

教师数学教学知识对初中生数学学业成就的影响

郭 衍 曹一鸣

[摘要] 教师数学教学知识(MKT)是数学学科知识联系教学和学生的纽带,对学生数学学习有着不可忽视的影响。选取某省2112名数学教师及28172名8年级学生进行调查研究 and 数据分析,分别测试教师数学教学知识和学生的数学学业成就,结果表明:教师数学教学知识对初中生数学学业成就有显著影响,其中一般内容知识、特殊内容知识和学生的数学学业成绩有较大关联,内容与学生知识、内容与教学知识对学生高层次认知能力的影响更大。

[关键词] 数学教学知识 学业成就 高层次认知能力

一、引言

自1986年Shulman创造性的提出“学科教学知识”(Pedagogical Content Knowledge,简称PCK),统一了教师专业发展学术性和师范性的二元对立,^[1]PCK成为教师专业发展的核心知识,成为学科知识联系教学和学生的纽带。后来许多研究者也在不断补充或重新定义PCK的内涵,其中数学教育研究者也做出了一些开拓性的工作,密歇根大学Deborah Ball教授带领的研究团队(Learning Mathematics for Teaching,简称LMT)提出数学教学知识(Mathematics Knowledge for Teaching,简称MKT)的理论框架并设计测试工具,再通过大规模测试修正改进理论模型。^[2]Ball教授将MKT分为学科知识和教学内容知识两部分,^[3]测试框架中学科知识包含(1)一般内容知识和(2)特殊内容知识;教学内容知识包括(3)内容和学生知识和(4)内容和教学知识^[4]。

尽管教师教学知识引起了学界的广泛关注,但对其细致的量化研究还为数不多,特别是教师教学知识的输出问题,即其对学生学业成就的影响研究更是少见。^[5]有少部分研究将教师的数学知识作为学生成绩

的预测变量加以测量,^[6]也有选择测试教师的课堂表达并研究其对学生阅读和数学成绩的影响,但这类研究少有对教学知识的关注,缺少对具体学科知识的考察,或是无法做到大规模测量,^[7]目前国内兼顾数学教学和数学学科知识的教师教学对学生学业成就的实证研究则更加少有问津。2005年,密歇根大学LMT团队的Hill等人研究了699名小学教师的教学内容知识(Content Knowledge for Teaching)、教龄、出勤率等因素对学生学业成绩的影响,表明数学教师教学内容知识对学生数学成绩有显著的积极影响。^[8]但由于受当时MKT理论和测试工具研发的限制,并没有对教师数学知识,特别是教师教学知识做更为细致的刻画与测量。纵观国际上教师影响研究发展的各个阶段:从最初的关注教师人口学和心理学要素的“预期-结果(Presage-product)”研究,到后来实验研究兴起,开始关注教师的课堂教学行为和教学模式的“过程-结果(Process-product)”研究,再到目前的关注教师知识和信念的“课堂行为之外(Beyond Classroom Behavior)”的研究,关注点逐步由显性转向隐性、由表面深入内核。由此可见,教师数学教学知识的研究是国际研究的发展趋势。^[9]随着MKT理论研究和测试工具的不断完善,本研究采用大数据实

本研究为国家哲学社会科学基金2017年度教育学重点项目“教师核心素养和能力建设研究”(AFA170008);中国博士后科学基金项目“数学教师核心素养在教学实践中的表现研究”(2017M610785)的研究成果。曹一鸣为本文通讯作者。

证研究的方法,建立分层线性模型,从一般数学内容知识(Common Content Knowledge,简称CCK)、特殊数学内容知识(Specialized Content Knowledge,简称SCK)、内容和学生知识(Knowledge of Content and Students,简称KCS)、内容和教学知识(Knowledge of Content and Teaching,简称KCT)这四个维度,更细致的展开教师数学教学知识对学生学业成就的影响研究。

