

有中介的调节模型检验方法：甄别和整合*

叶宝娟¹ 温忠麟²

(¹ 江西师范大学心理学院, 南昌 330022) (² 华南师范大学心理应用研究中心, 广州 510631)

摘要 在心理和教育研究中, 经常遇到调节和中介效应。模型包含不止 3 个变量时, 可能同时包含调节和中介变量, 一种常见的模型是有中介的调节模型。本文评介了文献上可以找到的五种检验有中介的调节模型的方法, 逐一甄别, 指出其中一些不合理之处, 并推荐较好的方法。整合其中主要方法, 总结出检验有中介的调节模型的流程, 用偏差校正的百分位 Bootstrap 法或马尔科夫链蒙特卡罗法检验其中的中介效应, 并用一个实际例子演示如何用此流程检验有中介的调节模型。

关键词 调节; 中介; 有中介的调节; Bootstrap 法; MCMC 法

分类号 B841

1 引言

在心理和行为研究中, 经常遇到调节(moderation)和中介(mediation)效应。如果自变量 X 与因变量 Y 的关系受到第三个变量 U 的作用, 此时 U 是调节变量, 影响 X 和 Y 之间关系的方向(正或负)和强弱, 比如“感觉寻求”与“青少年烟酒使用”的关系, 受到“(压力性)生活事件”的影响, 当生活事件较少时, 感觉寻求与烟酒使用相关不显著; 当生活事件较多时, 感觉寻求与烟酒使用呈显著正相关。调节效应分析的目的是探究 X 何时影响 Y 或何时影响较大(Baron & Kenny, 1986; Muller, Judd, & Yzerbyt, 2005)。如果自变量 X 通过影响第三个变量 W 来影响因变量 Y , 此时 W 是中介变量, 代表的是一种机制, X 通过它影响 Y , 比如“家庭社会经济地位”影响“家庭功能”, 进而影响“青少年疏离感”。中介效应分析的目的是探究 X 如何影响 Y (Baron & Kenny, 1986; MacKinnon, 2008; Muller et al., 2005; Yuan & MacKinnon, 2009)。如果一个模型包含不止 3 个变量, 可能同时包含调节变量和中介变量, 这些变量在模型中的位置和作用不同会产生不同的

模型, 有中介的调节模型(mediated moderator model)就是同时包含调节变量和中介变量的一种常见模型。有中介的调节模型意味着自变量对因变量的效应受到调节变量的影响, 而调节效应(至少部分地)通过中介变量而起作用(Baron & Kenny, 1986; 温忠麟, 刘红云, 侯杰泰, 2012; 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 2006)。

文献上出现了多种检验有中介的调节模型的方法, 但有的检验方法其实并没有真的检验到有中介的调节效应, 错误解读了统计结果; 而有时候, 调节效应是有中介的, 但现有检验方法却没有考虑进去。因此, 有必要对文献上已有的检验有中介的调节模型的方法或步骤进行梳理, 去伪存真, 推荐好的方法, 这是本文的基本工作。在此基础上, 借鉴温忠麟、张雷、侯杰泰和刘红云(2004)提出的中介效应检验程序, 总结出检验有中介的调节模型的流程, 并将检验中介效应的 Sobel 检验改用偏差校正的百分位 Bootstrap 法(一种非参数方法)或马尔科夫链蒙特卡罗(MCMC)法(一种贝叶斯方法), 用一个实际例子演示如何用本文总结的流程检验有中介的调节模型。

收稿日期: 2012-08-29

* 国家自然科学基金(31271116)、教育部人文社会科学重点研究基地项目(11JJD190005)、教育部人文社会科学研究青年基金项目(13YJC190029)和江西师范大学青年英才培育资助计划资助。

通讯作者: 温忠麟, E-mail: wenzl@scnu.edu.cn

2 有中介的调节模型检验方法

2.1 方法一——依次检验

设要研究青少年感觉寻求(X)对烟酒使用(Y)的影响。以往的研究发现, 生活事件(U)是调节变量, 结交不良同伴(W)是中介变量(叶宝娟, 李董平, 陈启山, 王艳辉, 2011)。 UX 是调节效应项, 如果它影响 W , 而 W 影响 Y , 说明调节效应(至少部分地)通过中介变量 W 而起作用(见图 1), 称这样的调节效应是有中介的调节效应(温忠麟等, 2012; 温忠麟等, 2006)。以依次检验为例, 有中介的调节模型检验步骤为:

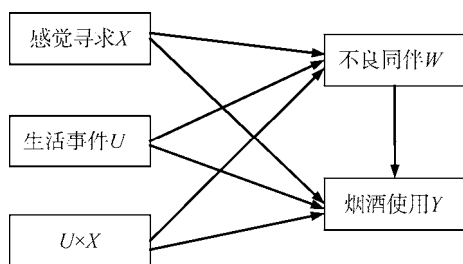


图 1 有中介的调节模型

(1) 做 Y 对 X , U 和 UX 的回归

$$Y = c_0 + c_1X + c_2U + c_3UX + e_1 \quad (1)$$

UX 的系数 c_3 显著(即 U 对 Y 与 X 关系的调节效应显著)。接下来要检验 UX 会通过中介变量 W 对因变量 Y 产生影响。

(2) 做 W 对 X , U 和 UX 的回归

$$W = a_0 + a_1X + a_2U + a_3UX + e_2 \quad (2)$$

UX 的系数 a_3 显著。

(3) 做 Y 对 X , U , UX 和 W 的回归

$$Y = c'_0 + c'_1X + c'_2U + c'_3UX + b_1W + e_3 \quad (3)$$

W 的系数 b_1 显著。至此说明 UX 通过中介变量 W 对因变量 Y 产生影响。此时, 间接的调节效应(即通过中介变量的调节效应)等于 a_3b_1 , 直接的调节效应等于 c'_3 。如果在第 3 步中, UX 的系数 c'_3 不显著, 则 U 的调节效应完全通过中介变量 W 而起作用。目前, 国内学者多采用这种方法检验有中介的调节模型(例如, 楼尊, 2010; 孟慧, 宋继文, 孙志强, 王崴, 2011; 苏少冰, 黄桢炜, 张锦涛, 林丹华, 2011)。

用这种方法检验的中介效应的第一类错误率较低($p \leq 0.05$), 统计功效也较低, 即中介效应实际存在, 但容易得出中介效应不显著的结论(MacKinnon, Lockwood, Hoffman, West, & Sheets,

2002; 温忠麟等, 2012; 温忠麟等, 2004)。

2.2 方法二——混合模型的依次检验

检验有中介的调节也可以从混合模型入手(温忠麟等, 2012; 温忠麟等, 2006)。对于图 2 的混合模型, Muller 等(2005)提出了一个分析有中介的调节模型检验方法。做下面三个回归分析:

