

有调节的中介模型检验方法：竞争还是替补？^{*}

温忠麟¹ 叶宝娟²

(¹华南师范大学心理应用研究中心/心理学院, 广州 510631)

(²江西师范大学心理学院, 南昌 330022)

摘 要 在心理和其他社科研究领域, 经常遇到中介和调节变量。模型的变量多于 3 个时, 可能同时包含中介和调节变量, 一种常见的模型是有调节的中介模型。本文检视文献上各种检验有调节的中介模型的方法, 理清方法之间是竞争关系(分清优劣)还是替补关系(分清先后), 在此基础上总结出检验有调节的中介模型的步骤, 并用一个实例进行演示。文中也讨论了有调节的中介模型与有中介的调节模型的联系与区别。

关键词 中介; 调节; 有调节的中介; 有中介的调节

分类号 B841

1 引言

在心理和行为研究中, 经常遇到中介(mediation)和调节(moderation)效应。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。例如, 青少年的“感恩”影响“日常性学业复原力”, 进而影响“学业成就”(叶宝娟, 杨强, 胡竹菁, 2013)。中介效应分析的目的是探究 X 如何影响 Y (Baron & Kenny, 1986; MacKinnon, 2008; Muller, Judd, & Yzerbyt, 2005; Yuan & MacKinnon, 2009)。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。例如, “同伴关系”与“学生违纪行为”的关系, 受到“教师管教方式”的影响(温忠麟, 侯杰泰, 张雷, 2005)。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 et al., 2005)。如果一个模型包含的变量多于 3 个, 可能同时包含中介变量和调节变量, 这些变量在模型中的位置和作用不同会产生不同的模型, 有调节的中介模型(moderated mediation model)就是同时包含中介变量和调节变量的一种常见模型, 这种模型意味着自变量通过中

介变量对因变量产生影响, 而中介过程受到调节变量的调节(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调节的中介模型的方法, 讨论不同方法时建立的有调节的中介模型也不尽相同。不同的有调节的中介模型需要不同的检验方法吗? 不同方法之间是竞争关系、互补关系还是替补关系? 实际应用究竟应当从何着手分析? 有调节的中介模型与有中介的调节模型(moderated mediation model; Baron & Kenny, 1986; 温忠麟等, 2012)有什么联系和区别? 这些都是应用工作者感到疑惑的问题。本文先介绍有调节的中介模型类型, 然后用一般的模型讨论文献上出现的检验方法, 明晰方法之间的关系, 推荐比较好的检验策略, 并总结出检验流程, 用一个实例演示如何用本文总结的流程检验有调节的中介模型。文中也讨论了有调节的中介模型与有中介的调节模型的联系与区别。

2 有调节的中介模型类型

Edwards 和 Lambert (2007)在讨论既有调节又有中介的模型时, 将调节放到中介分析背景中, 按中介过程的前半路径、后半路径、直接路径是否受

收稿日期: 2013-05-02

^{*} 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)、中国博士后科学基金项目(2013M540535)、教育部人文社会科学研究青年基金项目(13YJC190029)和江西省博士后科研择优资助项目(2013KY08)资助。

通讯作者: 温忠麟, E-mail: wenzl@scnu.edu.cn

到调节, 组合出 8 种模型, 但没有进一步分类。这里只考虑有调节的中介模型, 将所有路径都没有受到调节的模型(即通常的简单中介模型)作为基准模型看待, 也不考虑只有直接路径受到调节的模型(因为不属于有调节的中介模型), 并将模型分成两类: 只调节间接效应、同时调节间接效应和直接效应。

2.1 只调节间接效应

设要分析青少年感恩(X)对其学业成就(Y)的影响。研究发现, 日常性学业复原力(W)是感恩影响学业成就的中介变量(图 1), 而压力性生活事件(U)调节了学业复原力对学业成就的影响(叶宝娟等, 2013, 图 2)。如所知, 中介效应等于中介路径上两个路径系数(回归系数)的乘积(MacKinnon, Warsi, & Dwyer, 1995; 温忠麟等, 2012)。对于图 1 所示模型, 中介效应为 ab , 是不依赖于任何变量的参数。对于图 2 所示模型, 中介效应为 $a(b_1+b_2U)$, 是调节变量 U 的函数, 即中介效应受到 U 的调节。本节有关回归系数的含义请见第 2.2 节的回归方程。

在上述例子中, 调节变量调节了中介过程的后半路径(见图 2)。但理论上, 调节变量也可以调节中介过程的前半路径, 如图 3, 中介效应为 $(a_1+a_3U)b$,

