

精熟数学实验室对本科大学代数课程学生成绩影响的研究

陈讲

厦门大学经济学院, 厦门 361005, 福建, 中国

摘要: 入门级数学课程的学生成绩长期是美国全国性的关注议题——这类课程不及格率居高不下, 并直接影响 STEM 学位的保留率与完成率。佛罗里达国际大学 (FIU) 于 2012 年对大学代数课程实施了大规模改革, 建成并投入使用精熟数学实验室 (Mastery Math Lab, MML)。在该实验室中, 学生置身于以学生为中心的主动学习数学环境, 可按自己的节奏推进习题, 并即时获得教师、同伴与学习助理的反馈。本研究通过分析实验室建成前后的学生数据, 考察精熟数学实验室对学生学业表现的影响。结果显示, 实施之后课程通过率呈显著上升趋势, 课程平均成绩亦显著提高, 且改善具有持续性。学生感知调查的分析进一步表明, 学生认为精熟数学实验室有助于其在大学代数课程中取得成功, 并认为本科学习助理 (Learning Assistants, LAs) 的融入有利于自身学习。

关键词: 大学代数; 数学自主学习中心 (Math Emporium); 学习助理; 课程重构; 技术; 计算机实验室

Investigation of Mastery Math Lab Impact on Undergraduate College Algebra Student Success

Jiang Chen

School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China

Abstract: Student success in introductory mathematics courses has been a topic of national concern due to the high failure rates associated with these courses and the impact on STEM degree retention and completion. At Florida International University (FIU), College Algebra underwent an extensive reform in 2012 leading to the implementation of the Mastery Math Lab (MML). Within this lab, students engage in a student-centered active-learning mathematics environment where they can work through problems at their own pace while receiving immediate feedback from faculty, peers, and Learning Assistants. This study aims to determine the impact of the Mastery Math Lab on student performance, by analyzing student data (i.e., pre- and post-implementation). Results show a significant upward trend in the percentage of students passing the course after implementation, as well as a significant increase in the average course grade, with consistent improvements. Analysis of student perception survey responses suggest that students perceive Mastery Math Lab as beneficial for their success in College Algebra and the integration of undergraduate Learning Assistants (LAs) to be conducive to their learning.

Keywords: College algebra; Math emporium; Learning assistants; Course redesign; Technology; Computer lab

一、引言

为提升生活水平、推动国家经济增长、增强全球竞争力并促进经济流动性，社会对建设一支强大的科学、技术、工程与数学（STEM）劳动力队伍有着旺盛需求（NSF, 2021）。而完成核心 STEM 领域学位的学生日渐减少，加剧了 STEM 技能型人才的短缺[1]。尽管 STEM 技能的确切定义仍存争议[2-4]，但一般认为它是指科学、计算、工程、技术与数学诸领域内的读写与数理运算能力[4-5]。这一需求之迫切，以至于若学生毕业率维持现状，美国劳动力市场预计将出现约一百万 STEM 毕业生的缺口[6-9]。就现状而言，以 STEM 专业开始大学学业的学生中仅有 40% 最终毕业——原因既在于学生在毕业前转出 STEM 专业，也在于修读 STEM 的兴趣持续下降[8, 10-11]。要缓解这一短缺，STEM 学生的毕业率需提高 34%。围绕如何提升 STEM 专业学生保留率，学界已有大量讨论，其中包括改善学生对数学的态度[8, 12]。改善学生的数学态度有望提高保留率，因为数十年的研究一再表明，学生对数学的态度与其在数学课程中的成绩和投入之间存在紧密关联[8, 13-16]。

在课堂中实施多样化的学习活动，已被证明能够提高 STEM 本科生的保留率与毕业率[17-18]。混合式学习之类的制度性举措在 STEM 情境中亦有相似效果，它为学生自我调节和自主导向学习行为提供了灵活空间[19-21]。这些做法得到数学及其他学科既有研究的支持，对于保障学生在这类课程中的成功与保留具有关键作用。

然而在传统上，数学教学倾向于以教师为中心，往往忽视了大量证据所显示的——以学生为中心的路径能够改善学生的学习结果与态度结果。通过在 STEM 课程中采用结构化小组讨论、高频形成性反馈等以学生为中心的活动，入门级数学课程提升了学生的投入度与成功率，其中包括归属感的增强与师生互动的改善。在以学生为中心的方法论加持下，数学学习的图景可以发生转变，转向主动鼓励学生协作、促进学生能动性、支持自定步调的学习。

在入门级数学课程内部，由于学生保留率偏低，教育工作者正设法通过课程重构提升学生成绩。这类课程重构需求最为迫切，原因在于其历来不及格率高、选课规模大、学生学业准备水平参差，或以上因素兼而有之。面向数学入门课程的重构模式通常包含相似的创新举措，如加速补习课程、调整课程内容，或在大学水平课程之外配套同期辅助支持。

在课程学习期间获得额外支持（如必修的习题课或实验课）的学生，更有可能取得长期学业成功。数学领域的这些重构模式倡导以学生为中心的路径，主动促使学生与同伴互动，以拓展自身思维。因此，重新思考教学的组织方式、构建以学生为焦点的数学课堂，很有可能带来更好的学习结果。

