

STEM课程学习对初中生批判性思维倾向的影响初探

何莎莎^{1,2}, 林滢³, 施农农^{1*}

¹杭州师范大学生命与环境科学学院, 浙江 杭州

²杭州市淳安县第二中学, 浙江 杭州

³杭州市保俶塔实验学校, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年10月7日; 录用日期: 2023年11月9日; 发布日期: 2023年11月15日

摘要

本研究采用前、后测准实验研究法对接受了为期3个多月的STEM课程学习的杭州市保俶塔实验学校初一学生进行了批判性思维倾向测表(CTDI-CV)的前后测问卷调查, SPSS20.0统计软件进行独立样本和成对样本T检验分析。短期STEM课程学习能初步改善和提高初中生的批判性思维倾向, 但总体水平尚未达到显著差异水平($P = 0.091 > 0.05$); STEM课程学习中的大胆思索、提出问题、做出决策等探究式学习方式, 能使学生在批判性思维倾向中的“寻找真相”($P = 0.039 < 0.05$)和“认知成熟度”($P = 0.032 < 0.05$)两个分维度上均有显著提升。首次提出了学生批判性思维倾向的提高作为STEM课程学习效果的一个评价指标的可能性。研究结果对如何通过更好地实施STEM教学, 促进学生批判性思维倾向的提升具有重要实践意义和参考价值。

关键词

批判性思维倾向, STEM课程, 初中生

A Preliminary Study on the Impact of STEM Course Learning on the Critical Thinking Tendency of Junior High School Students

Shasha He^{1,2}, Ying Lin³, Nongnong Shi^{1*}

*通讯作者。

¹School of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

²The Second Middle School of Chun'an County, Hangzhou Zhejiang

³Baochu Pagoda Experimental School Hangzhou, Hangzhou Zhejiang

Received: Oct. 7th, 2023; accepted: Nov. 9th, 2023; published: Nov. 15th, 2023

Abstract

The pre- and post-measurement of the quasi-experimental method was applied to junior high school students in Baochu Pagoda Experimental School, Hangzhou. The students received STEM courses for more than 3 months. The modified Critical Thinking Deposition Inventory (CTDI-CV) was used to conduct questionnaires, and SPSS 20.0 statistical software was used for T-tests. Short-term study on STEM courses could improve and enhance the critical thinking tendency of junior high school students, but the difference was not yet statistically significant in general ($P = 0.091 > 0.05$). The inquiry-based learning methods of STEM courses such as thinking deeply, presenting questions and making decisions in STEM courses significantly improved the students' scores in two dimensions of critical thinking: "seeking the truth" ($P = 0.039 < 0.05$) and "cognitive maturity" ($P = 0.032 < 0.05$). The possibility of using the improvement of student's critical thinking tendency as an evaluation index of the learning effect of STEM courses was proposed for the first time. The results have important practical significance and reference value for how to promote students' critical thinking tendency through better implementation of STEM teaching.

Keywords

Critical Thinking Tendency, STEM Course, Junior High School Student

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高素质复合型人才的培养是国家保持强大综合国力的重要基础，而学科间的融合共通，对有效培养学生提出问题、思考分析和解决问题的综合能力具有重要作用[1]。起源于20世纪80年代的STEM课程，是一种融合了科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)和数学(Mathematics)四门学科的整合性课程，形成了一个跨学科知识体系，打破了学科间的壁垒[2]。它采用的是基于项目/问题(Project-/Problem-based Learning, PBL)的学习方式[3]，有利于激发学生的学习兴趣，有效培养学生的发现、提出并解决问题、知识迁移及沟通等综合能力。因此，STEM教育已在美[4][5][6][7][8]、英[9]、韩[10]等国受到普遍关注和重视。本研究所指的STEM中的科学是将探究应用于学习的方法；技术是创造和交流的工具；工程是解决问题时的设计过程；数学是探究过程的基础。

STEM教育在我国起步于本世纪初。在研究层面主要是梳理国外STEM教育内涵及发展趋势，结合我国国情提出STEM教育相关的一些策略和启示。2007年，秦炜炜[11]首次详细介绍了美国STEM的内涵及实施策略等内容，为我国STEM教育研究打开了大门。随后，朱学彦[12]、杨明全[13]等人梳理了美