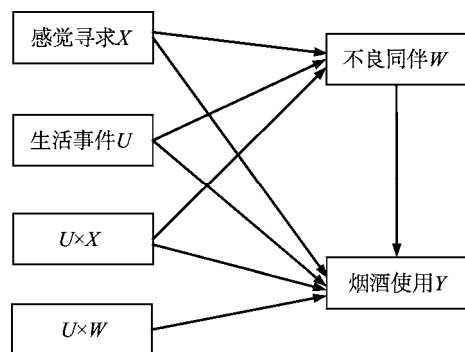


图 2 混合模型

(1) 做 Y 对 X , U 和 UX 的回归

$$Y = c_0 + c_1X + c_2U + c_3UX + e_1 \quad (4)$$

(2) 做 W 对 X , U 和 UX 的回归

$$W = a_0 + a_1X + a_2U + a_3UX + e_2 \quad (5)$$

(3) 做 Y 对 X , U , UX , W 和 UXW 的回归

$$Y = c'_0 + c'_1X + c'_2U + c'_3UX + b_1W + b_2UXW + e_3 \quad (6)$$

Muller 等(2005)推导出

$$c_3 - c'_3 = b_1a_3 + b_2a_1 \quad (7)$$

他们认为, 对有中介的调节模型, 首先 $c_3 \neq 0$ (说明有调节效应), 其次, 如果调节效应有中介, c'_3 应该小于 c_3 。在这种情况下, 公式(7)的右边就是经过中介而起作用的调节效应大小, b_1a_3 和 b_2a_1 至少有一个不等于零。这意味着, 变量 U 调节自变量 X 对中介变量 W 的效应($a_3 \neq 0$, 并且 $b_1 \neq 0$), 和(或)变量 U 调节中介变量 W 对因变量 Y 的效应($b_2 \neq 0$, 并且 $a_1 \neq 0$)。这样, 只要检验结果是, (i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_3 \neq 0$ 且 $b_1 \neq 0$, 和(或) (i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$, 则调节效应是有中介的。

下面我们分析一下, 这样的检验方法要注意什么问题。如果检验结果是: (i) $c_3 \neq 0$ (图 3a), (ii) $a_3 \neq 0$ 且 $b_1 \neq 0$ (图 3b), 则混合模型中的调节效应是有中介的, 调节项 UX 通过影响中介变量 W , 进而影响因变量 Y 。此时, 经过中介的间接调节效应等于 a_3b_1 , 直接调节效应等于 c'_3 (见温忠麟等, 2012, p95)。但是, 如果检验结果是: (i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$ (图 3c), 应当如何解释调节效应

是有中介的呢?若 a_3 等于0,由方程(5)可知, UX 不影响 W ,但 X 影响 W ($a_1 \neq 0$),而 U 调节中介变量 W 对因变量 Y 的效应($b_2 \neq 0$),说明 $X \rightarrow W \rightarrow Y$ 关系的后半路径受到了 U 的调节,结果是 U 间接调节了 X 对 Y 的效应。从这个意义上可以说,混合模型中的调节效应是有中介的。不过,这种情形解释结果的时候和前一种情形(即(i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_3 \neq 0$ 且 $b_1 \neq 0$)是不一样的。前者说明调节是如何起作用的,后者则说明调节为何会存在。Muller等人(2005)的文章中有中介的调节模型的例子就是后一种情形(即(i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$),但解释结果的时候却按前一种情形进行,结果是在讨论部分难以解释到“有中介的调节”,说来说去与研究立意还是不吻合,这样的情况文献上不难找到(例如, Horcajo, Petty, & Briñol, 2010)。

Muller等(2005)在得出检验方法时,纯粹从公式(7)出发进行推论。当 $c_3 \neq 0$ 时,除了检验到“(i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_3 \neq 0$ 且 $b_1 \neq 0$ ”可以判断调节效应有中介外,还有一种情况也能检验到混合模型存在有中介的调节效应。将方程(6)变形为

$$Y = c'_0 + c'_1X + c'_2U + c'_3UX + b_1W + b_2UW + e_3 \\ = c'_0 + c'_1X + c'_2U + c'_3UX + (b_1 + b_2U)W + e_3 \quad (8)$$

从公式(8)可以看出, $b_1 + b_2U$ 中的任一个系数(b_1 或 b_2)显著,中介变量对 Y 的效应显著,因此,如果检验结果是:(i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_3 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$ (图3d),则

混合模型也是有中介的调节模型。此时,模型中有两个调节效应,一是自变量 X 对中介变量 W 的影响受到变量 U 的调节,二是中介变量 W 对因变量 Y 的影响也受到变量 U 的调节。总的来说就是, X 对 Y 的调节效应(至少部分地)通过中介变量 W 而起作用。

综上所述,如果公式(4)、(5)和(6)的检验结果是, (i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_3 \neq 0$, (iii) $b_1 \neq 0$ 或 $b_2 \neq 0$,则混合模型是有中介的调节模型。用这种方法检验的中介效应的第一类错误率较低($p \leq 0.05$),统计功效也较低(MacKinnon et al., 2002; 温忠麟等, 2004; 温忠麟等, 2012)。如果检验结果是(i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_3 = 0$, (iii) $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$,在解释“有中介的调节”时,最好不要说 X 对 Y 的调节效应如何通过中介 W 而起作用,而是说明调节效应为何会存在,即 U 通过调节 W 对 Y 的效应,从而间接调节了 X 对 Y 的效应。

2.3 方法三——直接检验中介效应

Fairchild和MacKinnon(2009)仿照Sobel(1982)中介效应检验方法,基于方程(4)、(5)和(6)(也就是混合模型)给出了一种检验有中介的调节模型的方法,检验 a_3b_1 是否显著,即检验

