

国际K-12人工智能教育实证研究现状与启示 ——一项系统性文献综述

王文岚, 蓝可

(华南师范大学 教育科学学院, 广东 广州 510631)

摘要: 随着智能时代到来,人工智能教育逐渐从高等教育扩展至K-12阶段,并成为研究焦点。为了解国际K-12人工智能教育研究现状,运用系统性文献综述法,对Web of Science、ScienceDirect、Wiley和ERIC等数据库中发表于2020—2024年的实证研究文献进行梳理和总结。结果表明,该领域文献数量逐年上升,亚洲地区发文量领先;研究主要集中于中小学阶段,对学前阶段关注度较低;研究方法主要采用实验设计和混合方法,新兴研究方法应用有限;研究主题聚焦于“人工智能课程开发”“学生学习动态”“教师专业发展”三个方面,其中“人工智能课程开发”主题涵盖“整合形式”“内容模块”“教学方法”“教学工具”及“学习成果评估”五个二级指标。基于文献综述结果,建议未来研究加快探索学前阶段人工智能教育;推动情境化人工智能课程开发;整合正式课程与非正式学习;合理延长课程周期;鼓励使用设计导向学习方法和真实数据;构建标准化学习成果评估。

关键词: 人工智能; 人工智能教育; 系统性文献综述; K-12

中图分类号: G51 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-3798(2025)01-0066-22

一、引言

随着人工智能技术的迅猛发展,全球教育领域正迎来前所未有的挑战与机遇。作为这场变革的驱动力,人工智能正逐步融入各国教育体系,为教育革新和人才培养描绘出无限可能。早期的人工智能教育专注于高等教育,特别是计算机科学等专业领域^[1]。当前,人工智能技术已广泛融入日常生活,其教育普及也逐步渗透至K-12基础教育阶段^[2]。全球研究界聚焦于如何高效整合人工智能与基础教育,培育适应未来社会竞争的新一代青少年,核心议题包括K-12人工智能教育的有效实施策略及人工智能素养的普遍提升。鉴于人工智能技术迭代迅速,K-12人工智能教育需灵活调整,如课程内容的持续优化和教学手段的更新换代,以确保教育与技术发展保持同步。

收稿日期: 2024-07-11

基金项目: 广东省哲学社会科学规划一般项目“‘双减’背景下教师人际情绪调节现状及策略研究”(GD22CJY06)

作者简介: 王文岚,女,甘肃敦煌人,华南师范大学教育科学学院副教授,硕士生导师;

蓝可,女,四川铜梁人,华南师范大学教育科学学院小学教育专业硕士研究生。

在此背景下,对K-12人工智能教育领域研究现状的回顾至关重要,将有利于提供基于证据的见解,揭示研究空白,为课程设计与开发提供信息,并促进研究人员与教育工作者的紧密合作,共同推动该领域的持续进步。已有研究对K-12人工智能教育领域进行了多角度综述,尤其是机器学习主题,具体包括视觉工具应用、教学研究动态、理论框架演进以及学习成效评估等方面^[3-7]。相较之下,全面审视人工智能教育研究的综述文献缺乏。Su等人对2018—2021年亚太地区K-12人工智能课程研究进行了元分析,筛选出14篇文献,剖析了教育标准、课程设计及学习过程等,并面向政府、研究界及教育工作者提出了建议^[8]。Yue等人通过Web of Science数据库,筛选出2010—2022年发表的32项K-12人工智能教学实证研究,进行了详尽的主题分析^[9]。Casal-Otero等人则利用Scopus数据库,系统性地综述了人工智能素养的教学方法,并区分了两大类别^[10]。虽然这些综述各有其独特价值,但多集中在对人工智能教学层面的总结与探讨,且在文献来源和地域覆盖上存在一定的局限性,无法准确概括国际K-12人工智能教育研究的最新全貌。

鉴于此,为了更全面地把握国际K-12人工智能教育的发展动态,本研究将扩大数据检索范围,突破单一教学主题的限制,对2020—2024年国际范围内的实证研究进行系统性文献综述,以全面揭示当前研究趋势,分析课程内容、教学方法、教学工具和学习成果评估等方面的最新实践,为K-12人工智能教育研究的未来发展提供启示。

二、研究设计

(一)研究方法

本研究采用系统性文献综述方法,该方法起源于20世纪80年代,最初应用于医药学领域的元分析实践,随后在21世纪初逐渐受到教育学界的重视。这种方法以明确的研究目标为导向,依托于标准的研究问题,遵循严格的纳入与排除准则,从众多相关文献中筛选出符合条件的文献。在既定方法论的指导下,运用标准化的技术手段对选定文献进行数据提取与综合分析,从而揭示新的问题,构建新的理论体系^[11]。

相较于传统综述方法可能存在的前沿问题定位模糊及主观性偏强等局限,系统性文献综述依托电子数据库实施全面搜索,依据科学准则实施严格筛选与质量评估,确保了研究过程的高度透明性与科学严谨性^[12]。本研究严格遵循国际公认的PRISMA(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)指南,研究流程包括数据库及关键词选取、文献纳入与排除标准确定、文献筛选与分析、文献分析框架设计四个阶段^[13]。

(二)研究问题

本文旨在通过梳理文献探究国际K-12人工智能教育的最新进展,并回答以下研究问题:①K-12人工智能教育研究现状如何?②K-12人工智能教育研究有哪些主题?③K-12人工智能课程整合形式是什么?包括哪些内容模块?④K-12人工智能课程使用哪些教学方法和教学工具?⑤学生在K-12人工智能教育中的学习成果如何评估?

(三)样本选取

为有效获取国际近五年K-12人工智能教育的高质量实证研究文献,在Web of Science、ScienceDirect、Wiley和ERIC四个主要的教育文献数据库中,以字符串“(artificial intelligence

OR AI) AND (teach* OR learn* OR education OR curriculum OR curricula) AND (K-12 OR school* OR preschool* OR kindergarten* OR primary school* OR secondary school* OR high school*)”在摘要中检索,文献类型为期刊文献,时间设定为2020年1月—2024年6月,语言设定为英文,检索时间为2024年6月25日,共获得1 045篇文献。根据研究目的,通过以下4个纳入与排除标准对初步获取的文献进行筛选:(1)研究情境必须是K-12阶段(幼儿园、小学、初中、高中),排除学院、大学、职业教育、特殊教育等研究情境;(2)必须是实证研究,排除综述、理论性探讨等文献;(3)必须以人工智能教育为主题,排除人工智能教育应用、教育人工智能等文献;(4)文献是来自同行评审的期刊文献,排除会议、报告等文献。

在筛选阶段,遵循四个步骤。首先,通过阅读标题,剔除重复性论文,筛选出522篇文献进入下一步骤;其次,阅读标题、摘要和关键词并初步粗读全文,依据前述的四个标准,剔除不符合K-12阶段的研究情境、与人工智能教育研究主题无关、非实证研究以及非期刊论文的文献,从而确定102篇文献进入下一步骤;再次,通过深入阅读全文,根据文献的筛选标准进行深度复筛,确定41篇文献进入下一步骤;最后,以滚雪球方式对文献进一步补充,以确保研究的全面性。经过这一过程,最终纳入48篇文献进入数据抽取阶段。文献的纳入与筛选过程如图1所示。在筛选过程中,对文献的发表时间、研究区域和研究对象等特征进行了初步的分类和整理,以便更好地了解研究的分布和趋势。此外,筛选过程中也记录了文献的排除原因,为后续研究提供了重要的参考信息。