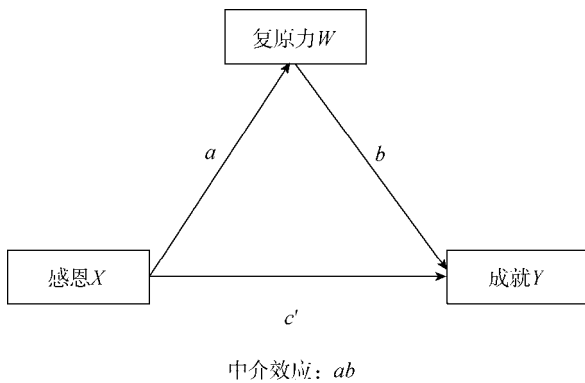


图 1 简单中介模型

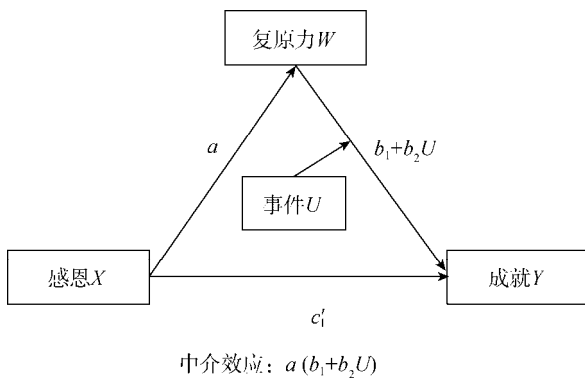


图 2 调节了中介过程后半路径

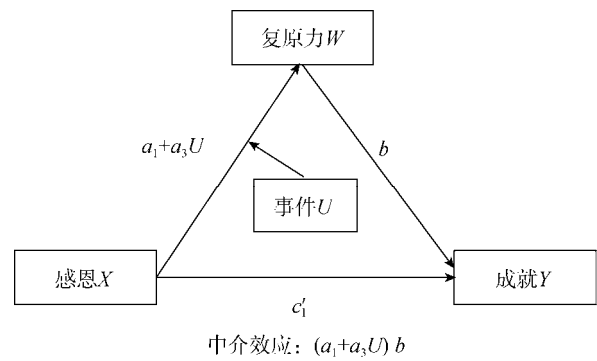


图 3 调节了中介过程前半路径

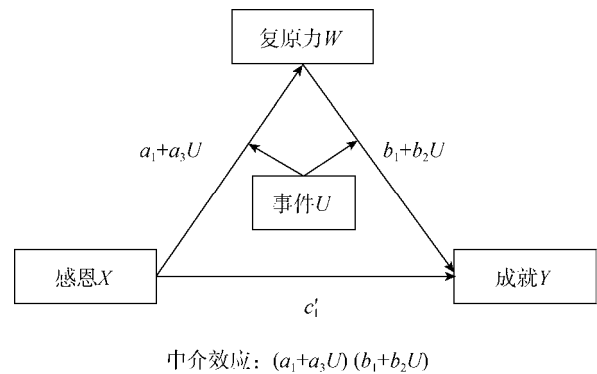


图 4 调节了中介过程前后路径

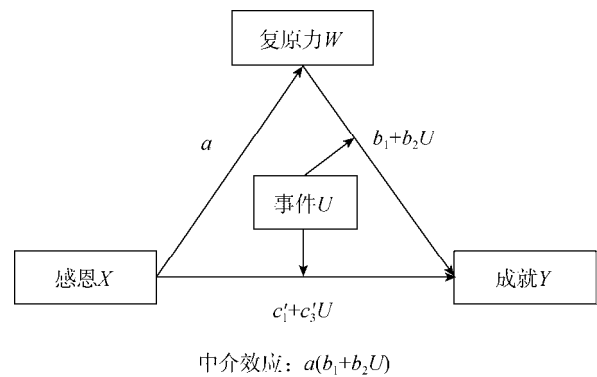


图 5 调节了中介过程后半路径和直接路径

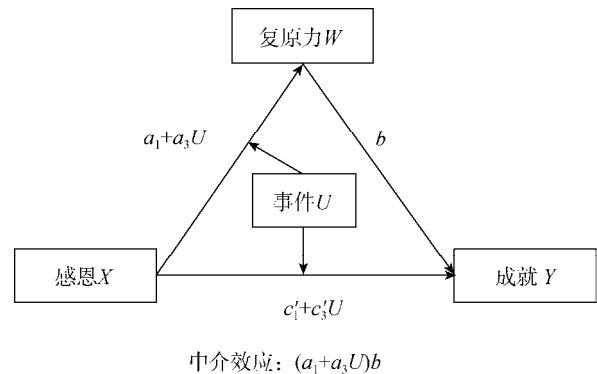


图 6 调节了中介过程前半路径和直接路径

或者同时调节中介过程的前后两个路径,如图 4,中介效应为 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ (Muller et al., 2005; 温忠麟等, 2012)。显然,图 2 和图 3 所示的模型,都是图 4 所示模型的特例。

2.2 同时调节间接效应和直接效应

前面所述的模型(图 2~图 4),都没有考虑对直接效应的调节。如果在这些模型中调节变量还可以同时调节直接效应(Edwards & Lambert, 2007),就可以分别得到如下模型:调节变量同时调节直接路径和中介过程的后半路径(图 5);同时调节直接路径和中介过程的前半路径(图 6);同时调节直接路径和中介过程的前后两个路径(图 7)。显然图 7 所示的模型,是最一般的有调节的中介模型,其余模型都是其特例。

为了比较模型增加了调节直接效应前后的区别,我们比较图 7 所示的模型和图 4 所示的模型。为了检验直接效应是否受到调节,在做中介效应分析之前,先建立如下回归方程(即 Y 对 X , U 和 UX 的回归,见图 8)。

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

如果 c_3 显著,则应当考虑调节了直接效应的模型(图 7)。

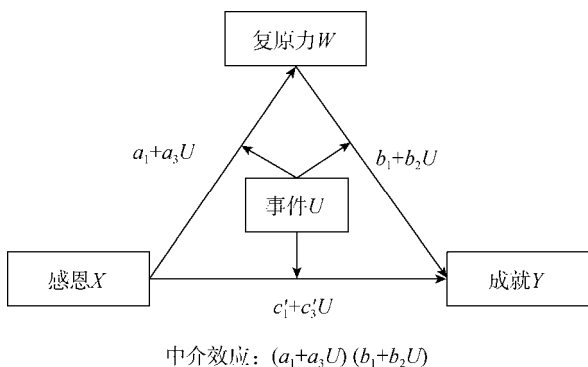


图 7 调节了中介过程前后路径和直接路径

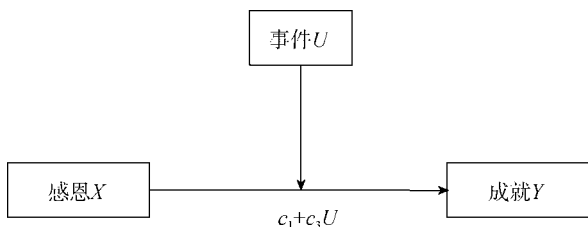


图 8 简单调节模型

无论是图 7 还是图 4 所示模型,中介效应路径上变量之间关系没有差别,以 W 为因变量,可以得

到如下回归方程(即 W 对 X , U 和 UX 的回归)

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

写成 $W = a_0 + a_2U + (a_1 + a_3U)X + e_2$ 可知, X 对 W 的效应是 $a_1 + a_3U$ 。

但因为直接路径上变量之间关系不同,以 Y 为因变量的回归方程有差别。对于图 4 所示的模型,以 Y 为因变量,可以得到如下回归方程(即 Y 对 X , U , W 和 UW 的回归)

$$Y = c_0' + c_1'X + c_2'U + b_1W + b_2UW + e_3 \quad (3)$$

写成 $Y = c_0' + c_1'X + c_2'U + (b_1 + b_2U)W + e_3$ 可知, W 对 Y 的效应是 $b_1 + b_2U$, 因而 X 经过 W 对 Y 的中介效应为 $(a_1 + a_3U)(b_1 + b_2U)$, 这不难将方程(2)中的 W 代入方程(3)进行验算得到。对于图 7 所示的模型,以 Y 为因变量,可以得到如下回归方程(即 Y 对 X , U , UX , W 和 UW 的回归)

$$Y = c_0' + c_1'X + c_2'U + c_3'UX + b_1W + b_2UW + e_4 \quad (4)$$

不难看出, X 经过 W 对 Y 的中介效应还是 $(a_1 + a_3U)(b_1 + b_2U)$ 。所以,无论直接效应是否受到调节,中介效应的代数表达式相同。

2.3 一个路径图两种解释

对于图 7 所示的路径图,从有调节的中介模型角度,是与简单中介路径图(图 1)比较,无论是 X 与 Y 关系的直接路径还是间接路径,都受到 U 的调节。明确一点说就是, W 是 X 与 Y 关系的中介变量,中介过程的前后路径以及直接路径,都受到 U 的调节。

但如果将图 7 所示路径图与简单调节路径图(图 8, 其中的 c_3 显著)比较,就会发现图 7 可以有另一种解释: U 是 X 与 Y 关系的调节变量,调节效应有一部分是经过中介变量 W 起作用的,间接的调节效应由 $(a_1 + a_3U)(b_1 + b_2U)$ 中与 U 有关的系数反映,直接的调节效应由 $c_1' + c_3'U$ 中 U 的系数反映。如果图 8 中的 c_3 显著而图 7 中的 c_3' 不再显著(相当于变成了图 4 的模型),则调节效应“完全”经过中介变量 W 起作用。从这个角度看,分析的是有中介的调节模型了(Baron & Kenny, 1986; 温忠麟等, 2012; 叶宝娟, 温忠麟, 2013)。这样,图 2 至图 7 一个路径图可以反映两种模型,与图 1 比较,可以分析有调节的中介效应;与图 8 比较(前提是其中的 c_3 显著),可以分析有中介的调节效应。借用 Muller 等人(2005)的话来说就是“同一个硬币的两面”。而且,在考虑有中介的调节模型时,直接效应不受调节意味着调节效应“完全”经过中介变量 W 起作用。而直接效应也受到调节意味着调节效应“部分地”经过中介变量 W 起作用。

