y} = 215 - 250 = -35$, $\bar{N}_2 = \bar{n}_2 - \bar{y} = 285 - 250 = 35$ [即不施N处理平均比总平均数 $\bar{y}$ 减产 35 公斤, 施N处理平均比 $\bar{y}$ 增产35公斤。故施N对不施N的平均效应仍为: $\bar{N}_2 - \bar{N}_1 = 35 - (-35) = 70$ 公斤, 即前面的 $\bar{N}$]; $\bar{P}_1 = \bar{p}_1 - \bar{y} = 230 - 250 = -20$, $\bar{P}_2 = \bar{p}_2 - \bar{y} = 270 - 250 = 20$ (即不施P处理平均比 $\bar{y}$ 减产20公斤, 施P处理平均比 $\bar{y}$ 增产 20 公斤, 仍有: $\bar{P}_2 - \bar{P}_1 = \bar{P} = 40$); $\overline{NP}_{11} = (n_1p_1 - \bar{y}) - (\bar{n}_1 - \bar{y}) - (\bar{p}_1 - \bar{y}) = -50 - (-35) - (-20) = 5$, $\overline{NP}_{12} = (n_1p_2 - \bar{y}) - (\bar{n}_1 - \bar{y}) - (\bar{p}_2 - \bar{y}) = -20 - (-35) - 20 = -5$, $\overline{NP}_{21} = (n_2p_1 - \bar{y}) - (\bar{n}_2 - \bar{y}) - (\bar{p}_1 - \bar{y}) = 10 - 35 - (-20) = -5$, $\overline{NP}_{22} = (n_2p_2 - \bar{y}) - (\bar{n}_2 - \bar{y}) - (\bar{p}_2 - \bar{y}) = 60 - 35 - 20 = 5$ [N、P肥合用对分用的平均交互效应仍为: $\frac{1}{2}(\overline{NP}_{11} + \overline{NP}_{22} - \overline{NP}_{12} - \overline{NP}_{21}) = 10 = \overline{NP}$]。因此,

表1的观察结果皆可用模型:

$$n_ip_j = \bar{y} + t_{ij} = \bar{y} + \bar{N}_i + \bar{P}_j + \overline{NP}_{ij}$$

(这里处理效应 $t_{ij} = \bar{N}_i + \bar{P}_j + \overline{NP}_{ij}$)来表示, 即:

$$n_1p_1 = \bar{y} + \bar{N}_1 + \bar{P}_1 + \overline{NP}_{11} = 250 - 35 - 20 + 5 = 200$$

$$n_1p_2 = \bar{y} + \bar{N}_1 + \bar{P}_2 + \overline{NP}_{12} = 250 - 35 + 20 - 5 = 230$$

$$n_2p_1 = \bar{y} + \bar{N}_2 + \bar{P}_1 + \overline{NP}_{21} = 250 + 35 - 20 - 5 = 260$$

$$n_2p_2 = \bar{y} + \bar{N}_2 + \bar{P}_2 + \overline{NP}_{22} = 250 + 35 + 20 + 5 = 310$$

以上结果解释了各种效应对处理平均数的作用。如 n_1p_2 , 由于未施N平均比 $\bar{y}$ 减产了35公斤, 由于施P平均比 $\bar{y}$ 增产了20公斤, 由于有P无N的交互作用平均又比 $\bar{y}$ 减产了5公斤, 因此实