

STEM 教学能提高学生创造力?

——基于42项实验研究的元分析

周 榕 李世瑾

(陕西师范大学 教育学院, 陕西西安 710062)

[摘要] 培养创造力被认为是STEM教学的主要目标。然而,STEM教学真地能提高学生创造力吗?国内外学者已开展了大量实验与准实验研究,研究结论尚未统一。鉴于此,本研究采用元分析方法,以“STEM教学对学生创造力的影响”为主题,对2008-2018年国内外42项实验研究文献进行量化统计。研究发现:1)纳入研究的合并效应值为0.36,这说明STEM教学对提高学生创造力具有中等偏小的正向影响,且在创新思维、创新实践能力、创新人格与心理等层面不存在显著差异;2)从学段看,STEM教学对高中生创造力影响最大;3)从学科看,在创新科技类学科(信息技术、STEM课程、机器人、3D打印等)中实施STEM教学,对创造力的促进效果较明显;4)从教学周期看,实验周期愈长,STEM教学对创造力的影响效果愈明显;5)从教学主题看,科学探究和原型创造类教学主题对创造力的影响较明显;6)从教学方式看,探究式、问题式、设计式和项目式教学对创造力有中等偏小的正向影响,且四类教学方式无显著差异;7)从教学场域看,实验室和生活场景类教学场域对创造力影响较明显。基于上述发现,本研究建议降低STEM学习的认知负荷,优化STEM教学主题设计,实现STEM教学的学段贯通以及构建STEM教学的创新场域。

[关键词] STEM教学;创造力;元分析;调节效应

[中图分类号] G434

[文献标识码] A

[文章编号] 1007-2179(2019)03-0060-12

一、问题提出

STEM教育的主要目标是培养学生创新精神、创新能力和实践能力(Parker et al., 2015; 余胜泉等, 2015)。能否形成创造性文化和创新性成果,被认为是判断STEM教育发展阶段的重要指标(赵慧臣等, 2017)。然而,STEM教学是多学科融合、面向复杂学习的过程,其对创造能力的影响须借助严谨的实验加以验证,而非简单体验或主观判断(Jud-

son, 2014)。因此,国内外学者积极开展实验研究,探讨STEM教学与创造力的关系,并得出三种迥然不同的结论。

第一种观点认为,STEM教学对学生的创造力确实有提升作用。例如,韩国庆尚大学孔梁云等通过实验研究发现,STEM教学能显著提高小学四年级学生的创新实践能力,其中科学探究、工程设计能力提升最明显(Kong & Huo, 2014)。雷诺兹等通过STEM教学发现,实验组的创新思维与创新心理显

[收稿日期] 2019-03-11

[修回日期] 2019-04-15

[DOI编码] 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2019.03.007

[基金项目] 2013年陕西师范大学中央高校基本科研业务费专项资金项目一般项目“信息环境下免费师范专业创新能力协同成长机制与策略研究”(13SZYB14)。

[作者简介] 周榕(通讯作者),博士,副教授,硕士生导师,陕西师范大学教育学院,研究方向:STEM教育、智慧教育与创新能力(rzhou@snnu.edu.cn);李世瑾,硕士研究生,陕西师范大学教育学院,研究方向:STEM教育(lsj@snnu.edu.cn)。

著高于对照组 (Reynolds et al., 2008)。吴永和等 (2018) 通过实验研究发现, STEM 教学实践活动能显著提高大学生的学习兴趣和跨学科创新实践能力。孙江山等 (2016) 利用心理旋转测试和威廉斯创造力量表, 发现 STEM 活动能显著提高初中生的创新思维和空间能力。

第二种研究结论证实 STEM 教学能提升部分学习能力, 但对创造力无直接影响。例如, 耶伊尔德勒姆等研究发现, STEM 教学对小学生的创造力没有显著影响, 但对小学生的学习兴趣和动手实践能力有正向作用 (Yildirim & Sidekli, 2018)。张屹 (2017)、赵月 (2018) 等研究表明, STEM 实践对小学生的自我效能感、问题解决能力、小组协作与交流能力等有显著作用, 但对创造力无正向影响。

第三种结论全面否定了 STEM 教学对创造力的影响。例如, 卡维耶蒂等 (Cervetti et al., 2012) 以 937 名小学生为研究对象, 开展以阅读理解、科学写作为主题的 STEM 教学结果显示, 小学生的创造力没有显著变化。汤斯 (Townes, 2016) 的研究同样表明, STEM 教学并未显著提升初中生的学习态度、创造力水平。

元分析是对同一主题的多项实验结论进行分析的量化研究方法。它通过计算平均效应值 (Effect Size, 简称 ES), 探寻结论不一致的单项研究之间的共性, 从而获得普适的研究结论 (Lipsey & Wilson, 2000)。本研究对国内外 42 项实证研究进行元分析, 尝试回答: 1) STEM 教学真地能提高学生创造力吗? 2) STEM 教学提升创造力, 是否受学段、学科、教学周期、教学主题、教学方式及教学场域等的影响?

二、研究方法过程

元分析方法遵循严格的程序, 组织、抽取、整合、分析同类研究, 并以平均效应值客观评价现有研究结论。本研究严格按照哈里斯·库伯等的元分析步骤开展文献分析 (Cooper et al., 2009)。

(一) 研究方法

本研究提取 42 项研究的样本量、均值、标准差等参数, 采用实验组与控制组之间的标准化均差值为效应值 (Standardized Mean Difference, 简称 SMD), 并以此效应值表征 STEM 教学对学生创造力

影响的整体效果, 其函数关系为:

$$SMD = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}}$$

n_1 和 n_2 分别表示实验组和对照组的样本量, \bar{X}_1 和 \bar{X}_2 分别表示实验组和对照组的均值, s_1 和 s_2 分别表示实验组和对照组的标准差。

(二) 研究过程

1. 文献检索

文献检索分两轮进行。第一轮是在中国知网 (CNKI)、万方数据库、维普数据库 (VPCS) 以及 Google Scholar、Web of Science、ERIC 等数据库中进行大范围检索。其中, STEM 教学搜索关键词包括 “STEM Teaching” “STEAM Teaching” “STEM Learning” “STAEM Learning”, 创造力关键词包括 “Creativity” “Creative Achievement” “Creative Ability”。第二轮采取引文回溯法, 即利用参考文献追溯查找 “引文”。本研究在剔除重复文献后, 共获得 7938 篇文献; 初步筛选样本题目、摘要后得到 586 篇文献; 对文献全文初读得到 263 篇文献。