$$H_0: a_3b_1 = 0 \quad (9)$$

a_3b_1 的标准误近似为

$$S_{a_3b_1} = \sqrt{S_{a_3}^2 b_1^2 + S_{b_1}^2 a_3^2} \quad (10)$$

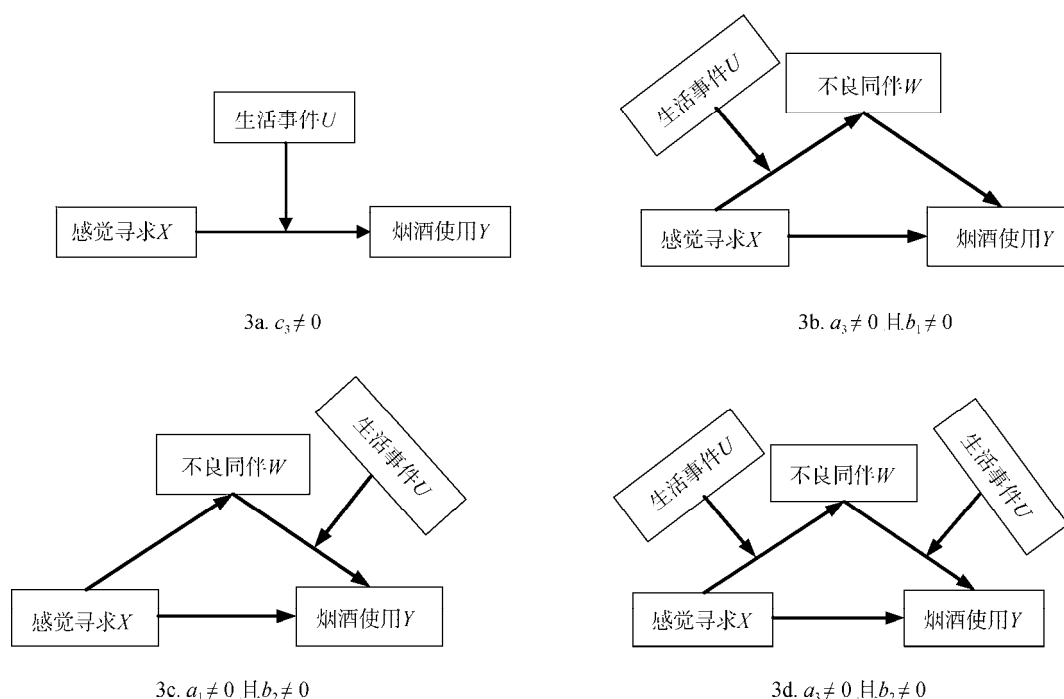


图3 Muller等(2005)检验方法及其完善

检验统计量是 $z = \hat{a}_3 \hat{b}_1 / S_{\hat{a}_3 \hat{b}_1}$, 如果拒绝原假设, 则模型是有中介的调节模型。

此法的不足之处有两点: (1)在未先确定调节效应存在的情况下, 就检验自变量与调节变量的交互项是否通过中介变量影响因变量。就算检验结果是显著的, 解释起来也困难; (2)即使 \hat{a}_3 和 \hat{b}_1 都是正态分布, $\hat{a}_3 \hat{b}_1$ 也是偏态分布, 并且分布的峰值会随中介效应值 $\hat{a}_3 \hat{b}_1$ 的变化而变化 (Cheung & Lau, 2008; Hayes, 2009; MacKinnon, 2008; MacKinnon, Lockwood, & Williams, 2004), 因而基于正态理论的 Sobel 检验统计量不够准确。新近的研究发现, 用偏差校正的百分位 Bootstrap 法或者有先验信息的时候使用 MCMC 法构造置信区间(confidence interval)进行检验优于 Sobel 方法, 并且区间宽度给出了中介效应大小变异的信息 (方杰, 张敏强, 2012; MacKinnon, 2008; MacKinnon et al., 2004)。

这样, 直接检验中介效应的方法可以改进如下: 如果(i) $c_3 \neq 0$, (ii) $a_3 b_1$ 的置信区间不包含 0, 则模型是有中介的调节模型。用这种方法检验的中介效应的第一类错误率较小, 统计功效中等 (MacKinnon et al., 2002; 温忠麟等, 2004; 温忠麟等, 2012)。

2.4 方法四——检验总效应和直接效应的差异

Fairchild 和 MacKinnon (2009)仿照 Freedman 和 Schatzkin (1992)中介效应检验方法, 基于方程 (4)、(5)和(6)给出了另一种检验有中介的调节模型的方法, 检验 $c_3 - c'_3$ 是否显著, 即检验

$$H_0: c_3 - c'_3 = 0 \quad (11)$$

$c_3 - c'_3$ 的标准误为

$$S_{c_3 - c'_3} = \sqrt{S_{c_3}^2 + S_{c'_3}^2 - 2S_{c_3}^2 S_{c'_3}^2} \quad (12)$$

检验统计量是 $t = (\hat{c}_3 - \hat{c}'_3) / S_{\hat{c}_3 - \hat{c}'_3}$, 如果拒绝原假设, 则模型是有中介的调节模型。和方法三一样, 方法四在未先确定调节效应存在的情况下, 就检验自变量与调节变量的交互项是否通过中介变量影响因

变量。而且, 用这种方法检验的中介效应的第一类错误率较大 (MacKinnon et al., 2002; 温忠麟等, 2004; 温忠麟等, 2012), 不宜推荐。

2.5 方法五——以基本中介模型为基础的检验

Edwards 和 Lambert (2007)提出了两种有中介的调节模型, 以基本中介模型(basic mediated model)为基础 (图 4a), 加入调节变量。第一种模型是, 在基本中介模型的间接效应的前半路径 ($X \rightarrow W$ 的路径)加入调节变量 U (图 4b)。第二种模型是, 在基本中介模型的间接效应的前半路径 ($X \rightarrow W$ 的路径)和直接效应路径 ($X \rightarrow Y$)上都加入调节变量 U (见图 4c)。分析一下不难发现, 按他们的建模顺序, 检验的其实是有调节的中介模型 (Muller et al., 2005; 温忠麟等, 2012)。第一种模型中, 调节变量 U 调节的是中介过程 $X \rightarrow W \rightarrow Y$ 的前半路径; 第二种模型中, 调节变量 U 不仅调节了中介过程 $X \rightarrow W \rightarrow Y$ 的前半路径, 而且调节了直接效应 $X \rightarrow Y$ 。就是说, 不是他们的模型有什么问题, 而是其分析的思路是先看中介后看调节, 其实是检验了有调节的中介模型, 而非有中介的调节模型, 比较图 4a 和图 3a 很容易看出这一点。因此, 我们不推荐用 Edwards 和 Lambert (2007)提出的方法检验有中介的调节模型。

诚然, 正如温忠麟等人 (2012, pp 90-92)指出的那样, 如果画出路径图或者示意图, 有中介的调节模型和有调节的中介模型可以是一模一样的 (例如, 图 4b 和图 3b 相同), 不同的是看问题的视角和检验步骤。拿 Muller 等人 (2005)的话来说就是, 这是同一个硬币的两面。如果按方法一进行检验, 图 4b 正好可以用来作为“调节效应完全通过中介变量而起作用” (完全中介)的一个示意图, 而图 4c 正好可以用来作为“调节效应部分通过中介变量而起作用” (部分中介)的一个示意图。但同样的示意图, 检验步骤不同, 重心就不同了。