（一）机构背景与精熟数学实验室

数学课程通常自大学代数起步，几乎是取得学士学位的必经环节。尤其值得注意的是，大学代数被认为是学生不及格频次高于任何其他入门级课程的一门课。佛罗里达国际大学（FIU）的精熟数学实验室（MML）建于 2012 年，旨在提供一个以学生为中心的环境，帮助学生在课程中与数学发生有意义的互动。本研究之所以专门选取大学代数（课程代码 MAC 1105），是因为它属于“高风险课程”——即选课规模大、且有 30% 的学生退课或最终成绩为 D 或 F 的课程。

仅在 FIU，每学年约有 3 500 名学生选修大学代数，这使其成为影响学生保留与毕业的关键课程。为最大限度提高学生使用精熟数学实验室的机会，实验室的开放时间与本校学生群体的需求相匹配，包括夜间与周末时段。这一构想受数学自主学习中心模式（Mathematics Emporium Model）影响：学生被鼓励在计算机上推进习题，并即时获得教师的个性化反馈，从而达成对内容的精熟。在弗吉尼亚理工大学、金斯社区学院、阿拉巴马

大学、爱达荷大学莫斯科分校和密苏里大学圣路易斯分校使用 Math Emporium 电子资源的学生，在考试中表现更好、知识保持更持久，在回答开放性问题时也更为成功。

以学生为中心的学习有望在精熟数学实验室模式中扮演重要角色，营造出学生既与课程材料互动、也与其他学生和同伴学习助理互动的环境。在 FIU，与精熟数学实验室配套的课程要求学生每周在实验室内完成一个半至三小时的作业，同时获得教师与学习助理的反馈。这一强制性的时间投入支撑起一种“高技术 / 高接触”（High-Tech/High-Touch）路径，可提升学生的投入度、成功率与保留率。它把技术的加强使用与人际支持结构结合起来，在改善学生对课业的学习感知与理解的同时，夯实其基础概念与技能。

在精熟数学实验室内，学生被鼓励围绕结构化活动协同工作，在实验室中批判性地求解复杂数学问题、彼此建立联系，并在规定实验室时长之内与之外持续积累数学技能。通过在复习课堂笔记、共同解题等活动中促成同伴协作，这一以学生为中心的路径提升了学生自尊、培养了批判性思维技能，并使学生主动参与到学习过程之中。这种借助分步指导、引导与讨论加以落实的、有意为之的主动学习，带来了材料的强化与澄清、长期的知识保持，以及整体上更好的课程表现。

除与教师互动外，精熟数学实验室还为学生提供了一个与本科同伴导师（即学习助理）建立联系、获得协助与支持的空間。学习助理（LAs）是对所分配课程具备学科知识与教学法知识的本科生，这使他们得以成功促进学生之间的合作学习。学习助理模式通过循证实践提供同伴指导，其对学习助理的培养包含三个关键组成部分：

- （1）为期一学期的教学法课程，学习教与学的科学与实践；
- （2）每周与教师召开的备课会议，讨论课程内容与学生的理解情况，并就学生视角向授课教师提供反馈；
- （3）支持以学习为中心的教学实践得以落地的实际操练。

在精熟数学实验室中，学习助理通过就作业或相关内容的疑问向学生提供即时反馈与支持来促进学习。学习助理还会在课程之外与学生互动，就可能影响学生成功的学业与非学业问题提供准同伴式的指导（如学习方法、时间管理技巧、校内资源、职业建议）。

在本研究中，我们使用精熟数学实验室（MML）启用前后的学生成功指标，来判定精熟数学实验室对学生表现与成功——特别是在大学代数课程中——所产生的影响。我们的目标是理解精熟数学实验室对大学代数学生的影响，包括其学业成功以及对入门级数学课程的感知。我们希望为 Math Emporium 模式这一新兴文献贡献证据，从而为高等院校在大学代数课程重构中纳入以学生为中心的、可规模化的路径提供参考。

二、材料与方法

我们采用量化方法评估精熟数学实验室（MML）的影响。本研究的数据来自多个来源，包括面向当前在读大学代数学生收集的调查问卷，以及大学代数的课程级学生数据。本研究已获得佛罗里达国际大学机构审查委员会批准（编号 #22-0428）。需要说明的是，本研究的数据采自单一所大学。

（一）学生量化数据分析

为考察对学生表现的影响，我们调取了 2011 年秋季学期至 2022 年春季学期各秋季与春季学期的大学代数校级学生数据。该数据集包含精熟数学实验室实施之前的历史数据（即主校区各教学班在 2012 年秋季之前、分校区各教学班在 2018 年秋季之前）。需注意，2018 年秋季之后所有线下大学代数教学班均把精熟数学实验室计入学生成绩要求，因此只有 2018 年之前的学期包含部分未配套精熟数学实验室的教学班。我们剔除了教学受新冠疫情影响的学期数据（即 2020 年春季、2020 年秋季、2021 年春季），同时剔除了修读全线上课程