2. 遴选标准

文献遴选标准如下: 1) 研究主题为 STEM 教学对学生创造力的影响; 2) 研究方法为随机对照实验或准实验研究; 3) 实验对象为在校学生, 不包括社会人士或成人学习者; 4) 研究数据应包含平均值、标准差、样本量、t 值、P 值等, 以便计算出实验效应值。本研究最终获得 42 篇有效文献样本 (国外文献 25 篇, 国内文献 17 篇), 符合元分析统计 “样本量不少于 30” 的分析标准 (宋伟等, 2013)。此外, 实验总样本为 6680, 效应值为 80 (部分研究包括多个效应值)。

3. 特征值编码

不同研究通常包括多个特征值。为便于分析, 本研究将文献作者、出版年份、实验人数 (实验组与对照组人数)、学习者学段、教学学科、教学周期、教学主题、教学方式及教学场域作为编码对象。两位研究员对 42 个样本进行独立编码, Cohen Kappa 一致性系数为 0.92, 满足 0.7 的统计学要求, 说明特征值编码结果有效 (Yildirim & Simsek, 2011)。

学段编码包括小学 (1~6 年级)、初中 (7~9 年级)、高中 (10~12 年级)、大学及以上 (专科、本科

及研究生)。学科编码为数学、机器人、科学、STEM、地理、化学、生物、信息技术和3D打印。教学周期编码为0~3个月、3~6个月和6个月以上。参照不同的实践目标(傅骞等,2016),教学主题编码为结果验证、科学探究、工程制作和原型创造。教学方式编码包括探究式、问题式、设计式及项目式。教学场域编码包括普通课堂、实验室与生活场景。

本研究参照“脑—手—心创造力模型”(Kozbelt et al.,2010),将创造力类别编码为A类:创新思维(逻辑思维、批判思维、跨学科思维、发现问题、解决问题、创新想象、空间能力);B类:创新实践能力(科学探究、实践操作、工程设计、技术应用能力);C类:创新人格与心理(认知能力、团队合作、主动参与、学习兴趣、学习态度)。实验结果编码为提高、部分提高、未提高(见表一)。

4. 数据分析框架与工具

本研究将STEM教学设定为自变量,创造力(创新思维、创新实践、创新人格)为因变量,学段、学科、教学周期、教学主题、教学方式和教学场域为调节变量,以Review Manager 5.3(Rev Man)为数据分析工具,利用漏斗图、森林图、效应值、异质性检验等分析结果表征研究效应。

三、研究结果

(一)发表偏倚检验

罗斯坦等强调,元分析样本出现发表偏倚时,会导致效应值远大于实验真实值,直接影响元分析结果的准确性和可靠性(Rothstein et al.,2006)。本研究采用漏斗图对42项样本进行发表偏倚检测。样本源均分布于漏斗图的上部有效区域,两侧数据对称且向中线靠拢,说明纳入的42项元分析样本科学有效,出现发表偏倚的可能性极小(见图1)。

(二)异质性检验

异质性检验是防止因存在异质性而无法合并效应值。研究采取 I^2 统计量方法判断样本的异质性程度。通常, $I^2 \geq 75\%$ 时采用随机效应模型, $0 \leq I^2 \leq 75\%$ 时采用固定效应模型消除异质性,以防研究结果出现偏差(Borenstein et al.,2009)。42项元分析样本的异质性结果 $I^2 = 79\%$ (见表二),故本研究采用随机效应模型消除样本的异质性,以保证分析结果的科学性。

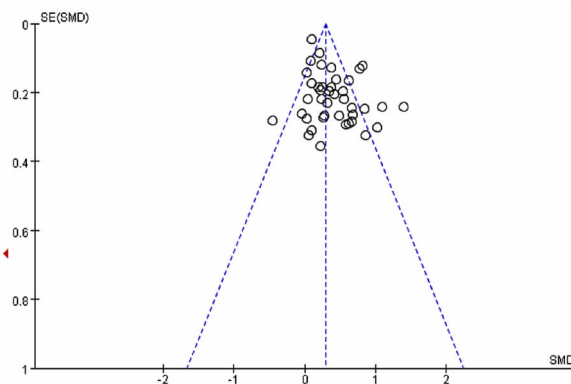


图1 42项样本发表偏倚检测漏斗图

表二 STEM 教学对学生创造力影响异质性检验结果

效应模型	效应数	效应值(SMD)	95% 置信区间		异质性检验		
			下限	上限	I^2	df	P
固定(FEM)	80	0.29	0.24	0.33	79%	41	0.000
随机(REM)	80	0.36	0.24	0.48			

(三)STEM 教学对学生创造力的影响

本研究首先分析STEM教学对学生创造力影响的整体效应,然后从创新思维、创新实践能力以及创新人格与心理三方面探究STEM教学对不同类别创造力的影响效果。

1. STEM 教学对创造力的影响

STEM教学对创造力影响的整体效应森林图见图2。结果显示,42项实验研究的合并效应值SMD为0.36,其95%CI为0.24~0.48, $Z = 5.93$ ($P < 0.05$),达到显著水平。根据科恩效应值统计理论,0.2、0.5、0.8、1分别表示影响效果的较小、中度、中上、较强水平(Cohen,1992)。STEM教学对创造力影响的合并效应值处于0.2至0.5之间,说明整体而言,STEM教学能够在中等偏小程度提高学生的创造力。

2. STEM 教学对不同类别创造力的影响

STEM教学对不同类别创造力的影响见表三。所有类别创造力的效应值均大于0,说明STEM教学对不同类别的创造力有正向影响。A类创新思维SMD=0.42,B类创新实践能力SMD=0.44,C类创新人格与心理SMD=0.33。三者的效应值均小于0.5,说明STEM教学对创新思维、创新实践能力以及创新人格与心理的提升作用均处于中等偏下水平。