二、研究设计

(一)研究对象

研究数据来自中国基础教育质量监测协同创新中心“区域教育质量健康体检”项目,对Z省内501所中学的8年级学生进行随机抽样并对应全体8年级数学教师,分别进行学生数学学业测试和教师数学教学知识测试。研究对象来自Z省11个市及下辖的102个区县,涵盖了Z省的全部行政区域,对该地区初中数学教师和学生的代表性理想。

(二)研究工具

1.教师数学教学知识测试。研究选用密歇根大学LMT项目组所开发的MKT测试工具,借助北京师范大学MIST-CHINA国际合作项目早期的研究成果,经过本土化研究后最终形成用于Z省教师的测试卷。测试框架由MKT测试在中国施测改进后形成(图1)。

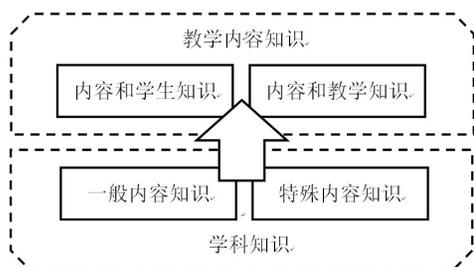


图1 数学教学知识测试框架

测试工具参照《义务教育数学课程标准(2011年版)》将试题内容划分为:图形与几何(4题)、数与代数(4题)、统计与概率(4题)、综合与实践(4题),对课程标准划分的课程内容均有涉及;根据MKT理论框架将试题的数学教学知识划分为:一般数学内容知识(CCK)、特殊数学内容知识(SCK)、内容和学生知识(KCS)、内容和教学知识(KCT)。测试卷整体信度为0.94,各维度信度均在0.85以上,区分度达到0.40(良好)以上的题目约占87.5%,难度分布为0.11~0.85,其中介于0.50~0.80的题目约占50%,分布合理。

2.学生数学学业成就测试。学业测试的内涵包括学生的基础知识、基本技能,也包括搜集处理信息、自主

获取知识、分析与解决问题、交流与合作、创新精神与实践能力等。学生数学学业测试基于数学课程标准,命题结构分知识、能力两个维度,其中知识维度包括:数与代数、图形与几何、统计与概率,能力维度包括:了解、理解、掌握、应用^[10]。测试卷各题册信度均在0.9左右,区分度达到0.40(良好)以上的题目约占92.5%,难度分布在0.50~0.80的题目占62.7%,分布合理。

除了数学学业测试总分之外,本研究还将学生的高层次认知能力表现作为数学学业成就的一方面纳入分析模型。测试通过以下几个特征定义“高层次认知能力”:深入的理解概念、定理的实质;综合运用概念、结论分析解决问题;通过阅读分析解决问题。将具备上述特征的题目汇总评分,得到8年级学生的高层次认知能力表现得分^[11]。学生数学学业成就测试结果采用项目反应理论(Item Response Theory,简称IRT)对学生个水平进行估计。

3.学生问卷。学生问卷调查了学生的家庭背景信息。国际上大量的学术研究和调查报告均表明,学生的家庭社会经济地位(socioeconomic status)对学生的学业成就有着不可忽视的影响^[12],因此在进行对学生学业成就的影响因素分析时,特别是无法控制前测成绩时,尤其不能忽视学生家庭背景的影响。

本研究主要使用的是学生父母的教育背景,调查选项包括:(1)没有上过学(2)小学文化(3)初中文化(4)高中(职高)文化(5)大专毕业(6)本科毕业(7)研究生毕业七类。

(三)数据收集与分析

“区域教育质量健康体检”项目对Z省的师生分别进行学生数学学业成就测试和教师数学教学知识测试(背景信息见表1)。教师完成数学教学知识测试、学生完成学业成就测试、学生问卷这三项内容的有效样本包括2112名数学教师及28172名8年级学生。

教师数学教学知识测试形式均为选择题,命题组在试题研发的多轮讨论中充分考虑了真实教学环境下教师可能遇到的知识、教学或学生的问题,除正确选项之外的其他选项基本都是数学教师在日常教学中常常可能遇到的错误或非最佳情况。测试时间为30分钟,每道题约耗时1~2分钟,没有过多的思考时间,要求教师做出即时反应。学生测试时间为90分钟,相比传统数学考试,有意缩减题量,以保证学生有充分的时间在高层次认知能力的题目上作答。

