

教育智能体对人机协同学习成效的影响:一项基于学习动机与学习成绩的元分析

The Impact of Educational Agents on the Effectiveness of Human-Machine Collaborative Learning: A Meta-Analysis Based on Learning Motivation and Academic Performance

杨雪¹, 郑小冬¹, 姜雨欣^{1*}, 付道明¹, 张梅¹
¹ 广东第二师范学院
 *yxjiangyuxin@126.com

【摘要】 教育智能体作为人机协同学习的关键媒介,已借助多模态交互在教学实践中广泛应用,然而其实证效果尚未形成一致结论。为系统评估其对学生学习成效的影响及其调节机制,本研究基于认知、情感与动机整合视角构建理论框架,对国内外32项实验与准实验研究进行元分析。结果显示,教育智能体对学习成效具有显著正向促进作用($SMD=0.901$),且其效果受学科领域、干预方式及学生学段等因素调节。基于此,建议在实践中重视学科适配与智能体设计的精细化,推动智能体向兼具认知、情感与动机支持的综合学习伙伴演进,以提升人机协同学习的整体效能。

【关键词】 教育智能体; 人机协同学习; 学习动机; 学习成绩; 元分析

Abstract: Educational agents, serving as pivotal mediators in human-machine collaborative learning, have been extensively deployed in teaching practice through multimodal interaction. However, their empirical efficacy remains inconclusive. This study establishes a theoretical framework for how educational agents influence cognition, emotion, and motivation, followed by quantitative analysis of 32 experiments and quasi-experiments. Results indicate that educational agents exert a significant positive effect on learning outcomes ($SMD = 0.901$), with this effect moderated by factors including subject domain, intervention modality, and student educational stage. It is recommended that practical applications prioritize subject-specific adaptation and refined agent design, driving agents' evolution into comprehensive learning partners that integrate cognitive, affective, and motivational support. This approach will enhance the overall efficacy of human-machine collaborative learning.

Key Words: Educational Agent, Human-Machine Collaboration Learning, Learning Motivation, Academic Performance, Meta-analysis

1.引言

随着人工智能助力教育领域变革的推进,教育智能体成为教育数字化转型的重要路径。教育智能体是学习环境中的虚拟角色,通过语音、文本、表情等为学习者提供认知与情感支持。其起源于智能导师系统,历经单一智能体、生成式智能增强到多智能体协同(吴永和等人,2024)。目前,基于大模型驱动的教学智能体可实现个性化学习与情感交互,多智能体系统也在教学、评估等方面展现出广泛潜力。

然而，该领域的研究方法异质性较大、测量工具尚未统一，导致研究结论难以有效整合。本研究采用元分析方法，通过系统性整合实证文献，综合评估教育智能体对学习成效与学习动机的整体影响，并分析学段、学科及干预时长等调节效应，为教育智能体的实践应用与设计优化提供实证支撑与理论参考。

2. 理论框架设计

本研究基于协同理论，强调人类与机器通过分工、环境共享、信息交流与相互适应高效完成任务，共建知识（Terveen, 1995），形成高效的自组织系统。二者在学习优势互补，形成“1+1>2”的学习增效模式。为便于分析，该研究将学习成效操作化为学业成绩与学习动机两个可观测维度，依据多媒体学习认知情感和社会认知理论，构建了教育智能体对学习成效影响机制的理论框架（如图 1）。教育智能体兼具学习协作与辅助功能。可作为同伴或导师开展互动。智能体通过多模态设计和示范引导激发学习者的积极情绪并引导其认知加工，使学生在 学习中得到认知、情感、技能等方面的综合发展，进而间接影响其学习成绩和学习动机（Tilak, 2025）。该干预过程受学科领域、智能体类型、学习者特征调节，结合不同教学方式，在人机协同场景中间接作用于学习成效。其中，实验模拟是指由 AR/VR 与生成式人工智能相结合所形成的沉浸式智能体。虚拟教学是指利用计算机生成的虚拟形象与学生进行互动。