表一 文献特征值编码结果

作者(年份)	实验人数		学段	教学学科	教学周期	教学主题	教学方式	教学场域	创造力类型	实验结果
	实验组	对照组								
Yildirim & Sidekli(2018)	29	29	小学	数学	6个月以上	科学探究	问题式	普通课堂	A,C	部分提高
Toma & Greca(2018)	96	96	小学	机器人	6个月以上	工程制作	项目式	实验室	C	提高
Acar et al. (2018)	25	25	小学	数学	3-6个月	科学探究	探究式	普通课堂	A,C	提高
Tati et al. (2017)	36	36	小学	科学	0-3个月	工程制作	项目式	实验室	B	提高
Townes(2016)	27	27	初中	STEM 课程	6个月以上	原型创造	项目式	实验室	A,B,C	未提高
Wade - Shepherd (2016)	916	916	初中	数学	6个月以上	结果验证	问题式	普通课堂	A,C	提高
Robinson(2016)	54	54	初中	STEM 课程	6个月以上	原型创造	设计式	生活场景	A,B,C	提高
Yildirim & Sevi(2016)	76	76	小学	STEM 课程	6个月以上	原型创造	项目式	实验室	A,B,C	部分提高
Bicer et al. (2015)	1506	1520	高中	数学	6个月以上	结果验证	问题式	普通课堂	A,C	提高
Parker et al. (2015)	35	24	大学及以上	科学	6个月以上	科学探究	探究式	实验室	B,C	提高
Robinson et al. (2014)	38	38	小学	科学	6个月以上	工程制作	项目式	实验室	B,C	部分提高
Judson(2014)	53	3681	初中	数学	6个月以上	结果验证	问题式	普通课堂	A,B,C	提高
Kong & Huo(2014)	25	25	小学	STEM 课程	0-3个月	原型创造	项目式	实验室	B	提高
Cotabish et al. (2013)	139	139	小学	科学	6个月以上	科学探究	探究式	普通课堂	C	提高
Park & Yoo(2013)	26	26	小学	STEM 课程	0-3个月	原型创造	探究式	普通课堂	B,C	部分提高
Cervetti et al. (2012)	976	937	小学	STEM 课程	0-3个月	原型创造	项目式	实验室	A,B,C	未提高
Kim & Choi(2012)	18	20	小学	科学	0-3个月	科学探究	探究式	普通课堂	C	提高
Ross & Gray(2012)	973	973	初中	STEM 课程	0-3个月	原型创造	项目式	实验室	A,C	提高
Ruiz - Primo et al. (2011)	166	166	大学及以上	科学	0-3个月	科学探究	设计式	普通课堂	A	提高
Riskowski et al. (2009)	126	126	初中	科学	0-3个月	科学探究	项目式	普通课堂	A,C	提高
Reynolds et al. (2008)	271	271	高中	科学	0-3个月	科学探究	设计式	实验室	A,C	提高
Lam et al. (2008)	21	21	初中	STEM 课程	6个月以上	原型创造	项目式	实验室	C	提高
Mehalik et al. (2008)	587	466	初中	科学	6个月以上	科学探究	问题式	普通课堂	A	提高
Sullivan(2008)	26	26	初中	机器人	3-6个月	工程制作	项目式	实验室	A,B,C	提高
Cole & Espinoza(2008)	146	146	大学及以上	STEM 课程	0-3个月	科学探究	设计式	实验室	A,B,C	提高
吴永和等(2018)	21	21	大学及以上	数学	0-3个月	科学探究	探究式	普通课堂	A	提高
常咏梅等(2018)	30	30	高中	地理	6个月以上	工程制作	项目式	生活场景	A,B,C	提高
张屹等(2018)	265	265	小学	STEM 课程	0-3个月	原型创造	设计式	实验室	C	提高
陈济平(2018)	42	40	初中	化学	0-3个月	工程制作	项目式	普通课堂	A,B,C	提高
庞瑜(2018)	120	120	初中	科学	3-6个月	工程制作	探究式	普通课堂	B,C	提高
蒋学琴(2018)	57	59	高中	生物	3-6个月	结果验证	探究式	普通课堂	A,C	提高
陈玉华(2018)	42	42	初中	信息技术	6个月以上	科学探究	问题式	普通课堂	A	提高
赵月(2018)	66	66	小学	科学	0-3个月	工程制作	项目式	普通课堂	B,C	部分提高
刘雪(2018)	35	35	初中	化学	0-3个月	结果验证	探究式	普通课堂	A,C	提高
纪秋月(2018)	59	59	高中	地理	3-6个月	科学探究	问题式	普通课堂	A	提高
仲娇娇(2018)	16	16	小学	STEM 课程	6个月以上	原型创造	设计式	实验室	B,C	提高
薄丽娜(2018)	27	25	小学	机器人	0-3个月	工程制作	项目式	普通课堂	A,C	提高
黄丽(2018)	44	42	初中	信息技术	6个月以上	原型创造	项目式	实验室	A,C	提高
江雅(2018)	43	43	小学	STEM 课程	6个月以上	科学探究	设计式	普通课堂	A,C	提高
蔡海云(2017)	24	25	初中	STEM 课程	0-3个月	科学探究	问题式	普通课堂	B	提高
张屹等(2017)	52	52	小学	科学	0-3个月	工程制作	设计式	实验室	B,C	部分提高
孙江山等(2016)	19	19	初中	3D 打印与创意设计	0-3个月	原型创造	项目式	实验室	A,C	提高