但两种模型有不同的研究目的和研究重心, 立论和解释也很不同, 这一点要从文献综述开始就注意区分。对于有调节的中介模型, 重心在于考虑自变量对因变量的作用机制, 即中介效应; 其次考虑中介过程是否受到调节, 即中介作用何时较强、何时较弱。显然, 简单中介模型中的中介效应(见图 1)相当于 $U=0$ 时的中介效应, 这个中介效应不要求显著。只要中介效应受到 U 的影响(从而至少在某个 U 处中介效应是显著的), 就说明是有调节的中介了。对于有中介的调节模型, 重心在于考虑自变量与因变量之间关系的方向(正或负)和强弱受到的影响, 即调节效应; 其次考虑调节变量是如何起作用的, 即是否通过中介变量而起作用。这个简单调节效应(见图 8)不仅要求显著, 而且应当报告增加调节项前后的 R^2 变化, 通常认为 R^2 变化要超过 2% (甚至 3%) 才有实质性意义, 否则进一步考虑这个调节作用的机制意义不大。重要的是, 两种模型分析方法和步骤不同, 选择的模型要与研究目的和研究重心配合, 对结果的解释则要与模型配合。

值得指出的是, Muller 等人(2005)以图 8 所示的模型为出发点, 如果直接路径没有受到调节(即 c_3 不显著), 则建立有调节的中介模型; 如果直接路径受到调节(即 c_3 显著), 则建立有中介的调节模型(虽然文末他们有点松口, 但整篇文章倾向性很明显)。我们赞同 Edwards 和 Lambert (2007) 的观点, 无论直接路径是否受到调节, 都可以建立有调节的中介模型。但 Edwards 和 Lambert 将调节放到中介分析背景中, 认为只是当中介过程的前半路径受到调节时(图 3 和图 6), 有调节的中介模型与有中介的调节模型从分析角度看是等价的, 当中介过程的后半路径也受到调节时(图 2、图 4、图 5 和图 7), 两者不等价, 因为在他们看来, 此时模型不属于有中介的调节模型了。但其实图 5 和图 7 还是可以解释为有中介的调节模型(Muller et al., 2005; 叶宝娟, 温忠麟, 2013)。

总结一下, 如果方程(1)中的 c_3 显著, 则既可以考虑建立有中介的调节模型, 也可以考虑建立有调节的中介模型, 并且两者的路径图还是一样的。如果方程(1)中的 c_3 不显著, 则只能考虑建立有调节的中介模型。从这个意义上说, 有调节的中介模型的范围比较大。

3 有调节的中介模型检验方法

为了对文献上出现的各种检验有调节的中介

效应方法有更本质的了解, 我们从中介过程前后路径都受到调节的一般模型出发进行讨论。前面说过, 无论直接效应是否受到调节, X 经过 W 对 Y 的中介效应的表达式都一样。具体来说, 图 7 和图 4 所示模型的中介效应都是 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 。显然, 只要中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U) = a_1b_1 + (a_1b_2 + a_3b_1)U + a_3b_2U^2$ 与 U 有关, 或者说随 U 变化, 则中介效应是有调节的。为简单明确起见, 下面以图 4 所示的模型进行讨论。

3.1 系数乘积的检验

为了检验 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 与 U 有关, 可以检验如下关于系数乘积的假设: $a_1b_2=0, a_3b_1=0, a_3b_2=0$, 只要其中有一个被拒绝, 中介效应是有调节的。例如, 设 $a_1b_2 \neq 0$, 如果 $a_1b_2 + a_3b_1 \neq 0$, 则 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 与 U 有关; 如果 $a_1b_2 + a_3b_1 = 0$, 则 $a_3b_1 = -a_1b_2 \neq 0$, 从而 $a_3b_2 \neq 0$, $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 也与 U 有关。

对于系数乘积检验, 文献上多有讨论。一种方法是依次检验, 将一个系数乘积的检验变成两个系数的检验。例如, 要检验 $a_1b_2=0$, 变成检验 a_1 和 b_2 是否显著(即检验 $a_1=0$ 和 $b_2=0$)。现在 3 个系数乘积涉及 4 个系数, 先检验方程(2)中的 a_1, a_3 是否显著, 再检验方程(3)中的 b_1, b_2 是否显著。如果 $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$, 或者 $a_3 \neq 0$ 且 $b_1 \neq 0$, 或者 $a_3 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$, 至少有一组成立, 则中介效应受到调节。虽然所用的模型不尽相同, 但许多作者都使用了这种依次检验方法(如 Muller et al., 2005; 温忠麟等, 2012)。显然, 如果只考虑中介效应过程的一个路径是否受到调节, 则只需要检验一个系数乘积, 例如, 只考虑前半路径的调节(此时 $b_2=0$), 只需要检验 $a_3b_1=0$, 即依次检验 a_3 和 b_1 是否显著。

对于系数乘积的检验, 已有不少研究发现, 依次检验的第一类错误率较低, 往往远低于设定的显著性水平(MacKinnon, Lockwood, Hoffman, West, & Sheets, 2002; 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 刘红云, 2004), 说明如果依次检验结果显著, 已经足够支持所要的结果, 即中介效应受到调节。例如, 如果检验结果是 $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$, 足以支持 $a_1b_2 \neq 0$ 。

但依次检验的检验力(power)也较低, 即系数乘积实际上显著, 但依次检验比较容易得出不显著的结论(Fritz & MacKinnon, 2007; MacKinnon et al., 2002)。直接检验系数乘积, 检验力比较高。传统的系数乘积检验方法是 Sobel 检验(1982), 检验力高于依次检验(MacKinnon et al., 2002; 温忠麟等, 2012), 但 Sobel 检验基于正态性假设, 而两个系数

的乘积(估计量)通常不会是正态的,所以 Sobel 检验备受质疑(如 Hayes, 2009; MacKinnon, 2008)。

新近的研究发现,用偏差校正的非参数百分位 Bootstrap 法或者有先验信息的马尔科夫链蒙特卡罗(MCMC)法计算系数乘积的置信区间比 Sobel 法得到的置信区间更精确,有更高的检验力(方杰, 张敏强, 2012; MacKinnon, 2008; Preacher & Hayes, 2004; Yuan & MacKinnon, 2009)。以后称这种通过构造系数乘积的置信区间的检验为“系数乘积的区间检验”。不熟悉 Bootstrap 法和 MCMC 法的读者,可以将其和最小二乘法、极大似然法那样看待,利用统计软件提供的功能实现计算。

3.2 中介效应差异的检验

为了检验中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 随 U 变化,有一种直观的想法是代入不同的 U 值,看看中介效应是否会变化,这就是条件间接效应(conditional indirect effects)分析法(MacKinnon et al., 2002; Preacher, Rucker, & Hayes, 2007)。只要对某个 U 值,中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 显著,则存在条件中介效应(conditional mediation effect, Preacher et al., 2007)。如果还有另一个 U 值,中介效应不显著了,说明中介效应随 U 变化,这是所谓的亚组分析法(subgroup approach, Preacher et al., 2007)。亚组分析法可用 Bootstrap 法或 Sobel 检验进行检验(Preacher et al., 2007)。亚组分析法有多个明显的缺点(Edward & Lambert, 2007)。这里只列出容易想到的两个缺点:一是即使中介效应随 U 变化,在某两个点处也未必反映出来;二是当调节变量 U 的不同水平上的条件中介效应都显著或都不显著时,不能确定中介效应是否受到调节。因为有更好的替代方法,本文不推荐使用亚组分析法。