国 STEM 教育理念及政策的发展变化,并针对我国国情提出了推动 STEM 教育的建议。吴俊杰[14]、张燕军[15]等人提出并分析了美国 STEM 教育存在的问题,在此基础上提出了对于我国 STEM 教育发展的一些策略和启示。樊雅琴[16]、朱珂[17]等人分析了问题解决能力、计算思维能力对 STEM 教育起了重要的支撑作用,并提出在 STEM 教育视野下相关能力的培养策略。在教学层面,我国的 STEM 课程的教学目标、课程设置等标准尚未完整制定,相应的教学资源研发较困难,课程评价更是欠缺。范燕瑞[18]、杨亚平[19]等人通过研究美国 STEM 的课程目标、课程设置等内容,总结出了 STEM 课程的基本整合模式、常用教学方法以及教学设计原则等内容。另外,STEM 课程能否有效提高学生的综合实践能力都需要对应的教育评价来进行评估,这方面目前我国研究还比较少[20][21]。在实践层面,仅江苏、北京、上海、浙江等部分发达地区的中小学近几年开始实施和探索开设 STEM 课程[22],也主要以社团活动课、综合实践课的形式进行[23][24],课时数较少。杨欣[25]等人将 STEM 与具体学科的教学活动相结合,陈胜[26]等人则尝试开展独立的 STEM 综合校本课程。

批判性思维是一种有目的、自我调节的判断历程[27],目的在于解决问题、判断、推理及做出决定[28]。批判性思维是学生综合素质的重要组成部分,是提出问题和解决问题的前提条件[29]。批判性思维分为技能和倾向两个方面,这两个方面互为影响,表现出较高的正相关。批判性思维倾向是一种对事物客观理性的分析和审慎判断的过程,经判断、推理做出正确的决定,并恰当地解决问题[30]。一个人在意识到批判性思维的重要性之后,是否愿意主动将批判性思维技能运用起来,这依赖于自身是否具有足够的批判性思维倾向。批判性思维倾向的形成也是新课标下中学生能力培养的目标之一。

STEM 课程以学生为主体,充分强调学生体验和探究过程,需要学生学会思考和提出问题,利用掌握的多学科知识进行合理的分析判断和解决问题,并参考他人观点进行合理有效的阐述。所以 STEM 课程学习过程中体现的思维能力包含了批判性思维倾向,目前已经有 STEM 课程学习与学生创新思维[31]、计算思维[32]等能力关系的研究,而与批判性思维倾向关联的研究,至今国内外仅零星公开报道[33][34][35],学位论文上也仅本课题组的相关硕士论文研究以及山西师大的一篇硕士论文[36],且大部分 STEM 课程在实施过程中缺少量化且可靠的学习效果评判依据。

本课题通过 STEM 课程教学实践探究其对学生批判性思维倾向的影响程度。以杭州市保俶塔实验学校初一年级学生为研究对象,以批判性思维倾向的七个维度(见问卷表)为评判指标,量化分析和评价学生批判性思维倾向现状以及 STEM 课程的学习效果,并以此提出建议,为 STEM 课程教育及有效评价手段的建立提供重要参考。

2. 研究对象与方法

2.1. 研究对象

本研究以杭州市保俶塔实验学校初一年级两班学生为研究对象,分实验班与对照班,总样本量 60 人。

2.2. 研究方法

2.2.1. STEM 课程设计与实施

本研究的 STEM 课程活动由认识空气动力学和走进生物二个单元共八个节次组成。完成这些活动需要运用伯努利原理、牛顿定律、生物化学、数学等学科知识。每个小课题既完整又是层层递进深入的,学生通过搭建组装、绘制、记录、实验器材使用、试剂配制等操作,提升动手能力的同时,激发兴趣和思考,在发现问题、提出和解决问题的过程中培养思辨能力,在合作探索过程中用可靠的事实证据表达自己的观点,还要学会分析采纳同伴的意见;主动思考、做出决策,不断探索验证来解决问