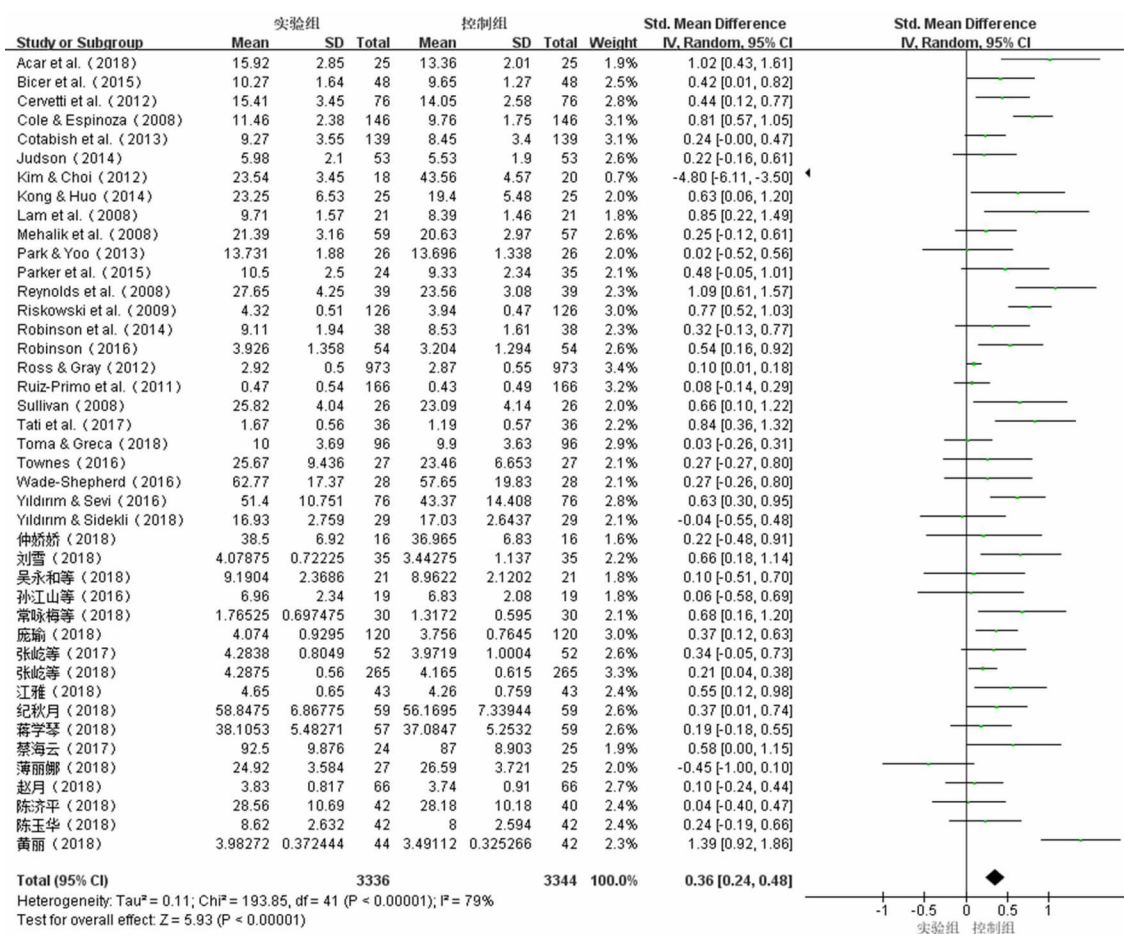


图2 STEM 教学对学生创造力作用的效果

注: Mean 为平均值, SD 为标准差, Total 为研究对象人数, Weight 为权重, Test for overall effect 为合并效应量, Heterogeneity 为异质性。

从组间效应看, $\text{Chi}^2 = 27.59$, $P = 0.07 > 0.05$, 这说明 STEM 教学对不同类别创造力的影响不存在显著差异。

(四) 调节变量效果检验

本研究通过分析学习者学段、教学学科、教学周期、教学主题、教学方式及教学场域等六类调节变量的影响差异, 探究 STEM 教学中影响创造力生成的关键要素。

1. 学段的调节效应

STEM 教学在不同学段对创造力的调节作用明显不同, 其组间效应 $\text{Chi}^2 = 9.73$, $P = 0.047 < 0.05$ (见表四)。效应值排序为高中 ($\text{SMD} = 0.52$) > 初中 ($\text{SMD} = 0.44$) > 大学及以上 ($\text{SMD} = 0.38$) > 小学 ($\text{SMD} = 0.20$), 说明 STEM 教学在高中阶段的影响最明显, 达到中等程度。STEM 教学对初中、大学及以上、小学的学习者创造力的影响较低, 均处于中等偏下程度。国内普遍认为, 高中阶段学业压力大, 无法长期和有效开展 STEM 教学。但 STEM 理念真

表三 STEM 教学对不同类别创造力的影响检验

创造力	效应数	效应值 (SMD)	95% 置信区间		异质性 检验 (I^2)	双尾检验		组间效应
			下限	上限		Z 值	P 值	
A 类 - 创新思维	27	0.42	0.27	0.56	78%	5.53	<0.00001	$\text{Chi}^2 = 27.59$ ($P = 0.07$)
B 类 - 创新实践能力	19	0.44	0.32	0.56	35%	7.35	<0.00001	
C 类 - 创新人格与心理	34	0.33	0.19	0.47	80%	4.78	<0.00001	

正渗透到日常教学,将对提升高中阶段的学习绩效产生关键作用。

2. 学科的调节效应

不同学科对创造力发展的影响差异显著,其组间效应 $\text{Chi}^2 = 12.57, P = 0.004 < 0.05$ (见表五)。效应值排序为:信息技术($\text{SMD} = 0.81$) > STEM课程($\text{SMD} = 0.48$) > 机器人($\text{SMD} = 0.44$) > 3D打印($\text{SMD} = 0.36$) > 化学($\text{SMD} = 0.34$) > 数学($\text{SMD} = 0.32$) > 科学($\text{SMD} = 0.25$) > 生物($\text{SMD} = 0.19$) > 地理($\text{SMD} = 0.08$),说明在创新科技类学科(如信息技术、STEM课程、机器人、3D打印等)中实施STEM教学,对创造力的促进效果最明显,而在生

物、地理等传统学科的应用效果较弱。

3. 教学周期的调节效应

不同教学周期对创造力的调节作用差异显著,组间效应 $\text{Chi}^2 = 36.72, P = 0.032 < 0.05$ (见表六)。效应值排序显示,实验周期愈长,STEM教学对创造力的影响效果愈明显。持续6个月以上的教学,对创造力的提升作用达到中等程度($\text{SMD} = 0.48$);3-6个月的教学效果稍差($\text{SMD} = 0.44$);低于3个月的教学,创造力培养绩效仅达到较低水平($\text{SMD} = 0.27$)。这与罗宾逊等的研究结果一致,即学生创造力的受影响程度与教学周期正相关(Robinson et al., 2014)。

表四 学习者学段调节效果检验

学段	效应数	效应值(SMD)	95%置信区间		异质性检验(I^2)	双尾检验		组间效应
			下限	上限		Z值	P值	
小学	30	0.20	-0.02	0.43	83%	1.77	0.08	$\text{Chi}^2 = 9.73$ ($P = 0.047$)
初中	33	0.44	0.25	0.62	77%	4.67	<0.00001	
高中	10	0.52	0.23	0.81	59%	3.49	0.0005	
大学及以上	7	0.38	-0.07	0.83	86%	1.66	0.10	

表五 教学学科调节效果检验

学科	效应数	效应值(SMD)	95%置信区间		异质性检验(I^2)	双尾检验		组间效应量
			下限	上限		Z值	P值	
数学	12	0.32	0.06	0.58	39%	2.43	0.02	$\text{Chi}^2 = 12.57$ ($P = 0.004$)
机器人	6	0.44	-0.45	0.59	74%	0.27	0.79	
科学	19	0.25	-0.04	0.55	88%	1.70	0.09	
STEM	27	0.48	0.26	0.62	76%	4.72	<0.00001	
地理	4	0.08	0.18	0.77	40%	3.12	0.002	
化学	5	0.34	-0.27	0.95	72%	1.09	0.28	
生物	2	0.19	-0.18	0.55	58%	1.01	0.31	
信息技术	3	0.81	-0.32	1.94	92%	1.40	0.16	
3D打印	2	0.36	-0.58	0.69	63%	0.18	0.04	

表六 教学周期调节效果检验

教学周期	效应数	效应值(SMD)	95%置信区间		异质性检验(I^2)	双尾检验		组间效应量
			下限	上限		Z值	P值	
0-3个月	34	0.27	0.06	0.47	87%	2.55	0.01	$\text{Chi}^2 = 36.72$ ($P = 0.032$)
3-6个月	10	0.44	0.22	0.66	37%	3.87	0.0001	
6个月以上	36	0.48	0.26	0.55	54%	5.38	<0.00001	

