



第七章 常用试验设计及其方差分析



农业科学研究根本任务是寻求提高农作物产量和品质，增加经济效益的理论、方法和技术。

在农业科学研究中，**田间试验**是主要形式，也有些研究必须在温室或实验室控制条件下进行，尤其是一些理论性的研究。

任何农业技术或措施在应用到大田生产时，都必须先进行田间试验，因而田间试验不仅是进行探索研究的主要手段，还是联系农业科学与农业生产的桥梁。



第七章 常用试验设计及其方差分析



- 7.1 试验设计概述
- 7.2 常用试验设计方法
- 7.3 随机区组试验的方差分析
- 7.4 裂区试验的方差分析



7.1 试验设计概述

- 7.1.1 田间试验设计的基本特点
- 7.1.2 田间试验设计的基本原则
- 7.1.3 小区技术





7.1.1 田间试验设计的基本特点

① 由农作物或其他生物体本身的反应来直接检测试验的效果

- ◆ 研究对象和材料：生物体本身，以农作物为主，也包括昆虫、病菌、土壤微生物、杂草等；
- ◆ 自然界的生物体往往是一个具有多种遗传变异的群体，因而试验材料本身便存在产生试验误差的多种因素。

② 田间试验是在开放的自然条件下进行的

- ◆ 多变的试验环境：土壤、气候，甚至病虫等生物条件；
- ◆ 农作物试验周期长；
- ◆ 田间试验的环境条件也存在着导致试验产生试验误差的多种可能性。



7.1 试验设计概述

- 7.1.1 田间试验设计的基本特点
- 7.1.2 田间试验设计的基本原则
- 7.1.3 小区技术





7.1.2 田间试验设计的基本原则



- ◆ **广义的田间试验设计**（field experimental design）：是指整个试验研究课题的设计，包括确定试验处理的方案，小区技术，以及相应的资料搜集、整理和统计分析的方法等；
- ◆ **狭义的田间试验设计**：专指小区技术，特别是重复区和试验小区的排列方法。
- ◆ **试验设计的主要作用**：
 - ◆ 降低试验误差，提高试验精确度
 - ◆ 获得无偏的处理平均值以及试验误差的估计值



7.1.2 田间试验设计的基本原则

(1) 重复 (replication)

- ◆ 试验中同一处理种植的小区数即为重复次数。
- ◆ 作用：
 - ◆ 估计试验误差
 - ◆ 降低试验误差，以提高试验的精确度



7.1.2 田间试验设计的基本原则



(2) 随机 (random)

- ◆ 随机是指一个区组中每一处理都有同等的机会设置在任何一个试验小区上，避免任何主观成见。
- ◆ 作用：随机与重复相结合，就能提供无偏的试验误差估计值。



7.1.2 田间试验设计的基本原则

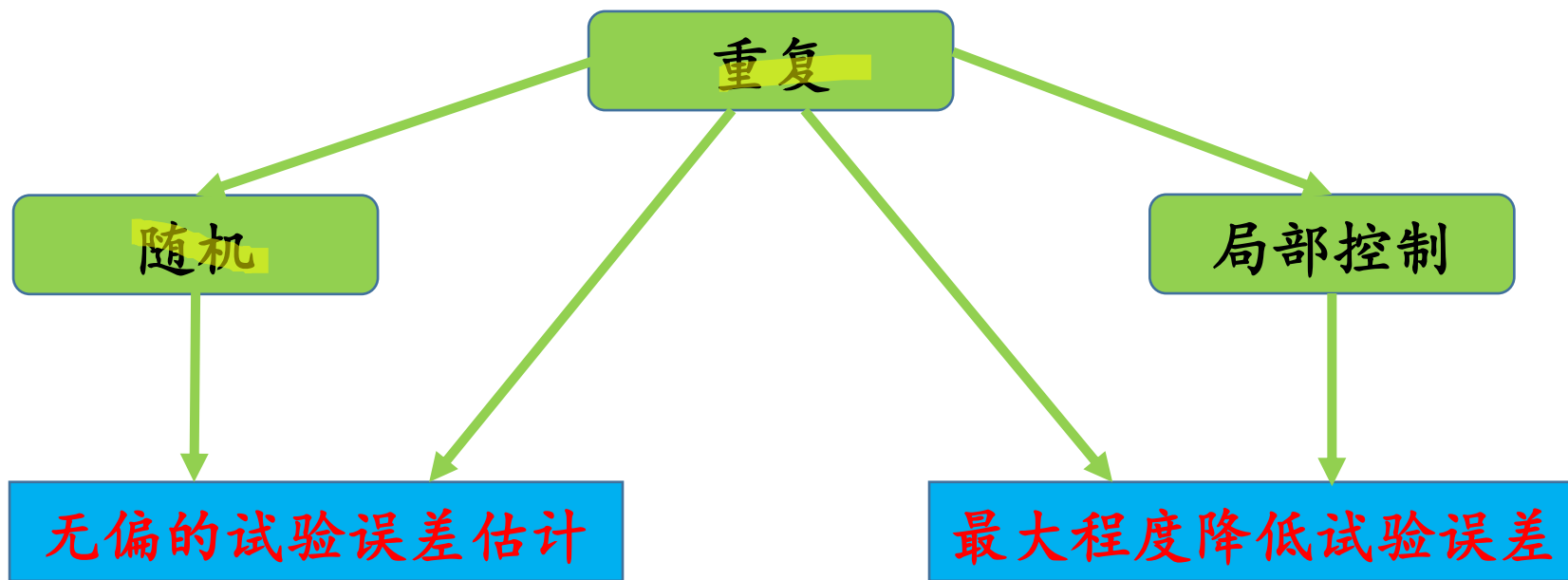
(3) 局部控制 (local control)

- ◆ 局部控制就是将整个试验环境分成若干个相对均匀的小环境，再在小环境内设置成套处理，即在田间分范围分地段地控制土壤差异等非处理因素，使之对各试验处理小区的影响达到最大程度的一致。
- ◆ **区组** (block)：农业试验设计中，每一个相对均匀的局部（小环境）。
- ◆ 作用：局部控制与重复相结合，降低试验误差。