题。综合了解和掌握相关科学、技术、工程和数学领域的基础知识和基本技能，最终完成项目要求(见表 1)。

Table 1. Unit content for STEM course and their design intent

表 1. STEM 课程单元内容及设计意图

单元	节次	课题	内容	设计意图及目的
认识空气动力学	1	搭建意大利面塔	学生在有限时间内利用意面、棉花糖、回形针等有限材料搭建完成稳而高的塔。	学生在一定压力下协力完成看似简单但具挑战的结构任务，使他们领悟在实践中不断尝试、掌握要点、寻求最佳方案的重要性，以及团队协作的意义。
	2	折纸飞机	通过吸管吹纸条和吹气球活动学习理解伯努利原理；利用所给材料折纸飞机，让飞机穿过固定呼啦圈。	通过小活动使学生理解伯努利原理，进而过渡到原理的运用——飞机机翼设计，并让学生折纸飞机且进行飞行试验。整个过程需要学生思考如何利用材料和工具进行设计制作，如何使成品更稳准地飞过固定区域。同时培养学生的技术和工程素养。
	3	制作气球动力小车	通过气球小缆车活动探索让气球飞得更远的方法，然后利用这个活动所获得方法，进一步制作气球动力小车，最后各个小组比赛看哪个组让小车跑得更远。	在探索的过程中，学生需要逐步发现和解决问题，完成最终项目，全过程培养学生积极探索寻找真相的意识和倾向，有效构建STEM课程的四大概念内涵。
	4	制作降落伞	让学生通过视频体验降落伞降落的全过程，再利用现有材料动手设计图纸、制作和试验降落伞。	为该单元的终极活动，学生在研究、设计、制作过程中可以有效建构关于科学、技术、工程和数学的知识和技能。
走进植物世界	5	绘制校园植物分布图	认识校园植物，做记录以及绘制校园植物分布图，用画图软件为校园里的植物设计名片。	通过校园植物识别及分布图绘制和名片设计，有效建构和培养学生的科学、技术的知识和技能。
	6	制作叶脉书签	采集树叶、了解叶脉构造、制作叶脉书签。	激发兴趣、主动参与、积极思考、做出决策的能力培养；有效构建STEM课程的四大概念内涵。
	7	制作无患子洗手液	采集无患子，了解其作用，制作洗手液。	培养学生理论联系实际并指导实践观念，培养动手能力以及解决问题的能力。有效建构学生的科学、技术、数学等知识和技能。
	8	制作酵素	采集无患子，了解其作用，学习酵素相关知识及其独特作用，学习如何从中制作酵素。	培养学生理论联系实际并指导实践观念，培养动手能力以及解决问题的能力。有效建构学生的科学、技术、数学等知识和技能。

2.2.2. 问卷分析

本研究采取实证研究法, 对学生 STEM 课程学习前后的批判性思维倾向进行前后测问卷调查和量化分析, STEM 课程学习为期 4 个月, 设常规教学对照组。问卷采用彭美慈等修订的加州批判性思维倾向测量表(CTDI-CV) [37], 其内容效度(CVI)为 0.89, α 值 0.90, 各维度间 α 值 0.54~0.77, 具有良好的信度与效度。该量表由七个维度组成, 每个维度含十个小题, 每小题六个选项, 根据学生的选项采用 Likert 六点量表法进行相应赋分。正向题依序给予 6~1 分, 负向题依序给予 1~6 分, 累计得分越高批判性思维倾向越好, 引用的评分标准(见表 2) [38]。运用 SPSS20.0 统计软件进行数据分析, 实验班与对照班比较通过独立样本 T 检验分析, 各班前后测比较通过成对样本 T 检验分析。

Table 2. The scoring criteria for critical thinking disposition inventory [38]

表 2. 批判性思维倾向测量表(CTDI-CV)评分标准[38]

分值类别	分值界限	对应标准
总分	≤ 210 分	批判性思维总体倾向负性
	210~280 分	批判性思维总体倾向较弱
	≥ 280 分	批判性思维总体倾向较理想
	≥ 350 分	批判性思维总体倾向很强
单维度得分	≤ 30 分	该维度批判性思维倾向负性
	30~40 分	该维度批判性思维倾向中性
	≥ 40 分	该维度批判性思维倾向较理想
	≥ 50 分	该维度批判性思维倾向很强