4. 教学主题的调节效应

四类主题的STEM教学对创造力都有正向影响,其效应值处于0.4~0.6之间(见表七)。组间效应 $\text{Chi}^2 = 13.47, P = 0.018 < 0.05$ 。其中,科学探究类($\text{SMD} = 0.53$)、原型创造类($\text{SMD} = 0.51$)教学主题对创造力培养有中等偏上效果,工程制造类($\text{SMD} = 0.48$)、结果验证类($\text{SMD} = 0.42$)等主题的培养效果为中等偏下程度。从验证型STEM到探究型STEM,研究成分越来越多,STEM学习就是实现从验证到创新的突破,增强学习者的自主性和创造性(吕延会,2017)。

5. 教学方式的调节效应

问题式、探究式、设计式和项目式等教学方式对创造力培养有正向影响,效应值处于0.3~0.5之间(见表八)。不同教学方式的组间效应 $\text{Chi}^2 = 10.46, P = 0.072 > 0.05$,无显著差异。这说明教学方式并非是影响创造力生成的决定因素,不存在绝

对意义的“最佳方法”或“黄金模式”,探寻与教学目标和内容相适应的恰当方式,才是STEM教学设计的核心任务。

6. 教学场域的调节效果

三种场域对创造力的影响效果差异明显,其组间效应 $\text{Chi}^2 = 9.68, P = 0.009 < 0.05$ 。其中,STEM实验室、STEM学习中心等场所的教学效果最佳($\text{SMD} = 0.37$),在各类生活场景(家庭环境、社会场所、校外场馆等)开展教学的效果稍弱($\text{SMD} = 0.33$),普通课堂实施教学的效果最差($\text{SMD} = 0.24$)。这符合布尔迪厄场域理论的基本假设:作为连接社会和个人的中介,教学场域的活动资源和技术支持越丰富和越有针对性,有效学习行为越可能发生。

四、结论与讨论

元分析结果表明,STEM教学能整体提高学生

表七 教学主题调节效果检验

教学主题	效应数	效应值(SMD)	95%置信区间		异质性检验(I^2)	双尾检验		组间效应量
			下限	上限		Z值	P值	
结果验证	12	0.42	0.36	0.48	72%	3.83	0.01	$\text{Chi}^2 = 13.47$ ($P = 0.018$)
科学探究	31	0.53	0.47	0.59	46%	4.32	<0.00001	
工程制作	22	0.48	0.41	0.55	53%	3.98	0.0001	
原型创造	15	0.51	0.37	0.65	57%	4.21	<0.00001	

表八 教学方式调节效果检验

教学方式	效应数	效应值(SMD)	95%置信区间		异质性检验(I^2)	双尾检验		组间效应量
			下限	上限		Z值	P值	
探究式	18	0.41	0.42	0.50	58%	2.79	<0.00001	$\text{Chi}^2 = 10.46$ ($P = 0.072$)
问题式	16	0.39	0.27	0.59	52%	2.73	<0.00001	
设计式	17	0.36	0.32	0.40	46%	2.63	0.0001	
项目式	29	0.37	0.23	0.51	48%	2.65	0.0001	

表九 教学场域调节效果检验

教学场域	效应数	效应值(SMD)	95%置信区间		异质性检验(I^2)	双尾检验		组间效应量
			下限	上限		Z值	P值	
普通课堂	39	0.24	0.20	0.28	54%	3.56	<0.0001	$\text{Chi}^2 = 9.68$ ($P = 0.009$)
实验室	25	0.37	0.20	0.54	84%	4.27	<0.0001	
生活场景	16	0.33	0.18	0.49	60%	4.19	<0.0001	

的创造力,但对创新思维、创新实践能力及创新人格与心理不存在显著影响。学段、学科、教学周期、教学主题及教学场域等变量均对创造力培养效果有显著正向影响和明显调节作用,但不同教学方式带来的差异不显著。

(一)STEM教学对创造力的积极正向影响

元分析结果表明,STEM教学能激发创新思维及创造行为。其作用机制可理解为:STEM整合相互分离、割裂的学科知识,使学生按照关联、动态、系统的方式理解世界,在发散思维—聚合思维的迭代循环中发展创新思维(Park & Yoo, 2013)。同时,STEM教学通过面向真实情境的复杂问题,引导学生经历完整的科学求证过程(Tati et al., 2017),从中获得创新实践的直观体验、非良构知识、科学理性及自我管理策略。此外,STEM教学能通过协作活动,支持不同认知水平、思维特征和知识背景的学生进行自我表达,在互通情感和相互激励中建立自我认知,塑造创新人格与心理。

然而,STEM教学对不同类别创造力的最大效应值为0.44,仍属中等偏小程度。这说明STEM教学的实际成效并不尽如人意。研究表明,STEM教学对教师和学生提出了更高要求(Yildirim & Sevi, 2016)。STEM学习中,无论是知识综合应用、复杂问题的创造性解决还是科学探究活动的完成,都依赖于动作图示、符号图示或运算图示的正确运用。当学生认知图式不健全或者图示构建存在困难时,会产生认知负荷。过高认知负荷使创新成为“精神的负担”,而非“快乐的源泉”(Yildirim et al., 2018)。这提醒我们,应理性认识STEM学习中的认知障碍,并通过控制认知负荷提升STEM教学绩效。

(二)不同变量对创造力培养的调节效应

调节效应检验结果表明,STEM教学对创造力的影响存在边界条件,体现在学段、学科、教学周期、教学主题、教学场域及教学方式等方面。

学段方面,STEM教学对高中生创造力提升最显著,根源在于心智模型(简洁思维、发散思维、逻辑思维和逆向思维)成熟度对创造力生成的影响。高中阶段的学生学科知识储备基本完成,问题解决所需的智慧技能与学习管理所需的认知策略也已具备。路·塞兹等证明,高中阶段是自我认同形成和发展的关键时期,高中生跨学科应用STEM知识的

实践需求会刺激认同感的保持(Lou et al., 2010)。可以说,高中生的知识水平与心智水平均处于创造力发生的最佳阶段,因而能在STEM学习中获得高绩效。

学科方面,创新科技类课程最容易实现创造力培养。可能的原因是,创新科技类学科基于信息技术展开,新技术本身对创新意愿刺激较强。加之此类学科内容多以设计、制作等创造性应用为主,更贴近STEM教学要求。教师开展教学设计时,亦容易将跨学科的概念融入产品制作或原型设计。而且,创新科技类活动是创造性、开放式的问题解决过程,能为学生提供创新实践、综合应用STEM相关学科知识的机会,促进学生高阶认知和创新机制的发生(Cotabish et al., 2013)。

教学周期方面,STEM教学持续时间越久,创造力培养效果越明显。这与雷诺兹等关于学生创新能力培养与教学周期正向相关的研究结论一致(Reynolds et al., 2008)。STEM教学持续周期越长,学生完成复杂学习和深度学习的经验越丰富,能够建立充分的自信以应对创新活动的困难与阻碍。罗宾逊等指出,教学周期越长,学生对STEM元认知及角色期待越明显,越倾向于参与自主探究活动,并在合作交流中形成乐观自信的态度(Robinson et al., 2014)。