7.1.2 田间试验设计的基本原则

◆ 田间试验设计的三大原则及其作用





7.1 试验设计概述

- 7.1.1 田间试验设计的基本特点
- 7.1.2 田间试验设计的基本原则
- 7.1.3 小区技术





7.1.3 小区技术

◆ **小区** (plot) : 在田间试验中, 安排一个处理的小块地段称为试验小区, 简称为小区。





7.1.3 小区技术

- ◆ 试验采用小区（一般面积为10~50平方米）而不用几百或几千平方米的大区，主要原因在于：
 - ①小区能接受较多处理而不怕失败，失败了能取得教训但损失有限；
 - ②小区比较要比大区比较更易于控制环境因素的变异性，因而更易于发现处理的真实效应。
- ◆ 所谓**小区技术**，就是根据环境设计的基本原则，对试验小区进行科学的设计和布置。



7.1.3 小区技术

(1) 小区的面积

- ◆ 小区面积的大小与减少土壤差异的影响和提高试验的精确度有密切的关系。在一定范围内，小区面积增加，试验误差减少，但减少不是同比例的。
- ◆ **增加重复次数**可以预期能比增大小区面积更有效地降低试验误差，从而提高精确度。



7.1.3 小区技术

(1) 小区的面积

- ① **试验种类**：如机械化栽培试验，灌溉试验等的小区应大些，而品种试验则可小些。
- ② **作物的类别**：种植密度大的作物如稻麦等的试验小区可小些；种植密度小的大株作物如棉花、玉米、甘蔗等应大些。
- ③ **试验地土壤差异的程度与形式**：土壤差异大，小区面积应相应大些；土壤差异较小，小区可相应小些。





7.1.3 小区技术



(1) 小区的面积

④ 边际效应和生长竞争

- **边际效应**：是指小区两边或两端的植株，因占较大空间而表现的差异。
- 小区面积应考虑边际效应大小，边际效应大的相应需增大小区面积。
- **生长竞争**：是指当相邻小区种植不同品种或相邻小区施用不同肥料时，由于株高、分蘖力或生长期的不同，通常将有一行或更多行受到影响。
- **小区计产面积**：是在小区面积上，除去可能受影响的边行和两端，以减少误差。有关处理的观察记载和产量测定，都应当在计产面积上进行。



7.1.3 小区技术

(2) 小区的形状

- ◆ 一般采用**长方形**。长:宽多为3~5:1。但在一些机械化栽培试验中，为便于操作，长宽比也有达到15~20:1的。
- ◆ 长方形的优点在于：
 - ①容易调匀土壤差异，使小区肥力较接近于试验地的平均肥力水平；
 - ②便于观察、比较、记载和某些田间作业。



7.1.3 小区技术

(2) 小区的形状

- ◆ 在一些**肥料试验**中，为减少作埂和肥料在小区间渗透的可能性，常用近似正方形的小区；在一些**个体较大植物**（如果树）的试验中，为保证一定的计产面积而又减少试验地的总面积，也常用近于正方形甚至扇形的小区。
- ◆ 正方形的优点在于：
 - ①小区周缘小；
 - ②计产面积占小区面积的比率大。



7.1.3 小区技术

(3) 重复次数

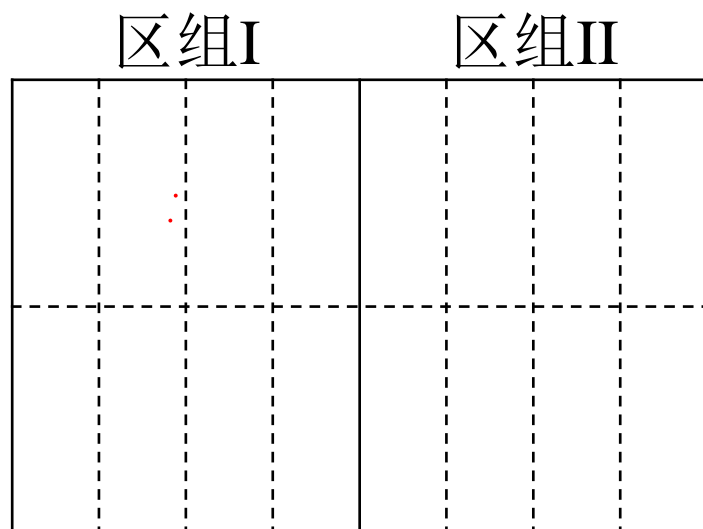
- ◆ 重复次数即每一处理的试验小区数。
 - ◆ 例如，每一处理有3个小区，即称为重复3次。
- ◆ 设置重复不仅是为了**估计试验误差**，更重要的是为了调匀环境差异，使每一处理的平均环境水平更接近于整个试验的平均水平，从而减少试验误差。
- ◆ 任何一个正式的田间试验，**至少要有两次重复**。



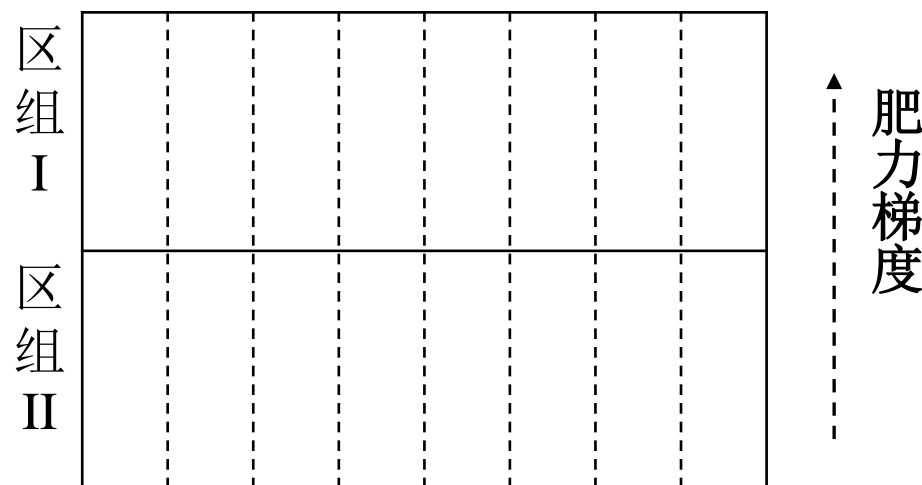
7.1.3 小区技术

(4) 区组设置

- ◆ 设置区组是局部控制原则的具体化，其基本要求是：区组内各小区的环境差异（主要是土壤差异）应尽可能小，而区组间的环境差异应尽可能大。



A. 当试验地没有明显趋势变异时



B. 当试验地存在明显趋势变异时



7.1.3 小区技术

(5) 处理的排列

- ◆ 在一个区组内，究竟哪个小区接受哪个处理，一般应采用**完全随机的原则**，即使得任何一个小区都有相等的概率接受任一处理，以保证试验误差得以无偏估计。
- ◆ 但在某些特定情况亦有采用顺序排列的。这时，有关试验误差的信息必有所损失。