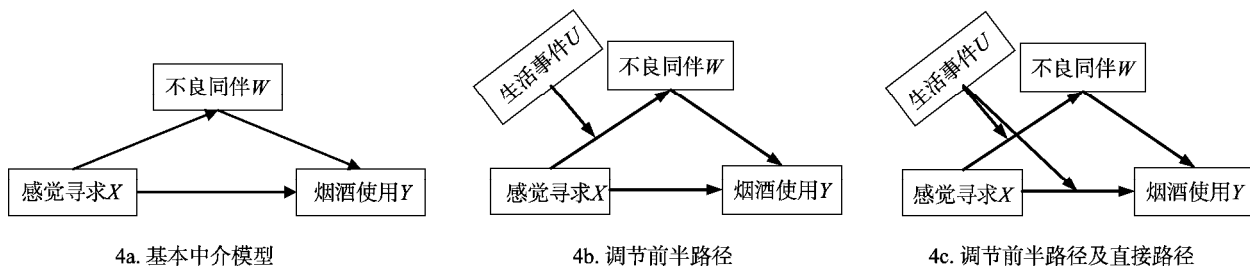


图 4 以基本中介模型为基础的检验

3 有中介的调节效应检验小结

前面介绍了文献中出现的五种检验有中介的调节模型的方法,和中介模型检验的方法类似,有中介的调节模型的检验方法实质上有三类:依次检验、直接检验中介效应($H_0: a_3b_1 = 0$)、检验总效应和直接效应的差异($H_0: c_3 - c'_3 = 0$)。方法一显然是依次检验;方法二则是混合模型的依次检验;方法三和方法四分属后面两类,而方法五不过是方法一的另一面(其实是检验到有调节的中介了)。

为了使有中介的调节模型中的中介效应检验的第一类错误率和第二类错误率都较小,既可以检验模型中的部分中介效应,也可以检验模型中的完全中介效应,并且还比较容易实施,借鉴温忠麟等(2004)提出的中介效应检验程序,对于混合模型(图2),我们提出一个检验有中介的调节效应的程序如下(见图5)。

1. 检验方程(4)的回归系数 c_3 , 如果显著,继续下面的步骤。否则,停止分析。
2. 检验方程(5)的回归系数 a_1 和 a_3 , 以及方程(6)的回归系数 b_1 和 b_2 , 如果 a_3 和 b_1 显著,或者 a_3 和 b_2 显著,则 UX 对 Y 的影响至少有一部分通过中介变量 W 实现。如果 a_1 和 b_2 显著,则 U 通过调节 W 对 Y 的效应,间接调节了 X 对 Y 的效应。如果三种情形无一成立,转到步骤4。
3. 检验系数 c'_3 , 如果不显著,说明调节效应

有完全中介;如果显著,说明调节效应有部分中介。检验结束。

4. 分别计算 a_3b_1 、 a_3b_2 和 a_1b_2 的置信区间,如果其中有一个置信区间不包含0,意味着 W 的中介效应显著,转到步骤3;否则中介效应不显著。检验结束。

说明一下,先做依次检验,是为了使用 SPSS 或者 LISREL 就解决多数问题。使用 Mplus 时可以跳过依次检验,直接检验系数乘积。在计算诸如 a_3b_1 的置信区间时,如果没有先验信息,使用偏差校正的百分位 Bootstrap 法;如果有先验信息,使用 MCMC 法(方杰,张敏强,2012)。虽然这两种方法比较复杂(方杰,张敏强,2012;Preacher & Hayes, 2008; Taylor, MacKinnon, & Tein, 2008; 温忠麟等, 2012; Yuan & MacKinnon, 2009),但在 Mplus 中只需要添加几个额外参数就很容易得到中介效应的置信区间(见后面例子)。

当检验结果是有中介的调节模型成立,如何计算经过中介变量的间接调节效应量的大小呢?最简单的方法就是计算 $c - c'$ 。对于图1所示的有中介的调节模型,检验步骤类似但比较简单一些,使用方程(1)–(3),不涉及 b_2 的检验,即只检验系数 a_3 和 b_1 ,如果模型成立,则间接的调节效应等于 a_3b_1 (温忠麟等,2012)。对于潜变量,根据图5的检验步骤,对图2的混合模型可以建立两个模型进行检验。首先,建立模型1(如图6)检验调节变量(生活