3. 研究结果与分析

3.1. STEM 课程学习对学生批判性思维倾向的总体影响

3.1.1. 实验班与对照班批判性思维倾向的前测分析

在 STEM 课程学习之前, 使用 CTDI-CV 量表对实验班和对照班学生进行批判性思维倾向测试, 以了解两班学生的批判性思维倾向总体以及差异情况。经独立样本 T 检验, 确认实验班与对照班学生的批判性思维倾向前测差异不显著($t = 0.655$, $df = 58$, $P = 0.515 \gg 0.05$), 两班的批判性思维倾向总分非常接近, 表明两班学生具有同质性, 可以进行后续实验(见表 3)。且总分均略高于 280 分, 说明学生的批判性思维倾向总体比较理想。

Table 3. The T-test of critical thinking tendencies of students in the experimental and control classes before STEM teaching

表 3. 实验班与对照班学生的批判性思维倾向 STEM 教学前测 T 检验结果

前测	组别	样本数	均值	标准差	t 值	自由度	P 值
总分	实验班	30	297.77	31.456	0.655	58	0.515
	对照班	30	302.33	21.627			

3.1.2. 实验班批判性思维倾向的前后测比较

STEM 课程实施后, 实验班学生的批判性思维倾向与前测比较有所改善, 总分提高了 14.50 分, 但总

体在统计学意义上没有显著差别($t = -1.749$, $df = 29$, $P = 0.091 > 0.05$) (见表 4), 仍处于较理想的分值区间。

Table 4. T-test of critical thinking tendencies of experimental class students before and after STEM teaching

表 4. 实验班学生批判性思维倾向 STEM 教学前后测 T 检验结果

	总分	样本数	均值	标准差	t 值	自由度	P 值
实验班	前测	30	297.77	31.456	-1.749	29	0.091
	后测	30	312.27	28.788			

3.1.3. 对照班批判性思维倾向的前后测比较

对照班常规教学后, 批判性思维倾向与前测比较几乎没有变化, 总分仅提高 2.70 分($t = -0.351$, $df = 29$, $P = 0.728 \gg 0.05$) (见表 5), 在一定程度上可以消除常规课程的学习以及年龄增长等因素对本研究的影响。

Table 5. T-test of critical thinking tendencies of control class students before and after STEM teaching

表 5. 对照班学生批判性思维倾向前后测 T 检验结果

	总分	样本数	均值	标准差	t 值	自由度	P 值
对照班	前测	30	302.33	21.627	-0.351	29	0.728
	后测	30	305.03	33.421			

另外, 实验班学生的批判性思维倾向后测总分比常规教学的对照班学生多增加了 7.24 分, 实验班后测的总分增加值(14.5)约为对照班(2.7)的 5 倍多, 但在统计学意义上尚无显著差异($t = -0.898$, $df = 58$, $P = 0.373 > 0.05$), 因此, 需要对七个分维度数据分别进行深入分析。

3.2. STEM 课程学习对学生批判性思维倾向的子维度影响

实验班学生批判性思维倾向七个分维度的 STEM 教育前后测得分差异结果见表 6。实验班学生批判性思维倾向在寻找真相这一维度的得分差异检测中, 由前测的较理想状态初期(40.77), 经过三个多月的 STEM 教学提高到 43.83 分(见表 6(a)), 尽管仍在理想值区间, 统计学意义上表现出显著提升($t = -2.165$, $df = 29$, $P = 0.039 < 0.05$) (见表 6(b))。在认知成熟度这一维度的得分差异检测中, 由前测的理想状态(43.57), 经过三个多月的 STEM 教学提高到 47.73 分(见表 6(a)), 尽管仍在理想值区间, 统计学意义上也表现出显著提升($t = -2.257$, $df = 29$, $P = 0.032 < 0.05$) (见表 6(b))。

Table 6. Detection of differences in pre and post test data of each single dimension in the experimental class ((a) Mean difference detection; (b) T-test for paired samples)

表 6. 实验班各个单维度的前后测数据差异检测((a) 样本均值差异检测; (b) 成对样本 T 检验)

(a)				
分维度	均值	样本数	标准差	均值标准误
寻找真相前测	40.77	30	4.191	0.765
	后测	43.83	30	6.276
开放思想前测	44.60	30	6.704	1.224
	后测	45.27	30	4.525