7.1.3 小区技术

(6) 保护行

- ◆ 在试验地周围设置**保护行**（guarding row）的作用一方面可以保护试验材料不受**外来因素**（如人畜等的践踏和损害）的影响，另一方面可以防止试验田四周的小区受到空旷地的特殊环境影响即**边际效应**，使处理间能正确的比较。
- ◆ 保护行的宽度应不小于小区内作物的根可能伸展的范围，一般应在1米以上。
- ◆ 小区和小区之间，包括不同区组的小区 and 小区之间，一般均宜依次连接种植，不要空行，也不必设保护行。



第七章 常用试验设计及其方差分析



- 7.1 试验设计概述
- 7.2 常用试验设计方法
- 7.3 随机区组试验的方差分析
- 7.4 裂区试验的方差分析



7.2 常用试验设计方法



试验单元 (experimental unit) 是指接受某种处理的试验材料的一个独立单位。田间试验中的单元，一般为一个足可形成处理的正常群体的小区。

一切试验都是在一定的试验空间(experimental space)中进行的。根据试验单元在试验空间中的排列方式，可将试验分为完全随机化试验、随机区组试验、拉丁方试验、裂区试验和正交试验等。



7.2 常用试验设计方法

(1) 完全随机化试验 (completely randomized experiment)

◆ 试验设计原则：重复和随机。

◆ 特点及设计方法：每一个处理都有若干个重复的试验单元（各处理的重复数可以相等或不相等），而所有试验单元在试验空间中的地位都是完全随机的。

➤ 例【7-1】：一个苎麻的盆栽试验，2个品种，4种肥料，每一处理重复2次，请采用完全随机化试验设计。

(1) 将 $N=16$ 盆编号为：1、2、3、...、16。

(2) 通过计算机抽取盆编号的顺序为：

8、7、15、13、2、11、14、5

7、1、3、16、6、9、10、12

(3) 试验设计

8	7	15	13	2	11	14	5
处理1		处理2		处理3		处理4	
7	1	3	16	6	9	10	12
处理5		处理6		处理7		处理8	



7.2 常用试验设计方法

(1) 完全随机化试验 (completely randomized experiment)

◆ 优点：

- ◆ 设计方便、分析简易；
- ◆ 可使误差项的自由度达最大，提高误差估计的精确性。

◆ 缺点：

- ◆ 要求试验空间中的各种非试验因素都相当均匀一致。

◆ 适用范围：

- ◆ 一般仅在试验室试验、温室试验或处理虽多但每处理的材料甚少的田间试验中应用。
- ◆ 单因素、多因素均可。



7.2 常用试验设计方法

(2) 随机区组试验 (randomized block experiment)

- ◆ 试验设计原则:

- ◆ 重复、随机、局部控制。

- ◆ 特点及设计方法:

- ◆ 在完全随机设计的基础上，增加了局部控制原则，在各个区组上实行重复和随机，从而将环境均匀性的控制范围，从整个试验缩小到一个个区组。



7.2 常用试验设计方法

(2) 随机区组试验 (randomized block experiment)

【例7-2】有编号为1, 2, ..., 8的8个小麦品种，重复4次，将随机区组设计应用于具有趋势变异的田块。

随机抽样得到8个数据的4组排列顺序：

第一组：7, 1, 3, 4, 2, 5, 8, 6

第二组：4, 3, 6, 8, 1, 2, 7, 5

第三组：2, 1, 8, 7, 6, 4, 5, 3

第四组：1, 7, 5, 3, 4, 8, 6, 2

I	II	III	IV
7	4	2	1
1	3	1	7
3	6	8	5
4	8	7	3
2	1	6	4
5	2	4	8
8	7	5	6
6	5	3	2

----->
肥力梯度



7.2 常用试验设计方法

(2) 随机区组试验 (randomized block experiment)

◆ 优点:

- ◆ 设计简单，容易掌握；
- ◆ 能提供无偏的误差估计，并有效地减少单向的肥力差异，降低误差；
- ◆ 对试验地的地形要求不严，必要时，不同区组亦可分散设置在不同地段上。

◆ 缺点:

- ◆ 不允许处理数太多，一般不超过20个。

◆ 适用范围:

- ◆ 单因素、多因素试验均可。



7.2 常用试验设计方法

(3) 拉丁方设计 (latin square design)

◆ 试验设计原则：

◆ 重复、随机、局部控制；

◆ 特点及设计方法：

◆ 将 k 个不同符号排成 k 行 k 列，使每个符号在每一行、列都仅出现一次的方阵，叫做 $k \times k$ 拉丁方。

◆ 应用拉丁方试验设计，就是在行和列两个方向都进行局部控制，使行、列两向皆成区组。

【例7-3】 A, B, C, D, E 5个处理，按 5×5 拉丁方设计可排成：

<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
<i>E</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>C</i>
<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>E</i>	<i>D</i>
<i>D</i>	<i>E</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
<i>B</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>E</i>



7.2 常用试验设计方法

(3) 拉丁方设计 (latin square design)

◆ 优点：

◆ 若行间、列间皆有明显差异，则可期望其试验误差将比随机区组试验更小；

◆ 缺点：

◆ 需要保持行区组数、列区组数、处理数三者相等，缺乏伸缩性。

◆ 适用范围：

◆ 单因素、多因素试验；

◆ 处理数目为5-10个且对试验精度有较高的要求时使用。



7.2 常用试验设计方法

(4) 裂区试验 (split plot experiment)

- ◆ 试验设计原则：

- ◆ 重复、随机、局部控制；

- ◆ 特点及设计方法：

- ◆ 在处理对试验单元的大小有不同要求时应用。
 - ◆ 首先将需要较大试验单元（这些单元叫主区）的处理随机地排入区组；然后将每一主区皆分成若干个亚试验单元（这些单元叫裂区），把各裂区处理随机地排入裂区，以使每一主区中都包含一套裂区处理。这种试验叫做**二裂式裂区试验**。
 - ◆ 亚试验单元还可再分成若干个更小的试验单元（这些单元叫小裂区），随机地排入三因素试验的小裂区处理。这就成为**三裂式裂区试验**。