的学生与双学籍注册学生。该数据文件包含 20 817 条观测记录, 涉及 17 800 名不重复学生。

数据集包含以下变量: 精熟数学实验室状态 (学生所修课程是否配套精熟数学实验室支持); STEM 专业身份 (37% 的学生申报为 STEM 专业); 荣誉学院身份 (1.4% 为在册荣誉学院学生); 国际学生身份 (4.4% 持 F1 学生签证); 首次入学 (FTIC) 学生 (77% 的学生系首次进入高等院校就读); 性别 (男生 53%、女生 46%); 西班牙裔身份 (67% 的学生具西班牙裔族群背景); 黑人 / 非裔美国人身份 (14.7% 的学生以黑人 / 非裔美国人为其主要族裔); 佩尔助学金受助身份 (40% 的学生具备领取佩尔助学金的资格); 高中平均学分绩点 (均值 3.62/4.0, 标准差 ± 0.45 , 缺失数据 5%)。

学生成绩绩点单位 (即 4.0 制的课程数值成绩, GPU) 被用作学生表现的指标 (即结果变量)。等第成绩对应的数值如下: A (4.0)、A- (3.67)、B+ (3.33)、B (3.0)、B- (2.67)、C+ (2.33)、C (2.0)、C- (1.67)、D (1.0)、F 与 DR (0)。仅纳入成绩计入 GPA 的学生数据点。对于因成绩豁免项目而获得 NC 的学生 (即成绩为 D 或 F、课程未获学分者), 我们利用校级数据取回授课教师给出的原始最终成绩。数据的描述性分析包括: 计算各学期以及不同精熟数学实验室状态 (即有 / 无精熟数学实验室) 下课程的通过与不通过学生百分比, 以及等第成绩的百分比分布。

我们采用多元回归分析, 以 GPU 为结果变量。处理组被定义为任何经由精熟数学实验室支持而完成改革的大学代数课程, 这类课程配有教师与本科学习助理实时提供学生支持。在线性回归模型中, 我们纳入变量以控制学生既往学业表现 (高中 GPA、荣誉学院身份)、学业情境 (STEM 专业身份、转学身份、国际学生身份) 与人口学特征 (性别、族裔 / 少数民族身份、佩尔助学金资格)。选择这些变量, 是因为既有报告显示它们是学生课程表现的常见预测因子, 其成因可归于相关群体所经历的系统性与结构性偏差。在上述全部分析中, 我们把 α (可接受的第一类错误最大概率) 设定为 1%。本分析的一项局限在于, 它仅以学业表现 (即课程最终成绩) 作为学生成功的唯一结果, 可能遗漏了社会认知结果等其他重要的学生指标。全部分析在 R 这一用于统计计算与绘图的开源编程与软件环境中完成, 使用的程序包包括 base、dplyr、reshape2、ddply 与 ggplot2。

(二) 学生感知调查数据集与分析

所修课程含精熟数学实验室要求的在读大学代数学生, 在学期末自愿完成了一份在线调查。该调查包含若干题项, 用以考察学生对精熟数学实验室项目及其构成要素的感知, 包括人员支持 (如学习助理) 与社群参与 (如来自其他学生的支持)。调查在以下学期实施: 2018 年秋季、2019 年秋季、2020 年春季与 2022 年春季, 对应的学生样本量分别为 1 789、1 058、441 与 265。该数据集包含各题项的学生作答计数, 并按学期拆分。

与上文选定的量化数据集保持一致, 我们剔除了因新冠疫情而采用全线上或改制教学形式 (即 FIU online-live 课程) 的学期数据 (即 2020 年秋季、2021 年春季)。学生被要求就精熟数学实验室对其课程成功的整体影响, 以及与本科学习助理相处的体验作出说明。学生作答采用与题项相配的四点李克特量表。在数据分析中, 我们对数据集内所有学期中选择某一特定选项的学生百分比取平均。本分析的一项局限在于, 它基于学生自我报告的感知数据, 未必与学生个体的学业结果相关联。

三、研究结果

(一) 课程数据分析

为判定 FIU 精熟数学实验室 (MML) 对学生表现的影响, 我们分析了大学代数学生所获得的最终等第成绩。首先, 我们比较了 2012 年秋季至 2022 年春季 (剔除 2020 年春季、2020 年秋季与 2021 年春季) 大学代数学生的通过率与不通过率。被归为“通过”的是以 C 及以上成绩结课的学生 (即 A、A-、B+、B、B-、C+

与 C)；以 C- 及以下成绩结课的学生（即 C-、D、F）视为未通过，即课程不及格、须重修。退课或中途退出课程的学生（如 DR 成绩）同样计为未通过。

图 1 显示通过率随时间上升：在精熟数学实验室实施之前（2011 年秋季与 2012 年春季），课程通过率为 40%，实施之后升至约 60%~70%。在精熟数学实验室启用后的一年内，通过率由 40% 提高到 50%，上升了 10 个百分点。从 2014 年春季到 2022 年春季，精熟数学实验室的实施使大学代数学生的通过率进一步提高，在 2018 年秋季、2019 年秋季与 2021 年秋季达到 70% 以上（见图 1）。