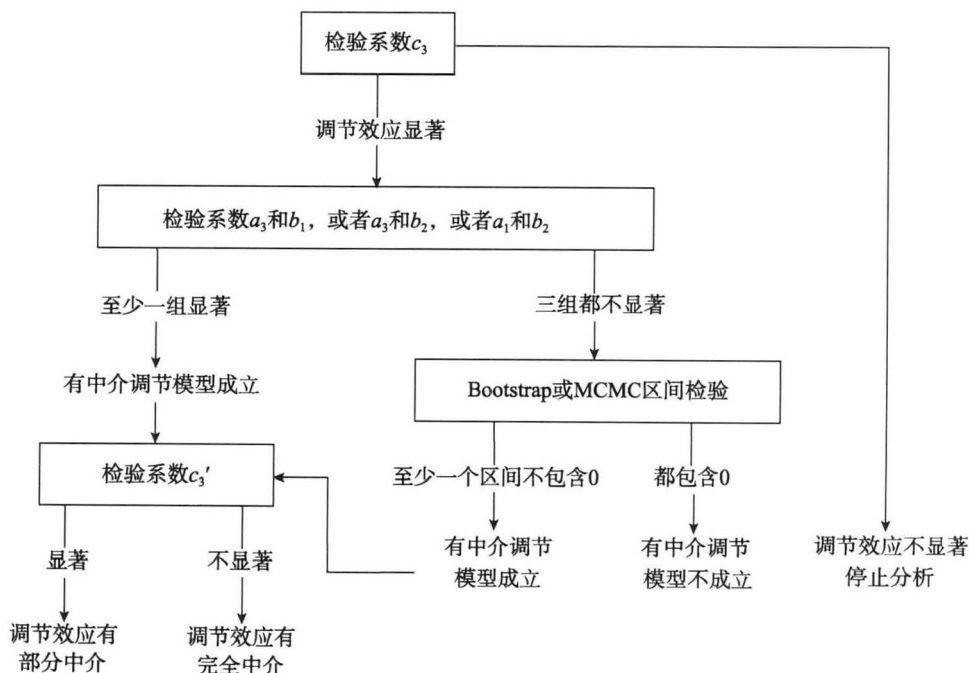


图5 有中介的调节模型检验程序

事件)的调节效应。如果调节效应显著, 建立模型 2(如图 7)检验中介变量(结交不良同伴)的中介效应。

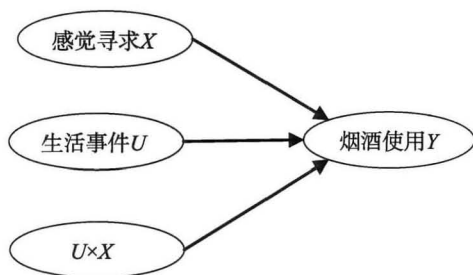


图 6 调节效应模型

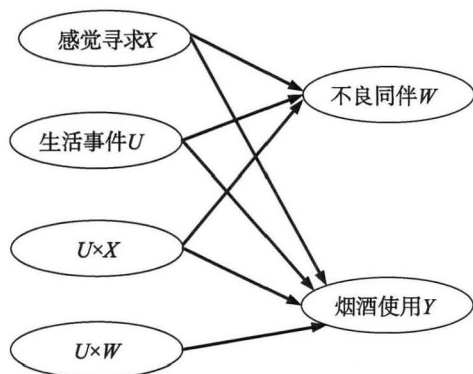


图 7 有中介的调节效应模型

4 示例

接下来用一个实际例子演示如何用图 5 的流程检验有中介的调节模型。本例感兴趣的是生活事件(调节变量 U)是否调节了感觉寻求(自变量 X)与烟酒使用(因变量 Y)的关系, 这种调节效应是否以结交不良同伴为中介变量(W), 及生活事件(U)是否调节了结交不良同伴(W)与烟酒使用(因变量 Y)的关系, 模型如图 2 所示。本次研究共有四所初级中学的 525 名青少年参与调查, 其中女生 269 人, 男生 256 人, 平均年龄 14.25 岁($SD=0.89$)。有关测量工具、模型假设成立条件的评估等具体细节参见叶宝娟等(2011)的研究。但本实例数据与叶宝娟等(2011)研究中使用的数据不同, 这里只作本文的建模示例, 不涉及实证研究的问卷信度等其他议题。将 Y 、 W 、 X 和 U 标准化变成 Z 分数, 然后将相应的 Z 分数相乘产生交互作用项 UX 和 UW 的分数(但 UX 和 UW 不是标准化变量)。变量间的协方差矩阵见附录 1。用路径分析建模检验。

根据图 5 的程序, 先检验生活事件(U)的调节

作用。建立感觉寻求(X)、生活事件(U)及其交互项(UX)与烟酒使用(Y)的关系模型(图 8), Mplus 程序见附录 2 (报告的是 Mplus 6.11 运行结果)。交互项(UX)对烟酒使用(Y)的调节效应显著($c_3 = 0.170$, $t = 4.722$, $p < 0.001$), 说明生活事件(U)在感觉寻求对烟酒使用(Y)的影响中起到了调节作用。

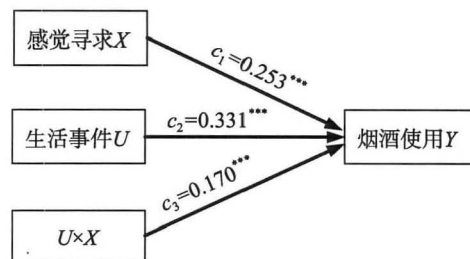


图 8 生活事件调节效应检验

再检验结交不良同伴(W)的中介作用。建立生活事件(U)、感觉寻求(X)和结交不良同伴(W)及其交互项 UX 、 UW 与烟酒使用(Y)的关系模型(图 9), Mplus 程序见附录 3。感觉寻求(X)对不良同伴(W)的效应显著($a_1 = 0.233$, $t = 5.430$, $p < 0.001$), 感觉寻求(X)与生活事件(U)的交互项(UX)对不良同伴(W)的效应显著($a_3 = 0.106$, $t = 2.615$, $p < 0.01$), 但结交不良同伴(W)对烟酒使用(Y)的效应不显著($b_1 = 0.020$, $t = 0.523$, $p > 0.05$), 生活事件(U)与结交不良同伴(W)的交互项(UW)对烟酒使用的效应不显著($b_1 = 0.079$, $t = 1.921$, $p > 0.05$)。对照图 5 的流程, 不能确定青少年感觉寻求与烟酒使用的关系是有中介的调节模型。

接下来, 使用偏差校正的百分位 Bootstrap 法计算 a_3b_1 、 a_3b_2 和 a_1b_2 的置信区间, 附录 4 给出了 Mplus 程序, 参照其中的说明, 读者容易套用。 a_3b_1 的 95% 的置信区间为 $[-0.003, 0.012]$, a_3b_2 的 95% 的置信区间为 $[0.001, 0.019]$, a_1b_2 的 95% 的置信区间为 $[-0.002, 0.050]$ 。对照图 5 的流程, 因为 a_3b_2 的置信区间不包括 0, 所以, 感觉寻求与烟酒使用的关系是有中介的调节模型。如果有先验信息, 可使用 MCMC 法计算 a_3b_1 、 a_3b_2 和 a_1b_2 的 95% 的置信区间, 附录 5 给出了用 MCMC 计算 a_3b_1 、 a_3b_2 和 a_1b_2 置信区间的 Mplus 程序。

在感觉寻求与烟酒使用的关系中, 生活事件的调节效应 c_3 为 0.170, 其中直接调节效应 c'_3 为 0.145, 间接调节效应 $c_3 - c'_3$ 为 0.025, 间接调节效应占了 14.71%。因为感觉寻求与生活事件的交互项(UX)

对烟酒使用(Y)的调节效应仍然显著($c'_3 = 0.145$, $t = 3.800$, $p < 0.001$), 所以结交不良同伴(W)起到部分中介作用。

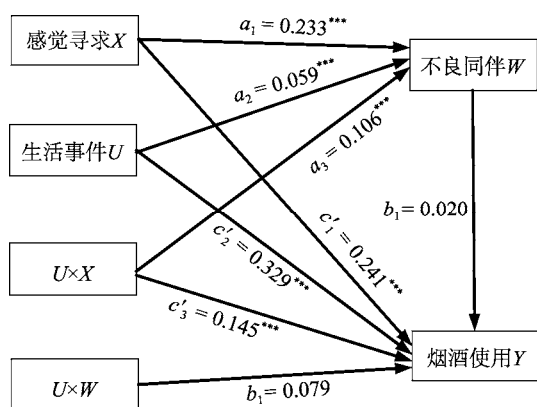


图9 结交不良同伴中介效应

有中介的调节模型, 比较深入地揭示了青少年感觉寻求(X)对烟酒使用(Y)的作用机制, 既阐明了感觉寻求(X)发挥作用的条件(“何时起作用”), 还揭示了感觉寻求(X)在不同条件下风险效应存在差别的原因(“怎样起作用”) (叶宝娟等, 2011)。