7.2 常用试验设计方法

(4) 裂区试验 (split plot experiment)

【例7-4】有6个品种，以1、2、3、4、5、6表示，有3种施肥量，以高、中、低表示，重复3次，则裂区设计的排列可如下图。

图中先对主区处理（施肥量）随机，后对裂区处理（品种）随机，每一重复的主、副处理随机皆独立进行。

I									II									III								
1	5	2	5	4	1	2	4	3	6	5	3	2	3	1	1	6	3	2	4	6	5	3	2	1	4	2
6	3	4	3	6	2	6	5	1	1	4	2	4	6	5	2	5	4	1	3	5	4	6	1	6	5	3
高			低			中			低			中			高			高			中			低		



7.2 常用试验设计方法

(4) 裂区试验 (split plot experiment)

◆ 适用范围：

- ◆ **面积要求不同**：在一个因素的各种处理比另一因素的处理可能需要更大的面积时，为了实施和管理上的方便而应用裂区设计。例如耕地、肥料、灌溉等试验，耕、肥、灌等处理宜作为主区；而另一因素如品种等，则可设置于副区。
- ◆ **精度要求不同**：试验中某一因素的主效比另一因素的主效更为重要，而要求更精确的比较，或二个因素间的交互作用比其主效是更为重要的研究对象时，亦宜采用裂区设计，将要求更高精确度的因素作为副处理，另一因素作为主处理。
- ◆ **效应大小不同**：根据以往研究，得知某些因素的效应比另一些因素的效应更大时，亦适于采用裂区设计，将可能表现较大差异的因素作为主处理。



第七章 常用试验设计及其方差分析



- 7.1 试验设计概述
- 7.2 常用试验设计方法
- 7.3 随机区组试验的方差分析
- 7.4 裂区试验的方差分析



7.3 随机区组试验的方差分析



随机区组试验设计依据**随机、重复和局部控制**三项基本原则，试验结果的精确度较高,能将区组间的差异从试验误差中分解出来，其试验结果的分析采用方差分析法。随机区组试验设计适用范围较广，适用于单因素和多因素的试验设计。



7.3 随机区组试验的方差分析



➤7.3.1 单因素随机区组试验的方差分析

➤7.3.2 二因素随机区组试验的方差分析



7.3.1 单因素随机区组试验的方差分析

- ◆ 单因素随机区组试验结果的方差分析，可应用第六章所述无重复观测值双向分组资料的方差分析法进行。
- ◆ 可将处理看作A因素，区组看作B因素。
- ◆ 假定A因素有 a 个水平，B因素有 n 个区组，每个处理组合只有1个观测值，共有 an 个观测值。



7.3.1 单因素随机区组试验的方差分析

实例分析

【例7-3-1】有一小麦品比试验，共有A、B、C、D、E、F、G、H 8个品种，试验采用随机区组设计，设置三次重复，小区计产面积25平方米，获得数据如下表，试进行方差分析。

表1 小麦品比试验（随机区组）的产量结果

品 种	区 组			T_A	\bar{y}_A
	I	II	III		
A	10.9	9.1	12.2	32.2	10.7
B	10.8	12.3	14.0	37.1	12.4
C	11.1	12.5	10.5	34.1	11.4
D	9.1	10.7	10.1	29.9	10.0
E	11.8	13.9	16.8	42.5	14.2
F	10.1	10.6	11.8	32.5	10.8
G	10.0	11.5	14.1	35.6	11.9
H	9.3	10.4	14.4	34.1	11.4
T_r	83.1	91.0	103.9	$T=278.0$	
\bar{y}_r	10.4	11.4	13.0	$\bar{y}=11.6$	



7.3.1 单因素随机区组试验的方差分析

实例分析

(1) 自由度和平方和的分解

品 种	区 组			T_A
	I	II	III	
A	10.9	9.1	12.2	32.2
B	10.8	12.3	14.0	37.1
C	11.1	12.5	10.5	34.1
D	9.1	10.7	10.1	29.9
E	11.8	13.9	16.8	42.5
F	10.1	10.6	11.8	32.5
G	10.0	11.5	14.1	35.6
H	9.3	10.4	14.4	34.1
T_r	83.1	91.0	103.9	$T=278.0$

① 自由度的分解

$$\text{总变异: } df_T = na - 1 = 3 \times 8 - 1 = 23$$

$$\text{区组: } df_r = n - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\text{品种: } df_A = a - 1 = 8 - 1 = 7$$

$$\text{误差: } df_e = (n - 1)(a - 1) = (3 - 1) \times (8 - 1) = 14$$

② 平方和的分解

$$\text{矫正数 } C = \frac{T^2}{an} = \frac{278.0^2}{3 \times 8} = 3220.17$$

$$\text{总 } SS_T = \sum_{i=1}^{ar} y^2 - C = 10.9^2 + 9.1^2 + \cdots + 14.4^2 - C = 84.61$$

$$\text{区组 } SS_r = \frac{\sum T_r^2}{a} - C = \frac{83.1^2 + 91.0^2 + 103.9^2}{8} - 3220.17 = 27.56$$

$$\text{品种 } SS_A = \frac{\sum T_A^2}{n} - C = \frac{32.2^2 + 37.1^2 + \cdots + 34.1^2}{3} - 3220.17 = 34.08$$

$$\text{误差 } SS_e = SS_T - SS_r - SS_A = 84.61 - 27.56 - 34.08 = 22.97$$



7.3.1 单因素随机区组试验的方差分析

实例分析

(2) 方差分析和F测验

表2 结果方差分析

变异来源	df	SS	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
区 组 间	2	27.56	13.78	8.40**	3.74	6.51
品 种 间	7	34.08	4.87	2.97*	2.77	4.28
误 差	14	22.97	1.64			
总 变 异	23	84.61				

- 对区组间 MS 作 F 测验, $F=13.78/1.64=8.40 > F_{0.01,2,14}$, 说明3个区组间的土壤肥力有极显著差异。在这个试验中, 区组作为局部控制的一项手段, 对于减少误差是相当有效的。由于一般试验的目的不是研究区组效应, 所以区组间的多重比较可以不必进行。
- 对品种间 MS 作 F 测验, $F=4.87/1.64=2.97 > F_{0.05,7,14}$, 说明8个供试品种的总体平均数有显著差异。需进一步作多重比较。