针对亚组分析法的不足,Edward 和 Lambert (2007)提出用 Bootstrap 法检验中介效应的差异来判断中介效应是否随 U 变化,即检验 U 的不同取值上的中介效应之差是否显著,例如,取 U 的平均值上下一个标准差的值,分别记为 U_H 和 U_L ,如果 $(a_1+a_3U_H)(b_1+b_2U_H)$ 与 $(a_1+a_3U_L)(b_1+b_2U_L)$ 差异显著,则中介效应受到 U 的调节。但如果差异不显著,仅凭 U 的两个取值对应的中介效应进行判断,可想而知检验力不高。对连续型调节变量,刘东、张震和汪默(2012)建议,使用调节变量最大和最小观测值来检验中介效应的差异。对于只有一个中介路径受到调节的情形,这个建议是好的,因为此时中介效应是 U 的线性函数,在 U 的最大和最小观测值处,

中介效应的差异最大。但对于前后路径都受到调节的情形,中介效应是 U 的二次函数,我们建议从中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 出发找最值,然后检验最大值和最小值之差是否显著。如果 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 的最大值和最小值之差显著,则中介效应受到 U 的调节。如果不显著,可以认定 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 不会随 U 变化,即中介效应不受 U 的调节。

二次函数 $y = ax^2 + bx + c$ 的图像是抛物线,在 $x = -b/(2a)$ 处达到最小值(当 $a > 0$)或者最大值(当 $a < 0$)。不难计算二次函数在区间 $[x_1, x_2]$ 上的最大值和最小值。如果 $-b/(2a)$ 在区间 $[x_1, x_2]$ 中,二次函数最大值和最小值可以通过计算下面 3 个点的函数值比较后得到: x_1, x_2 和 $-b/(2a)$ 。如果 $-b/(2a)$ 不在区间 $[x_1, x_2]$ 中,则二次函数在区间 $[x_1, x_2]$ 上是单调的,在区间端点达到最大值和最小值。对于调节变量 U ,合理的取值区间是其均值上下两个标准差,这样就不难求得 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 的最大值和最小值了。

前面说过,系数乘积的区间检验的检验力高于 Sobel 检验,而后者高于依次检验。检验力最高的则是中介效应的差异检验,道理很简单,如果 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 与 U 有关,则 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 的最大值和最小值的差异一定显著。看一个简单的例子: $y = bx + c$, 若系数 b 显著,则在 $x = 1$ 和 $x = 0$ 的 y 值差异(等于 b)显著, y 值的最大值和最小值之差自然显著。

小结一下,检验中介效应是否受到调节,可以通过依次检验或者系数乘积的区间检验,检验中介效应是否与 U 有关;也可以通过中介效应差异检验,检验中介效应是否随 U 变化。依次检验与通常的回归系数显著性检验相同,而系数乘积的区间检验和中介效应差异检验都可以使用 Bootstrap 法,对于系数乘积的区间检验还可以使用 MCMC 法。就检验力而言,系数乘积的区间检验高于依次检验,而中介效应差异检验是最高的。

3.3 检验方法的比较

现在要比较上面小结的 3 种检验方法:依次检验、系数乘积的区间检验和中介效应差异检验,目的是理清它们之间的关系。如果是竞争关系,应当弄清谁优谁劣;如果是互补关系,应当知道什么情况下用哪种方法较好;如果是替补关系,应当说明谁先谁后。目前文献上还未见从这个角度对有调节的中介模型检验方法进行讨论。

前面说过,依次检验的第一类错误率较低,如

果检验结果是显著, 已经可以知道中介效应受到调节。但因为依次检验的检验力也较低, 所以当依次检验结果是不显著时(3 对系数乘积无一显著), 还不能下结论。改用检验力较高的系数乘积的区间检验, 还有可能得到显著的结果。无论是依次检验还是系数乘积的区间检验, 都是将整个中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 分成了几部分进行检验的, 检验结果就算是每部分都不显著, 还有可能合起来是显著的。所以, 即使系数乘积的区间检验结果不显著, 检验中介效应的最大值与最小值之差, 还有可能得到显著的结果。正如说面说过的, 这 3 种方法的检验力是一个比一个高。

既然如此, 是不是应当首选检验力最高的中介效应差异检验, 一次就解决问题呢? 不是的, 正好相反, 面对有调节的中介模型, 我们建议先做依次检验, 如果不显著, 再做系数乘积的区间检验, 如果还不显著, 最后做中介效应差异检验。如果前面的检验已经显著, 后面的检验不需要做了, 除非研究者有特别的用意。下面详述这样建议的理由。

首先, 从 3 个检验方法得到的显著性(即中介效应受到调节)结果看, 依次检验的最强, 中介效应差异检验的最弱。就是说, 当用前一种方法检验结果显著的时候, 用后一种方法检验结果几乎可以肯定也是显著的。但反之不然。

第二, 从显著性结果包含的信息看, 依次检验的最丰富, 中介效应差异检验的最少。依次检验显著的时候, $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$, 或者 $a_3 \neq 0$ 且 $b_1 \neq 0$, 或者 $a_3 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$, 至少有一组成立, 可以知道图 4 的中介路径上每个系数是否显著, 从而知道究竟是前半路径受到调节、后半路径受到调节、还是前后路径都受到调节。写出中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 的表达式, 可以清晰反映中介效应是如何随 U 变化的。系数乘积的区间检验显著时, 整个中介路径作为一个整体与 U 有关。根据显著的系数乘积可以判断哪一段中介路径受到调节, 如 a_3b_2 显著, 前后路径都受到调节。此时还是可以写出有意义的中介效应表达式 $a_1b_1 + (a_1b_2 + a_3b_1)U + a_3b_2U^2$ 。中介效应差异检验显著时, 不仅不能判断哪一段中介路径受到调节, 而且中介效应的表达式 $a_1b_1 + (a_1b_2 + a_3b_1)U + a_3b_2U^2$ 没有统计意义了(如果系数乘积都不显著)。虽然知道中介效应会随 U 变化, 但不知道如何变化了。

第三, 从显著性结果的解释看, 依次检验的最清晰, 中介效应差异检验的最含糊。显著性结果的

解释依赖显著性包含的信息, 信息越多, 解释越清晰。如所知, 对于简单的调节效应分析(像图 8 那样的模型), 除了报告检验结果外, 通常取调节变量的均值上下一个标准差报告对应的效应大小。对于有调节的中介效应, 当依次检验或系数乘积的区间检验显著时, 也可以取调节变量均值上下一个标准差报告对应的中介效应值。由于此时中介效应的表达式 $a_1b_1 + (a_1b_2 + a_3b_1)U + a_3b_2U^2$ 是有统计意义的, 这保证了上面所说的报告是有意义的。对于依次检验显著的, 还可以报告调节变量均值上下一个标准差相应的前后路径的效应值。但对于中介效应差异检验, 检验的是中介效应最大值和最小值的差异, 所以取调节变量均值上下一个标准差报告对应的中介效应值还不知道是否有意义, 还应当检验其差异是否显著。其实, 差异显著只是说差异在统计上是可以分辨的, 结果很弱。当依次检验或系数乘积的区间检验显著时, 得到的中介效应与调节变量的关系表达式比上述差异显著性重要得多, 此时通常不用关注调节变量的均值上下一个标准差对应的中介效应差异是否显著, 就像回归分析中得到显著的回归方程后, 通常不用关注自变量的均值上下一个标准差对应的因变量差异是否显著。