(四)分析模型设定

本研究是教育研究中常见的“学生-学校”嵌套数

表1 学生、教师背景信息

学生特征	百分比(%)	教师特征	百分比(%)
性别		性别	
男	51.1	男	50.8
女	48.8	女	48.7
父亲的教育背景		年龄	
小学或以下	20.1	25岁以下	0.6
初中	49.1	25-29岁	8.7
高中(职高)	18.7	30-39岁	45.7
大专	5.9	40-49岁	36.5
本科及研究生	6	50岁以上	8.5
母亲的教育背景		教龄	
小学或以下	29.6	5年以下	4.5
初中	45.7	5-10年	15.8
高中(职高)	14.5	11-15年	23
大专	5.5	16-20年	23.9
本科及研究生	4.3	20年以上	32.8

据结构,由于传统线性模型的局限性无法体现数据分析的分层结构,将不可避免的导致汇总偏差、估计精度误差,甚至还会导致分析结果的失真^[13],故以学生的数学学业测试结果为因变量(包括测试成绩和高层次认知能力表现),以学生父母的教育背景、数学教师MKT四个维度的得分为自变量,建立分层线性模型(Hierarchical Linear Model,简称HLM)。

由于Z省的学生测试分层抽样单位选取的是学校而非班级,所以学校为第二层,将教师变量在学校水平上取均值纳入模型;学生为第一层。下面以因变量为数学学业测试成绩为例介绍模型,因变量为高层次认知能力得分的模型类似。

1.零模型。

第一层(学生): $Y_{ij} = \beta_{0j} + r_{ij}$;

第二层(学校): $\beta_{0j} = \gamma_{00} + \mu_{0j}$ 。

其中 y_{ij} 是j学校的i学生的数学学业测试成绩, β_{0j} 为j学校的平均成绩, r_{ij} 是学生个体的随机误差,表示j学校的i学生与学校平均成绩的差异; γ_{00} 为总体平均成绩, μ_{0j} 是学校的随机误差,表示j学校平均成绩与总体平均成绩的差异。

2.模型1(纳入学生父母教育背景)。

在零模型的学生层纳入学生父母学历背景(Parents' Education Background,简称PEB)变量,以控制学生家庭因素对学生学业成绩的影响,模型方程为:

$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}(PEB) + r_{ij}$; $\beta_{0j} = \gamma_{00} + \mu_{0j}$; $\beta_{1j} = \gamma_{10}$ 。

3.模型2(纳入教师数学教学知识)。

控制学生父母教育背景后,在模型1的基础上,将学校层纳入数学教师MKT四个维度的得分,以研究教师数学教学知识对学生数学学业成绩的影响,学生层

方程和模型1一致,学校层方程为:

$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}(CCK) + \gamma_{02}(SCK) + \gamma_{03}(KCS) + \gamma_{04}(KCT) + \mu_{0j}$ 。

三、数据分析

零模型实际是方差分析,计算组内相关系数(Intra-class Correlations,简称ICC)可以发现,以学业测试成绩和高层次认知能力得分为因变量建立的两个模型的ICC分别为23.9%和17.8%,说明模型存在一定程度的组间异质性,学生的数学学业表现在学校层面上存在较大的差异,因此须使用分层线性模型分析进行分析。结果如表2、图2所示。

表2 数学学业成就HLM分析结果

变量	零模型	模型1	模型2
父母教育背景 (PEB)		(H) 0.122***	(H) 0.121***
		(S) 0.141***	(S) 0.140***
对数一般内容知识 (CCK)			(H) 0.001
特殊内容知识 (SCK)			(S) 0.471***
内容和学生知识 (KCS)			(H) 0.021
内容和教学知识 (KCT)			(S) 1.000***
方差分析 第一层	(H)0.083***	(H)0.082***	(H)0.082***
	(S)7891.360***	(S)7910.510***	(S)7907.872***
第二层	(H)0.018***	(H)0.014***	(H)0.013***
	(S)5272.549***	(S)2373.626***	(S)2178.409***