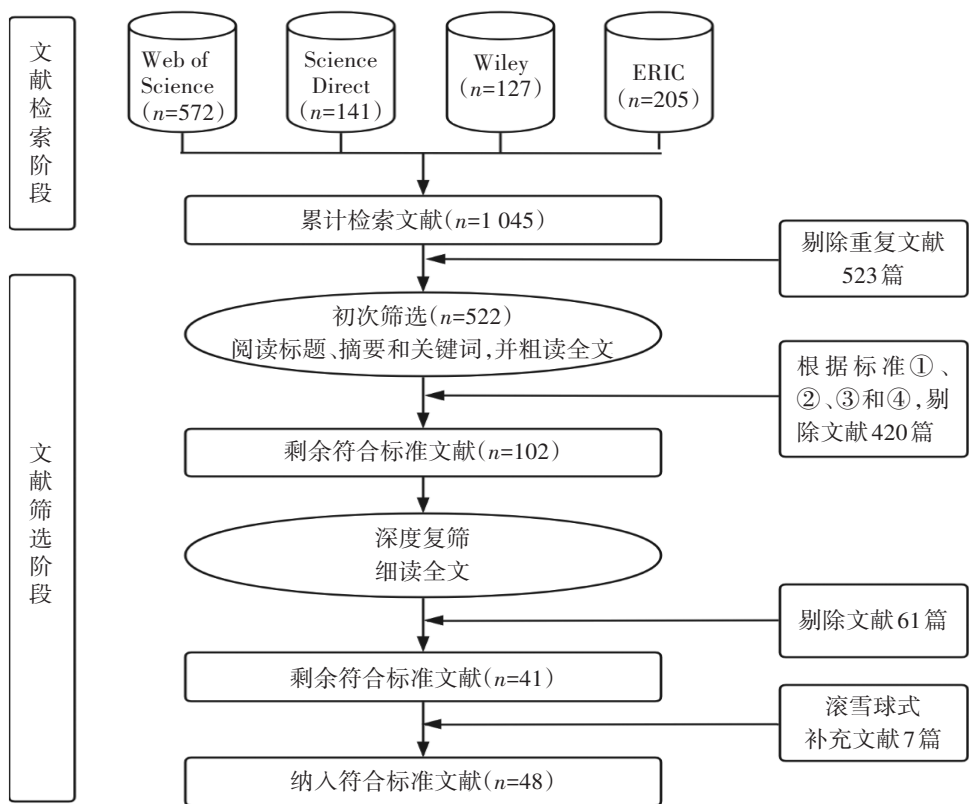


图1 文献检索与筛选流程

(四)数据抽取与分析框架设计

本研究利用 Microsoft Excel 软件制定“文献基本信息与内涵数据抽取单”,对文献进行纵向数据抽取。基于五个研究问题,参考黄甫全等学者提出的“九维文献内涵数据抽取单”^[12],以及先前研究者进行系统性文献综述所使用的编码体系与分析框架^[9-10],形成了如图2所示的编码及分析框架。本研究将在该框架的指导下,对纳入符合标准的48篇文献进行分析。

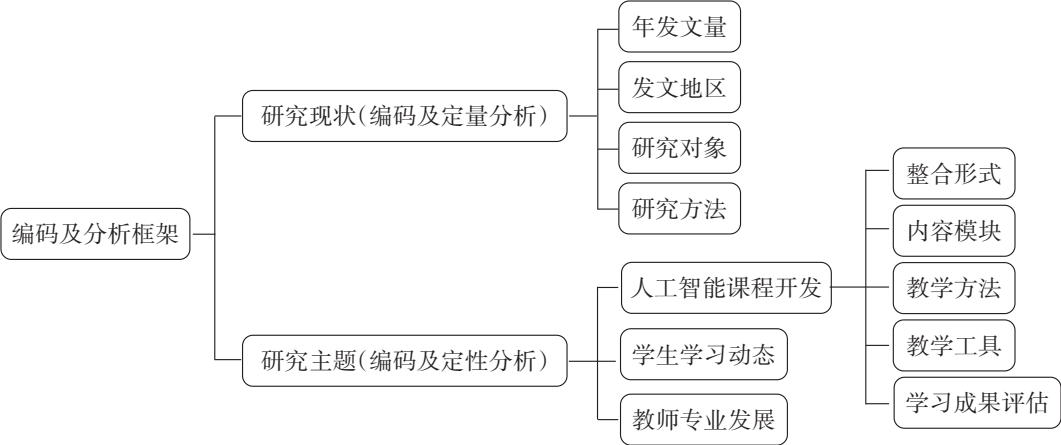


图2 编码及分析框架

三、研究现状

统计分析结果显示,国际K-12人工智能教育领域的相关文献数量自2022年起显著增长。2020年和2021年分别为2篇和3篇,2022年激增至13篇,2023年持续上升,发表16篇,2024年截至文献检索日已发表14篇,呈现出递增的趋势,表明该领域逐渐受到了国际社会的广泛关注,如图3所示。

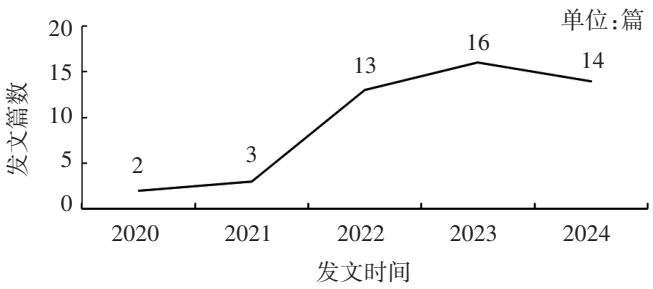


图3 年发文量统计(2020—2024)

从发文地区分布来看(见图4),亚洲地区在K-12人工智能教育领域的文献贡献占据主导地位,超过半数(67%),包括中国(总计25篇,含大陆9篇、香港13篇、台湾4篇)、韩国(4篇)、以色列(2篇)、新加坡(1篇)及印度尼西亚(1篇)。此外,在美洲地区,仅有美国有相关文献发

表,因此以国家为单位进行统计,共9篇(19%);非洲(尼日利亚、肯尼亚)发表4篇(8%),欧洲(芬兰、瑞典)发表3篇(6%)。这一分布格局映射出全球多国积极通过政策驱动,加速人工智能教育的普及与实践,进而激发了学界的研究热潮。我国《普通高中信息技术课程标准(2017年版2020年修订)》和《义务教育信息科技课程标准(2022年版)》将人工智能部分作为选择性必修课程纳入信息科技课程体系,全国范围内迅速掀起了人工智能教育普及的浪潮。与此同时,国际上,美国启动了K-12人工智能教育行动(AI for K-12 Initiative)^[14];新加坡推出了“新加坡人工智能”(AI Singapore)计划^[15];韩国颁布了《国家人工智能战略》,致力于在2025年实现人工智能教育的全覆盖^[16]。在国家政策的宏观部署下,相关研究自然也如雨后春笋般涌现。

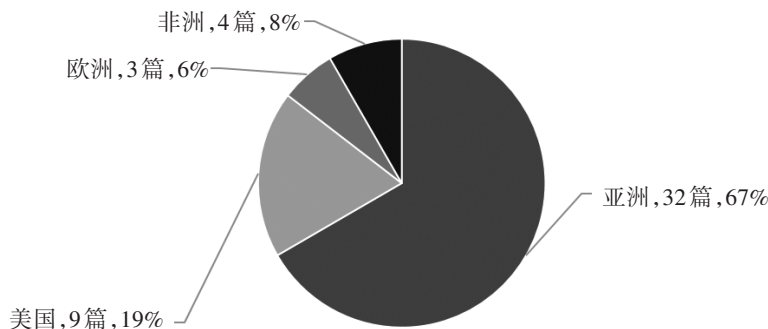


图4 发文地区的分布统计

从研究对象来看(见图5),中学和小学阶段受到的关注最多,分别有23篇(48%)和20篇(42%);专注于学前阶段的人工智能教育文献稀缺,仅见1篇(2%);涉及K-12全阶段的文献有4篇(8%),且都聚焦于教师专业发展问题。人工智能教育始于大学计算机科学教育,其高级编程要求对于中小學生而言构成挑战。但K-12阶段人工智能教育的兴起,不仅源于世界各国对其重要性的认知,更得益于近年来专为青少年设计的人工智能教学平台的涌现,为教师提供了丰富的教学资源^[17]。

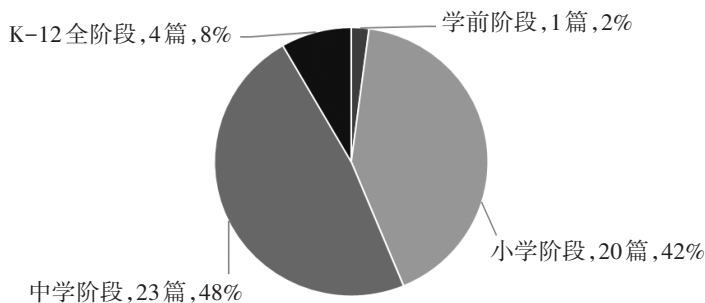


图5 研究对象的分类统计

研究方法上(见图6),混合方法和实验设计最为常见,分别为15篇(31%)和14篇(30%);另有8篇(17%)使用了定性研究方法,如扎根理论、案例研究等;定量研究方法则以问卷和量表为主要工具,共5篇(10%),如通过在线调查问卷探究教师对人工智能教学的认知和行为意图^[18]。基于设计的研究(Design-based Research, DBR)作为一种新兴且富有潜力的研究方法,

在K-12人工智能教育领域正逐渐受到关注,共6篇(12%)。DBR起源于学习科学,强调在真实情境中研究者与教师紧密合作,通过设计、开发、实施、迭代的循环,提炼出情境适应性的设计原则与理论^[19]。这一方法区别于实验设计,它模糊了研究者与参与者的界限,鼓励根据研究过程中的新发现灵活调整干预措施,其成果虽具有高度的情境共享性,但在普遍性和广泛推广方面可能受限^[20]。本研究筛选出使用DBR的文献均集中于人工智能课程开发,如印度尼西亚的一项研究以小学五年级学生为研究对象,通过三次课程干预与四次迭代,不断优化教学策略,提升了学生的人工智能素养,并提出了一套具有针对性的课程设计原则^[21]。