第七章 常用试验设计及其方差分析



- 7.1 试验设计概述
- 7.2 常用试验设计方法
- 7.3 随机区组试验的方差分析
- 7.4 裂区试验的方差分析



7.3 随机区组试验的方差分析



➤7.3.1 单因素随机区组试验的方差分析

➤7.3.2 二因素随机区组试验的方差分析



7.3.2 二因素随机区组试验的方差分析



二因素随机区组试验设计的数据模式

◆ 试验有A和B两个因素，A因素有 a 个水平，B因素有 b 个水平，随机区组设计， n 次重复，共有 ab 个处理组合，该试验共有 abn 个观察值。

A因素	B因素	区组				处理总和	处理平均
		1	2	...	n	T_t	\bar{y}_t
A_1	B_1	y_{111}	y_{112}	...	y_{11n}	T_{11}	\bar{y}_{11}
	B_2	y_{121}	y_{122}	...	y_{12n}	T_{12}	\bar{y}_{12}
	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots
	B_b	y_{1b1}	y_{1b2}	...	y_{1bn}	T_{1b}	\bar{y}_{1b}
A_2	B_1	y_{211}	y_{212}	...	y_{21n}	T_{21}	\bar{y}_{21}
	B_2	y_{221}	y_{222}	...	y_{22n}	T_{22}	\bar{y}_{22}
	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots
	B_b	y_{2b1}	y_{2b2}	...	y_{2bn}	T_{2b}	\bar{y}_{2b}
A_a	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots
	B_1	y_{a11}	y_{a12}	...	y_{a1n}	T_{a1}	\bar{y}_{a1}
	B_2	y_{a21}	y_{a22}	...	y_{a2n}	T_{a2}	\bar{y}_{a2}
	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots
	B_b	y_{ab1}	y_{ab2}	...	y_{abn}	T_{ab}	\bar{y}_{ab}
区组总和 T_r		T_1	T_2	...	T_n	T	\bar{y}



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



方差分析

表1 二因素随机区组试验自由度与平方和的分解

变异来源	df	SS
区组间	$n-1$	$SS_r = \sum T_r^2 / ab - C$
处理间	$ab-1$	$SS_t = \sum T_t^2 / n - C$
$\begin{cases} A \\ B \\ A \times B \end{cases}$	$\begin{cases} a-1 \\ b-1 \\ (a-1)(b-1) \end{cases}$	$\begin{cases} SS_A = \sum T_A^2 / nb - C \\ SS_B = \sum T_B^2 / na - C \\ SS_{AB} = SS_t - SS_A - SS_B \end{cases}$
误 差	$(n-1)(ab-1)$	$SS_e = SS_T - SS_r - SS_t$
总 变 异	$abn-1$	$SS_T = \sum y^2 - C$



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

【例7-3-2】有一玉米品种 (A) 与施肥 (B) 二因素随机区组试验, A 因素有 A_1 、 A_2 、 A_3 3 个水平 ($a=3$), B 因素有 B_1 、 B_2 、 B_3 3 个水平 ($b=3$), 重复4次 ($n=4$), 小区计产面积 20m^2 , 田间排列和小区产量 ($\text{kg}/20\text{m}^2$) 如图1所示, 试做方差分析。

区组 I	A_1B_1 17.0	A_3B_1 19.0	A_1B_3 12.0	A_2B_2 20.0	A_3B_3 9.0	A_2B_3 17.0	A_2B_1 19.0	A_1B_2 11.0	A_3B_2 10.0
区组 II	A_3B_1 18.0	A_3B_3 8.0	A_1B_1 15.0	A_3B_2 8.0	A_1B_3 8.0	A_1B_2 14.0	A_2B_3 16.0	A_2B_1 13.0	A_2B_2 19.0
区组 III	A_2B_3 18.0	A_2B_2 13.0	A_3B_2 10.0	A_2B_1 11.0	A_1B_1 13.0	A_3B_1 16.0	A_1B_2 13.0	A_3B_3 7.0	A_1B_3 8.0
区组 IV	A_1B_2 12.0	A_1B_1 14.0	A_2B_3 16.0	A_1B_3 9.0	A_3B_2 8.0	A_2B_2 14.0	A_2B_1 11.0	A_3B_1 17.0	A_3B_3 7.0

图1 玉米品种与施肥随机区组试验的田间排列和小区产量 ($\text{kg}/20\text{m}^2$)



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

(1) 数据整理

① 区组和处理的两向表

表2 区组和处理的两向表

区组 I	A_1B_1 17.0	A_3B_1 19.0	A_1B_3 12.0	A_2B_2 20.0	A_3B_3 9.0	A_2B_3 17.0	A_2B_1 19.0	A_1B_2 11.0	A_3B_2 10.0
区组 II	A_3B_1 18.0	A_3B_3 8.0	A_1B_1 15.0	A_3B_2 8.0	A_1B_3 8.0	A_1B_2 14.0	A_2B_3 16.0	A_2B_1 13.0	A_2B_2 19.0
区组 III	A_2B_3 18.0	A_2B_2 13.0	A_3B_2 10.0	A_2B_1 11.0	A_1B_1 13.0	A_3B_1 16.0	A_1B_2 13.0	A_3B_3 7.0	A_1B_3 8.0
区组 IV	A_1B_2 12.0	A_1B_1 14.0	A_2B_3 16.0	A_1B_3 9.0	A_3B_2 8.0	A_2B_2 14.0	A_2B_1 11.0	A_3B_1 17.0	A_3B_3 7.0
处理	区组 I	区组 II	区组 III	区组 IV	总和 T_i	处理平均			
A_1B_1	17.0	15.0	13.0	14.0	59.0	14.8			
A_1B_2	11.0	14.0	13.0	12.0	50.0	12.5			
A_1B_3	12.0	8.0	8.0	9.0	37.0	9.3			
A_2B_1	19.0	13.0	11.0	11.0	54.0	13.5			
A_2B_2	20.0	19.0	13.0	14.0	66.0	16.5			
A_2B_3	17.0	16.0	18.0	16.0	67.0	16.8			
A_3B_1	19.0	18.0	16.0	17.0	70.0	17.5			
A_3B_2	10.0	8.0	10.0	8.0	36.0	9.0			
A_3B_3	9.0	8.0	7.0	7.0	31.0	7.8			
总和 T_r	134.0	119.0	109.0	108.0	$T=470.0$				