注:***代表p<0.001,H代表高层次认知能力得分,S代表数学学业测试成绩

模型1的结果显示,父母教育背景因素无论是对数学学业测试成绩还是高层次认知能力得分都具有显著影响,且方差收缩较大,因此在模型中控制学生父母教育背景是十分必要的。模型2的结果显示,在控制了学生父母的教育背景后,教师数学教学知识对学生的数学学业成就(包括数学学业成绩和高层次认知能力表现)有显著的积极影响。

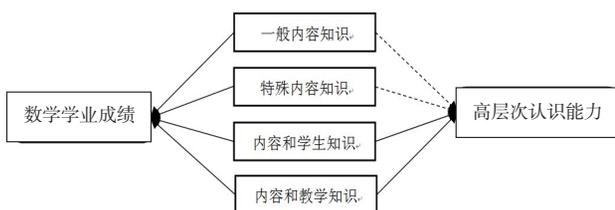


图2 数学教学知识对学生数学学业成就影响示意图

四、结果与讨论

(一)教师的数学教学知识对学生学习有积极影响

就Z省总体来说,教师数学教学知识对学生的数学学习有积极影响。从表2中模型2的分析结果可以看出,教师的数学教学知识的四个维度的回归系数都为正,且在统计意义上显著(以学生的高层次认知能力得分为因变量时,教师的教学内容知识影响显著),虽然因为样本较大可能导致统计结果更容易显著,但教师数学教学知识对学生数学学业成绩的标准化回归系数也较大,说明具有较强的效应;从方差分析的结果来看,在加入了学生父母学历背景的影响效应后,模型2在模型1的基础上,学校层的学生学业成就变异仍然缩减了7.1%(数学学业成绩)和8.2%(高层次认知能力),回归系数和方差变化都证明了数学教学知识对学生的数学学业成就存在显著的积极影响。统计分析的结论说明了教师教学知识对学生学习的积极作用,也更加印证了教师影响研究中教师教学知识的理论意义和实践价值。

(二)教师数学教学知识的影响存在差异

教师数学教学知识对学生的数学学业成就的影响不同:对数学学业成绩而言,教师的学科知识(一般内容知识、特殊内容知识)的影响更大,其中特殊内容知识的作用尤为突出($B=1.000, p<0.001$);对学生的高层次认知能力而言,教师学科知识的影响在统计意义上并不显著,但教师教学内容知识(内容和学生知识、内容和教学知识)存在显著的积极影响,特别是内容和教学知识影响较大($B=0.892, p<0.001$)。

一方面,本研究中关于“高层次认知能力”的特征描述,主要针对学生的问题解决能力,而非对后继课程知识甚至是高等数学知识的考查,所以教师的数学学科知识并没有对学生的高层次认知能力产生直接的影响。学生分析问题、解决问题的能力更多的可能是来自教师教学实践中的互动交流、思维方式等因素的渗透,因此教师的内容和学生、教学的知识对学生高层次认知能力表现的影响更大。另一方面,教师数学教学知识在不同学段对学生数学学习的影响可能存在差异,因为不同学段教师的数学教学的特点和侧重点存在差异,例如,小学低年级数学教学并非侧重数学知识的传授,而课堂管理、师生交流、引领启发、习惯培养等更为重要。在小学的同类型研究中,教师的数学学科知识通过影响内容和学生知识从而间接影响学生的数学学业成绩^[14]。

(三)数学学科知识并非可以忽视

教师的数学学科知识对学生的高层次认知能力并无显著影响,但此结论绝非可以简单的理解为“数学教师的数学学科知识可好可坏,对学生的高层次认知能力无关紧要”。前期的国际比较研究已经发现,中国教师的数学“学科知识”普遍表现较好,特别是一般内容知识的表现尤为出色^[15]。受调查的Z省的教育质量及师资力量在我国均属前列,调查显示,该省初中数学教师的一般内容知识和特殊内容知识的均分分别为0.68和0.61,标准差小于0.04(MKT测试结果采用标准分,均值为0、标准差为1),高于全国平均水平。