5 讨论

在考虑自变量对因变量的影响时, 经常涉及到中介变量和调节变量, 一种同时包含了中介变量和调节变量的模型是有中介的调节模型, 已经有不少应用。文献上有多种检验有中介的调节模型方法, 其中有些方法不够完善。本文的工作, 可以让读者明确如何正确检验有中介的调节模型。

在介绍的各种方法中, 有的要求要检验简单调节效应(即 c_3)是否显著, 有的则不要求。如果一开始就发现在自变量与因变量之间的调节效应不显著(即 c_3 不显著), 还有必要检验有中介的调节吗? 在回答这个问题之前, 先看看有关简单中介效应的不同观点。在传统的中介效应检验中(Baron & Kenny, 1986; Judd & Kenny, 1981), 是要求自变量对因变量有显著影响为前提的。但后来不少学者认为, 这个前提应当不要(Rucker, Preacher, Tormala, & Petty, 2011; Soest, & Hagtvet, 2011)。类似的观点迁移到有中介的调节模型检验上面, 就会有前面提到的问题。

这个问题不是统计技术问题, 而应当从逻辑和学理上去分析。正如温忠麟等人(2012, p77)指出的那样, 研究中介效应的目的是了解自变量是如何影

响因变量的, 即分析影响的机制。如果一开始就发现, 自变量对因变量的影响不显著, 就谈不上研究影响机制了, 而是要研究为什么没有影响, 所以他们将这类研究问题列入广义中介分析, 以区别传统的中介分析。我们赞成这种观点, 并且在评述各种方法时, 已经采用这种观点, 如果一开始就发现没有调节作用存在, 继续研究调节作用是如何发生的就没有道理, 合理的问题是, 什么原因使得调节作用没有出现? 此时所论的模型, 已经不属于传统的有中介的调节模型了。

本文有中介的调节模型所涉及的变量都是显变量, 但模型路径图、分析思路和流程图同样适用于潜变量。对于潜变量的分析, 只需将路径图中的长方形框(表示显变量)换做椭圆形图框(表示潜变量) (温忠麟等, 2012)。对于显变量模型的分析, 模型的拟合指数一般都很好, 因此, 可以把重点放在效应分析上。但是, 对于潜变量, 模型会变得更复杂, 模型中既包括结构方程, 也包括测量方程, 此时, 模型的拟合检验变得很重要(温忠麟等, 2012)。对于潜变量, 可能还涉及到题目打包及配对乘积等问题, 具体策略可参考相关文献(例如, 温忠麟等, 2012; 吴艳, 温忠麟, 2011)。无论是显变量还是潜变量, 都可以利用结构方程建模, 使用的模型可能不需要像显变量建立回归模型那样多, 如方程(2)和(3)用一个模型就可以了, 图1正是相应的路径图。

模型的标准化估计(standardized estimate)对解释模型和比较效应大小有重要作用。涉及调节效应的模型不能使用通常的标准化解, 因为软件给出的交互项标准化解是不正确的(Cohen, Cohen, West, & Aiken, 2003; 温忠麟, 侯杰泰, Marsh, 2008; 温忠麟等, 2012)。如何求标准化解, 可参照温忠麟及其合作者给出的方法(温忠麟等, 2008; Wen, Marsh, & Hau, 2010; 吴艳, 温忠麟, 侯杰泰, & Marsh, 2011)。

需要指出的是, 在心理和行为研究中, 调节效应以及有中介的调节效应通常都较小, 但是相应的研究往往还是有意义的。首先, 在非实验类研究中, 效果量小是不争的事实(Aguinis, Beaty, Boik, & Pierce, 2005; Chaplin, 1991)。一项对 30 年来社会和行为科学中效果量的元分析表明, 效应的中位数转化为标准化回归系数仅为 0.045 (Aguinis et al., 2005)。其次, 小效果量若能支持所检验的理论观点, 则可能因此具有重要的理论意义(Ellis, 2010)。再次,

小效果量若能引发重要结果(如烟酒使用)、若能随时间不断累积、若能影响很多人(如千千万万个青少年), 则可能具有重要的实践意义(Ellis, 2010; Prentice & Miller, 1992)。

对于中介效应环节的检验, 如果依次检验都不显著, 温忠麟等(2004)建议用 Sobel 法进一步检验中介效应。根据新近的研究成果和统计软件的发展, 本文建议用偏差校正的百分位 Bootstrap 法或者 MCMC 法(Mplus 容易实现), 计算系数乘积的置信区间检验有中介的调节模型中的中介效应, 以取代 Sobel 检验。附录 4 给出了用偏差校正的百分位 Bootstrap 法的 Mplus 程序, 附录 5 给出了用 MCMC 法的 Mplus 程序, 有需要的时候, 应用工作者可以套用这些程序计算所要的置信区间。

值得注意的是, 如果研究者是用 LISREL 软件中的极大似然法分析带交互项的模型, 要对估计的标准误进行校正, 用校正后的 t 值来检验才比较准确(温忠麟等, 2012; Wen et al., 2010)。