教学主题方面,科学探究与原型创造类主题较工程制造与结果验证类主题,更易激发创造力。对比可知,前两类主题面向学习者“未知”的对象,强调逻辑推断、探索求真或者艺术想象与创意实现,需要逻辑的左脑思维与发散的右脑思维交替互补才能完成。后两类主题面向“已知”的现象或“可见”的产品,强调知识的综合理解与工程实践,更多依赖左脑思维。因此,将开放式探究有效融入探索实践,引发全脑思维,是STEM教学主题设计的关键(王佑镁, 2019)。

教学方式方面,采用问题式、探究式、设计式或项目式教学不会对创造力培养带来明显影响。科学哲学理论认为,创新思维发生的起点和基础是科学问题(付冰垚, 2014)。这类问题需包含足够的科学知识、方法论和经验性材料。同时,它还必须能从多角度分析,且有助于更好地实践。无论这种科学问题最终表现为挑战性问题、设计型任务、探究式任务

还是综合性研究项目,只要具备上述特征,就满足激发创新思维的条件。

教学场域方面,在实验室进行STEM教学更有利于培养创造力。事实上,STEM教学场域可理解为由参与创新活动的要素相互作用而构成的实践网络(张国举,2007)。各种外在的因素通过场域的社会关系空间对创新主体产生作用,使其表现出特定的创新属性和行为特征。实验室能有效连接正式学习与非正式学习、真实环境与虚拟空间。较之普通课堂,实验室提供的资源和关系网络更系统,更容易协调STEM教学的创新主体、行为和结果间的关系,获得更多创造性成果。

五、思考与启示

基于元分析结果,STEM教学应关注对认知负荷的控制,并充分利用学段、教学周期、教学主题及教学场域的调节作用提升绩效。

(一)降低STEM学习的认知负荷

如前所述,降低认知负荷是STEM学习有效发生的必要条件。约翰·斯威勒提出的认知负荷效应理论可用于优化STEM教学(Sweller et al., 2011)。例如,用目标自由的题目代替特定目标的传统题目,促进学习迁移的发生;向学习者提供问题解决样例和部分解决方案,帮助学习者建立认知图式;利用口头和多种视觉信息代替单一的书面文字,拓展有效工作记忆的容量;精炼教师的指导内容,减轻外部认知负荷;多采用想象和心理练习替代传统的附加练习,并使用高交互的学习材料;增加任务特征、呈现方式、操作情境的可变性,并在面对高挑战性任务时,积极采用集体学习方式。

(二)优化STEM教学主题设计

元分析显示,科学探究和原型创造类教学主题对学生创造力的影响较显著。因此,STEM教学设计应积极寻找跨学科、贴近现实的主题,并尽可能提升主题的可探究性。例如,从传统学科(如科学课、数学课)的拓展内容中寻找主题,通过观察学生的日常行为发现代表性现象或问题,对社会热点问题进行筛选和梳理等。此外,借助美国国际技术与工程教育协会(ITEEA)开发的I-STEM模式(管光海, 2017),教师可以对主题(知、行、思)、类型(内容、特性、影响、情境、过程)、内容(包含共同核

心概念和关键内容)进行界定,并最终获得跨学科和探究性的STEM教学主题。

(三)实现STEM教学的学段贯通

元分析结果表明,STEM教学对中学阶段学生创造力的影响效果较显著,对大学生的影响效果明显下降。这很大程度上是因为STEM教学尚未形成连续统。所谓连续统,指人们认识和实践的对象在时间上连续不断、空间上紧密关联、性质上相互交融的统合整体(钟志贤,2005)。STEM教学应是包括创新精神、创新潜力、创新知能、创新实践为一体的连续统。这种连续首先体现在创造力培养目标的贯通上。小学阶段的STEM教学应强调创新素养和创新潜力的培养。中学阶段的STEM教学应强调创新知能和创新思维的形成。大学阶段的STEM教学应强调高阶思维、创造性问题解决能力和创新实践能力的形成。

元分析结果同时表明,随着教学周期的延长,STEM教学对学生创造力的影响效果持续增加。因此,保持STEM课程内容和教学时间的连续,并关注学段衔接问题有重要意义。美国的经验为我们提供了两条可行之路:一是设立跨学段的STEM教学试验项目,如面向小学、初中和高中的项目引路(Project Lead The Way)以及面向初中、高中和大学的Ten80学生汽车挑战赛(Ten80 Student Racing Challenge)项目(CTEq, 2013);二是构建跨学段的STEM连贯课程群,如亚利桑那州立大学联合宇航局开发的面向小学至研究生阶段的火星教育项目STEM课程(Mars Education at Arizona State University, 2002),北卡罗来纳州科学和数学学校设立的贯穿初中、高中和大学等学段的精英课程等(NCSSM, 2016)。

(四)构建STEM教学的创新场域

依据布迪厄场域理论,教学场域被认为是物理形态场域与意义形态场域的相互交融(马维娜, 2003)。STEM教学场域的物理形态表现为适应创新的环境资本(即创新资源条件),精神形态表现为创新主体的性情倾向系统(即惯习,主体在场域中积淀下来的主观精神结构,如态度、行为习惯和价值观)。元分析结果表明,STEM实验室更有利于培养创造力,正是源于其所具有的丰富资源和良好的创新氛围。

因此,STEM教学应尽可能将有利于创新的资源链接起来。这方面可效仿北美大学联盟的做法(Kober,2015),以现有电教中心或电教室为基础,整合校园网、多媒体教室、智慧教室、创客空间、学科实验室等校内资源,并联合博物馆、科技馆、图书馆、行业基地等校外资源,构建融合性的“STEM学习中心”;同时,关注STEM教学场域中对惯习的塑造,通过建立“尊重创造”的价值导向、打造积极的创造行为者、提高创造结果的精神回报、形成“科学为本”的思维默契,最终完成创新自觉和科学精神的养成。

总之,本研究对国内外42项实证数据进行元分析,对“STEM教学真地提高了创造力吗?”问题作出基本回答。研究仍存在不足:一是研究样本局限于中英文文献,会因语言的局限漏检部分文献;二是调节变量效应值的样本数量较少。未来还需持续关注STEM教学实证研究的新结论,并通过引入更多视角挖掘影响创造力的潜在调节变量,如基于学生视角的STEM学习协作参与度、交互复杂度,基于教师视角的STEM教学内容整合方式、学习支持服务类型与技术应用水平,以及基于管理者视角的STEM教学师资配置政策、绩效考核方式等。

[参考文献]

[1] Acar, D., Tertemiz, N., & Tasdemir, A. (2018). The effects of STEM training on the academic achievement of 4th graders in science and mathematics and their views on STEM training teachers[J]. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 10(4): 505-513.