第四, 从检验的难易程度和方便性看, 依次检验最简单方便, 中介效应之差最麻烦。做依次检验, 使用 SPSS (显变量情形)或者 LISREL 或 Mplus 等软件(潜变量情形)就能解决问题。系数检验与通常的回归系数检验相同。系数乘积的区间检验和中介效应差异检验, 用 SPSS 或者 LISREL 比较麻烦, 不过 Mplus 有现成的指令计算置信区间(见后面例子)。

综上所述, 3 种检验方法不是竞争关系和互补关系, 而是替补关系。研究者当然会希望用比较简便的方法, 得到一个信息丰富、容易解释的较强的检验结果。如果通过依次检验已经得出“中介效应受到调节”的结果, 除非特别需要, 可以不用后面的检验方法。例如, 在需要比较某两个 U 值对应的中介效应时, 才检验中介效应之差是否显著。

当需要计算系数乘积的置信区间时, Sobel 检验和 Bootstrap 法、MCMC 法是竞争关系, 后两者胜出。如果没有先验信息, 使用偏差校正的非参数百分位 Bootstrap 法; 如果有先验信息, 使用 MCMC 法(方杰, 张敏强, 2012)。从现有研究结果看, 区间检验的 Bootstrap 法或 MCMC 法, 是两种可选的相互替代方法。在 Mplus 中只需要添加几个额外参数就很容易用这两种方法得到所要的置信区间

(见后面例子)。

至于条件间接效应分析,中介效应的亚组分析与差异分析法是竞争关系,上一节已经说过是后者胜出,所以前面我们用差异分析法与依次检验、系数乘积的区间检验进行比较。

诚然,各种检验方法都有其优点和缺点,我们在充分了解文献上对已有方法讨论的基础上,作出上述的比较和判断。

4 有调节的中介模型分析步骤

我们自然会感兴趣自变量 X 对因变量 Y 的影响是否显著,同时考虑直接效应是否受到调节,所以第一步是检验回归方程(1)的系数 c_1 和 c_3 。检验 c_3 可以知道在未考虑中介效应的时候,直接效应是否受到调节。检验系数 c_1 的结果,对将来解释模型有用。但即使 c_1 不显著,都可以继续后面的分析,只是解释结果的时候略有不同,参见温忠麟等(2012)说的广义中介分析。

第二步是检验 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 是否与 U 有关。做依次检验,先检验方程(2)中的 a_1 、 a_3 是否显著,再检验方程(3) (直接效应没有受到调节)或者方程(4) (直接效应受到调节)中的 b_1 、 b_2 是否显著。如果 $a_1 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$ (调节后半路径),或者 $a_3 \neq 0$ 且 $b_1 \neq 0$ (调节前半路径),或者 $a_3 \neq 0$ 且 $b_2 \neq 0$ (调节前后路径),至少有一组成立,则中介效应受到调节。将不显著的 a_3 或 b_2 固定为零,重新估计其他系数。报告结果时,写出中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ (不显著的 a_3 或 b_2 变成零),并报告其在 U 的均值以及均值上下一个标准差处的中介效应值,这样就对中介效应受到调节的情况有比较清晰的了解。如果是纯粹验证模型,则不论系数是否显著,都保留在模型中,无需重新估计。

如果依次检验结果是显著的,已经可以知道中介效应受到调节。如果依次检验结果不显著(3对系数乘积无一显著),还不能下结论。下一步是使用非参数百分位 Bootstrap 法或者 MCMC 法对系数乘积做区间检验。如果至少有一对乘积显著,则中介效应受到调节。如果 U^2 的系数 a_3b_2 显著,则前后路径都受到调节,否则将调节不显著的路径改成没有调节,重新估计和检验模型。如果是纯粹验证模型,则不论系数(乘积)是否显著,都保留在模型中,无需重新估计。报告结果时,写出中介效应的表达式 $a_1b_1 + (a_1b_2 + a_3b_1)U + a_3b_2U^2$ 来,并报告其在 U 的均值以及均值上下一个标准差处的中介效应值。

如果系数乘积的区间检验结果还不显著,最后一步是检验中介效应的最大值与最小值之差。中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 是 U 的二次函数,在有了系数估计值后,可以在 U 值正常区间(例如均值上下两个标准差)内计算二次函数最大值和最小值,使用 Bootstrap 法检验它们的差异。如果 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 的最大值和最小值之差显著,则中介效应受到调节,并做出报告。否则,连最大值与最小值之差都不显著,已经可以认定 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 不随 U 变化,即中介效应不受 U 的调节。

综上所述,可以给出有调节的中介模型的层次检验流程(图 9)。这个流程是针对前半路径和后半路径都受到调节的中介模型,如果理论假设是只有前半或后半路径受到调节,相应的回归方程和检验略有调整。如果只有前半路径受到调节,则方程(3)或(4)中不包含调节变量和中介变量的交互乘积项 UW (即没有 b_2);如果只有后半路径受到调节,则方程(2)中不包含自变量和调节变量的交互乘积项 UX (即没有 a_3)。

为了说明使用上面的层次检验流程与已有的检验方法的差别以及层次检验的优点,不妨设想有 4 个研究者用同一组数据检验同一个有调节的中介模型,甲使用传统的依次检验,乙使用系数乘积的区间检验,丙使用中介效应差异检验,而丁使用本文提出的层次检验。根据 3.2 节的讨论可知,就甲乙丙而言,甲的检验力最低,乙的次之,而丙的检验力最高。因此,如果甲的结果显著,则乙的结果也显著(不排除出现例外的可能,但现有的模拟和实际数据都未发现例外);如果乙的结果显著,则丙的结果也显著(从 3.2 节可知,这里不会有例外)。因而,可以推知甲乙丙的检验结果只有表 1 所列的 4 种情形,使用层次检验的丁的检验结果可以根据甲乙丙的检验结果而确定。