参 考 文 献

- Aguinis, H., Beaty, J. C., Boik, R. J., & Pierce, C. A. (2005). Effect size and power in assessing moderating effects of categorical variables using multiple regression: A 30-year review. *Journal of Applied Psychology, 90*, 94–107.
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology, 51*, 1173–1182.
- Chaplin, W. F. (1991). The next generation of moderator research in personality psychology. *Journal of Personality, 59*, 143–178.
- Cheung, G. W., & Lau, R. S. (2008). Testing mediation and suppression effects of latent variables: Bootstrapping with structural equation models. *Organizational Research Methods, 11*, 296–325.
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (3rd ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Edwards, J. R., & Lambert, L. S. (2007). Methods for integrating moderation and mediation: A general analytical framework using moderated path analysis. *Psychological Methods, 12*, 1–22.
- Ellis, P. D. (2010). *The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Fairchild, A. J., & MacKinnon, D. P. (2009). A general model for testing mediation and moderation effects. *Prevention Science, 10*, 87–99.
- Fang, J., & Zhang, M. Q. (2012). Assessing point and interval estimation for the mediating effect: Distribution of the product, nonparametric bootstrap and Markov chain Monte Carlo methods. *Acta Psychologica Sinica, 44*, 1408–1420.
- [方杰, 张敏强. (2012). 中介效应的点估计和区间估计: 乘积分布法、非参数 Bootstrap 和 MCMC 法. *心理学报, 44*, 1408–1420.]
- Freedman, L. S., & Schatzkin, L. (1992). Sample size for studying intermediate endpoints within intervention trials of observational studies. *American Journal of Epidemiology, 136*, 1148–1159.
- Hayes, A. F. (2009). Beyond Baron and Kenny: Statistical mediation analysis in the new millennium. *Communication Monographs, 76*, 408–420.
- Horcajo, J., Petty, R. E., & Briñol, P. (2010). The effects of majority versus minority source status on persuasion: A self-validation analysis. *Journal of Personality and Social Psychology, 99*, 498–512.
- Judd, C. M., & Kenny, D. C. (1981). Process analysis: Estimating mediation in treatment evaluations. *Evaluation Review, 5*, 602–619.
- Lou, Z. (2010). Enjoyment of participation: A mediated moderation model. *Journal of Management Science, 23*, 69–76.
- [楼尊. (2010). 参与的乐趣——一个有中介的调节模型. *管理科学, 23*, 69–76.]
- MacKinnon, D. P. (2008). *Introduction to statistical mediation analysis*. Mahwah, NJ: Earlbaum.
- MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., Hoffman, J. M., West, S. G., & Sheets, V. A. (2002). A comparison of methods to test mediation and other intervening variable effects. *Psychological Methods, 7*, 83–104.
- MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., & Williams, J. (2004). Confidence limits for the indirect effect: Distribution of the product and resampling methods. *Multivariate Behavioral Research, 39*, 99–128.
- Meng, H., Song, J., Sun, Z., & Wang, W. (2011). How transformational leadership influences employee' job outcomes: An analysis of the mediated moderation effect. *Psychological Science, 34*, 1167–1173.
- [孟慧, 宋继文, 孙志强, 王巍. (2011). 变革型领导如何影响员工的工作结果: 一个有中介的调节作用分析. *心理科学, 34*, 1167–1173.]
- Muller, D., Judd, C. M., & Yzerbyt, V. Y. (2005). When moderation is mediated and mediation is moderated. *Journal of Personality and Social Psychology, 89*, 852–863.
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods, 40*, 879–891.
- Prentice, D. A., & Miller, D. T. (1992). When small effects are impressive. *Psychological Bulletin, 112*, 160–164.
- Rucker, D. D., Preacher, K. J., Tormala, Z. L., & Petty, R. E. (2011). Mediation analysis in social psychology: Current practices and new recommendations. *Social and Personality Psychology Compass, 5*, 359–371.
- Sobel, M. E. (1982). Asymptotic confidence interval for indirect effects in structural equation models. In S. Leinhardt. (Ed.), *Sociological methodology* (pp. 290–312). Washington, DC: American Sociological Association.
- Soest, T. V., & Hagtvet, K. A. (2011). Mediation analysis in a latent growth curve modeling framework. *Structural Equation Modeling, 18*, 289–314.
- Su, S. B., Huang, Z. W., Zhang, J. T., & Lin, D. H. (2011). Adolescent drinking behavior: A mediated moderation

- analysis of the roles of alcohol expectancy and drinking refusal efficacy. *Psychological Development and Education*, 27, 90–96.
- [苏少冰, 黄桢伟, 张锦涛, 林丹华. (2011). 饮酒期望、饮酒拒绝自我效能与青少年的饮酒行为: 有中介的调节效应分析. *心理发展与教育*, 27, 90–96.]
- Taylor, A. B., MacKinnon, D. P., & Tein, J. Y. (2008). Tests of the three-path mediated effect. *Organizational Research Methods*, 11, 241–269.
- Wen, Z., Chang, L., & Hau, K. T. (2006). Mediated moderator and moderated mediator. *Acta Psychologica Sinica*, 38, 448–452.
- [温忠麟, 张雷, 侯杰泰. (2006). 有中介的调节变量和有调节的中介变量. *心理学报*, 38, 448–452.]
- Wen, Z., Chang, L., Hau, K. T., & Liu, H. Y. (2004). Testing and application of the mediating effects. *Acta Psychologica Sinica*, 36, 614–620.
- [温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 刘红云. (2004). 中介效应检验程序及其应用. *心理学报*, 36, 614–620.]
- Wen, Z., Hau, K. T., & Marsh, H. W. (2008). Appropriate standardized estimates for moderating effects in structural equation models. *Acta Psychologica Sinica*, 40, 729–736.
- [温忠麟, 侯杰泰, Marsh, H. W. (2008). 结构方程模型中调节效应的标准化估计. *心理学报*, 40, 729–736.]
- Wen, Z., Liu, H., & Hau, K. T. (2012). *Analyses of moderating and mediating effects*. Beijing: Educational Science Publishing House.
- [温忠麟, 刘红云, 侯杰泰. (2012). *调节效应和中介效应分析*. 北京: 教育科学出版社.]
- Wen, Z., Marsh, H. W., & Hau, K. T. (2010). Structural equation models of latent interactions: An appropriate standardized solution and its scale-free properties. *Structural Equation Modeling*, 17, 1–22.
- Wu, Y., & Wen, Z. (2011). Item parceling strategies in structural equation modeling. *Advances in Psychological Science*, 19, 1859–1867.
- [吴艳, 温忠麟. (2011). 结构方程建模中的题目打包策略. *心理科学进展*, 19, 1859–1867.]
- Wu, Y., Wen, Z., Hau, K. T., & Marsh, H. W. (2011). Appropriate standardized estimates of latent interaction models without the mean structure. *Acta Psychologica Sinica*, 43, 1219–1228.
- [吴艳, 温忠麟, 侯杰泰, Marsh, H. W. (2011). 无均值结构的潜变量交互效应模型的标准化估计. *心理学报*, 43, 1219–1228.]
- Ye, B. J., Li, D. P., Chen, Q. S., & Wang, Y. H. (2011). Sensation seeking and tobacco and alcohol use among adolescents: A mediated moderation model. *Psychological Development and Education*, 27, 417–424.
- [叶宝娟, 李董平, 陈启山, 王艳辉. (2011). 青少年感觉寻求与烟酒使用的关系: 一个有中介的调节模型. *心理发展与教育*, 27, 417–424.]
- Yuan, Y., & MacKinnon, D. P. (2009). Bayesian mediation analysis. *Psychological Methods*, 14, 301–322.