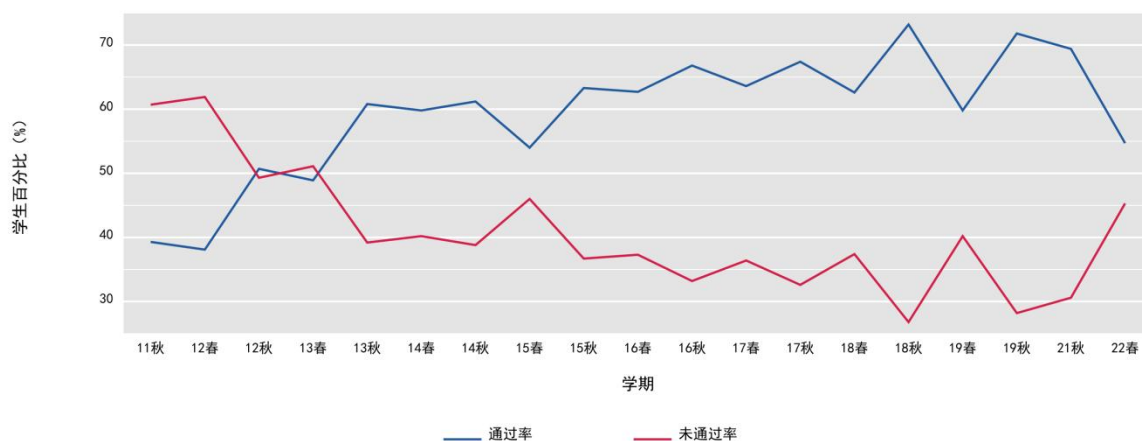


Figure 1 The Percentage of Students Passing/Failing College Algebra from Fall 2011 to Spring 2022 Semesters

图 1 2011 年秋季至 2022 年春季各学期大学代数课程学生的通过 / 未通过百分比

注：蓝线表示以 C 及以上等第成绩（即及格成绩）结课的学生百分比；红线表示以 C- 及以下等第成绩（即不及格成绩）结课的学生百分比，NC 成绩、过了退课截止日期后退课（DR）以及中途退出课程（WI）的学生均计为 F。各学期学生人数在 2 467（最多）至 664（最少）之间，学期平均为 1 270 人。原图未标注数据，图中取值系依据原图逐像素量取后按 y 轴刻度换算，并以“通过率+未通过率=100%”校验；本图已按原图拓扑重绘并译为中文。

图 2 呈现了大学代数课程通过 / 未通过学生的百分比，以及获得不同等第成绩的学生百分比，并按有无精熟数学实验室要求分组。需注意，2012 年秋季之后，主校区所有大学代数教学班均包含精熟数学实验室要求；2018 年秋季之后，全校（含分校区）所有大学代数教学班亦均已落实该要求。精熟数学实验室实施之前，总体通过率为 39.2%（对应 60.7% 的不通过率）；实施之后，我们观察到总体通过率为 65%（对应 35% 的不通过率）（见图 2a）。在精熟数学实验室实施之前的 2012 年春季，获得等第成绩“A”的学生比例约为 5%，与之相伴的不及格率为 25.6%。相比之下，FIU 精熟数学实验室启用之后，获得“A”的比例平均升至 19.8%，最高达 29.6%（出现在 2018 年秋季）（见图 2b）。以“B”通过的学生也有所增加，由实施前的平均 14.6% 升至实施后的 22.7%，最高值同样出现在 2018 年秋季（B 占 25.3%）（见图 2）。

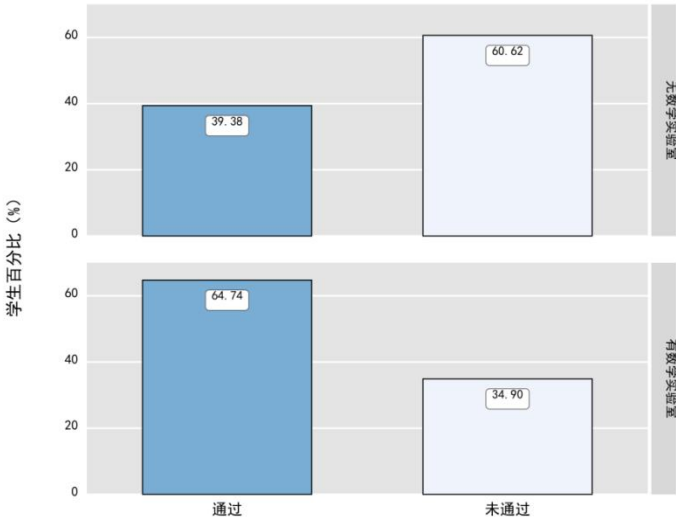


Figure 2a Percentage of Passing and Failing Grades Received by College Algebra Students without (0) and with (1) the FIU Mastery Math Lab Requirement