[2] Reynolds, B., Apedoe, X. S., Ellefson, M. R., & Schunn, C. D. (2008). Bringing engineering design into high school science classrooms: The heating/cooling unit[J]. *Journal of science education and technology*, 17(5):454-465.

[3] Bicer, A., Navruz, B., Capraro, R. M., Capraro, M. M., Oner, T., & Boedeker, P. (2015). STEM schools vs non-STEM schools: Comparing students' mathematics growth rate on high-stakes test performance [J]. *International Journal on New Trends in Education*, 6(1):138-150.

[4] Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*[M]. Chichester, UK: Wiley: 9.

[5] 薄丽娜(2018). 基于STEM的机器人教学模式设计与应用研究[D]. 重庆:重庆师范大学硕士学位论文:41-64.

[6] Cervetti, G. N., Barber, J., Dorph, R., Pearson, P. D., & Goldschmidt, P. G. (2012). The impact of an integrated approach to

science and literacy in elementary school classrooms [J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(5):631-658.

[7] Cohen, J. (1992). A power primer [J]. *Psychological bulletin*, 112(1):155-159.

[8] Cole, D., & Espinoza, A. (2008). Examining the academic success of latino students in science technology engineering and mathematics (STEM) majors[J]. *Journal of College Student Development*, 49(4):285-300.

[9] Cooper, H., Hedges, L. V., & Valentine, J. C. (2009). *The handbook of research synthesis and meta-analysis*[M]. New York: Russell Sage Foundation: 226-235.

[10] Cotabish, A., Dailey, D., Robinson, A., & Hughes, G. (2013). The effects of a STEM intervention on elementary students' science knowledge and skills[J]. *School Science and Mathematics*, 113(5):215-226.

[11] CTEq(2013). Ready-To-Scale Programs[EB/OL]. Retrieved on February 15, 2019 from <https://stemworks.wested.org/ready-scale-programs>.

[12] 蔡海云(2017). STEM教学模式的设计与实践研究[D]. 上海:华东师范大学硕士学位论文:53-73.

[13] 常咏梅,张雅雅(2018). 基于STEM教育理念的教学活动设计与实证研究[J]. *电化教育研究*, 39(10):97-103.

[14] 陈济平(2018). 在初中化学教学中实施STEM教育的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学硕士学位论文:32.

[15] 陈玉华(2018). 基于STEAM理念的初中生问题解决能力培养策略[D]. 广州:广州大学硕士学位论文:110.

[16] 付冰焱(2014). 创新思维发生机制探究[D]. 长春:吉林大学硕士学位论文:26-37.

[17] 傅骞,刘鹏飞(2016). 从验证到创造:中小学STEM教育应用模式研究[J]. *中国电化教育*, (04):71-78+105.

[18] 管光海(2017). 基于标准聚焦核心概念的STEM整合教育模式“美国I-STEM模式”的特点及启示[J]. *开放教育研究*, 23(6):87-93.

[19] 黄丽(2018). 基于STEM教育理念的初中信息技术课程设计与应用研究[D]. 长春:东北师范大学硕士学位论文:36-55.

[20] Judson, E. (2014). Effect of Transferring to STEM Focused Charter and Magnet Schools on Student Achievement [J]. *The Journal of Educational Research*, 107(4):255-266.

[21] 纪秋月(2018). STEM教育在高中地理课堂中的应用探究[D]. 石家庄:河北师范大学硕士学位论文:50-52.

[22] 江雅(2018). 基于设计的STEM教学对小学生科学探究能力的培养研究[D]. 武汉:华中师范大学硕士学位论文:37-49.

[23] 蒋学琴(2018). 基于STEM教育理念的高中生物学教学设计与实践研究[D]. 漳州:闽南师范大学硕士学位论文:47.

[24] Kim, G. S., & Choi, S. Y. (2012). The effect of creative problem solving ability and scientific attitude through the science based STEAM program in the elementary gifted students [J]. *Elementary Science Education*, 31(2):216-226.

[25] Kober, N. (2015). Reaching students: What research says

about effective instruction in undergraduate science and engineering[M]. Washington, DC: National Academies Press: 135-245.

[26] Kong, Y. T., & Huo, S. C. (2014). An effect of STEAM activity programs on science learning interest[J]. *Advanced Science and Technology Letters*, 59(9): 41-45.

[27] Kozbelt, B. A., Beghetto, R. A., & Runco, M. A. (2010). *Theories of creativity*[M]. New York: Cambridge University Press:321-447.

[28] Lam, P., Doverspike, D., Zhao, J., Zhe, J., & Menzemer, C. (2008). An evaluation of a STEM program for middle school students on learning disability related IEPs[J]. *Journal of STEM education*, 9(1&2):21-29.

[29] 刘雪(2018). STEM理念在中学化学教学中的应用[D]. 延边:延边大学硕士学位论文:35.

[30] Lipsey, M. W., & Wilson, D. B. (2000). *Practical meta-analysis*[M]. London: Internatinal Educational and Professional:92-160.

[31] Lou, S. J., Shih, R. C., Ray Diez, C., & Tseng, K. H. (2010). The impact of problem-based learning strategies on STEM knowledge integration and attitudes: An exploratory study among female Taiwanese senior high school students. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(2), 195-215.

[32] 吕延会(2017). STEM教育的核心精神[J]. *当代教育科学*, (5):16-19.

[33] Mars Education at Arizona State University (2002). *NGSS STEM lesson plans*[EB/OL]. Retrieved on February 15, 2019 from <http://marsed.asu.edu/stem-lessonplans>.

[34] Mehalik, M. M., Doppelt, Y., & Schuun, C. D. (2008). Middle-school science through design based learning versus scripted inquiry: Better overall science concept learning and equity gap reduction [J]. *Journal of Engineering Education*, 97(1):71-85.

[35] 马维娜(2003). 学校场域:一个关注弱势群体的新视角[J]. *南京师大学报(社会科学版)*, (2):64-70.

[36] NCSSM(2016). *NCSSM-Morganton Taking Shape*[EB/OL]. Retrieved on February 15, 2019 from <https://www.ncssm.edu/morgantoncampus>.

[37] Park, S. J., & Yoo, P. K. (2013). The effects of the learning Motive, interst and science process skills using the "Light" Unit in science-based STEAM [J]. *Elementary Science Eucation*, 32(3): 225-238.

[38] Parker, C. E., Stylinski, C. D., Bonney, C. R., Schillaci, R., & McAuliffe, C. (2015). Examining the quality of technology implementation in STEM classrooms: Demonstration of an evaluative framework[J]. *Journal of research on technology in education*, 47(2): 105-121.