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

(1) 数据整理

②A因素和B因素的两向表

区组 I	A_1B_1 17.0	A_3B_1 19.0	A_1B_3 12.0	A_2B_2 20.0	A_3B_3 9.0	A_2B_3 17.0	A_2B_1 19.0	A_1B_2 11.0	A_3B_2 10.0
区组 II	A_3B_1 18.0	A_3B_3 8.0	A_1B_1 15.0	A_3B_2 8.0	A_1B_3 8.0	A_1B_2 14.0	A_2B_3 16.0	A_2B_1 13.0	A_2B_2 19.0
区组 III	A_2B_3 18.0	A_2B_2 13.0	A_3B_2 10.0	A_2B_1 11.0	A_1B_1 13.0	A_3B_1 16.0	A_1B_2 13.0	A_3B_3 7.0	A_1B_3 8.0
区组 IV	A_1B_2 12.0	A_1B_1 14.0	A_2B_3 16.0	A_1B_3 9.0	A_3B_2 8.0	A_2B_2 14.0	A_2B_1 11.0	A_3B_1 17.0	A_3B_3 7.0

表3 品种 (A) 和施肥 (B) 的两向表

	B_1	B_2	B_3	T_A	\bar{y}_A
A_1	59.0	50.0	37.0	146.0	12.2
A_2	54.0	66.0	67.0	187.0	15.6
A_3	70.0	36.0	31.0	137.0	11.4
T_B	183.0	152.0	135.0	$T=470$	
\bar{y}_B	15.3	12.7	11.3	$\bar{y} = 13.1$	



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

(2) 自由度和平方和的分解

处 理	区组 I	区组 II	区组 III	区组IV	总和 T_t
A_1B_1	17.0	15.0	13.0	14.0	59.0
A_1B_2	11.0	14.0	13.0	12.0	50.0
A_1B_3	12.0	8.0	8.0	9.0	37.0
A_2B_1	19.0	13.0	11.0	11.0	54.0
A_2B_2	20.0	19.0	13.0	14.0	66.0
A_2B_3	17.0	16.0	18.0	16.0	67.0
A_3B_1	19.0	18.0	16.0	17.0	70.0
A_3B_2	10.0	8.0	10.0	8.0	36.0
A_3B_3	9.0	8.0	7.0	7.0	31.0
总和 T_r	134.0	119.0	109.0	108.0	$T=470.0$

$$C = \frac{T^2}{abn} = \frac{470^2}{3 \times 3 \times 4} = 6136.11$$

$$SS_T = \sum_1^{abn} y^2 - C = 17.0^2 + 11.0^2 + \cdots + 7.0^2 - C = 549.89$$

$$df_T = abn - 1 = 35$$

(1) 区组和处理两向表:

$$SS_r = \frac{\sum T_r^2}{ab} - C = \frac{134.0^2 + 119.0^2 + 109.0^2 + 108.0^2}{9} - C = 48.56$$

$$SS_t = \frac{\sum T_t^2}{n} - C = \frac{59.0^2 + 50.0^2 + \cdots + 31.0^2}{4} - C = 430.89$$

$$SS_e = SS_T - SS_t - SS_r = 549.89 - 430.89 - 48.56 = 70.44$$

$$df_r = n - 1 = 3$$

$$df_t = ab - 1 = 8$$

$$df_e = (n - 1)(ab - 1) = 24$$



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

(2) 自由度和平方和的分解

	B_1	B_2	B_3	T_A	\bar{y}_A
A_1	59.0	50.0	37.0	146.0	12.2
A_2	54.0	66.0	67.0	187.0	15.6
A_3	70.0	36.0	31.0	137.0	11.4
T_B	183.0	152.0	135.0	$T=470$	
\bar{y}_B	15.3	12.7	11.3		

(2)品种 (A) 和施肥 (B) 的两向表

$$SS_A = \frac{\sum T_A^2}{bn} - C = \frac{146^2 + 187^2 + 137^2}{3 \times 4} - C = 118.39$$

$$SS_B = \frac{\sum T_B^2}{an} - C = \frac{183^2 + 152^2 + 135^2}{3 \times 4} - C = 98.72$$

$$SS_{AB} = SS_t - SS_A - SS_B = 430.89 - 118.39 - 98.72 = 213.78$$

$$df_A = a - 1 = 2$$

$$df_B = b - 1 = 2$$

$$df_{AB} = (a - 1)(b - 1) = 4$$



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



扬州大学
YANGZHOU UNIVERSITY

实例分析

(3) 方差分析和F测验

表4 玉米品种与施肥二因素试验的方差分析

变异来源	df	SS	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
区组间	3	48.56	16.19	5.51**	3.01	4.72
处理（组合）间	8	430.89	53.86	18.32**	2.36	3.36
品种（A）	2	118.39	59.20	20.14**	3.40	5.61
施肥（B）	2	98.72	49.36	16.79**	3.40	5.61
品种×施肥	4	213.78	53.45	18.18**	2.78	4.22
误差	24	70.44	2.94			
总变异	35	549.89				



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

(4) 多重比较

① 品种间(A) 比较 (LSD法)

$$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = \sqrt{\frac{2MS_e}{bn}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.94}{3 \times 4}} = 0.7$$

$$\nu = df_e = 24, \quad t_{0.05} = 2.064, \quad t_{0.01} = 2.797$$

$$LSD_{0.05} = t_{0.05} s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = 2.064 \times 0.7 = 1.445$$

$$LSD_{0.01} = t_{0.01} s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = 2.797 \times 0.7 = 1.958$$

表5 3个玉米品种的差异显著性(LSD法)

品 种	小区平均产量 $\bar{y}_A(\text{kg})$	差异显著性	
		5%	1%
A_2	15.6	a	A
A_1	12.2	b	B
A_3	11.4	b	B