图 2a 无（0） / 有（1）FIU 精熟数学实验室要求的大学代数学生及格与不及格成绩百分比

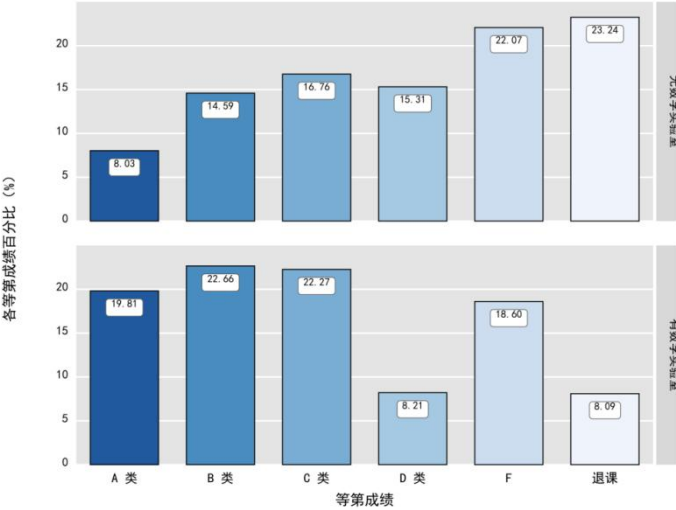


Figure 2b Percentage of Letter Grades for College Algebra Students without (0) and with (1) the FIU Mastery Math Lab Requirement

图 2b 无（0） / 有（1）FIU 精熟数学实验室要求的大学代数学生等第成绩百分比

我们通过一个把精熟数学实验室处理作为预测变量、并纳入若干控制变量的回归模型，对大学代数学生的课程最终成绩进行了评估（见表 1）。课程成绩采用 4.0 分制与标准等第成绩。精熟数学实验室处理被定义为要求学生进入精熟数学实验室的大学代数教学班，即学生须在课外投入额外时间解答作业题，并获得授课教师或本科学习助理的支持。作为对照，我们使用了精熟数学实验室实施之前大学代数学生课程表现的校级记录。

Table 1 Regression Results of Mastery Math Lab Implementation on Student Course Grade Point Unit

表 1 精熟数学实验室实施对学生课程成绩绩点单位的回归结果

变量	估计值	标准误	显著性
（截距）	-2.22	0.083	***

精熟数学实验室实施	0.56	0.025	***
控制变量			
学生高中 GPA	1.03	0.021	***
学生荣誉学院身份	0.81	0.068	***
国际学生身份	0.75	0.048	***
学生转学身份	0.05	0.023	***
学生专业 (STEM)	-0.05	0.017	**
学生西班牙裔身份	-0.04	0.025	ns
学生黑人 / 非裔美国人身份	-0.12	0.032	***
学生性别 (男)	0.03	0.018	ns
学生佩尔助学金受助身份	-0.06	0.018	***

注：ns 表示不显著 ($p > 0.01$)，** $p < 0.01$ ，*** $p < 0.001$ 。

精熟数学实验室对学生课程成绩具有正向且具统计显著性的影响。我们发现，获得精熟数学实验室支持的学生在成绩上呈现出具统计显著性的正向影响，进入精熟数学实验室的学生比无此资源可用的同伴高出 0.56 分（满分 4.0 分制）（ $p < 0.001$ ，中等效应量， $d = 0.59$ ）。线性回归中的控制变量表现符合预期：

（1）高中平均学分绩点（GPA）对课程成绩具有具统计显著性的正向效应，与既有文献把它视为大学表现稳定预测因子的结论一致。在本回归模型中，高中 GPA 每提高一个单位，学生的大学代数成绩预计在 4.0 制上提高 1.03 分。

（2）荣誉学院身份：线性模型还考虑了学生是否属于荣誉学院，该变量对其大学代数最终成绩具有统计上的正向效应。这与此类学生拥有更高的 GPA 与 SAT 成绩（进入该项目的必要条件）相符。

（3）国际学生身份同样被纳入考量，因为本校国际学生数量可观。线性模型显示其对大学代数最终成绩具有具统计显著性的正向效应，国际学生较非国际学生平均高出 0.75 个成绩绩点。

（4）纳入线性回归的学生人口学变量包括性别、族裔与少数族群身份。女生与男生的表现之间不存在任何显著差异。同样地，西班牙裔学生与非西班牙裔学生的表现之间不存在统计显著差异（ $p > 0.01$ ）。线性回归确实显示黑人与非裔美国学生存在一个小幅但具统计显著性的负向效应，这与文献所指出的有色人种学生在西班牙裔服务型院校与以白人为主院校中所面临的挑战一致。

（5）STEM 专业身份对 GPU 有小幅但具统计显著性的负向效应，非 STEM 学生学业结果更佳。这一结果可能提示：未能通过考试免修大学代数的 STEM 学生，与为满足通识核心课程要求而选修该课的非 STEM 学生之间，存在未被模型纳入的差异。

（6）佩尔助学金受助指标对最终成绩表现出具统计显著性的负向影响，平均为 -0.06 分，这与少数族群学生长期存在的公平性差距在历史上是相互印证的。

（二）学生对精熟数学实验室有用性的感知

参加了要求参与精熟数学实验室（MML）的课程的学生，受邀完成一份关于其精熟数学实验室体验的匿名调查。我们分析了其中六个独立题项的作答，全部采用与题项相配的四点李克特量表评分（见附录中的补充表）。大学代数学生被问及“数学实验室对你在本课程中取得成功的帮助有多大？”，并可在四点李克特量表上对自身体验作出评价（见图 3）。平均而言，40% 的学生表示精熟数学实验室对其课程成功“帮助很大”，30% 的学生表示“有一定帮助”。总体来看，超过 70% 的学生报告称，精熟数学实验室对其在大学代数课程中取得成功产生了正面影响。