情形 1: 甲的结果显著,因而乙和丙的结果也显著;丁做了甲的检验就停止了,和甲的结果相同。

情形 2: 甲的结果不显著,但乙的结果显著,因而丙的结果也显著;丁首先得到甲的结果(不显著),然后得到乙的结果(显著)。

情形 3: 甲乙的结果都不显著,但丙的结果显著;丁首先得到甲的结果(不显著),然后得到乙的结果(不显著),最后得到丙的结果(显著)。

情形 4: 甲乙丙的结果都不显著;丁首先得到甲的结果(不显著),然后得到乙的结果(不显著),最后得到丙的结果(不显著)。

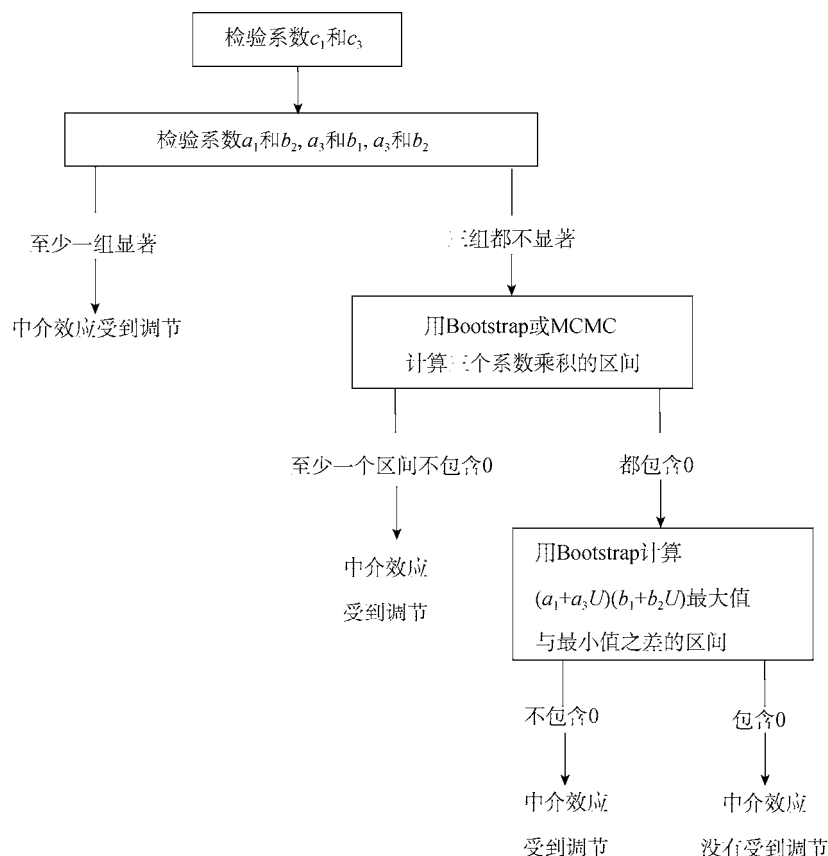


图9 有调节的中介模型层次检验流程

丁的检验力和丙的一样, 高于甲和乙(情形 3); 在各种情形, 丁获得的信息是最多的, 在情形 2 和 3 中都多于其他 3 人; 在检验结果解释方面, 丁是最强的一个, 在情形 1-3 中, 其解释都与甲乙丙中显著性解释最强的一个相同, 详见表 1。

当第一步的检验结果是 c_3 显著, 此时可以考虑两种模型, 一种是有调节的中介模型, 并且调节变量同时调节了直接效应, 另一种是有中介的调节模型。采用哪种模型检验并进行解释, 取决于所研究的问题背景、学科理论和经验常识。如果是前者, 使用本文总结的方法和步骤进行分析, 如果是后者, 可参考叶宝娟和温忠麟(2013)对有中介的调节模型分析方法和步骤, 这里不赘述。

5 示例

接下来用一个实际例子演示如何用图 9 的流程检验有调节的中介模型。本例感兴趣的是感恩(自变量 X)通过学业复原力(W)影响学业成就(Y)的中介过程, 是否受到了压力性生活事件(U)的调节, 即压力性生活事件调节了中介过程的前半路径和后半路径, 模型如图 4 所示。本次研究共有 8 所初级

中学的 1148 名青少年参与调查, 其中女生 567 人, 男生 581 人, 平均年龄 15.13 ($SD = 1.65$)。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(2013)的研究。但本实例数据与叶宝娟等(2013)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。叶宝娟等(2013)仅检验了压力性生活事件调节了中介过程的后半路径的情况, 本研究还感兴趣于压力性生活事件是否调节了中介过程的前半路径。将 Y , W , X 和 U 标准化变成 Z 分数(变量名称不变), 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。

第一步, 建立学业成就(Y)与感恩(X)关系的简单调节模型(见图 8), 检验直接效应是否受到生活事件(U)的调节, 结果见图 10。感恩(X)对学业成就(Y)的效应显著($c_1 = 0.156$, $t = 5.334$, $p < 0.001$), 感恩(X)与生活事件(U)的交互项(UX)对学业成就(Y)的效应不显著($c_3 = -0.036$, $t = -1.298$, $p = 0.194$)。

第二步, 建立有调节的中介模型(见图 4, 直接效应不受调节), 检验感恩(X)经过复原力(W)对学

表 1 层次检验与依次检验、系数乘积的区间检验和中介效应差异检验比较

检验方法	情形 1	情形 2	情形 3	情形 4
甲：依次检验 3 对系数	检验结果显著 信息：知道乙丙丁的结果也显著 解释：明确知道中介路径上每个系数的显著性，以及前、后路径哪个受到调节	检验结果不显著 信息：不知乙丙丁的结果 解释：中介效应没有受到调节	检验结果不显著 信息：与情形 2 相同 解释：与情形 2 相同	检验结果不显著 信息：与情形 2 相同 解释：与情形 2 相同
乙：3 个系数乘积的区间检验	检验结果显著 信息：知道丙丁的结果也显著，但不知甲的结果 解释：明确知道前、后路径哪个受到调节	检验结果显著 信息：与情形 1 相同 解释：与情形 1 相同	检验结果不显著 信息：知道甲的结果不显著，但不知丙丁的结果 解释：中介效应没有受到调节	检验结果不显著 信息：与情形 3 相同 解释：与情形 3 相同
丙：中介效应差异检验	检验结果显著 信息：知道丁的结果也显著，但不知甲乙的结果 解释：只知道中介过程受到调节，但不知哪个路径受到调节	检验结果显著 信息：与情形 1 相同 解释：与情形 1 相同	检验结果显著 信息：与情形 1 相同 解释：与情形 1 相同	检验结果不显著 信息：知道其他 3 人的结果也不显著 解释：中介效应没有受到调节
丁：层次检验	检验结果显著 信息：知道甲乙丙的结果也显著 解释：与甲的情形 1 相同	检验结果显著 信息：知道甲的结果不显著、乙丙的结果显著 解释：与乙的情形 1 相同	检验结果显著 信息：知道甲乙的结果不显著、丙的结果显著 解释：与丙的情形 1 相同	检验结果不显著 信息：知道其他 3 人的结果也不显著 解释：中介效应没有受到调节
层次检验的优点	丁和甲的信息多于乙和丙，丁和甲的结果解释性也强于乙和丙	丁乙丙的检验力高于甲；丁的信息多于甲乙丙，丁和乙的结果解释性强于丙	丁和丙的检验力高于甲和乙；丁的信息多于甲乙丙	丁和丙的信息多于甲和乙

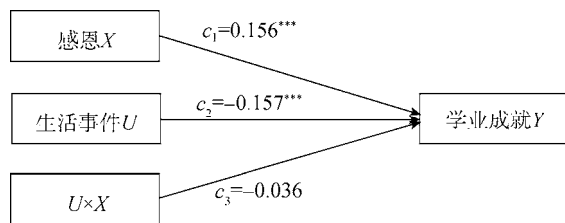


图 10 检验直接效应是否受到调节

业成就(Y)的中介效应是否受到生活事件(U)的调节。先做依次检验，可以通过两个回归分析(2)和(3)完成，但我们用路径分析进行，附录 2 给出了 Mplus 程序，结果见图 11。感恩(X)对复原力(W)的效应显著($a_1 = 0.529$, $t = 20.937$, $p < 0.001$)，感恩(X)与生活事件(U)的交互项(UX)对复原力(W)的效应不显著($a_3 = -0.009$, $t = -0.386$, $p = 0.699$)；复原力(W)对学业成就(Y)的效应显著($b_1 = 0.222$, $t = 6.646$, $p < 0.001$)，生活事件(U)与复原力(W)的交互项(UW)对学业成就(Y)的效应不显著($b_2 = -0.048$, $t = -1.807$, $p = 0.071$)。对照图 9 的流程，依次检验还