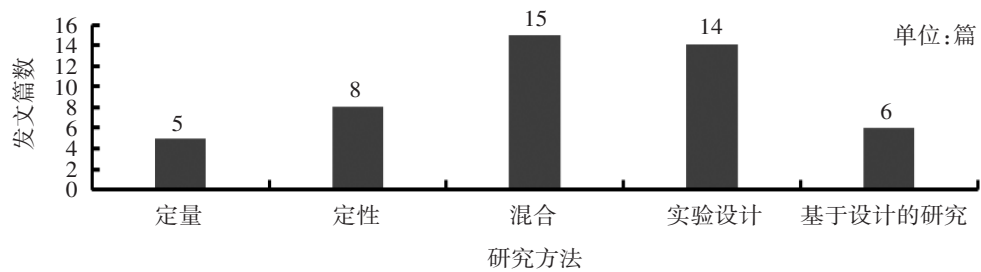


图6 研究方法的分类统计

四、研究主题

通过对文献进行编码和主题提取,归纳出了三个研究主题,分别是“人工智能课程开发”“学生学习动态”以及“教师专业发展”。这些主题涵盖了当前研究的热点和重点,也反映了该领域未来发展的潜在方向。

在三个研究主题中(见表1),“人工智能课程开发”无疑是研究的重中之重,共有32篇文献对其深入探讨,占比66%;“学生学习动态”和“教师专业发展”各有8篇(17%)文献对其进行了探讨,反映了研究的广度与深度。

表1 研究主题的分类统计

研究主题	篇数	百分比/%
人工智能课程开发	32	66
学生学习动态	8	17
教师专业发展	8	17

K-12人工智能课程开发作为学界热点议题,其实现途径多为正式课程体系之外的灵活非正式环境,如夏令营、研讨会、在线论坛等^[8]。课程内容主要包括人工智能简介、技术体验、基础算法和伦理道德等方面,旨在通过相关课程的教授,全面提高学生的人工智能素养。教学方法上,建造主义理论引领下的项目式学习占主导地位,同时不乏创新尝试,旨在探索更加适配人工智能学习特性的方法。教学工具涵盖软硬件、教育平台和智能代理等,其中针对中小学生的游戏化学习工具引人注目,如为小学高年级学生量身打造的可视化游戏界面,通过“使用-修改-创造(Use-Modify-Create)”模式,让学生在实践中规划并执行人工智能任务^[22]。教

学评价方面,当前研究普遍通过测试、量表及工件评估等方式衡量学生的学习成果。

在“学生学习动态”和“教师专业发展”两个研究主题中,研究者主要测评了学生对人工智能的概念理解、认知负荷、学习动机等维度,以及教师的教学信心与教学经验等层面,为人工智能课程的设计与实施提供策略性建议。

具体而言,在“学生学习动态”方面, Kim 等人的研究揭示了中学生在接触人工智能学习前所持有的先入之见,以及这些观念在夏令营活动中的转变过程。该研究强调,识别并挑战这些偏见对于构建有效的人工智能概念教学具有显著意义^[23]。Ottenbreit 等学者则关注小学高年级学生在人工智能方面的日常经验,并提倡教师利用学生的访谈反馈来指导课程设计^[24]。此外,小组协作学习在人工智能教育中的作用受到高度关注。研究发现,认知能力与人机协作能力在人工智能学习中扮演着关键角色^[25],且学生倾向于在小组中重复个人观点而较少融合他人见解;在小组构成上,专家-新手模式因其高效的成员互动被视为最优选择^[26],而两人组则在学习动机、认知负荷及解决复杂任务方面展现出独特优势^[27]。这些发现为人工智能课程设计提供了建设性启示,即应强化协作学习的设计,促进学生间的有效沟通与知识共享,同时根据小组特性优化成员配置,以更好地适应学生的学习需求。综上,对于“学生学习动态”主题方面的研究深化了对人工智能教育过程的理解,也为设计出更加贴合学生实际、促进深度学习的人工智能课程奠定了坚实基础。

在“教师专业发展”方面,研究者探讨了教师在人工智能教学中的现状和观念,发现教师普遍存在对教授人工智能内容和技术知识信心不足的问题。同时,对人工智能的信心水平及伦理认知也显著影响其教学准备状态^[28-29]。类似于学生的前概念,研究者借助 Intelligent TPACK 框架剖析了教师对人工智能的概念理解,发现教师群体同样存在由非系统性学习形成的错误先入之见^[30]。这一发现为教师专业发展指明了两个核心学习方向:一是强化人工智能专业知识与教学技能;二是促进人工智能综合素养的全面提升^[31]。具体实践上, Sun 等学者设计的基于 TPACK 的教师专业发展项目,有效提升了教师的人工智能知识水平、教学技巧及自我效能感^[32]。此外, Dai 等学者通过三年民族志研究指出,国家教育政策导向、合作大学人工智能教师资源以及学生所处的媒体技术环境等外部环境因素,对教师自主决策课程创建具有深远影响^[33]。Chiu 等学者的研究则进一步强调了将教师纳入课程共创过程的重要性,有助于加深教师对课程设计、内容及活动的理解,并显著提升了教师的自主意识^[34]。因此,关于教师专业发展的研究成果也间接为人工智能课程开发提供了实践指导与可行建议,有助于构建更加符合教师需求和学生特点的高质量人工智能课程。

五、主题细化与内容分析

鉴于 K-12 人工智能教育领域的研究主要集中在“人工智能课程开发”这一主题上,本研究进一步细化了对该主题的理解,将其分解为五个二级指标:“整合形式”“内容模块”“教学方法”“教学工具”及“学习成果评估”。它们共同构成了人工智能课程开发框架的基础,以下将对上述二级指标进行内容分析。

(一)K-12人工智能课程整合形式和内容模块

K-12人工智能课程实施环境大多为非正式环境,如科普活动^[35]、自由学期课程^[36]、研讨会^[37-39]、课外活动^[25,40]、夏令营^[23]等。而在正式课程中引入人工智能内容时,则通常采取跨学科融合的形式,如结合化学学科制作基于机器学习的酸碱计^[41]、利用图像识别技术辅助生物学科的细胞分裂学习^[42],以及与STEM教育整合进行机器学习项目^[43]等。经过统计分析发现,在所审查的所有文献中,共有40篇文献明确提及开展了人工智能课程。其中,依托非正式学习的形式进行研究的文献有29篇,而设置正式课程的文献则相对较少,仅有11篇。此外,按课程周期进行划分则可分为三种主要模式:短期(6小时以内)、中长期(1~2个月)和长期(超过3个月)。在文献中,短期课程最为常见,有20篇研究采用了这种模式。12篇文献支持中长期课程,认为其周期适中,内容更为丰富。相比之下,仅有3篇文献开展了长期课程的研究。

课程内容涵盖四大模块,即人工智能基础知识(含发展历史与生活应用等)、技术体验、基础算法及伦理道德。技术体验聚焦深度学习、人工神经网络等前沿技术^[36-37,44]。算法学习侧重机器学习的模型训练与应用部署,如在“通过设计学习”(Learning-by-Design)的课程中,构建数据驱动和规则驱动的机器学习系统^[45]。Vartiainen等人提出的教学框架采用设计导向学习法,促进小学生理解机器学习基本概念与机制^[38]。Park等人在初中科学课中,引导学生构建机器学习模型预测太阳辐射,探讨火星居住议题^[46]。尽管机器学习算法广泛应用于图像、语音、姿势识别等领域^[47-49],但对中小学生而言,这些复杂的算法通常需要以“黑匣子化”的方式封装,以便以简化的形式提供模型训练体验。

伦理道德内容可分为三大维度:一是通过探讨人工智能的社会影响与潜在危害,培养学生批判性思考人工智能涉及的伦理道德的能力^[21,37];二是在“人工智能造福社会”等公益项目中实践,促使学生将人工智能与社会道德、问责制、公平等伦理要素相结合,增强其同理心和社会责任感^[40,50];三是独立设置的伦理道德课程,如Choi等学者设计的人工智能伦理教育计划,通过Deepfake、自动驾驶、Sad机器人等案例,围绕图像分类、电车道德困境、社会道德规范等深入讨论,显著提升了学生的人工智能伦理意识水平^[51]。当前,强化学生的人工智能伦理观念及社会责任感已成为K-12人工智能教育的核心目标之一,这一内容被广泛融入长期课程体系之中。