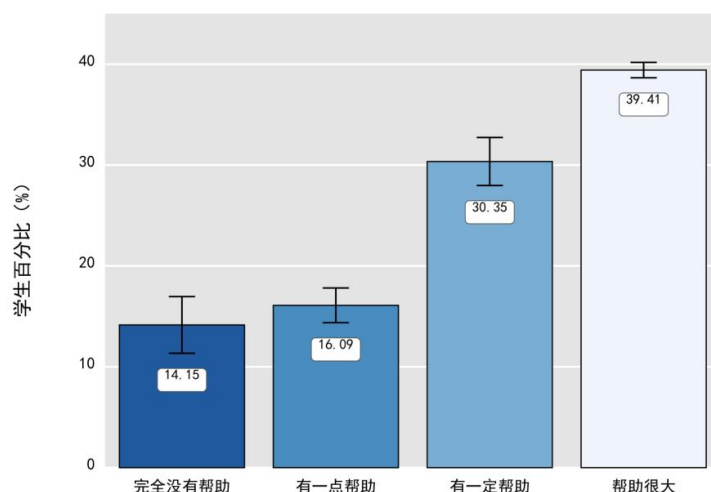


Figure 3 Student Perception of Mastery Math Lab Usefulness

图 3 学生对精熟数学实验室有用性的感知

注：大学代数学生在学期末调查中被问及“数学实验室对你在本数学课程中取得成功的帮助有多大？”，并在四点分类李克特量表（即“完全没有帮助”“有一点帮助”“有一定帮助”“帮助很大”）上表明态度。四个学期共收到 3 553 份学生作答，包括 2018 年秋季（ $n = 1\,789$ ）、2019 年秋季（ $n = 1\,058$ ）、2020 年春季（ $n = 441$ ）与 2022 年春季（ $n = 265$ ）。柱形表示选择某一特定选项的学生百分比在四个学期上的平均值，误差线表示标准差。误差线数值系依据原图逐像素量取后按坐标刻度换算，其中点与原图印出的柱值吻合（误差 ± 0.02 ）。本图已重绘并译为中文。

大学代数学生还被问及对学习助理嵌入精熟数学实验室之成效的看法（见图 4a）。问题为“学习助理对你在本课程中取得成功的帮助有多大？”（四个选项为“帮助很大”“有一定帮助”“有一点帮助”“完全没有帮助”）。平均而言，38% 的学生表示学习助理对其课程成功“帮助很大”，另有平均 31% 的学生表示“有一定帮助”。因此，大约 69% 的学生认为学习助理确实是有助于课程成功的资源。约 30% 的学生认为其课程成功与学习助理关联甚微或全无关联，其中 20% 表示“有一点帮助”，12% 表示“完全没有帮助”。

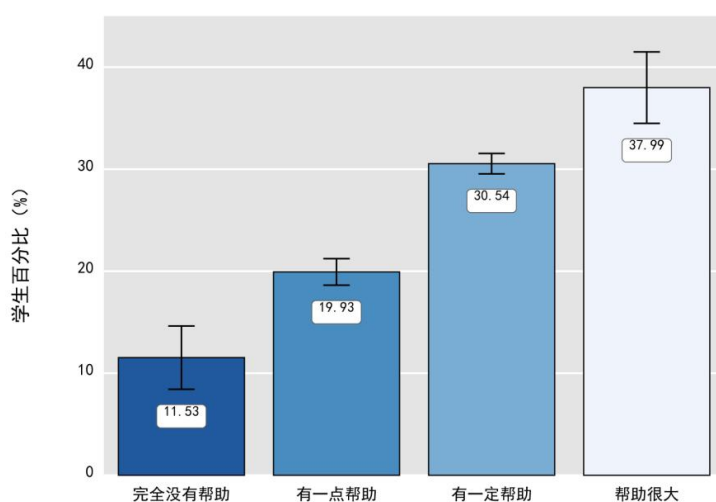


Figure 4a Learning Assistant Impact on Student Success in College Algebra

图 4a 学习助理对大学代数课程学生成功的影响

注：调查题项为“学习助理对你在本课程中取得成功的帮助有多大？”，学生通过四个选项作答（即“帮助很大”“有一定

帮助”“有一点帮助”“完全没有帮助”)。误差线数值系依据原图逐像素量取后换算所得。本图已重绘并译为中文。

在同一份调查中,大学代数学生还被要求就其对精熟数学实验室内学习助理的感知作答(见图 4b)。学生就与学习助理相处体验相关的四条陈述,在四个选项(即“同意”“比较同意”“比较不同意”“不同意”)中作出评价。总体而言,学生把与学习助理相处的体验评价为正面的,认可学习助理耐心且乐于助人。第一,多数受访学生(总体 90%)认为学习助理乐于在精熟数学实验室内帮助学生,其中约 62% 同意“学习助理乐于帮助学生”这一陈述,28% 选择“比较同意”。第二,多数学生(93%)同意或比较同意学习助理对学生的提问有耐心(即“学习助理对学生的提问有耐心”),仅 7% 的学生对此比较不同意或不同意。第三,多数学生同意“学习助理帮助学生理解课程内容”这一陈述,同意与比较同意者合计 91%。第四,92% 的学生同意或比较同意“学习助理让学生相信自己能够学会”这一陈述。