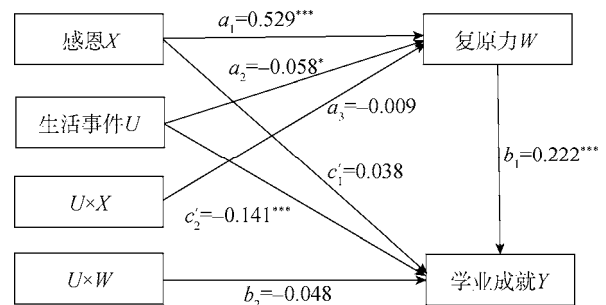


图 11 检验中介效应的前后路径是否受到调节

不能确定感恩经过复原力对学业成就的中介效应是否受到调节。

接下来，使用偏差校正的百分位 Bootstrap 法计算 a_1b_2 、 a_3b_1 和 a_3b_2 的置信区间，附录 3 给出了 Mplus 程序。系数乘积 95% 的置信区间为： a_1b_2 为 $[-0.053, -0.001]$ ， a_3b_1 为 $[-0.016, 0.012]$ ， a_3b_2 为 $[-0.002, 0.005]$ 。因为 a_1b_2 的置信区间不包括 0，所以，感恩经过复原力对学业成就的中介效应的后半路径受到生活事件的调节。因为 a_3b_1 和 a_3b_2 的置信

区间包括 0, 所以, 模型的前半路径没有受到调节, 将前半路径设置成没有调节, 重新估计和检验模型 (如图 2, 不难对附录 3 的 Mplus 程序作相应修改)。

因为 $a_3 = -0.009$ 几乎等于零, 所以设置模型前半路径不受调节后各参数的估计没有什么变化。感恩(X)经过复原力(W)对学业成就(Y)的中介效应为 $a_1b_1 + a_1b_2U = 0.117 - 0.025U$, 当 U 取值为 1、0 和 -1 时, 中介效应分别为 0.092、0.117 和 0.142。感恩(X)对学业成就(Y)的总效应是 0.181 (见附录 1), 当 U 取值为 1、0 和 -1 时, 中介效应分别占了总效应的 50.8%、64.6% 和 78.5%。对 U 取值为 1 和 0 检验中介效应之差, 95% 置信区间为 $[-0.053, -0.001]$, 差异显著。显然, U 取值为 1 和 -1 对应的中介效应之差更大, 可见差异检验显著其实是很弱的结果。

上述统计结果说明, 感恩(X)经过复原力(W)对学业成就(Y)的中介效应受到生活事件(U)的调节。当个体经历的生活事件属于平均水平时($U=0$), 感恩(X)经过复原力(W)对学业成就(Y)的间接效应占了总效应的 2/3 左右。当个体经历较多的生活事件时, 这个间接效应变小, 直接效应变大; 当个体经历较少的生活事件时, 这个间接效应变大, 直接效应变小。从而, 对于经历较多生活事件的个体, 提高其感恩水平往往可以直接提高其学业成就; 但对于经历较少生活事件的个体, 应当重视提高其复原力, 才能更有效地提高其学业成就。

说明一下, 如果有先验信息, 可使用 MCMC 法计算 a_1b_2 、 a_3b_1 和 a_3b_2 的 95% 的置信区间, 参考附录 3 以及叶宝娟和温忠麟(2013)的附录 5, 不难编写用 MCMC 计算 a_1b_2 、 a_3b_1 和 a_3b_2 置信区间的 Mplus 程序。

有调节的中介模型, 比较深入地揭示了感恩(X)对学业成就(Y)的作用机制, 既阐明了感恩(X)通过复原力(W)影响学业成就(Y) (“怎样起作用”), 还揭示了这一过程受到压力性生活事件的影响 (“何时作用更大”) (叶宝娟, 杨强, 胡竹菁, 2012; 叶宝娟等, 2013)。

6 讨论

在心理和许多其他社科研究领域, 考虑自变量对因变量的影响时, 常涉及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调节的中介模型, 已经有不少应用。文献上有多种检验有调节的中介模型方法, 面对一个实际问题, 应当从何着手分析呢? 本文提供了检验有调节的中介模型的流程。

本文提供的检验流程, 第一步检验自变量对因变量的直接效应是否显著、直接效应是否受到调节。这一步有助后面的模型建立和解释。如果直接效应不显著, 后面的中介分析属于广义中介分析, 结果要有相应解释。如果直接效应受到调节, 要根据问题背景和研究目的考虑是建立有调节的中介模型还是有中介的调节模型。

本文通过详细比较各种检验方法后, 得到的结论是应当优先使用依次检验, 将系数乘积的区间检验作为其替补, 而中介效应的差异检验又是系数乘积的区间检验的替补, 当前一种检验方法不显著的时候, 使用后一种检验方法。在区间检验时, 建议用偏差校正的百分位 Bootstrap 法或者 MCMC 法, 计算系数乘积的置信区间。如果使用 Mplus, 用一个程序已经可以实现上述全部 3 个检验 (见附录 3), 但还是应当按流程的建议选择结果作出报告。在报告结果时, 除了报告中介效应的表达式 (如果有意义), 还应当报告调节变量均值及其上下一个标准差对应的中介效应值。

如所知, 参数的区间估计优于点估计, 包含更多的信息。这可能是不少应用工作者放弃依次检验, 优先考虑系数乘积的区间检验的原因。其实, 依次检验也可以通过系数的区间估计进行。如果喜欢区间估计和检验, 可以在依次检验时, 对每个系数做区间估计和检验, 而不是率先使用系数乘积的区间检验。

如果中介过程的前后路径都受到调节, 中介效应是调节变量的二次函数, 需要检验中介效应的差异时, 推荐检验二次函数在调节变量合理取值范围内 (均值上下两个标准差) 的最大值和最小值之差是否显著。如果只有一个路径受到调节, 则中介效应是调节变量的线性函数, 可以对调节变量均值上下两个标准差对应的中介差异进行检验。

需要说明的是, 如果中介效应的调节幅度大, 依次检验结果就会显著了。本文出于示范的需要, 特意选择了中介效应的调节幅度不大的例子。在心理和行为研究中, 中介效应的调节幅度通常都不大, 但是相应的研究往往还是有意义的 (Ellis, 2010)。

本文有调节的中介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,因此,模型的拟合检验变得很重要(温忠麟等,2012)。无论是显变量还是潜变量,都可以利用结构方程建模,使用的模型可能比用显变量建立回归模型少,如方程(2)和(3)用一个模型就可以了,图4是其相应的路径图。