品种 A_2 极显著优于 A_1 和 A_3 ，而品种 A_1 和 A_3 间则无显著差异。



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

(4) 多重比较

②施肥水平间 (B) 的比较 (LSD法)

$$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = \sqrt{\frac{2MS_e}{an}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.94}{3 \times 4}} = 0.7$$

$$\nu = df_e = 24, \quad t_{0.05} = 2.064, \quad t_{0.01} = 2.797$$

$$LSD_{0.05} = 2.064 \times 0.7 = 1.445$$

$$LSD_{0.01} = 2.797 \times 0.7 = 1.958$$

表6 3种施肥量间的差异显著性(LSD法)

施肥量	小区平均产量 $\bar{y}_B(\text{kg})$	差异显著性	
		5%	1%
B_1	15.3	a	A
B_2	12.7	b	B
B_3	11.3	b	B

3种施肥量中以 B_1 的平均产量最高，极显著优于 B_2 、 B_3 ， B_2 和 B_3 则无显著差异。



7.3.2 二因素随机区组试验设计的方差分析



实例分析

(4) 多重比较

③处理间的比较 (LSD法)

$$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = \sqrt{\frac{2MS_e}{n}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.94}{4}} = 1.212$$

$$\nu = df_e = 24, \quad t_{0.05} = 2.064, \quad t_{0.01} = 2.797$$

$$LSD_{0.05} = 2.064 \times 1.212 = 2.502$$

$$LSD_{0.01} = 2.797 \times 1.212 = 3.391$$

表7 处理间异显著性(LSD法)

处理组合	小区平均产量 \bar{y}_i (kg)	差异显著性	
		0.05	0.01
A_3B_1	17.5	a	A
A_2B_3	16.8	ab	AB
A_2B_2	16.5	ab	AB
A_1B_1	14.8	bc	ABC
A_2B_1	13.5	c	BC
A_1B_2	12.5	c	CD
A_1B_3	9.3	d	DE
A_3B_2	9.0	d	E
A_3B_3	7.8	d	E



第七章 常用试验设计及其方差分析



- 7.1 试验设计概述
- 7.2 常用试验设计方法
- 7.3 随机区组试验的方差分析
- 7.4 裂区试验的方差分析



7.4 裂区试验设计的方差分析

二裂式裂区试验设计的数据模式

- ◆ 有A和B两个试验因素，A因素为主处理，具 a 个水平，B因素为副处理，具 b 个水平，设有 n 个区组，则该试验共得 abn 个观察值
- ◆ 裂区试验和二因素随机区组试验在分析上的不同，在于前者有主区部分和副区部分，因而有主区部分误差(E_a)和副区部分误差(E_b)，分别用于测验主区处理以及副区处理和主、副互作的显著性。



7.4 裂区试验设计的方差分析



二裂式裂区试验的变异分解

表1 二裂式裂区试验自由度与平方和的分解

变异来源		df	平 方 和
主区 部分	区组	$n-1$	$SS_R = \Sigma T_R^2 / ab - C$
	A	$a-1$	$SS_A = \Sigma T_A^2 / bn - C$
	主区误差 E_a	$(n-1)(a-1)$	$SS_{E_a} = SS_{AR} - SS_R - SS_A$
	主区总变异	$na-1$	$SS_{AR} = \Sigma T_{AR}^2 / b - C$
副区 部分	B	$b-1$	$SS_B = \Sigma T_B^2 / an - C$
	A×B	$(a-1)(b-1)$	$SS_{AB} = SS_t - SS_A - SS_B$
	副区误差 E_b	$a(n-1)(b-1)$	$SS_{E_b} = SS_T - SS_{AR} - SS_B - SS_{AB}$
总 变 异		$nab-1$	$SS_T = \Sigma y^2 - C$



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

【例7-3-2】设有一小麦品种（ A ）和密度（ B ）试验，主处理为 A ，分 A_1 、 A_2 2个水平（ $a=2$ ），副处理为 B ，分 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 4个水平（ $b=4$ ），裂区设计，重复3次（ $n=3$ ），副区计产面积 25m^2 ，其田间排列和小区产量（ kg ）见下图，试作方差分析。

重 复 I				重 复 II				重 复 III			
A_1		A_2		A_2		A_1		A_1		A_2	
B2 18.73	B1 19.63	B4 16.25	B3 14.35	B4 15.92	B3 17.83	B2 18.25	B3 15.11	B4 16.34	B3 17.23	B1 16.38	B2 16.38
B3 16.48	B4 15.49	B1 16.63	B2 16.38	B2 17.94	B1 18.13	B4 13.38	B1 13.63	B2 18.36	B1 17.98	B3 15.70	B4 13.75

图1 小麦品种和密度裂区试验的田间排列和小区产量($\text{kg}/25\text{m}^2$)



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

(1) 数据整理

① 处理和区组两向分组

表2 区组和处理两向表

主处理 A	副处理B	区 组			处理总和 T_t	处理平均 数 \bar{y}_t
		I	II	III		
A_1	B_1	19.63	18.13	17.98	55.74	18.58
	B_2	18.73	17.94	18.36	55.03	18.34
	B_3	16.48	17.83	17.23	51.54	17.18
	B_4	15.49	15.92	16.34	47.75	15.92
A_2	B_1	16.63	13.63	16.38	46.64	15.54
	B_2	16.38	18.25	16.38	51.01	17.00
	B_3	14.35	15.11	15.70	45.16	15.05
	B_4	16.25	13.38	13.75	43.38	14.46
区组总和 T_R		133.94	130.19	132.12		$T=396.25$

② A因素和B因素两向分组

表3 A因素和B因素两向表

A因素	B因素				T_A	\bar{y}_A
	B_1	B_2	B_3	B_4		
A_1	55.74	55.03	51.54	47.75	210.06	17.51
A_2	46.64	51.01	45.16	43.38	186.19	15.51
T_B	102.38	106.04	96.70	91.13	$T=396.25$	
\bar{y}_B	17.06	17.67	16.12	15.19		



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

(1) 数据整理

③ 主处理A和区组两向分组

重 复 I				重 复 II				重 复 III			
A ₁		A ₂		A ₂		A ₁		A ₁		A ₂	
B ₂	B ₁	B ₄	B ₃	B ₄	B ₃	B ₂	B ₃	B ₄	B ₃	B ₁	B ₂
18.73	19.63	16.25	14.35	15.92	17.83	18.25	15.11	16.34	17.23	16.38	16.38
B ₃	B ₄	B ₁	B ₂	B ₂	B ₁	B ₄	B ₁	B ₂	B ₁	B ₃	B ₄
16.48	15.49	16.63	16.38	17.94	18.13	13.38	13.63	18.36	17.98	15.70	13.75