(二)K-12人工智能课程教学方法和教学工具

1. 教学方法

审查的48篇文献揭示了当前人工智能课程教学方法的多样性,可以依据不同的教学理论进行分类,包括行为主义、认知主义、社会建构主义及建造主义等。因为中小学生在认知能力和对人工智能的理解上都存在局限,教师在讲授基础概念时,往往采用行为主义理论支持的直接讲授法。当教学理论转向认知主义时,教学重心逐渐偏向实践学习与互动式学习。学生得以亲身与人工智能产品互动,例如通过与照相机、麦克风等传感器的交互,获得直观的学习体验,进而理解机器学习的原理及其可视化表达^[36]。具身认知理论则进一步强调认知过程与身体行为的紧密联系。例如,通过让儿童与Teachable Machine进行具身互动,自由探索该工具

的面部情绪识别功能,亲自体验并推理自身身体表达与机器学习交互式工具输出之间的关联,从而加深对人工智能技术的理解和感知^[52]。

社会建构主义理论强调学习者在社会文化背景下的知识建构过程,倡导寻求他人帮助和利用外界资源来获取知识^[53]。基于该理论,课堂教学普遍采用探究式学习方法,突出社会互动在学习中的重要性。以人工智能数字故事之旅为例,该方法激发了学生对人工智能概念的探索,展现了人工智能素养培养的探究式学习周期五个阶段:定位、概念化、调查、结论和讨论^[54]。游戏式学习和协作学习也是社会建构主义理论下的有效教学方法,有助于激发学习兴趣和动力,为学生学习人工智能提供轻松愉快的氛围。Code.org推出的“AI for Oceans”教育项目便是游戏化学习的典范,它通过模拟游戏场景,使学生在享受游戏乐趣的同时学习人工智能知识,并探讨人工智能在解决全球性挑战(如海洋保护)中的应用问题^[45,47,54]。为满足学生不同的学习需求,课程活动设计不断创新,既有不插电游戏如“意大利面食分类”决策树游戏^[55],也有动物分类卡游戏,寓教于乐地传授特征识别原理^[41]。同时,插电游戏“金银岛(TreasureIsland)”故事书电子化游戏平台,则通过构建竞争与合作并存的学习环境,有效提升了学生的人工智能素养^[56]。更有课程巧妙融合插电与不插电游戏,通过混合学习活动,加深学生对人工智能概念的全面理解与掌握^[23]。

除此以外,近代人工智能领域先驱Seymour Papert提出的建造主义日益受到关注。Papert认为,学生通过亲手制作反映其知识的手工制品或模型,能够深度参与学习过程^[57]。该理论自创立之初便与符号人工智能紧密相连,其理念的实践包括“Logo 儿童编程语言”及随后兴起的创客运动和Scratch编程社区^[58]。建造主义所倡导的项目式学习颇受欢迎,通常由教师设定明确的任务,如灭火机器人汽车设计^[59]、预测太阳能的“火星漫游者”开发^[46],以及口罩识别机器学习模型构建^[43]。与之类似的设计导向学习同样基于建造主义,强调赋予学生更多自主权和创意空间,鼓励他们根据个人兴趣设计项目,如毒蘑菇识别、情绪检测和乐器识别应用等^[38]。基于产品的教学方法(Product-based Pedagogy,简称PBP)也引起了研究者的关注和应用。PBP源于项目式学习,融合了设计导向学习和创客教育的优势,关注市场价值,旨在将创造力转化为创新性思维^[60]。Zhan等学者通过“校园投标赛”等活动,让学生开发创新产品,并从市场、社会和环境价值的角度评估其价值,实现了产品设计流程的实践^[61]。

尽管可以根据不同的教学理论来划分教学方法,但在实践中,研究者和教育者倾向于采用多元教学方法,以适应多样化的学习需求和环境,进而优化整体教学效果。除常见教学方法外,研究人员也积极探索创新方法,以应对K-12人工智能教育领域的独特难题。人工智能作为一个综合性的术语,涵盖计算机视觉、机器学习、自然语言处理等多元子领域,其抽象性往往阻碍了学生对其核心概念的深入理解^[62]。师生群体因接触人工智能的渠道广泛,如日常生活中的智能设备,易形成对人工智能的错误认知^[63],这无疑加大了其学习难度。为克服这一障碍,研究者不仅致力于识别并纠正师生对人工智能的误解,还开发了新型教学策略。如Dai等学者提出的融合具身交互、类比和破坏的教学方法,旨在通过直观比较人类与人工智能的行为模式,结合具身体验,提升学生对人工智能概念的认知深度,促进抽象与系统性思维的发展^[64]。

2. 教学工具

在人工智能教学领域,技术支持是不可或缺的关键,课程成效与教学工具的创新及灵活运用直接相关^[65]。研究者探索了多种教学工具,并创新性地开发了新型资源。根据这些资源工具的主要功能和特性,可以大致将它们分为三类:以硬件为主的物理设备、以软件为主的教育平台以及智能代理,具体的定义和示例详见表2。

表2 教学工具的类型、定义及示例

类型	定义	示例
以硬件为主的物理设备	指用于支持学习活动的物理实体。包括机器人、传感器、微控制器、嵌入式系统和其他电子元件。	BBC micro:bits、Arduino、VIA Pixetto
以软件为主的教育平台	指提供教育资源、课程内容和交互式学习环境的应用程序或在线服务。	Machine Learning for Kids、Quick, Draw!、Orange、Teachable Machine、Makecode、Mind+、Code.org、Google Classroom、IBM Watson
智能代理	指能够感知环境、处理信息并自主采取行动来实现预定义目标的计算机程序。具有一定的决策能力,可以根据当前情境和已有知识做出反应,可以学习和适应新的情况。	Amazon Alexa、Jibo robot、HuskyLens、mBot、Xiaofei Robot

上述分类并非界限分明,各类工具间存在一定的交叉和共同点,某些工具甚至兼具多类特征,如软件平台常伴随硬件扩展以增强功能。在实证研究和教学实践中,研究者更倾向于依据具体教学需求,灵活整合这些工具。其中,部分工具专为机器学习设计,例如 Teachable Machine 允许学生进行模型训练和测试,并导出机器学习模型,这也是在本次文献筛查中被发现使用频率最高的工具。还有一些工具将机器学习模型的创建与 Scratch 等图形化编程环境相结合,如 Machine Learning for Kids、Mind+ 等,使学生能够在游戏或移动应用中部署机器学习模型^[66],进一步拓宽学习应用场景。智能代理作为一种特殊的教学工具,正日益受到青睐。它允许学生在不具备编程先验知识的情况下构建人工智能算法,从而降低了学习门槛,加速了人工智能教育的民主化和大众化进程^[67]。

(三)K-12学生人工智能学习成果的评估

为深入了解学生的学习成效,主要从两大维度进行评估:认知结构和非认知结构。前者聚焦于评估学生对人工智能知识和技能的理解程度及高阶思维能力的水平;后者则侧重于衡量学生的学习态度、情绪和动机等心理层面的发展^[8]。

通过系统梳理文献,本研究归纳出三种评估方式:总结测试、调查问卷、工件检查。总结测试作为课程结束后的全面检验,旨在衡量学生人工智能知识、技能及伦理意识的提升情况。如标准化测试、伦理意识前后对比测试等^[27,61,68]。调查问卷广泛采用李克特量表等形式,了解学生对学习人工智能的动机等非认知的情感发展情况,或学生对相关知识掌握程度的自我评

估。如人工智能素养量表、成就问卷、学习问卷(涵盖人工智能准备度、信心、态度、焦虑以及内在动机)、情感和认知参与度问卷等^[35,50,56,69]。研究者还灵活改编其他领域的成熟问卷,如计算思维^[45,48,69-70]、工程和科学态度^[47]、创造力^[43,61]、学习科学动机等^[42]。工件检查则通过视频记录、观察表、图片收集及半结构化访谈等手段,直接观察与分析学生在学习过程中制作的人工智能工件。具体包括设计日志文档、交互日志、过程工作表等,以此全面评估学生的实践能力、创新思维及问题解决能力^[23,61,71]。

在所筛选的48篇文献中,部分因不涉及课程开发而未采取评估措施衡量学习成果。本研究对明确说明评估方式与工具的文献进行了统计,共38篇,如图7所示。其中,总结测试和调查问卷是量化评估,而工件检查通常是质性评估。统计结果显示,纯量化评估手段(调查问卷或总结测试+调查问卷)占据主导地位,共有20篇文献采取此方式。相比之下,纯质性评估(工件检查)与混合评估(调查问卷+工件检查或总结测试+调查问卷+工件检查)的文献数量相近,都为9篇,体现了评估方法多样化的趋势。