本文讨论的有调节的中介模型只涉及一个调节变量,如果前半路径和后半路径的调节变量不同,分别是 U 和 V ,则图4和图7的中介效应变成 $(a_1 + a_3U)(b_1 + b_2V)$,本文提出的检验流程仍然适用。本文讨论的模型只涉及一个中介变量,更复杂的模型包括有调节的多重中介分析(Hayes, 2013)、多水平数据的有调节的中介分析(刘东等, 2012)等。这些复杂模型的检验方法和步骤,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 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.
- 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.
- Fang, J., & Zhang, M. Q. (2010). 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.]
- Fritz, M. S., & MacKinnon, D. P. (2007). Required sample size to detect the mediated effect. *Psychological Science*, 18, 233-239.
- Hayes, A. F. (2009). Beyond Baron and Kenny: Statistical mediation analysis in the new millennium. *Communication Monographs*, 76, 408-420.
- Hayes, A. F. (2013). *An introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach*. New York: Guilford Press.
- Liu, D., Zhang, Z., & Wang, M. (2012). Moderated mediation and mediated moderation: Theory construction and model checking (Gao, Z. H Trans.). In P. X. Cheng, Y. S. Xu, & L. J. Fan (Eds.), *Empirical methods in organization and management research* (2nd ed, pp. 553-587). Beijing: Peking University Press.
- [刘东, 张震, 汪默. (2012). 被调节的中介和被中介的调节: 理论构建与模型检验(高中华译). 见: 陈晓萍, 徐淑英, 樊景立 (编). *组织与管理研究的实证方法*(第二版, pp. 553-587). 北京: 北京大学出版社.]
- 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., Warsi, G., & Dwyer, J. H. (1995). A simulation study of mediated effect measures. *Multivariate Behavioral Research*, 30, 41-62.
- 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. (2004). SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36, 717-731.
- Preacher, K. J., Rucker, D. D., & Hayes, A. F. (2007). Addressing moderated mediation hypotheses: Theory, methods, and prescriptions. *Multivariate Behavioral Research*, 42, 185-227.
- 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.
- 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. (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., & Chang, L. (2005). A comparison of moderator and mediator and their applications. *Acta Psychologica Sinica*, 37, 268-274.
- [温忠麟, 侯杰泰, 张雷. (2005). 调节效应与中介效应的比较和应用. *心理学报*, 37, 268-274.]
- 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.]
- Ye, B., & Wen, Z. (2013). A discussion on testing methods for mediated moderation models: Discrimination and integration. *Acta Psychologica Sinica*, 45, 1050-1060.
- [叶宝娟, 温忠麟. (2013). 有中介的调节模型检验方法: 甄别和整合. *心理学报*, 45, 1050-1060.]
- Ye, B., Yang, Q., & Hu, Z. (2012). The effect mechanism of parental control, deviant peers and sensation seeking on drug Use among reform school students. *Psychological Development and Education*, 28, 641-650.
- [叶宝娟, 杨强, 胡竹菁. (2012). 父母控制、不良同伴和感觉寻求对工读生毒品使用的影响机制. *心理发展与教育*, 28, 641-650.]
- Ye, B., Yang, Q., & Hu, Z. (2013). Effect of gratitude on adolescents' academic achievement: Moderated mediating effect. *Psychological Development and Education*, 29, 192-199.
- [叶宝娟, 杨强, 胡竹菁. (2013). 感恩对青少年学业成就的影响: 有调节的中介效应. *心理发展与教育*, 29, 192-199.]
- 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(p1.txt)

```

1.000
0.262 1.000
0.181 0.539 1.000
-0.183 -0.153 -0.180 1.000
-0.019 0.036 0.082 -0.044 1.073
-0.048 0.044 0.036 0.034 0.608 1.142

```

注释: 变量依次为学业成就(Y)、复原力(W)、感恩(X)、生活事件(U)、感恩与生活事件交互项(UX)及复原力与生活事件交互项(UW)。

附录 2 分析图 11 所示模型的 Mplus 程序

DATA: FILE IS p1.txt; ! p1.txt 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

NOBSERVATIONS ARE 1148; !被试为 1148 人

VARIABLE: NAMES ARE Y W X U UX UW;

!变量为 Y, W, X, U, UX, UW

MODEL:

W on X U UX;

!做 W 对 X, U, UX 的回归

Y on X U W UW;

!做 Y 对 X, U, W, UW 的回归

OUTPUT:

附录 3 用偏差校正的百分位 Bootstrap 法检验有调节的中介模型的 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=2000; ! Bootstrap 法抽样 2000 次

MODEL:

W on X (a1)

U

UX (a3);

!做 W 对 X, U, UX 的回归

!X 和 UX 的回归系数分别命名为 a1 和 a3

Y on X

U

W (b1)

UW (b2);

!做 Y 对 X, U, W, UW 的回归

!W 和 UW 的回归系数分别命名为 b1 和 b2

MODEL CONSTRAINT:

new (H1-H7);

H1= a1*b2; ! a_1b_2 的估计

H2= a3*b1; ! a_3b_1 的估计

H3= a3*b2; ! a_3b_2 的估计

H4=a1*b1; !当 U 等于 0 时的 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$

!的中介效应的值

H5=H4 + H1 + H2 + H3;

!当 U 等于 1 时的中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 的值

H6=H4-H1-H2 + H3;

!当 U 等于-1 时的中介效应 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 的值

H7=H5-H4;

! U 等于 1 和 0 时的 $(a_1+a_3U)(b_1+b_2U)$ 之差

OUTPUT: cinterval (bcbootstrap);

!输出系数乘积及中介效应之差的偏差校正的百分位

!Bootstrap 计算的中介效应置信区间

Different Methods for Testing Moderated Mediation Models: Competitors or Backups?

WEN Zhonglin¹; YE Baojuan²

(¹Center for Studies of Psychological Application/School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

(²School of Psychology, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract

Mediation and moderation models are frequently used in the research of psychology and many other social science disciplines. Mediation indicates that the effect of an independent variable on a dependent variable is transmitted through a third variable, namely a mediator. For example, students' *gratitude* promoted their *academic achievement* medially by increasing *everyday academic resilience*. Moderation occurs when the effect of an independent variable on a dependent variable varies according to the level of a third variable, which interacts with the independent variable. For instance, adolescents' perceptions of their teachers' *authoritative teaching* moderated the effect of *antisocial disruption* on *peer acceptance*.

It is not uncommon for hypotheses about moderation and mediation relationships to occur in the same context where more than three variables are involved. When a mediation effect is moderated by a moderator, the effect is termed moderated mediation and the model is moderated mediation model. For example, everyday academic resilience acts as a mediator between gratitude and academic achievement, and this mediation process is moderated by stressful life events.

There are several methods for testing moderated mediation models. The moderated mediation models being used for proposed testing methods are different. We are wondering whether different testing methods are competitors, or some of them are only backups.

We discussed the different testing methods based on the most general type of model. The traditional testing method is the moderated causal steps approach, in which the regression coefficients are tested in sequence. Modern methods include the testing of the products of coefficients by using Bootstrap method or MCMC method, and testing of the difference between the maximum and minimum of the mediation effects. On the basis of the previous studies it can be summarized that the power of test with the moderated causal steps approach is the lowest among the three testing methods, whereas the testing of the difference between the maximum and minimum of the mediation effects has the highest power of test.

After comparing significant results of the three testing methods by reviewing the simplification, implication, information, and explanation, we concluded that the moderated causal steps approach should be recommended first; testing of the products of coefficients by using Bootstrap method or MCMC method should be treated as a backup; testing of the difference between the maximum and minimum of the mediation effects should be the final choice.

We proposed a hierarchical procedure for testing moderated mediation models as follows:

Step 1. Adopt the moderated causal steps approach to test the model. If the significant result is obtained from the test, the mediating effect is moderated. Otherwise, go to Step 2.

Step 2. Test the products of coefficients by using Bootstrap method or MCMC method. If any product is significantly different from zero, the mediating effect is moderated. Otherwise, go to Step 3.

Step 3. Test the difference between the maximum and minimum of the mediation effects. If the difference is significant, the mediating effect is moderated. Otherwise, the mediating effect is not moderated.

As an illustration, the procedure was applied to an empirical study in which everyday academic resilience played the role of a mediator between gratitude and academic achievement, and this mediation process moderated by stressful life events.

The relationship and difference between moderated mediation models and mediated moderation models were also discussed.

Key words mediation; moderation; moderated mediation; mediated moderation