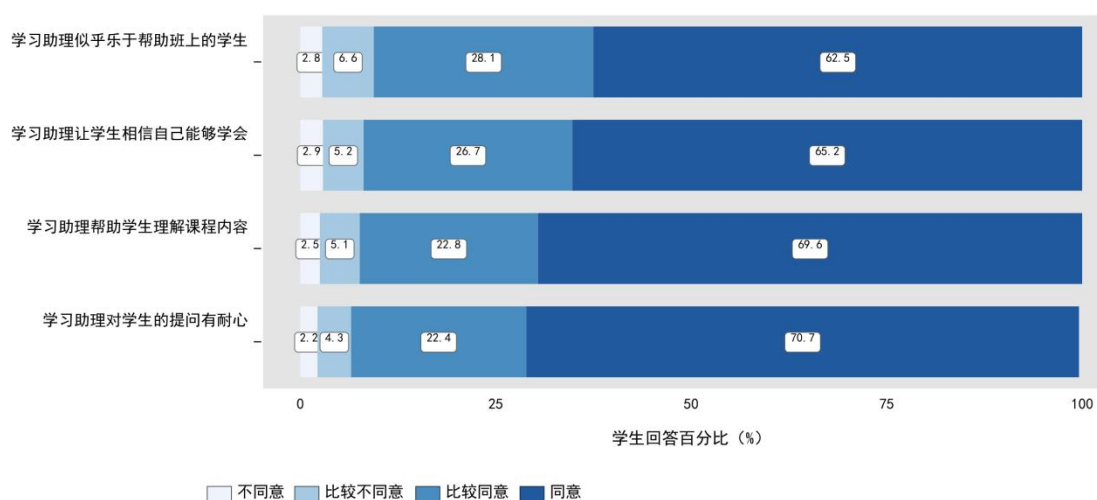


Figure 4b Student Perception of Mastery Math Lab Learning Assistant Practices

图 4b 学生对精熟数学实验室学习助理各项做法的感知

注:大学代数学生在学期末调查中被要求“指出你对以下关于学习助理的陈述的同意程度”。学生就若干关于学习助理的正面陈述,在四点分类李克特量表(即“同意”“比较同意”“比较不同意”“不同意”)上表明态度。四个学期共收到 3 521 份学生作答,包括 2018 年秋季($n=1\,779$)、2019 年秋季($n=1\,051$)、2020 年春季($n=430$)与 2022 年春季($n=261$)。横轴为各学期学生作答百分比的平均值,堆积条形按图例中的李克特量表类别着色。本图已重绘并译为中文。

四、讨论

精熟数学实验室(MML)提供了一个持续数年、针对特定课程以提升西班牙裔服务型院校大学代数学生成功率的努力范例。在研究发现中,我们提供了证据表明:即便在控制多项人口学与学业背景变量之后,精熟数学实验室对学生学业表现仍具有正向且具统计显著性的影响。精熟数学实验室的实施大幅提高了大学代数课程的成功率,带来通过率 20 个百分点以上的提升(即由不足 40% 升至 60% 以上)、平均成绩绩点单位(即等第成绩)的改善,以及退课率的下降;后者或可意味着学生对自身潜在成功的感知有所增强。此外,学生对精熟数学实验室及其支持的感知总体积极,他们表示精熟数学实验室帮助自己在课程中取得成功,并认为学习助理对其学习产生了正面影响。这印证了既有研究所显示的学生感知与学业成就之间的相互影响关系:学生感知影响其课堂表现,而学业表现又反过来影响学生在课程中的自我感知。

本研究强化了这样一种理念:构建能让学生借助多种资源提升学习、并增强其课程成功信心的环境。在精

熟数学实验室内，学生有机会按自己的节奏练习大学代数题目、提升技能，从而改善学业表现。获得即时反馈并从错误中学习的能力，既能提高数学技能，也能改善对课程的整体感知。通过交互式学习平台（即 Pearson MyMathLab）的进度监测，以及线下精熟数学实验室学习助理与教师的支持，精熟数学实验室能够提升学生的学习、联结感与感知——这与 Math Emporium 模式所得到的结果相似。

在 FIU，精熟数学实验室模式还通过高技术 / 高接触路径提供支持。通过提供交互式技术（高技术）并营造回应学生需求的支持性社群（高接触），这一路径有效激励了学生，帮助他们在此类学习环境中取得成功。这些结果与既往关于 Math Emporium 模式及线下支持性环境成效的研究一致。精熟数学实验室的高接触部分依托本科学习助理，这强化了学生与课程之间的联结，营造出支持性的学习环境。学习助理作为同伴导师，通过以学生为中心的协作实践促进学生学习，带来学生表现、课程感知、通过率与保留率的改善。既往研究结果显示，学习助理项目能够增强主动学习的成效、提升学生成功率，并缩小不同人口学群体之间的成绩差距。缩小成绩差距，可通过为所有学生提供取得成功的资源来促进包容与公平的教育。