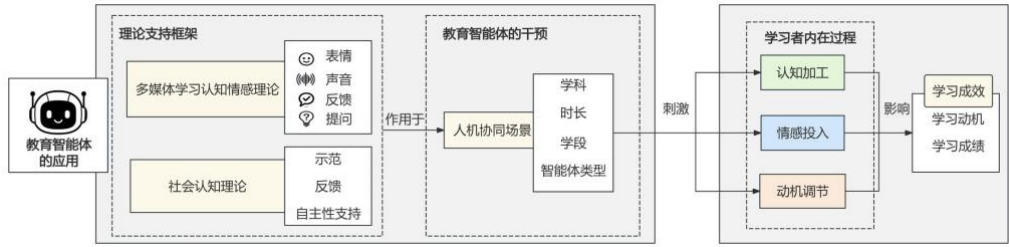


图 1 教育智能体作用于人机协同环境中的理论框架研究设计

2.1. 研究问题 将上述理论框架结合纳入元分析文献的实际情况，本研究提出以下问题：

- （1）教育智能体对学生的 学习动机、学习成绩有影响吗？
- （2）不同类型教育智能体是否对 学生的学习成效有影响？
- （3）哪些因素会对学生的学习成效产生影响？

3. 研究工具与方法

3.1. 研究工具 本研究采用 CMA 3.0 软件作为分析工具。该软件具备效应量计算、异质性检验、调节变量分析及发表偏倚评估等统计功能。本研究依据元分析方法论，将纳入研究的均值、标准差、样本量等统计量转换为标准化效应值，完成整体效应评估与调节效应检验，从而实现对教育智能体影响效果的定量综合。

3.2. 研究方法 本研究采用系统检索与筛选程序获取文献，依据明确标准确定最终纳入分析的实证研究。

3.2.1. 文献检索策略及纳入与排除标准 本研究制定了系统的文献检索策略与严格的纳入排除标准，并遵循 PRISMA 流程（附表 1、附图 1）进行文献筛选。

3.2.2. 文献编码 为了研究的便利性与分析的系统性，本研究将学习成效作为因变量，将教育智能体作为自变量，同时将研究对象、干预时长等作为调节变量，对纳入分析的独立样本进行特征值编码（编码表见附表 2）。综合编码结果可知：研究学段覆盖小学至大学的各教育阶段；学科分布以自然科学与工程为主；干预技术以辅导答疑为典型形式；干预方式侧重于学习支持且评估教育智能体在短时间内的效果。

4. 研究结果与分析

4.1. 发表偏倚检验 发表偏倚是指统显著成果更易被发表的现象,可能导致效应量被高估。因此,本研究综合使用漏斗图与艾格回归法进行分析。漏斗图(附图2)显示大部分效应值集中于图形上部并分布于主轴两侧,艾格检验结果进一步支持该结论($t=0.53318, P=0.59771$),表明未检测到显著的发表偏倚。

4.2. 异质性检验 由于纳入研究存在差异,研究间可能出现异质性。本研究采用 Q 检验与 I^2 指标评估研究异质性(Borenstein M & Hedges LV et al., 2021),以确定适用的效应模型。检验结果显示: $I^2=88.158\%, Q=270.234 (P<0.001)$,表明研究间存在高度异质性。依据 Higgins 等人(2003)的判断标准,宜采用随机效应模型。因此,后续分析选用随机效应模型(REM)以更准确地估计教育智能体对学生学习成效的影响。

4.3. 教育智能体对学生学习成效的整体影响

结果(附表3)显示教育智能体对学生学习成效的整体影响,达到了统计学显著水平。根据 Cohen (1992)的标准,该效应量为强促进作用,表明在教学中应用教育智能体可显著提升学生的学习成效。

4.4. 调节效应分析 本研究将学科领域、智能体类型、干预方式、干预时长、学生学段作为调节变量开展调节效应分析,如调节效应分析表所示(见附表1、附表4)。

4.4.1. 不同学科领域对学习成效的影响作用 不同学科对教育智能体干预效果具有调节作用。教育智能体对各学科学习成效均呈显著积极影响(效应量均 $>0.77, p<0.001$),效应由高到低为:教育技术与跨学科($g=1.199$)、理工计算类($g=0.883$)、人文与语言类($g=0.846$)、自然科学与工程类($g=0.771$)。这表明智能体特性与学科知识结构及教学需求存在适配度差异:教育技术与跨学科领域教学融合度高,效果最优;理工计算领域逻辑清晰,适配性强;人文与语言领域侧重情感理解,智能体在深度讨论方面仍有局限;自然科学与工程领域受实验复杂等限制,效应略低。异质性方面,人文与语言类研究异质性最高($Q=97.437$),自然科学与工程类较低($Q=29.876$),结论更可靠。