Continued

分析能力前测	42.87	30	7.986	1.458
后测	44.80	30	5.635	1.029
系统化能力前测	41.43	30	7.473	1.364
后测	41.83	30	5.843	1.067
批判性思维前测	39.00	30	7.273	1.328
自信心后测	39.47	30	8.274	1.511
求知欲前测	45.53	30	10.913	1.992
后测	49.33	30	7.160	1.307
认知成熟度前测	43.57	30	6.927	1.265
后测	47.73	30	6.214	1.135

(b)

前后测分维度	成对差分				<i>t</i>	<i>df</i>	Sig. (双侧)	
	均值	标准差	均值标准误	差分95%置信区间				
				下限				上限
寻找真相	-3.067	7.759	1.417	-5.964	-0.169	-2.165	29	0.039
开放思想	-0.667	7.910	1.444	-3.620	2.287	-0.462	29	0.648
分析能力	-1.933	11.246	2.053	-6.133	2.266	-0.942	29	0.354
系统化能力	-0.400	10.474	1.912	-4.311	3.511	-0.209	29	0.836
批判性思维自信心	-0.467	10.054	1.836	-4.221	3.288	-0.254	29	0.801
求知欲	-3.800	12.557	2.293	-8.489	0.889	-1.657	29	0.108
认知成熟度	-4.167	10.113	1.846	-7.943	-0.390	-2.257	29	0.032

实验班学生在开放思想、分析能力、系统化能力、批判性思维自信心以及求知欲等五个分维度的后测分值均有不同程度的提高(0.4~3.8 分), 其中求知欲得分相对最高(49.33), 达到理想状态的上限值, 也是五个分维度中前后测分值提高最多的(见表 6(a))。在统计学意义上, 该五个维度前后测均未体现出显著差异(见表 6(b))。批判性思维自信心这个维度前后测分值在七个维度中最低(见表 6(a))。

对照班学生的七个分维度前后测得分基本在理想分值区间波动, 且未出现显著差异。其中也是求知欲维度得分相对较高, 批判性思维自信心维度得分较低(数据未显示)。两班得分多少趋势接近。

4. 讨论

杭州市保俶路实验小学为杭州市西湖区的一所九年一贯制学校, 是一所排名靠前、教学质量较好的学校。该校办学设施较好, 有多个优秀社团, 为学生提供较全面的发展空间, 学生综合素质相对较高, 这在本研究中实验班和对照班的学生批判性思维倾向的前测数据中有所体现。

该校实验班学生经过三个多月的 STEM 课程学习后,其批判性思维倾向有所改善,总分增加了 14.50 分,尽管 T 检验未显示显著性差异。其蕴含的七个分维度中,寻找真相和认知成熟度这两个维度的后测得分均有很大提高,T 检测则分别显示具显著性差异($P = 0.039 < 0.05$; $P = 0.032 < 0.05$),其余五个分维度得分也体现出不同程度的提高。表明本研究中的 STEM 课程教学手段对学生批判性思维倾向的提升具有初步成效。

回顾整个 STEM 课程的教与学过程,发现主要强调和体现的也是上述具有显著差异的两个分维度。Facione 等人将“寻找真相”表述为一种在特定情境中渴望寻求最佳知识、勇于提出问题,即使结果和自身的利益与信念相违背,也要保证探究过程的真实性和客观性的特质;将“认知成熟度”定义为能做出明智的决策、认知成熟,能看见问题的复杂性,知道在某些情况下没有唯一正确的选项;能考虑多方面因素做出谨慎决策、不迷信权威[38]。这些要素与我们 STEM 课程中将科学设计和探究验证、审慎判断和解决问题等应用于教学过程中极其符合,学生需主动寻找切入点,发现和提出问题,在探索的过程中通过思考和操作从事物表象寻找事物本质,在团队合作中用可靠的事实、证据、理由来表达自己的观点。同时要求学生不固执己见,学会分析采纳同伴的意见,不断探索验证来解决问题。通过学习学生在“寻求真理”和“认知成熟度”这些维度上的发展得到了强化训练和有效提高。

其次学生的求知欲分维度的前后测得分均为最高,也进一步说明该校学生的求知欲望和学习主动性始终较好,学习动力较足。这也体现了优秀学校学生的特质。

总体来说,本研究的学生批判性思维自信心始终欠足,STEM 教学前后测得分均为最低,提高甚微,且处中性区间,说明本研究的 STEM 教学模式和内容对学生批判性思维自信心的提高效应不大,需要引起特别关注,深入探讨和改革 STEM 教学方式、内容、持续时间等,努力培养和增强学生的批判性思维自信心以及其它四个分维度的能力倾向,探究批判性思维倾向的影响作为 STEM 教学质量评价途径之一的可能性,提升和完善 STEM 教学体系,使 STEM 教学在有效提升学生批判性思维倾向上发挥重要作用。