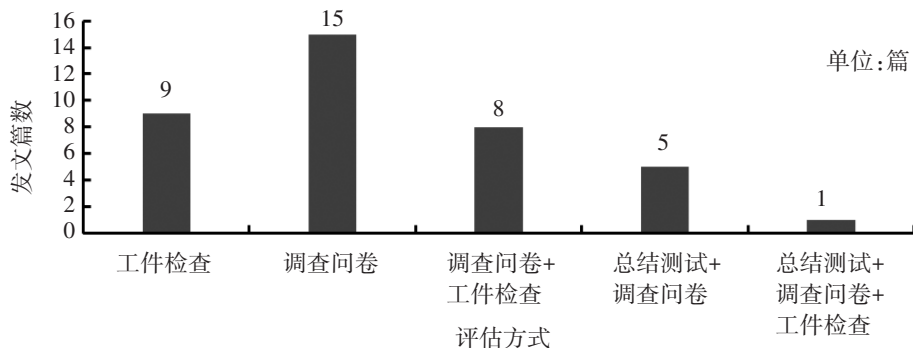


图7 学习成果评估方式的分类统计

尽管工件检查是质性评估的重要手段,但明确设计评估标准的文献仅有2篇,多数工件检查在评估过程中缺乏统一、清晰的评判依据。另一方面,总结测试作为客观衡量人工智能知识和技能变化的有效工具,其应用却相对有限,仅被6篇文献采纳,可能会影响对学习效果全面而深入的了解。

六、总结与启示

本研究对2020—2024年国际K-12人工智能教育领域的实证研究进行了系统性文献综述。结果表明,该领域研究日益受到瞩目,研究焦点主要集中在中小学阶段。研究方法层面,混合方法和实验设计占据主导地位,而基于设计的研究方法的运用则为领域发展注入了创新活力。经编码提炼,研究主题可归纳为三大主题:“人工智能课程开发”“学生学习动态”和“教师专业发展”,后两者紧密围绕人工智能课程开发的需求展开,形成了相辅相成的研究生态。

对“人工智能课程开发”主题进一步细化分析,可拆解为五个二级指标:整合形式(探索了从非正式学习环境到跨学科融合正式课程的多元整合路径);课程内容(涵盖基础知识、技术体验、基础算法及伦理道德四大模块,灵活适应不同课程周期的需求);教学方法(以项目式学习为核心,辅以多样化方法,促进深度学习);教学工具(整合了物理设备、教育平台及智能代

理等丰富资源,有效支撑教学方法的实施);学习成果评估(质性和量化评估相辅相成,具体方式包括总结测试、调查问卷及工件检查,确保评估的全面性)。鉴于人工智能技术的迅猛发展,K-12人工智能教育研究正处于快速迭代与变革之中,既取得了显著成就,也面临着诸多挑战与不足。本研究通过系统性文献综述,为未来该领域的研究发展提供了启示。

(一)加快探索学前阶段人工智能教育

尽管人工智能教育日益受到广泛关注,但针对零编程基础的幼儿群体所开展的研究却极为稀缺^[72]。本研究经筛选后发现,仅有1篇文献聚焦于幼儿人工智能教育,表明当前K-12人工智能教育研究对学龄前儿童的关注远不及中小学阶段。

21世纪的儿童在人工智能技术的环境下成长,为他们量身定制以应对未来科技世界的教育需求变得尤为迫切和重要。更令人堪忧的是,数字鸿沟现象已悄然蔓延至人工智能领域,社会经济地位较低的儿童缺乏与技术互动的机会,在人工智能应用与发展上遭遇阻碍^[73]。因此,推动人工智能教育向学前阶段延伸,不仅有助于缩小数字鸿沟,还能为儿童提供平等的学习机会,促进他们在人工智能领域的可持续发展。

学龄前儿童已展现出学习人工智能技术的潜力,相关活动能够为他们提供人工智能知识体验,但这一过程的成效高度依赖于适龄的教育资源工具。目前,已有研究者积极投身于开发针对学龄前儿童的人工智能教学工具,如Zhorai、PopBots、PlushPal等,这些工具融合了机器人与游戏元素,旨在以趣味化的方式吸引儿童学习^[74-76]。由于这些研究多为会议论文,因此未纳入本次综述的筛选范畴,未来应鼓励研究者将研究成果发布于更具权威性的国际期刊或平台,以进一步验证学龄前人工智能教学工具的有效性与实用性。同时,鉴于当前的人工智能课程框架主要针对中小学阶段,而学龄前儿童在心理及生理发展上与中小學生存在显著差异,开发一套适合学龄前儿童的课程框架显得尤为关键^[77]。这一框架需充分考虑儿童的成长特点与需求,以科学、合理的方式指导学前阶段人工智能教育的设计与实施,从而确保教育活动的有效性与适宜性。

(二)推动情境化人工智能课程开发

本次系统性文献综述中,聚焦于人工智能教师专业发展主题的文献仅8篇,且其中只有少数案例研究在香港进行,探讨了教师如何参与课程共创的历程。建造主义强调,脱离具体情境的教学对学生而言缺乏实质性意义^[78]。已有研究表明,深入了解教师对人工智能教学的看法对于有效实施人工智能课程具有重要作用^[18]。例如,教师在日常工作中经常涉及道德伦理指导,因此在人工智能伦理教学上表现出更大的信心,伦理道德也自然成了教学的一个切入点^[24]。此外,教师角色已从预设课程的被动执行者转变为课程改革的积极驱动者,其对外界环境的感知、解读及应对策略深刻影响着课程的构建^[79]。教师参与人工智能课程设计,不仅促进了教师自身对新兴知识领域的理解,还为创新课堂教学策略创造了有利条件,旨在打造情境化的课程,以优化人工智能教学的实施^[80]。拥有分布式知识的合作团队更易于构建高效教学单元,每位成员及其见解都被视为不可或缺的部分,纳入整体设计之中^[81]。因此,研究者与教育工作者携手共创课程的模式,可以整合各成员的专业智慧与贡献,为教师的专业成长与发展开辟了新路径。

在研究方法层面,尽管只有6篇文献采用了基于设计的研究方法,但这一方法已被证明是连接理论与实践的桥梁,有效缩小了研究人员与教育工作者在人工智能教育领域的发展差距^[34]。展望未来,应鼓励更多研究深入探讨师生在共同设计课程过程中,如何巧妙地运用基于设计的研究方法,使之紧密贴合教育实际情境,进而推动K-12人工智能课程的持续创新与优化。

(三)整合正式课程与非正式学习

K-12人工智能教育的两大支柱分别是政府及其支持机构的参与,以及各种“草根计划”的推动^[82]。前者进展虽缓慢,但为人工智能教育的长远发展奠定了坚实的制度和政策基础;后者凭借其快速响应、灵活多变的特点,能够源源不断地提供丰富的教学素材、课程内容以及培训资源,以适应新领域、新趋势或需求变化带来的挑战。一方面,非正式学习为K-12学生探索人工智能开辟了广阔空间,不仅丰富了学习体验,还促进了学生科学身份认同与兴趣培养^[83]。信息技术和人工智能的迅猛发展深刻改变了传统教学模式的内涵和样态,为构建泛在学习等非正式学习环境提供了坚实基础,并推动了学习与技术的民主化进程^[84]。

另一方面,尽管非正式学习活动具有许多优势,但其教学时间的局限性和学习环境的孤立性往往限制了其效力的充分发挥^[85]。鉴于人工智能的跨学科整合特性,将其无缝融入基础教育各学科,可有效减轻课程负担,还能深化对这些学科的理解与应用。通过创新教学方法,如利用监督学习算法辅助生物分类学教学,借助机器学习模型结合地理数据预测降雨,或在哲学与社会科学课程中探讨人工智能伦理问题,都能显著提升学习过程的有效性与趣味性。

然而,本研究通过对课程整合形式的统计分析发现,基于非正式学习的研究文献数量几乎是正式课程研究文献的三倍,这在一定程度上反映了当前研究领域的偏向,而未能充分展现出正式课程与非正式教育相辅相成、相互促进的理想状态。在未来研究中,研究者应推动正式课程与非正式学习的有效整合,积极探索人工智能教学在K-12多学科中的融合路径,利用非正式学习环境作为正式课程的补充与延伸,共同促进学生全面而深入地掌握人工智能知识与技能,培养其解决现实问题的能力。

(四)合理延长课程周期

本次系统性文献综述所涵盖的研究普遍规模有限,主要集中于开展6小时以内的短期课程,但是,人工智能教育的核心目标是培养学生的人工智能素养——这种素养在数字时代如同读写算一样不可或缺,其培养过程需要长期的积累和内化,涉及品格、能力和价值观的全方位塑造,因此具有迟效性^[86]。鉴于此,当前短期教学单元对于全面促进人工智能素养发展的充分性值得商榷。为深化研究,未来应致力于扩大研究规模,设计并实施更长期的教学计划,以科学验证人工智能素养的有效提升路径。通过对比短期与长期课程的效果,分析不同课程周期对学生人工智能素养形成的具体影响,从而探索出最适宜学生发展需求的课程架构,为人工智能教育实践提供有力指导。