4.4.2. 不同智能体类型对学习成效的影响作用 各类智能体均有积极显著作用,教学代理型效应量最高($g=1.049, k=7$),干预效果突出;辅导答疑型研究数量最多($k=13$),效应量为0.979,结果稳定;学习平台助手型效应量为0.763,实验模拟型效应量相对最低($g=0.715, k=5$)。

4.4.3. 不同干预方式对学习成效的影响作用 学习支持类干预效果最强($k=26$),效应最高($g=1.019$),样本充足且结果稳定;动机反馈($g=0.486, k=3$)与情感反馈($g=0.479, k=4$)效应量相对较弱,其中动机反馈类未达到显著水平,且样本量较小,结论需进一步验证。

4.4.4. 不同干预时长对学习成效的影响 短期(<4 周)效应量最高($k=13, g=1.028$),长期(≥ 8 周)效应量次之($k=7, g=0.809$),中短期(≥ 4 周)效应量相对最低($k=8, g=0.720$),三类时长均表现出显著积极影响。整体来看,干预时长非关键影响因素,短期干预即可取得较好效果,长期干预也能维持积极作用,重点在于设计与教学目标匹配、适应学习者需求的智能体交互体验。

4.4.5. 不同学段对学习成效的影响 教育智能体在中小学与本科及以上阶段均具有显著积极效果,中小学阶段效应量略高($k=11, g=0.946$),本科及以上阶段效应量为0.882($k=22$),两个阶段均存在极显著异质性(中小学 $Q=49.084, p<0.001$;本科及以上 $Q=220.468, p<0.001$),本科及以上阶段异质性更高。说明该阶段研究在学科类型、干预模式及评估指标上的差异更大。

结论与研究建议

5.1. 结论 元分析结果显示,教育智能体对学习成效的整合效应值显著($SMD=0.901$, 95% $CI[0.690, 1.112]$), 表明其对学生学习成效起到显著促进作用, 作为人机协同学习的关键媒介产生了全面且积极的整体影响。

5.1.1. 智能体类型对学习成效的影响具有调节作用, 不同智能体的促进作用存在差异。 亚组分析表明, 不同智能体类型的促进作用存在差异: 教学代理型效应量最高 ($g=1.049$), 辅导答疑型次之 ($g=0.979$), 学习平台助手型 ($g=0.763$) 和实验模拟型 ($g=0.715$) 相对较低。智能体类型是调节学习成效的重要情境变量, 在设计与应用中应依据其功能特点针对性整合。

5.1.2. 学科领域、干预方式、干预时长及学生学段对学习成效的调节作用分析。 教育智能体的应用效果受多重调节变量影响:

1. 学习领域 四类领域效应量呈明显梯度, 教育技术与跨学科类最高 ($g=1.199$), 其后依次为理工计算类 ($g=0.883$)、人文与语言类 ($g=0.846$) 及自然科学与工程类 ($g=0.771$)。差异可能与各领域知识结构与智能体功能的匹配程度有关。

干预方式 学习支持类干预效果最强, 样本量充足且效应显著; 情感反馈与动机反馈类效应量相对较弱, 其中动机反馈类未达显著水平 ($g=0.089$), 两类样本量均较小, 是未来值得深入拓展的方向。

3. 干预时长 短期干预 (<4 周) 效应量最高 ($g=1.028$), 中短期 (≥ 4 周) 为 $g=0.702$, 长期 (≥ 8 周) 为 $g=0.809$ 。表明教育智能体在不同干预时长下均能稳定产生显著积极效果。