5. 小结

综上所述,STEM 课程教学前学生的批判性思维倾向总体处于较理想区间,其次学生的求知欲分维度的前后测得分均为最高,体现了优秀学校学生的特质。STEM 教学后,学生总体得分有所提高,而且“寻找真相”和“认知成熟度”两个分维度分别发生了显著提升,达到统计学意义上的显著差异,说明本研究中的 STEM 课程教学设计、内容及学生的学习过程能够非常有效地改善学生的批判性思维倾向中的这两个维度能力。“批判性思维自信心”分维度前后测均处于中性区间,其余在较理想区间有不同程度的提高。需进一步改进 STEM 课程教学,探索增强学生批判性思维自信心等分维度的能力倾向。

本研究结果说明打破学科壁垒,开展融合科学、技术、工程和数学的 STEM 综合性课程教学,有助于提高初中生的批判性思维倾向。学生批判性思维倾向的提高可作为 STEM 课程学习效果的一个评价指标本研究初步揭示了 STEM 教学对提升学生批判性思维倾向的有效性,在增加教学周期、改进教学设计和内容、提高样本量等措施下,相信会产生更明显的效应。有关学生的批判性思维倾向发生显著提升需要学习 STEM 课程的最短时间是多少?STEM 课程的学习对学生的批判性思维倾向的影响可以持续多久?如何设计出可以全面提升学生批判性思维倾向的 STEM 课程等问题,有待进一步探讨。

参考文献

- [1] 吴昱寰. 中小学 STEM 教育本土化策略探讨[J]. 课程教育研究, 2016(26): 241.