(五)鼓励使用设计导向学习方法和真实数据

建造主义理论强调“做中学”或“设计中学”的理念,即通过亲手设计与制作物品来主动建

构知识,为项目式学习和设计导向学习提供了坚实的基础^[87]。当儿童沉浸在设计和构建能够引发深度思考并促进互动分享的手工制品中时,他们的创新思维得以激发^[58]。设计导向学习不单是内容传授的过程,更是一种激励学生通过创造物品与周围环境互动,从而建立联系的活动^[88]。相较于教师主导的项目式学习,设计导向学习更侧重于由学生解决实际生活中的开放性问题,让学生有机会围绕自己认为重要的问题探索多样化的解决方案^[89]。在此过程中,学生需要运用各种材料和工具,创建多模态交互形式,使思维过程得以“可视化”,进而促进想法的完善和持续迭代^[90]。因此,设计导向学习支持学生自主设定设计主题,通过解决实际问题获得宝贵的真实体验,是K-12人工智能教育领域一种极具潜力与创新的教学方法。尽管在文献的系统梳理中,设计导向学习已初露锋芒,但其潜力与影响力尚待更广泛的认可与探索。

此外,人工智能技术平台和资源工具的民主化显著降低了学习门槛,使学生即便无编程基础也能轻松涉足人工智能领域,以数据驱动的机器学习算法更是为学生提供了无需代码也可与人工智能进行互动的学习环境,让学习体验更加直观流畅^[91]。在此背景下,设计导向学习法引领的人工智能课程日益贴近现实,倾向于采纳学生自创的数据源,涵盖动作捕捉、手势、面部表情及语音记录等多元化现实生活数据,为人工智能学习提供了沉浸式的脚手架。因此,未来研究应加快验证设计导向学习在基于真实数据源的人工智能学习中的实际效果,并评估其对学生综合能力提升的广泛影响,以此为该教学方法的持续优化与推广提供可靠依据。

(六)构建标准化学习成果评估

在核心素养引领课堂评价体系变革的当下,构建证据导向的人工智能课程评价尤为重要^[92]。证据导向的评估强调学习成果的可见性与可量化性,旨在将依赖教师主观判断的传统评估模式转变为依托证据、精确客观的量化描述与分析^[93]。这要求评估过程必须遵循证据公开、量规明确、评价透明的原则^[94]。在所审查的文献中,发现结合总结测试、调查问卷和工件检查等多维度证据以全面评估人工智能学习成果的研究仍然匮乏。单一依赖调查问卷虽能触及学生的情感、态度与动机层面,却易忽视知识与技能的实际掌握情况;同样,仅凭工件检查虽能窥见学习过程,但若缺乏统一的评估标准,则难以保证评价的公正与准确。当前研究中,明确制定评估量规的文献寥寥无几(仅2篇),总结测试的应用也不广泛,难以形成多证据相互印证、全面支撑的学习成果评估体系。未来研究应致力于探索并推广多元化、证据导向的评估模式,确保评估的全面性、客观性与有效性。

此外,人工智能学习成果的衡量往往融入了对计算思维、创造力等跨领域能力的综合评估,这些能力已有成熟的评估工具,并广泛接受了信效度检验。然而,至今仍缺乏统一且公认的框架以评估人工智能素养。尽管研究趋势正从概念探讨转向构建清晰、可操作的评估框架与能力指标,但因研究视角与情境的差异,学术界对人工智能素养具体内涵的界定也不尽相同^[95]。鉴于人工智能技术的日新月异,人工智能素养的内涵也将不断演进,其界定与框架设计面临诸多挑战。为确保教育教学的成效与学习评估的可靠性,未来研究亟需确立一套广泛认可的人工智能素养界定框架,为教育实践提供有效指导;深化基础理论研究,为人工智能素养提供可操作且可测量的技能清单;紧跟技术发展趋势,动态调整评估框架,确保对学生人工智能学习成果的评估能够与时俱进,精准反映其能力成长。

七、结语

为全面把握K-12人工智能教育领域的研究动态,本研究通过系统性文献综述方法,深入分析了2020—2024年国际范围内该领域实证研究的研究现状和研究主题,提出了关于未来发展的启示与思考。研究结果揭示了课程整合形式、课程内容、教学方法、教学工具以及学习成果评估等多方面的最新进展,同时也指出了该领域的研究空白和实践挑战,如学前阶段的人工智能教育、情境化课程的开发,以及正式课程与非正式学习的整合等方面。在此基础上,本研究为未来K-12人工智能教育研究提出了以下启示:进一步推动人工智能教育向学前教育阶段拓展,全面培养学生的未来竞争力;鼓励教师参与情境化课程共创,开发贴近实际的课程,促进个人专业成长;通过正式课程与非正式学习的深度整合,构建多元化学习生态,为学生提供更加丰富灵活的学习体验。此外,为更有效地培养学生的人工智能素养,建议合理延长课程周期,采用设计导向学习方法,以及构建标准化评估体系。

人工智能的演进犹如四季更迭,经历了萌芽之春、兴盛之夏,并跨越了两次寒冬,现在已进入大数据和计算力驱动的丰收之秋^[96]。正如罗马非一日建成,人工智能专业人才的培养也需要长期的规划和分阶段实施。人工智能教育逐步融入基础教育,正是这一战略规划的生动体现。本研究提供了全面的视角,旨在深化对K-12人工智能教育研究与实践的理解,以期培养具备技术能力、创新思维、批判性思维和社会责任感的未来人才提供参考,共同书写人工智能时代的光辉篇章。

参考文献:

- [1] KANDLHOFFER M, STEINBAUER G, HIRSCHMUGL-GAISCH S, et al. Artificial intelligence and computer science in education: from kindergarten to university [C]//IEEE. 2016 IEEE frontiers in education conference (FIE). Piscataway: IEEE, 2016: 1-9.
- [2] PEDRÓ F, SUBOSA M, RIVAS A, et al. Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development [R]. Paris: UNESCO, 2019: 12-13.
- [3] GRESSE VON WANGENHEIM C, HAUCK J C R, PACHECO F S, et al. Visual tools for teaching machine learning in K-12: a ten-year systematic mapping [J]. Education and Information Technologies, 2021, 26(5): 5733-5778.
- [4] MARQUES L S, GRESSE VON WANGENHEIM C, HAUCK J C R. Teaching machine learning in school: a systematic mapping of the state of the art [J]. Informatics in Education, 2020, 19(2): 283-321.
- [5] TEDRE M, TOIVONEN T, KAHILA J, et al. Teaching machine learning in K-12 classroom: pedagogical and technological trajectories for artificial intelligence education [J]. IEEE Access, 2021, 9: 110558-110572.
- [6] RAUBER M F, GRESSE VON WANGENHEIM C. Assessing the learning of machine learning in K-12: a ten-year systematic mapping [J]. Informatics in Education, 2022, 22(2): 295-328.
- [7] MUNIR H, VOGEL B, JACOBSSON A. Artificial intelligence and machine learning approaches

- in digital education: a systematic revision[J]. *Information*, 2022, 13(4): 1–26.
- [8] SU J, ZHONG Y, NG D T K. A meta-review of literature on educational approaches for teaching AI at the K–12 levels in the Asia-Pacific region[J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2022, 3: 1–18.
- [9] YUE M, JONG M S Y, DAI Y. Pedagogical design of K–12 artificial intelligence education: a systematic review[J]. *Sustainability*, 2022, 14(23): 1–29.
- [10] CASAL-OTERO L, CATALA A, FERNÁNDEZ-MORANTE C, et al. AI literacy in K–12: a systematic literature review[J]. *International Journal of STEM Education*, 2023, 10(1): 1–17.
- [11] 游景如, 黄甫全. 新兴系统性文献综述法: 涵义、依据与原理[J]. *学术研究*, 2017(3): 145–151, 178.
- [12] 黄甫全, 游景如, 涂丽娜, 等. 系统性文献综述法: 案例、步骤与价值[J]. *电化教育研究*, 2017, 38(11): 11–18, 25.
- [13] MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2009, 151(4): 264–269.
- [14] AAAI. AAAI launches “AI for K–12” initiative in collaboration with the computer science teachers association (CSTA) and AI4All[EB/OL]. (2018–05–15)[2024–05–20]. <https://aaai.org/aaai-launches-ai-for-k-12-initiative-in-collaboration-with-the-computer-science-teachers-association-csta-and-ai4all/>.
- [15] 徐鹏, 董文标, 王丛. 新加坡人工智能终身教育体系现状及启示[J]. *现代教育技术*, 2022, 32(1): 35–43.
- [16] KIM S, JANG Y, CHOI S, et al. Analyzing teacher competency with TPACK for K–12 AI education[J]. *KI-Künstliche Intelligenz*, 2021, 35(2): 139–151.
- [17] NG D T K, LEE M, TAN R J Y, et al. A review of AI teaching and learning from 2000 to 2020[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 28(7): 8445–8501.
- [18] SANUSI I T, AYANWALE M A, CHIU T K F. Investigating the moderating effects of social good and confidence on teachers’ intention to prepare school students for artificial intelligence education[J]. *Education and Information Technologies*, 2024, 29(1): 273–295.
- [19] WANG F, HANNAFIN M J. Design-based research and technology-enhanced learning environments[J]. *Educational Technology Research and Development*, 2005, 53(4): 5–23.
- [20] HOADLEY C M. Methodological alignment in design-based research[J]. *Educational Psychologist*, 2004, 39(4): 203–212.
- [21] RELMASIRA S C, LAI Y C, DONALDSON J P. Fostering AI literacy in elementary science, technology, engineering, art, and mathematics (STEAM) education in the age of generative AI[J]. *Sustainability*, 2023, 15(18): 1–25.
- [22] PARK K, MOTT B, LEE S, et al. Investigating a visual interface for elementary students to formulate AI planning tasks[J]. *Journal of Computer Languages*, 2022, 73: 1–13.