[39] 鹿瑜(2018). 《探究科学》校本课程教学创新实践研究:一个STEM教育的视角[D]. 桂林:广西师范大学硕士学位论文:35.

[40] Riskowski, J. L., Todd, C. D., Wee, B., Dark, M., & Harbor, J. (2009). Exploring the effectiveness of an interdisciplinary water resources engineering module in an eighth grade science course

[J]. *International Journal of Engineering Education*, 25(1):181-195.

[41] Robinson, A., Dailey, D., Hughes, G., & Cotabish, A. (2014). The effects of a science-focused STEM intervention on gifted elementary students' science knowledge and skills [J]. *Journal of Advanced Academics*, 25(3):189-213.

[42] Robinson, N. (2016). A case study exploring the effects of using an integrative STEM curriculum on eighth grade students' performance and engagement in the mathematics classroom [D]. Master dissertation, Georgia State University: 96.

[43] Ross, J. A., & Gray, A. H. (2012). Integrating mathematics, science, and technology: Effects on students [J]. *International Journal of Science Education*, 20(9):1119-1135.

[44] Rothstein, H. R., Sutton, A. J., & Borenstein, M. (2006). *Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment and adjustments*[M]. John Wiley & Sons:350.

[45] Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., Iverson, H., Talbot, R., & Shepard, L. A. (2011). Impact of undergraduate science course innovations on learning [J]. *Science education*, 331(6022):1269-1270.

[46] Sullivan, F. R. (2008). Robotics and science literacy: Thinking skills, science process skills and systems understanding [J]. *Journal of Research in Science teaching*, 45(3):373-394.

[47] Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory* [M]. New York: Springer:176.

[48] 宋伟,孙众(2013). 数字化学习资源有效性的元分析[J]. *中国电化教育*, (11):81-85.

[49] 孙江山,林立甲,任友群(2016). 3D CAD支持中学生创造力和空间能力发展的实证研究[J]. *中国电化教育*, (10):45-50.

[50] Tati, T., Firman, H., & Riandi, R. (2017). The effect of STEM learning through the project of designing boat model toward student STEM literacy[J]. *Journal of Physics: Conference Series*:1-8.

[51] Toma, R. B., & Greca, I. M. (2018). The effect of integrative STEM instruction on elementary students' attitudes toward science [J]. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(4):1383-1395.

[52] Townes, T. C. (2016). The consequences of creativity in the classroom: The impact of arts integration on student learning[D]. Master dissertation, Union university: 58.

[53] Wade-Shepherd, A. A. (2016). The effect of middle school STEM curriculum on science and math achievement scores [D]. Master dissertation, Union university: 68.

[54] 吴永和,李若晨,王浩楠,张甜甜(2018). 基于STEM的跨学科实践创新能力培养:以R语言与3D打印在高数应用的实证研究为例[J]. *现代远程教育研究*, (5):77-85+112.

[55] 王佑镁,郭静,宛平,赵文竹(2019). 设计思维:促进STEM教育与创客教育的深度融合[J]. *电化教育研究*, 40(3):34-41.

[56] Yildirim, A., & Simsek, H. (2011). Sosyal bilimlerde nitel arastirma yontemleri[M]. Ankara: Seckin Yayınevi:237-253.

[57] Yildirim, B., & Sevi, M. (2016). Examination of the effects of STEM education integrated as a part of science, technology, so-

ciety and environment courses[J]. Journal of Human Sciences, 13(3): 3684-3695.

[58] Yildirim, B., & Sidekli, S. (2018). STEM applications in mathematics education: The effect of STEM applications on different dependent variables[J]. Journal of Baltic Science Education, 17(2): 200-214.

[59] 余胜泉,胡翔(2015). STEM教育理念与跨学科整合模式[J]. 开放教育研究,21(4):13-21.

[60] 张国举(2007). 创新场域论[D]. 北京: 中共中央党校博士学位论文:11-35.

[61] 张屹,李幸,黄静,张岩,付郎华,王珏,梅林(2018). 基于设计的跨学科STEM教学对小学生跨学科学习态度影响研究[J]. 中国电化教育,(7):81-89.

[62] 张屹,赵亚萍,何玲,白清玉(2017). 基于STEM的跨学科教学设计与实践[J]. 现代远程教育研究,(6):75-84.

[63] 赵月(2018). STEM理念下小学科学项目式活动的设计与实践研究[D]. 保定:河北大学硕士学位论文:68.

[64] 钟志贤(2005). 论教学设计中的连续统思维[J]. 电化教育研究,(4):53-57+62.

[65] 仲娇娇(2018). STEAM教学活动设计与应用研究[D]. 上海:华东师范大学硕士学位论文:63-72.

[66] 赵慧臣,马悦,陆晓婷,张艺苇(2017). STEM教育质量标准制定、内容及启示:以美国圣地亚哥郡为例[J]. 开放教育研究,23(3):50-61.

(编辑:魏志慧)

Can STEM Instruction Improve Students' Creativity? A Meta-analysis of 42 Experimental Studies

ZHOU Rong & LI Shijin

(School of Education, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: *At present, fostering creativity is widely recognized as the primary goal of STEM teaching. However, can STEM improve students' creativity? Domestic and foreign scholars have carried out a large number of studies. However, these results are different from one another. Therefore, we employed a meta-analysis method to analyze 42 experimental research papers on the theme of "the impact of STEM teaching on students' creativity" from 2008 to 2018 at home and abroad and to reevaluate the influence of STEM teaching on students' creativity. This study finds that: 1) Inclusion study combined effect value was 0.36, which means STEM teaching has an average to a small positive impact on improving students' creativity, and there are no significant differences in innovative thinking, innovative practical ability, innovative personality and psychology. 2) From the perspective of students' sections, STEM teaching has the greatest impact on the creativity of high school students. 3) From the perspective of the subject, implementing STEM teaching in innovative science and technology disciplines has a noticeable effect on promoting creativity, such as information technology, STEM courses, robot courses, 3D printing and so on. 4) From the teaching cycle perspective, the longer the experiment period is, the more obvious the effect of STEM teaching on creativity is. 5) From the perspective of teaching theme, scientific inquiry and prototype creation themes have obvious influence on creativity. 6) From the perspective of teaching methods, inquiry-based, question-based, design-based and project-based teaching methods all have moderate to small positive effects on creativity, and there was no significant difference between them. 7) From the teaching field perspective, teaching field of laboratory and life scene type influence creativity a lot. This paper gives these suggestions on STEM teaching design based on meta-analysis results: reducing the cognitive load of STEM learning, optimizing the theme design of STEM teaching, implementing the intersection of STEM teaching sections, constructing the innovative field of STEM instruction.*

Key words: *STEM instruction; creativity; meta-analysis; regulation effect*