4. 学生学段 不同学生学段的影响效果均显著, 但趋势不同。中小学学段效应量较高 ($g=0.946$), 本科及以上学段为 $g=0.882$, 且研究数量最多 ($k=22$), 结果最具代表性。两学段效应量差异不显著, 表明智能体具有多学段适用性。

5.2. 建议 基于研究结论, 为促进教育智能体在人机协同学习中的有效应用, 提出以下建议。

5.2.1. 推动学科适配性应用, 避免“技术先行”的推广模式。 本研究证实, 教育智能体的成效具有显著的学科差异性, 应建立“需求-学科-设计”匹配的逻辑。对于自然科学与工程学科, 学习者需同时处理理论推导、计算验证和实验操作等多重任务, 而通用大语言模型在数学与数值推理方面存在明显不足, 同时缺乏计算执行能力, 且模型输出信息的可靠性与准确性常受到质疑, 这些局限使其难以满足该领域对精确性和可靠性的高要求 (Otto S & Lavi R, 2025)。

5.2.2. 依据核心教学目标, 精细化设计与选择智能体类型。 教育实践者应根据教学目标, 进行精选择与设计。若教学目标是培养熟练技能或理解复杂过程, 应优先选择实验模拟型或辅导答疑型工具。若教学目标是需要维持长期学习动机, 可引入具备社会临场感、能提供情感支持的教学代理。此外, 同一类型智能体的具体设计对其实际效果有决定性影响, 应成为评估的关键 (胡水星和荆洲, 2022)。

5.2.3. 巩固认知加工支持优势, 系统性拓展情感投入与动机调节路径。 当前, 教育智能体在认知加工支持方面应用成熟, 主要表现为辅助学习与协作学习两种形式。在此基础上, 为实现更深度的协同, 未来发展应系统拓展智能体对学习者情感投入与动机调节的支持路径。这要求超越单纯的知识传递, 通过整合情感计算、个性化激励与社会性互动, 实现学习状态识别与情感需求, 推动其从“认知辅助工具”向能同时支持认知加工、情感投入与动机调节的“协同学习伙伴”演进, 从而更全面促进学习者发展 (唐烨伟等人, 2023)。

数据可用性声明: 本研究结果所依据的数据可在 Mendeley Data 数据库获取, 链接为 <https://doi.org/10.17632/7cnp9df8jb.1>

参考文献

- 胡水星和荆洲.(2022).在线学习干预的新发展:从学习分析仪表盘到教育智能体. *远程教育杂志*, 40(05), 83-92. <https://doi.org/10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2022.05.003>.
- 刘清堂, 蒋新宇, 肖俊吉和郑欣欣. (2026). 人机协同的高校课堂教学质量评价模型及应用. *电化教育研究*, 47(1), 84-90,98. <http://dx.chinadot.cn/10.13811/j.cnki.eer.2026.01.010>.
- 唐烨伟, 郝紫璇和赵一婷(2023).教育智能体唤醒学习者积极情绪的发生逻辑与调节路径. *远程教育杂志*,41(02), 58-69.<https://doi.org/10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2023.02.006>.
- 吴永和, 姜元昊, 陈圆圆和张文轩. (2024). 大语言模型支持的多智能体:技术路径、教育应用与未来展望. *开放教育研究*, 30(5), 63-75. <http://dx.chinadot.cn/10.13966/j.cnki.kfjyyj.2024.05.007>.
- Borenstein M et al. *Introduction to Meta-analysis*. New York: Jersey John Wiley & Sons, 2021.
- Cohen J. A Power Primer. *Psychological Bulletin*, 1992, 112(1) : 155.
- Higgins, J. P. et al, (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *The British Medical Journal*, 327(7414), 557-560.
- Terveen, L. G. (1995). Overview of human-computer collaboration. *Knowledge-Based Systems*, 8(2-3), 67-81.
- Tilak,S. (2025). A cybernetic guide to implementing AI for collaborative learning: A synthesis of four studies conducted with adult learners. *Frontiers of Digital Education*, 2(4), 37.
- Otto, S., Lavi, R., & Bertel, L. B. (2025). Human-GenAI interaction for active learning in STEM education: State-of-the-art and future directions. *Computers & Education*, 105444.