- [23] KIM K, KWON K, OTTENBREIT-LEFTWICH A, et al. Exploring middle school students' common naive conceptions of artificial intelligence concepts, and the evolution of these ideas[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 28(8): 9827–9854.
- [24] OTTENBREIT-LEFTWICH A, GLAZEWSKI K, JEON M, et al. Lessons learned for AI education with elementary students and teachers[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2023, 33(2): 267–289.
- [25] SANUSI I T, OLALEYE S A, AGBO F J, et al. The role of learners' competencies in artificial intelligence education[J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2022, 3: 1–10.
- [26] HU X, HE W, CHIU T K F, et al. Using a teacher scheme for educational dialogue analysis to investigate student–student interaction patterns for optimal group activities in an artificial intelligence course[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 28(7): 8789–8813.
- [27] ZHAN Z, HE G, LI T, et al. Effect of groups size on students' learning achievement, motivation, cognitive load, collaborative problem–solving quality, and in–class interaction in an introductory AI course[J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2022, 38(6): 1807–1818.
- [28] KIM K, KWON K. Exploring the AI competencies of elementary school teachers in South Korea[J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2023, 4: 1–11.
- [29] FUNDI M, SANUSI I T, OYELERE S S, et al. Advancing AI education: assessing Kenyan in–service teachers' preparedness for integrating artificial intelligence in competence–based curriculum[J]. *Computers in Human Behavior Reports*, 2024, 14: 1–10.
- [30] VELANDER J, TAIYE M A, OTERO N, et al. Artificial intelligence in K–12 education: eliciting and reflecting on Swedish teachers' understanding of AI and its implications for teaching & learning[J]. *Education and Information Technologies*, 2024, 29(4): 4085–4105.
- [31] YAU K W, CHAI C S, CHIU T K F, et al. A phenomenographic approach on teacher conceptions of teaching artificial intelligence (AI) in K–12 schools[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 28(1): 1041–1064.
- [32] SUN J, MA H, ZENG Y, et al. Promoting the AI teaching competency of K–12 computer science teachers: a TPACK–based professional development approach[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 28(2): 1509–1533.
- [33] DAI Y, LIU A, QIN J, et al. Collaborative construction of artificial intelligence curriculum in primary schools[J]. *Journal of Engineering Education*, 2023, 112(1): 23–42.
- [34] CHIU T K F, MENG H, CHAI C S, et al. Creation and evaluation of a pretertiary artificial intelligence (AI) curriculum[J]. *IEEE Transactions on Education*, 2021, 65(1): 30–39.
- [35] WU S Y, YANG K K. The effectiveness of teacher support for students' learning of artificial intelligence popular science activities[J]. *Frontiers in Psychology*, 2022, 13: 1–10.
- [36] PARK W, KWON H. Implementing artificial intelligence education for middle school technology education in Republic of Korea[J]. *International Journal of Technology and Design Education*, 2024, 34(1): 109–135.

- [37] DAI Y. Dual-contrast pedagogy for AI literacy in upper elementary schools[J]. *Learning and Instruction*, 2024, 91: 1-12.
- [38] VARTIAINEN H, TOIVONEN T, JORMANAINEN I, et al. Machine learning for middle schoolers: learning through data-driven design[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2021, 29: 1-12.
- [39] WILLIAMS R, ALI S, DEVASIA N, et al. AI+ ethics curricula for middle school youth: lessons learned from three project-based curricula[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2023, 33(2): 325-383.
- [40] IRGENS G A, VEGA H, ADISA I, et al. Characterizing children's conceptual knowledge and computational practices in a critical machine learning educational program[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2022, 34: 1-15.
- [41] JIANG S, MCCLURE J, MAO H, et al. Integrating machine learning and color chemistry: developing a high-school curriculum toward real-world problem-solving[J]. *Journal of Chemical Education*, 2023, 101(2): 675-681.
- [42] CHEN P Y, LIU Y C. Impact of AI robot image recognition technology on improving students' conceptual understanding of cell division and science learning motivation[J]. *Journal of Baltic Science Education*, 2024, 23(2): 208-220.
- [43] JANG J, JEON J, JUNG S K. Development of STEM-based AI education program for sustainable improvement of elementary learners[J]. *Sustainability*, 2022, 14(22): 1-16.
- [44] KONG S C, CHEUNG W M Y, TSANG O. Evaluating an artificial intelligence literacy programme for empowering and developing concepts, literacy and ethical awareness in senior secondary students[J]. *Education and Information Technologies*, 2023, 28(4): 4703-4724.
- [45] SHAMIR G, LEVIN I. Teaching machine learning in elementary school[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2022, 31: 1-12.
- [46] PARK J, TEO T W, TEO A, et al. Integrating artificial intelligence into science lessons: teachers' experiences and views[J]. *International Journal of STEM Education*, 2023, 10(1): 1-22.
- [47] SU J, YANG W. AI literacy curriculum and its relation to children's perceptions of robots and attitudes towards engineering and science: an intervention study in early childhood education[J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2024, 40(1): 241-253.
- [48] HUANG X, QIAO C. Enhancing computational thinking skills through artificial intelligence education at a STEAM high school[J]. *Science & Education*, 2024, 33(2): 383-403.
- [49] SANUSI I T, OYELERE S S, VARTIAINEN H, et al. Developing middle school students' understanding of machine learning in an African school[J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2023, 5: 1-11.
- [50] XIA Q, CHIU T K F, LEE M, et al. A self-determination theory (SDT) design approach for inclusive and diverse artificial intelligence (AI) education[J]. *Computers & Education*, 2022, 189: 1-13.

- [51] CHOI J I, YANG E, GOO E H. The effects of an ethics education program on artificial intelligence among middle school students: analysis of perception and attitude changes [J]. *Applied Sciences*, 2024, 14(4): 1–15.
- [52] VARTIAINEN H, TEDRE M, VALTONEN T. Learning machine learning with very young children: who is teaching whom? [J]. *International Journal of Child–Computer Interaction*, 2020, 25: 1–11.
- [53] 梁爱民. 维果斯基心理发展视角下社会建构主义学习理论的构建与应用研究 [J]. *山东外语教学*, 2011, 32(3): 64–66.
- [54] NG D T K, LUO W, CHAN H M Y, et al. Using digital story writing as a pedagogy to develop AI literacy among primary students [J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2022, 3: 1–14.
- [55] ZHANG H, LEE I, ALI S, et al. Integrating ethics and career futures with technical learning to promote AI literacy for middle school students: an exploratory study [J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2023, 33(2): 290–324.
- [56] NG D T K, XINYU C, LEUNG J K L, et al. Fostering students' AI literacy development through educational games: AI knowledge, affective and cognitive engagement [J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2024, 40: 1–16.
- [57] PAPERT S. *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas* [M]. New York: Basic books, 1980: 20–21.
- [58] KAHN K, WINTERS N. Constructionism and AI: a history and possible futures [J]. *British Journal of Educational Technology*, 2021, 52(3): 1130–1142.
- [59] CHAI C S, CHIU T K F, WANG X, et al. Modeling Chinese secondary school students' behavioral intentions to learn artificial intelligence with the theory of planned behavior and self-determination theory [J]. *Sustainability*, 2022, 15(1): 1–16.
- [60] WELLS A. The importance of design thinking for technological literacy: a phenomenological perspective [J]. *International Journal of Technology and Design Education*, 2013, 23: 623–636.
- [61] ZHAN Z, SHEN W, LIN W. Effect of product-based pedagogy on students' project management skills, learning achievement, creativity, and innovative thinking in a high-school artificial intelligence course [J]. *Frontiers in Psychology*, 2022, 13: 1–16.
- [62] LONG D, MAGERKO B. What is AI literacy? competencies and design considerations [C]// Association for Computing Machinery. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, 2020: 1–16.
- [63] WONG G K W, MA X, DILLENBOURG P, et al. Broadening artificial intelligence education in K–12: where to start? [J]. *ACM Inroads*, 2020, 11(1): 20–29.
- [64] DAI Y, LIN Z, LIU A, et al. An embodied, analogical and disruptive approach of AI pedagogy in upper elementary education: an experimental study [J]. *British Journal of Educational Technology*, 2024, 55(1): 417–434.
- [65] 沈晨, 柏宏权. 中小学人工智能课程学习平台建设现状与优化策略 [J]. *电化教育研究*, 2021, 42(10): 77–83.

