

本章内容

- R中基本的实验设计建模
- 拟合并解释方差分析模型
- 检验模型假设

第7章中，我们已经看到了通过量化的预测变量来预测量化的响应变量的回归模型。但这并不是说我们不能将名义型或有序型因子作为预测变量进行建模。当包含的因子是解释变量时，我们关注的重点通常会从预测转向组别差异的分析，这种分析法称作方差分析(ANOVA)。ANOVA在各种实验和准实验设计的分析中都有广泛应用。本章将介绍用于常见研究设计分析的R函数。

首先我们将回顾实验设计中的术语，随后讨论R拟合ANOVA模型的方法，然后再通过示例对常见的实验设计分析进行阐释。在这些示例中，你将遇到许多有趣的实验，比如治疗焦虑症、降低胆固醇水平、帮助怀孕小鼠生下胖宝宝、确保豚鼠的牙齿长长、促进植物呼吸、学习如何摆放货架等。

对于这些例子，除了R中的基础包，你还需加载`car`、`gplots`、`HH`、`rrcov`和`mvoutlier`包。运行后面的代码示例时，请确保已安装以上这些包。

9.1 术语速成

实验设计和方差分析都有自己相应的语言。在讨论实验设计分析前，我们先快速回顾一些重要的术语，并通过对一系列复杂度逐步增加的实验设计的学习，引入模型最核心的思想。

以焦虑症治疗为例，现有两种治疗方案：认知行为疗法(CBT)和眼动脱敏再加工法(EMDR)。我们招募10个焦虑症患者作为志愿者，随机分配一半的人接受为期五周的CBT，另外一半接受为期五周的EMDR，设计方案如表9-1所示。在治疗结束时，要求每个患者都填写状态特质焦虑问卷(STAI)，也就是一份焦虑度测量的自我评测报告。

表9-1 单因素组间方差分析

治疗方案	
CBT	EMDR
s1	s6
s2	s7
s3	s8
s4	s9
s5	s10

在这个实验设计中，治疗方案（treatment）是两水平（CBT、EMDR）的组间因子，之所以称作组间因子是因为每个患者都仅被分配到一个组别中，没有患者同时接受CBT和EMDR。表中字母s代表受试者（患者），STAI是因变量，治疗方案是自变量。由于在每种治疗方案下观测数相等，因此这种设计也称为均衡设计（balanced design）；若观测数不同，则称作非均衡设计（unbalanced design）。

因为仅有一个类别型变量，表9-1的统计设计又称为单因素方差分析（one-way ANOVA），或进一步称为单因素组间方差分析。方差分析主要通过F检验来进行效果评测，若治疗方案的F检验显著，则说明五个星期后两种疗法的STAI得分均值不同。

假设你只对CBT的效果感兴趣，则需将10个患者都放在CBT组中，然后在治疗五周和六个月后分别评价疗效，设计方案如表9-2所示。

表9-2 单因素组内方差分析

患 者	时 间	
	5周	6个月
s1		
s2		
s3		
s4		
s5		
s6		
s7		
s8		
s9		
s10		

此时，时间（time）是两水平（五周、六个月）的组内因子。因为每个患者在所有水平下都进行了测量，因此这种统计设计称单因素组内方差分析；又由于每个受试者都不止一次被测量，也称作重复测量方差分析。当时间的F检验显著时，说明患者的STAI得分均值在五周和六个月间发生了改变。

现假设你对治疗方案差异和它随时间的改变都感兴趣，则将两个设计结合起来即可：随机分配五个患者到CBT，另外五个到EMDR，在五周和六个月后分别评价他们的STAI结果（见表9-3）。

表9-3 含组间和组内因子的双因素方差分析

		患 者	时 间	
			5周	6个月
疗法	CBT	s1		
		s2		
		s3		
		s4		
		s5		
	EMDR	s6		
		s7		
		s8		
		s9		
		s10		

疗法 (therapy) 和时间 (time) 都作为因子时, 我们既可分析疗法的影响 (时间跨度上的平均) 和时间的影响 (疗法类型跨度上的平均), 又可分析疗法和时间的交互影响。前两个称作主效应, 交互部分称作交互效应。

当设计包含两个甚至更多的因子时, 便是因素方差分析设计, 比如两因子时称作双因素方差分析, 三因子时称作三因素方差分析, 以此类推。若因子设计包括组内和组间因子, 又称作混合模型方差分析, 当前的例子就是典型的双因素混合模型方差分析。

本例中, 你将做三次F检验: 疗法因素一次, 时间因素一次, 两者交互因素一次。若疗法结果显著, 说明CBT和EMDR对焦虑症的治疗效果不同; 若时间结果显著, 说明焦虑度从五周到六个月发生了变化; 若两者交互效应显著, 说明两种疗法随着时间变化对焦虑症治疗影响不同 (也就是说, 焦虑度从五周到六个月的改变程度在两种疗法间是不同的)。

现在, 我们对上面的实验设计稍微做些扩展。众所周知, 抑郁症对病症治疗有影响, 而且抑郁症和焦虑症常常同时出现。即使受试者被随机分配到不同的治疗方案中, 在研究开始时, 两组疗法中的患者抑郁水平就可能不同, 任何治疗后的差异都有可能是最初的抑郁水平不同导致的, 而不是由于实验的操作问题。抑郁症也可以解释因变量的组间差异, 因此它常称为混淆因素 (confounding factor)。由于你对抑郁症不感兴趣, 它也被称作干扰变数 (nuisance variable)。

假设招募患者时使用抑郁症的自我评测报告, 比如白氏抑郁量表 (BDI), 记录了他们的抑郁水平, 那么你可以在评测疗法类型的影响前, 对任何抑郁水平的组间差异进行统计性调整。本案例中, BDI为协变量, 该设计为协方差分析 (ANCOVA)。

以上设计只记录了单个因变量情况 (STAI), 为增强研究的有效性, 可以对焦虑症进行其他的测量 (比如家庭评分、医师评分, 以及焦虑症对日常行为的影响评价)。当因变量不止一个时, 设计被称作多元方差分析 (MANOVA), 若协变量也存在, 那么就叫多元协方差分析 (MANCOVA)。

学习进行到现在, 你已经掌握了基本的方差分析术语。此时, 应该可以让朋友们大开眼界, 并和他们讨论如何使用R拟合ANOVA/ANCOVA/MANOVA模型了。