- [2] 李小涛, 高海燕, 邹佳人, 万昆. “互联网+”背景下的 STEAM 教育到创客教育之变迁——从基于项目的学习到创新能力的培养[J]. 远程教育杂志, 2016, 34(1): 28-36. <https://doi.org/10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2016.01.003>
- [3] 王志宏. STEAM 教育实践探索与思考——以西安高新国际学校为例[J]. 创新人才教育, 2017(2): 46-49.
- [4] Maryland State Department of Education (2012) Maryland State STEM Standards of Practice Framework Grades 6-12.
- [5] 赵中建. 致力于 STEM 教育的“项目引路”机构[J]. 上海教育, 2012(11): 24-26.
- [6] 正非. STEM 中学: 孕育美国“科学、技术、工程和数学”创新人才的摇篮[J]. 中国民族教育, 2013(3): 43-45.
- [7] 李杨. STEM 教育视野下的科学课程构建[D]: [硕士学位论文]. 金华: 浙江师范大学, 2014.
- [8] 蔡海云. STEM 教学模式的设计与实践研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2017.
- [9] Madden, M.E., Baxter, M., Beauchamp, H., Bouchard, K., Habermas, D., Huff, M., Ladd, B., Pearson, J. and Plague, G. (2013) Rethinking STEM Education: An Interdisciplinary STEAM Curriculum. *Procedia Computer Science*, **20**, 541-546. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.316>
- [10] 李昭伊, 刘君, 卢泰天. 韩国技术教育发展的最新动向——以 STEAM 模型为中心技术教育课程设计[J]. 教育研究与评论·课堂观察, 2011(5): 13-19.
- [11] 秦炜炜. 全球化时代美国教育的 STEM 战略[N]. <https://www.docin.com/p-1989541611.html>
- [12] 朱学彦, 孔寒冰. 科技人力资源开发探究-美国 STEM 学科集成战略解读[J]. 高等工程教育研究, 2008(2): 21-25.
- [13] 杨明全. 美国当代中小学科学教育改革: 政策、理念与行动[J]. 比较教育研究, 2011, 33(10): 86-90.
- [14] 吴俊杰, 梁森山, 李松泽. STEM 教育对中国培养适应 21 世纪的复合型创新型人才的启示[J]. 中小学信息技术教育, 2013(3): 43-47.
- [15] 张燕军. 21 世纪美国中小學生 STEM 素质低下问题及其对策[J]. 外国中小学教育, 2013(6): 59-64.
- [16] 樊雅琴, 黄若琳, 崔迎, 等. STEM 教育背景下学生问题解决能力的培养[J]. 现代教育技术, 2019(1): 114-119.
- [17] 朱珂, 贾鑫欣. STEM 视野下计算思维能力的发展策略研究[J]. 现代教育技术, 2018, 28(12): 115-121.
- [18] 范燕瑞. 美国 K-12 阶段的 STEM 课程[J]. 上海教育, 2012(11): 20-21.
- [19] 杨亚平, 陈晨. 美国中小学整合性 STEM 教学实践的研究[J]. 外国中小学教育, 2016(5): 58-64.
- [20] 许海莹. 美国 STEM 教育监测指标体系述评[J]. 上海教育科研, 2014(7): 14-16.
- [21] 许海莹. 基于大数据的美国 STEM 教育监测指标体系: 分析与启示[J]. 教育测量与评价(理论版), 2014(9): 18-22.
- [22] 胡畔, 蒋家傅, 陈子超. 我国中小学 STEAM 教育发展的现实问题与路径选择[J]. 现代教育技术, 2016, 26(8): 22-27.
- [23] 王润英. STEM 教育在高中生物学教学中的尝试[J]. 生物学通报, 2016, 51(3): 24-27.
- [24] 许建明. STEM 视角下的综合实践活动教学实践研究——以“三极管检测仪的设计与制作”为例[J]. 中小学实验与装备, 2018, 28(6): 6-9.
- [25] 杨欣, 刘小秋. 以智能手机为中心的中学 STEM 教育课程探索[J]. 中国教育技术装备, 2016(14): 10-12.
- [26] 陈胜. STEM 教育理念下“纸飞机活动”的思考[J]. 科学大众: 科学教育, 2016(7): 55.
- [27] Facione, P.A. (1990) Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction. Research Findings and Recommendations. Eric Document Reproduction Service, 1-34.
- [28] Halpern, D.F. (1999) Teaching for Critical Thinking: Helping College Students Develop the Skills and Dispositions of a Critical Thinker. *New Directions for Teaching & Learning*, **1999**, 69-74. <https://doi.org/10.1002/tl.8005>
- [29] 曲苒. 试论高职生批判性思维及其培养[J]. 教育与职业, 2011(27): 94-95.
- [30] 王晓云. 中小学美术教师批判性思维倾向培养路径研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2014.
- [31] Cooper, R. and Heavenlo, C. (2013) Problem Solving and Creativity and Design: What Influence Do They Have on Girls' Interest in STEM Subject Areas? *American Journal of Engineering Education*, **4**, 27-38. <https://doi.org/10.19030/ajee.v4i1.7856>
- [32] Simpson, S.J., Fulton, L. and Fanning, L. (2016) Dancing with STEAM: Creative Movement Generates Electricity for Young Learners. *Journal of Dance Education*, **16**, 112-117. <https://doi.org/10.1080/15290824.2016.1175570>
- [33] 李莉. STEM 教育视野下培养学生批判性思维的实践研究[J]. 科学大众(科学教育), 2018(3): 59. <https://doi.org/10.16728/j.cnki.kxdz.2018.03.053>
- [34] 吴纲. “批判性思维”融入高职 STEM 教育策略研究[J]. 绿色科技, 2019(21): 258-260. <https://doi.org/10.16663/j.cnki.lskj.2019.21.109>

-
- [35] 刘蓉倩. STEM 教育对高中生批判性思维能力提升的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西师范大学, 2020.
- [36] Jeon, A.J., Kellogg, D., Khan, M.A. and Tucker-Kellogg, G. (2021) Developing Critical Thinking in STEM Education through Inquiry-Based Writing in the Laboratory Classroom. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, **49**, 140-150. <https://doi.org/10.1002/bmb.21414>
- [37] 彭美慈, 汪国成, 陈基乐, 等. 批判性思维能力测量表的信效度测试研究[J]. 中华护理杂志, 2004(9): 644-647.
- [38] Facione, P.A., Sánchez, C.A., Facione, N.C., *et al.* (1995) The Disposition toward Critical Thinking. *Journal of General Education*, **44**, 1-25.