表4 A因素和区组两向表

主处理A	区 组			T_A
	I	II	III	
A ₁	70.33	69.82	69.91	210.06
A ₂	63.61	60.37	62.21	186.19
区组总和 T_R	133.94	130.19	132.12	$T=396.25$



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

(2) 自由度和平方和的分解

$$C = \frac{T^2}{abn} = \frac{396.25^2}{2 \times 4 \times 3} = 6542.25$$

$$SS_T = \sum y^2 - C = 19.63^2 + 18.13^2 + \cdots + 13.75^2 - C = 64.75$$

$$df_T = abn - 1 = 2 \times 4 \times 3 - 1 = 23$$

(1) 区组和处理两向表:

$$SS_R = \frac{\sum T_R^2}{ab} - C = \frac{133.94^2 + 130.19^2 + 132.12^2}{8} - C = 0.88$$

$$SS_t = \frac{\sum T_t^2}{n} - C = \frac{55.74^2 + 55.03^2 + \cdots + 43.38^2}{3} - C = 47.83$$

$$SS_E = SS_T - SS_t - SS_R = 64.75 - 47.83 - 0.88 = 16.04$$

A	B	区 组			T_t
		I	II	III	
A ₁	B ₁	19.63	18.13	17.98	55.74
	B ₂	18.73	17.94	18.36	55.03
	B ₃	16.48	17.83	17.23	51.54
	B ₄	15.49	15.92	16.34	47.75
A ₂	B ₁	16.63	13.63	16.38	46.64
	B ₂	16.38	18.25	16.38	51.01
	B ₃	14.35	15.11	15.70	45.16
	B ₄	16.25	13.38	13.75	43.38
T_R		133.94	130.19	132.12	396.25

$$df_R = n - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$df_t = ab - 1 = 2 \times 4 - 1 = 7$$

$$df_e = 2 \times 7 = 14$$



7.4 裂区试验设计的方差分析



实例分析

(2) 自由度和平方和的分解

(2)A因素和B因素两向表:

$$SS_A = \frac{\sum T_A^2}{bn} - C = \frac{210.06^2 + 186.19^2}{4 \times 3} - C = 23.74$$

$$SS_B = \frac{\sum T_B^2}{an} - C = \frac{102.38^2 + 106.04^2 + 96.7^2 + 91.13^2}{2 \times 3} - C = 21.37$$

$$SS_{AB} = SS_t - SS_A - SS_B = 47.83 - 23.74 - 21.37 = 2.72$$

$$df_A = a - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$df_B = b - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$df_{AB} = (a - 1)(b - 1) = (2 - 1)(4 - 1) = 3$$

A因素	B因素				T_A
	B_1	B_2	B_3	B_4	
A_1	55.74	55.03	51.54	47.75	210.06
A_2	46.64	51.01	45.16	43.38	186.19
T_B	102.38	106.04	96.70	91.13	$T=396.25$



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

(2) 自由度和平方和的分解

(3) A因素和区组两向表:

$$SS_{AR} = \frac{\sum T_{AR}^2}{b} - C = \frac{70.33^2 + 69.82^2 + \dots + 62.21^2}{4} - C = 25.10$$

$$SS_{E_a} = SS_{AR} - SS_R - SS_A = 25.10 - 0.88 - 23.74 = 0.48$$

$$SS_{E_b} = SS_E - SS_{E_a} = 16.04 - 0.48 = 15.56$$

$$df_{AR} = an - 1 = 2 \times 3 - 1 = 5$$

$$df_{E_a} = df_{AR} - df_A - df_R = 5 - 1 - 2 = 2$$

$$df_{E_b} = df_E - df_{E_a} = a(n-1)(b-1) = 12$$

主处理A	区 组			T_A
	I	II	III	
A_1	70.33	69.82	69.91	210.06
A_2	63.61	60.37	62.21	186.19
区组总 和 T_R	133.94	130.19	132.12	396.25



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

(3) 方差分析和 F 测验

表5 小麦品种和密度裂区试验的方差分析

变异来源		df	SS	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
主区部分	区组	2	0.88	0.44			
	A	1	23.74	23.74	98.92**	18.50	98.50
	E_a	2	0.48	0.24			
副区部分	B	3	21.37	7.12	5.48*	3.49	5.95
	$A \times B$	3	2.72	0.91	0.7	3.49	5.95
	E_b	12	15.56	1.30			
总 变 异		23	64.75				

A 因素（小麦品种）的 $F > F_{0.01,1,2}$ ，表明小麦品种间有极显著差异； B 因素（密度）的 $F > F_{0.05,3,12}$ ，表明密度间也存在显著差异；品种与密度互作（ $A \times B$ ） $F < F_{0.05,3,12}$ ，说明品种与密度的交互作用间的差异不显著。



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

(4) 多重比较

①品种间比较 (LSD法)

$$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = \sqrt{\frac{2MS_{E_a}}{bn}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.24}{4 \times 3}} = 0.2$$

$$\nu = df_{E_a} = 2, \quad t_{0.05} = 4.303, \quad t_{0.01} = 9.925$$

$$LSD_{0.05} = 4.303 \times 0.2 = 0.861$$

$$LSD_{0.01} = 9.925 \times 0.2 = 1.985$$

表6 两种品种间平均产量的差异显著性 (LSD法)

品种	平均产量	5%	1%
A ₁	17.51	a	A
A ₂	15.51	b	B



7.4 裂区试验设计的方差分析

实例分析

(4) 多重比较

② 不同密度间比较 (LSD法)

$$s_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = \sqrt{\frac{2MS_{E_b}}{an}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.3}{2 \times 3}} = 0.66$$

$$\nu = df_{E_b} = 12, \quad t_{0.05} = 2.179, \quad t_{0.01} = 3.055$$

$$LSD_{0.05} = 2.179 \times 0.66 = 1.434$$

$$LSD_{0.01} = 3.055 \times 0.66 = 2.011$$

表7不同密度间小区平均产量的差异显著性 (LSD法)

密度	平均产量 (kg)	差异显著性	
		0.05	0.01
B_2	17.67	a	A
B_1	17.06	ab	AB
B_3	16.12	bc	AB
B_4	15.19	c	B