- [66] CASAL-OTERO L, CATALA A, FERNÁNDEZ-MORANTE C, et al. AI literacy in K-12: a systematic literature review[J]. *International Journal of STEM Education*, 2023, 10(1): 1-17.
- [67] LIN P, VAN BRUMMELEN J. Engaging teachers to co-design integrated AI curriculum for K-12 classrooms [C]//Association for Computing Machinery. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM, 2021: 1-12.
- [68] LIN X F, WANG Z, ZHOU W, et al. Technological support to foster students' artificial intelligence ethics: an augmented reality-based contextualized dilemma discussion approach [J]. *Computers & Education*, 2023, 201: 1-22.
- [69] LIN X F, ZHOU Y, SHEN W, et al. Modeling the structural relationships among Chinese secondary school students' computational thinking efficacy in learning AI, AI literacy, and approaches to learning AI [J]. *Education and Information Technologies*, 2024, 29(5): 6189-6215.
- [70] HSU T C, ABELSON H, VAN BRUMMELEN J. The effects on secondary school students of applying experiential learning to the conversational AI learning curriculum [J]. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 2022, 23(1): 82-103.
- [71] TIAN X, KUMAR A, SOLOMON C E, et al. AMBY: a development environment for youth to create conversational agents [J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2023, 38: 1-15.
- [72] SU J, YANG W. Artificial intelligence in early childhood education: a scoping review [J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2022, 3: 1-13.
- [73] DRUGA S, VU S T, LIKHITH E, et al. Inclusive AI literacy for kids around the world [C]//Association for Computing Machinery. *Proceedings of FabLearn 2019*. New York: ACM, 2019: 104-111.
- [74] LIN P, VAN BRUMMELEN J, LUKIN G, et al. Zhorai: designing a conversational agent for children to explore machine learning concepts [C]//Association for the Advancement of Artificial Intelligence. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Menlo Park: AAAI Press, 2020: 13381-13388.
- [75] WILLIAMS R, PARK H W, OH L, et al. PopBots: designing an artificial intelligence curriculum for early childhood education [C]//Association for the Advancement of Artificial Intelligence. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Menlo Park: AAAI Press, 2019: 9729-9736.
- [76] TSENG T, MURAI Y, FREED N, et al. PlushPal: storytelling with interactive plush toys and machine learning [C]//Association for Computing Machinery. *Proceedings of the 20th Annual ACM Interaction Design and Children Conference*. New York: ACM, 2021: 236-245.
- [77] SU J, ZHONG Y. Artificial Intelligence (AI) in early childhood education: curriculum design and future directions [J]. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2022, 3: 1-12.
- [78] JHA A K. Epistemological and pedagogical concerns of constructionism: relating to the educational practices [J]. *Creative Education*, 2012, 3(2): 171-178.

- [79] BALGOPAL M M. STEM teacher agency: a case study of initiating and implementing curricular reform[J]. *Science Education*, 2020, 104(4): 762–785.
- [80] ROSCHELLE J, PENUEL W, SHECHTMAN N. Co-design of innovations with teachers: definition and dynamics[C]//International Society of the Learning Sciences. *Proceedings of the 7th International Conference of the Learning Sciences*. Bloomington: International Society of the Learning Sciences, 2006: 606–612.
- [81] YOON S, LIU L, GOH S. Exploring the process of convergent adaptation in technology-based science curriculum construction[C]//International Society of the Learning Sciences. *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning*. Boulder: International Society of the Learning Sciences, 2009: 272–281.
- [82] STEINBAUER G, KANDLHOFFER M, CHKLOVSKI T, et al. A differentiated discussion about AI education K–12[J]. *KI-Künstliche Intelligenz*, 2021, 35(2): 131–137.
- [83] HABIG B, GUPTA P. Authentic STEM research, practices of science, and interest development in an informal science education program[J]. *International Journal of STEM Education*, 2021, 8: 1–18.
- [84] 潘云鹤. 人工智能2.0与教育的发展[J]. *中国远程教育*, 2018(5): 5–8, 44, 79.
- [85] BALAGUER Á, BENÍTEZ E, ALBERTOS A, et al. Not everything helps the same for everyone: relevance of extracurricular activities for academic achievement[J]. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2020, 7(1): 1–8.
- [86] 刘长海, 李海龙. 新课标中核心素养对“双基”“三维目标”的继承与超越[J]. *湖南师范大学教育科学学报*, 2024, 23(3): 99–105, 122.
- [87] PAPERT S, HAREL I. Situating constructionism[J]. *Constructionism*, 1991, 36(2): 1–11.
- [88] SANUSI I T, OMIDIORA J O, OYELERE S S, et al. Preparing middle schoolers for a machine learning-enabled future through design-oriented pedagogy[J]. *IEEE Access*, 2023, 11: 39776–39791.
- [89] SEITAMAA-HAKKARAINEN P, VIILO M, HAKKARAINEN K. Learning by collaborative designing: technology-enhanced knowledge practices[J]. *International Journal of Technology and Design Education*, 2010, 20: 109–136.
- [90] HENNESSY S, MURPHY P. The potential for collaborative problem solving in design and technology[J]. *International Journal of Technology and Design Education*, 1999, 9: 1–36.
- [91] ZIMMERMANN-NIEFIELD A, TURNER M, MURPHY B, et al. Youth learning machine learning through building models of athletic moves[C]//Association for Computing Machinery. *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Interaction Design and Children*. New York: ACM, 2019: 121–132.
- [92] 詹泽慧, 姚佳静, 吴倩意, 等. 人工智能课程中表现性评价的设计与应用[J]. *现代教育技术*, 2022, 32(5): 32–41.
- [93] 梁云真, 刘瑞星, 高思圆. 中小学“人工智能+X”跨学科融合教学: 理论框架与实践策略[J]. *电化教育研究*, 2022, 43(10): 94–101.

- [94] 王慧君,赵紫薇,李宇婷.基于证据的学业评价:观点、框架与实践路径[J].中国考试, 2022(2):64-72.
- [95] 王春丽,邢海风.纵横视角下人工智能素养的理论研究与行动启示[J].现代教育技术, 2024,34(1):73-83.
- [96] HAENLEIN M, KAPLAN A. A brief history of artificial intelligence: on the past, present, and future of artificial intelligence[J]. California Management Review, 2019, 61(4):5-14.
- (责任编辑 蔡银春)

Current Status and Implications of Empirical Research on International K-12 Artificial Intelligence Education: A Systematic Literature Review

WANG Wenlan, LAN Ke

(School of Education, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong, 510631, P.R.China)

Abstract: With the advent of the intelligent era, artificial intelligence (AI) education has gradually expanded from higher education to K-12 stage, becoming a research focus. In order to understand the current situation of international K-12 AI education research, this systematic literature review analyzed empirical studies published between 2020 and 2024 in databases such as Web of Science, ScienceDirect, Wiley, and ERIC. The results indicate a yearly increase in the number of publications, with Asia leading in the number of papers. Research mainly focuses on the primary and secondary school education, with limited attention to preschool education. The primary methods utilized are experimental design and mixed-methods research, with limited adoption of emerging research methodologies. Key research themes include: “AI curriculum development”, “student learning dynamics,” and “teacher professional development”, with “AI curriculum development” covering five secondary indicators: “integration formats”, “content modules”, “pedagogical methods”, “teaching tools”, and “learning outcome assessments”. Future research should accelerate the exploration of AI education in preschool stage, promote contextualized AI curriculum development, integrate formal curriculum and informal learning, reasonably extend course duration, encourage design-oriented learning methods and real data, and construct standardized assessments of learning outcomes.

Keywords: artificial intelligence; artificial intelligence education; systematic literature review; K-12