此外还分析发现,Z省中“教学内容知识”排名前四分之一的教师中有78.3%的教师的“学科知识”排名也在前四分之一,这也就是说,“教学内容知识”表现优异的教师在“学科知识”方面也绝不逊色。数学学科知识对学生高层次认知能力的影响在统计意义上并不显著,可能是因为Z省教师的学科知识整体表现都较好,故没有表现出和学生高层次认知能力之间的关联。从整体影响的路径来看,教学内容知识对学生的高层次认知能力有较大积极影响是以该省普遍较好的数学学科知识作为依托的;从教师个人来看,扎实的数学学科知识也是其教学内容知识的基础。

最后需要强调的是,测试结果是根据当时当地的数据分析所得,具体的结果数值可能随着测试地区或测试对象的改变而改变,例如在某些教师差异较大的地区由于自变量变异较大,教师的一般内容知识仍可能会表现出对学生高层次认知能力的显著影响,亦或教师数学教学知识的具体维度对不同地区学生数学学业成就的影响大小也有所差异,但这恰恰也体现了教师数学教学知识测试对区域教育改进提升的针对性作用,测试结果以及和学生数学学习结果的关联分析为教师专业培训、教研活动提供了理想的理论依据和数据支持。由此可见,教师数学教学知识的研究不但是国际研究的发展趋势,同时也是促进教师专业发展、提升学生学业质量的实际需求。

注:

[1]Shulman L S. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform[J]. Harvard Educational Review, 1987,57(1).

[2]Hill H C, Schilling S G, Ball D L. Developing of Teachers' Measures Mathematics Knowledge for Teaching[J]. Elementary Scholl Journal, 2004,105(1).

[3]Ball D L, Thames M H, Phelps G. Content Knowledge for Teaching What Makes It Special?[J]. Journal of Teacher Education, 2008,59(5).

[4]邵珍红,曹一鸣.数学教学知识测试工具简介及其相关应用[J].数学教育学报,2014(02).

[5]王立东,曹一鸣.教师对学生数学学业成就的影响研究述评[J].数学教育学报,2014(03).

[6]Mullens J E, Murnane R J, Willett J B. The Contribution of Training and Subject Matter Knowledge to Teaching Effectiveness: A Multilevel Analysis of Longitudinal Evidence from Belize [J]. Comparative Education Review, 1996.

[7]Wayne A J, Youngs P. Teacher Characteristics and Student Achievement Gains: A Review[J]. Review of Educational Research, 2003.

[8]Hill H C, Rowan B, Ball D L. Effects of Teachers' Mathematical Knowledge for Teaching on Student Achievement[J]. American Educational Research Journal, 2005(2).

[9]荀渊.美国教师专业教育的兴起与困境[J].华东师范大学学报(教育科学版),2013(03).

[10]郭衍,曹鹏,杨凡,等.基于课程标准的数学学科能力评价研究——以某学区七年级测试工具开发及实施为例[J].数学教育学报,2015(02).

[11]蔡春霞,王瑞霖,张新颜.八年级学生数学学业水平的现状及其影响因素研究——以三地测试为例[J].教育学报,2015(02).

[12]White K R. The Relation between Socioeconomic Status and Academic Achievement.[J]. Psychological Bulletin, 1982,91(3).

[13]Goldstein H, Rasbash J. Improved Approximations for Multilevel Models with Binary Responses[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1996,160(3).

[14]刘晓婷,郭衍,曹一鸣.教师数学教学知识对小学生数学学业成绩的影响[J].教师教育研究,2015(04).

[15]曹一鸣,郭衍.中美教师数学教学知识比较研究[J].比较教育研究,2015(02).

作者单位:北京师范大学数学科学学院
邮 编:100875
(责任编辑 王 学)