支撑投入式的学生学习需要制度性支持与资源。在精熟数学实验室最近的一个学期中，它服务了 3 442 名学生（涵盖大学代数及其他课程），并由 58 名学习助理、25 名教职人员提供支持，表明这是一个可规模化的项目。尽管该模式可以大规模执行，但其各构成要素也可按不同规模的场景与院校结构，以多样组合方式加以落实。例如，精熟数学实验室提供了一种帮助学生保持专注、增加与材料互动时间的结构，这一目标也可通过习题课、在课堂内分配任务时间以及规模更小的类精熟数学实验室中心来实现。这些结构能够促进包容、培育社群感，从而带来更高的学生投入度与成功率。

同样地，本研究的主要发现之一是学习助理对提升学生课程成功的重要性。尽管把学习助理纳入 STEM 课程面临诸多制度性挑战，学习助理已在其他院校的多种情境中被成功实施。采用本科学习助理项目，是提高学生课程投入度、保留率与满意度的有效方式。学习助理模式可以按照各院校的独特需求加以落实，因为它能够融入不同的课程情境与规模，从而在遵守预算约束的同时最大化该模式实施所带来的收益。

五、结论

在入门级数学课程中取得成功，对于决定学生进入并留在 STEM 学位路径乃至相关劳动力市场至关重要。因此，为入门级数学课程开发有针对性的课程内容与支持结构，是夯实基础内容精熟度、帮助本科生拓展教育与职业选择的关键。通过提供一个允许更多师生互动与同伴互动时间的环境，学生能够获得正面的数学体验，从而被激励继续攻读 STEM 学位。此外，除通过率提升带来的学业收益之外，学生成功率的提高还带来财务收益，包括重修课程的学生减少（即减少额外学费与超额学分支出），以及在服务重修学生上所需的教学与基础设施资源的节省。

这些结果补充了既往研究，进一步论证了高技术 / 高接触学习环境（如 Math Emporium 模式）对大学代数这类入门级数学课程的成效。总体而言，这些结果指向一个要点：设计学习环境时应善用技术与人力资本，以更好地支持 STEM 学生。精熟数学实验室与其他 Math Emporium 模式，应当成为高等院校学术领导者据以调整并落实学习结构、更好支持 STEM 学生的范例。总体来说，本研究凸显了以学生为中心的举措对学生个人成功与学业成功的重要性与影响。我们的工作提示，学生重视来自同伴、本科学习助理与精熟数学实验室教师的个性化支持，因为这些主体提供了引导与指导。学生从该项目中获益，通过率因此提高，进而促进学位完成与按期毕业。在其他大学落实此类循证的、以学生为中心的路径，其财务激励包括节省教学成本与教师时间。

参考文献

- [1] 钟启泉,崔允漷. 核心素养导向的课程重构逻辑. 全球教育展望, 2021, 50(05): 3-20.
- [2] 王定功. 新时代德育一体化建设实践策略. 中国教育学刊, 2022(07): 89-93.
- [3] 张炜,李培根. 高校产教融合育人模式构建研究. 高等工程教育研究, 2021(03): 135-141.
- [4] 吴砥,周驰. 人工智能赋能教育数字化转型实践. 中国电化教育, 2021(09): 1-8.
- [5] 于伟. 乡村教育振兴的现实困境与破解路径. 东北师大学报 (哲学社会科学版), 2021(04): 146-153.
- [6] 谢维和. 高校分类发展的逻辑与治理对策. 教育发展研究, 2021, 41(11): 1-7.
- [7] Suárez-Carreño F. STEM methodologies and their importance in engineering training: A scoping review. Revista Iberoamericana de la Educación, 2023, 7(2).
- [8] Walker I, Zhu Y. The benefit of STEM skills to individuals, society, and the economy: Report to the Royal Society's Vision for Science and Mathematics. London: The Royal Society, 2013: 1-38.
- [9] 刘献君. 大学书院制育人模式创新实践. 高等教育研究, 2021, 42(06): 78-85.
- [10] 郭华. 深度学习视域下教学设计优化策略. 课程·教材·教法, 2021, 41(08): 68-75.
- [11] Glennie E, Mason M, Dalton B, et al. Preparing students for STEM college and careers. The High School Journal, 2019, 102(3): 228-257.
- [12] Black S E, Dettling L J, Miller A R, et al. The importance of STEM: High school knowledge, skills and occupations in an era of growing inequality. Research Policy, 2021, 50(7): 104249.
- [13] 李政涛. 教师数字化素养培育体系建构. 教师教育研究, 2021, 33(04): 18-25.
- [14] 郝文武. 县域义务教育优质均衡发展机制. 陕西师范大学学报 (哲学社会科学版), 2021, 50(03): 112-120.
- [15] 黄达人. 高职院校高质量发展核心抓手. 中国高等教育, 2020(15): 45-47.
- [16] 桑新民. 线上线下混合式教学长效运行机制. 现代远程教育研究, 2021, 34(04): 12-21.
- [17] 文东茅. 家庭教育协同育人体系建设. 北京师范大学学报 (社会科学版), 2021(05): 56-63.
- [18] Siekmann G, Korbel P. Defining "STEM" skills: Review and synthesis of the literature (Support Document 1). Adelaide: National Centre for Vocational Education Research, 2016.