附录 1. 变量间的协方差矩阵文件(cov.dat)

```
1.00000
0.14709    1.00000
0.34690    0.25862    1.00000
0.42411    0.13437    0.22391    1.00000
0.28994    0.15773    0.11557    0.21554    1.11484
0.18276    -0.03139    0.12684    0.09621    0.33797    0.90972
```

注释: 变量依次为烟酒使用(Y)、不良同伴(W)、感觉寻求(X)、生活事件(U)、感觉寻求与生活事件交互项(UX)及不良同伴与生活事件交互项(UW)。

附录 2 分析图 8 模型的 Mplus 程序

```
DATA: FILE IS cov.dat; ! cov.dat 是包含附录 1 的协方差的数据文件
TYPE IS COVA; !数据类型是下三角协方差矩阵
NOBSEVATIONS ARE 525; !被试为 525 人
VARIABLE: NAMES ARE Y W X U UX UW; !变量为 Y, W, X, U, UX, UW
USEVARIABLES ARE Y X U UX; !此次分析用到变量 Y, X, U, UX
MODEL: Y ON X U UX; !做 Y 对 X, U, UX 的回归
OUTPUT:
```

附录 3 分析图 9 模型的 Mplus 程序

```
DATA: FILE IS cov.dat; ! cov.dat 是包含附录 1 的协方差的数据文件
TYPE IS COVA; !数据类型是下三角协方差矩阵
NOBSEVATIONS ARE 525; !被试为 525 人
VARIABLE: NAMES ARE Y W X U UX UW; !变量为 Y, W, X, U, UX, UW
MODEL: Y ON W X U UX UW; !做 Y 对 W, X, U, UX, UW 的回归
```

W on X U UX; !做 W 对 X, U, UX 的回归
OUTPUT:

附录 4 用偏差校正的百分位 Bootstrap 法检验有中介的调节模型的 Mplus 程序

DATA: FILE IS p.dat; ! Bootstrap 法需要原始数据
VARIABLE: NAMES ARE Y W X U UX UW;
ANALYSIS: Bootstrap=1000; ! Bootstrap 法抽样 1000 次
MODEL:
Y on W (b1)
X U UX
UW (b2); !做 Y 对 W, X,U,UX,UW 的回归, 将 Y 对 W 和 UW 的回归系数命名为 b1 和 b2
W on X (a1)
U
UX (a3); !做 W 对 X,U, UX 的回归, 将 W 对 X 和 UX 的回归系数命名为 a1 和 a3
MODEL CONSTRAINT:
new (H1-H3);
H1=a3*b1; !中介效应值 a_3b_1 的估计
H2=a3*b2; !中介效应值 a_3b_2 的估计
H3=a1*b2; !中介效应值 a_1b_2 的估计
OUTPUT: cinterval (bcbootstrap); !输出偏差校正的百分位 Bootstrap 计算的中介效应置信区间

附录 5 用贝叶斯方法检验有中介的调节模型的 MPLUS 程序

DATA: FILE IS p.dat; ! MCMC 法需要原始数据
VARIABLE: NAMES ARE Y W X U UX UW;
ANALYSIS:
estimator = bayes; !贝叶斯估计, 默认采用 Markov 链进行 Gibbs 抽样
chain=2; !使用 2 条 Markov 链
process = 2; !同时运算 2 条 Markov 链
fbiter = 20000; !每一条 Markov 链都迭代 20000 次
MODEL:
Y on W (b1)
X U UX
UW (b2); !做 Y 对 W, X,U,UX,UW 的回归, 将 Y 对 W 和 UW 的回归系数命名为 b1 和 b2
W on X (a1)
U
UX (a3); !做 W 对 X,U, UX 的回归, 将 W 对 X 和 UX 的回归系数命名为 a1 和 a3
MODEL PRIORS:
b1~n (g,h); ! 设定 b1 的先验分布为正态, 均值为 g, 方差为 h
b2~n (j,k);
a1~n (o,p);
a3~n (s,t);
MODEL CONSTRAINT:
new (H1-H3);
H1=a3*b1;
H2=a3*b2;
H3=a1*b2;
OUTPUT:
注释: 本程序中假定了 b1、b2、a1 和 a3 的分布为正态分布, 如果为其他分布, 可相应修改程序。

A Discussion on Testing Methods for Mediated Moderation Models: Discrimination and Integration

YE Baojuan¹; WEN Zhonglin²

(¹ School of Psychology, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

(² Center for Studies of Psychological Application, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract

Moderation and mediation are frequently used in the research of psychology and behavior. Moderation occurs when the effect of an independent variable on a dependent variable varies according to the level of a third variable, termed as moderator, which interacts with the independent variable. Moderation focuses on factors that influence the strength and/or direction of the relation between the independent variable and dependent variable. Mediation indicates that the effect of an independent variable on a dependent variable is transmitted through a third variable, which is called mediator. Mediation addresses how that effect is produced.

It is not uncommon for hypotheses about moderation and mediation relationships to occur in the same context. Models in which interaction effects are hypothesized to be mediated are appearing with increasing frequency. When a moderating effect is transmitted through a mediator, the effect is termed mediated moderation and the model is mediated moderator model. For example, stressful life events moderated the effect of sensation seeking on tobacco and alcohol use, and this moderation effect is mediated by affiliation with deviant peers.

There are at least five methods for testing mediated moderation models. But some of the methods are difficult to be understood and explained. After discussing the merits and demerits of different methods, we propose a procedure for testing mediated moderation models. The newly proposed procedure is likely to be better than any single testing method in terms of the sum of type 1 and type 2 error rates. The procedure is summarized as below:

(1) Regress Y on X , U , and UX . A significant coefficient (c_3) associated with UX implies that U is the moderator of the relation between Y and X . Stop if the coefficient (c_3) associated with UX is not significant.

(2) Regress W on X , U , and UX . Regress Y on X , U , W , UX and UW . The moderated effect of U on the relation between Y and X is mediated by W if the coefficient (a_3) from UX to W and the coefficient (b_1) from W to Y are both significant, or/and the coefficient (a_3) from UX to W and the coefficient (b_2) from UW to Y are both significant. U indirectly moderates the effect of X on Y by moderating the effect of W on Y if the coefficient (a_1) from X to Y and the coefficient (b_2) from UW to Y are both significant. In other cases, we should go to step (4).

(3) The moderated effect is completely mediated if the coefficient (c'_3) from UX to Y is not significant in step (2). The moderated effect is partially mediated if the coefficient (c'_3) from UX to Y is still significant in step (2). Testing is over.

(4) Compute the confidence intervals of a_3b_1 , a_3b_2 and a_1b_2 , by using bias-corrected percentile Bootstrap method (if no prior information is available) or Markov chain Monte Carlo (MCMC) method (if prior information is available). The mediated effect of W is significant if at least one of the confidence intervals of a_3b_1 , a_3b_2 and a_1b_2 does not contain 0. In this case, we should go to step (3). Otherwise, the mediated moderation effect is not significant and testing is over.

As an illustration, the procedure is applied to an empirical study in which stressful life events moderated the effect of sensation seeking on tobacco and alcohol use, and this moderation effect is mediated by affiliation with deviant peers.

The procedure can be extended to the situation where latent variables are used. When a standardized solution is pursued, we should use appropriate standardized solution rather than a standardized solution obtained directly from software output, which is usually inappropriate when a moderation effect is involved in the model.

Key words moderation; mediation; mediated moderation; Bootstrap method; MCMC method