

Effect of the Levels of Procedural Knowledge in Disciplinary Domain on Secondary School Mathematical Problems' Representational Strategies*

Shunying Zhao¹, Xiaoyue Cai^{2#}, Lanling Wang³, Zhiyong Chen³

¹School of Education, Guangzhou University, Guangzhou

²Institute for Adolescent Psychological Development and Education, Guangzhou University, Guangzhou

³Guangzhou University Affiliated High School, Guangzhou

Email: aba1a2a3a4@163.com, #guxycail@163.com

Received: Oct. 14th, 2012; revised: Oct. 24th, 2012; accepted: Nov. 11th, 2012

Abstract: This research took 2×4 two-factor experimental design, to explore the effects of procedural knowledge in disciplinary domain knowledge on the students' problem representational strategies. Firstly, procedural knowledge level measurement questionnaire was used to select 60 secondary school students to participate in the experiment, they were divided into two groups. And then, this research took learning-interference Quiz research paradigm and used four types of formula as research material, to study the levels of procedural knowledge to characterize the impact of problem representational strategies. The results show that both the students with the low and high levels of procedural knowledge use direct translation strategy and problem-model strategy; but the students with low procedural knowledge are tend to use direct translation strategy; and the students with high procedural knowledge are tend to use problem-model strategy.

Keywords: Disciplinary Domain Knowledge; Procedural Knowledge; Direct Translation Strategy; Problem-Model Strategy

学科领域知识中程序性知识水平对中学生数学问题表征策略的影响*

赵顺英¹, 蔡笑岳^{2#}, 王兰灵³, 陈智勇³

¹广州大学教育学院心理学系, 广州

²广州大学青少年心理发展与教育研究所, 广州

³广州市广州大学附属中学, 广州

Email: aba1a2a3a4@163.com, #guxycail@163.com

收稿日期: 2012年10月14日; 修回日期: 2012年10月24日; 录用日期: 2012年11月11日

摘要: 采用 2×4 两因素试验设计, 探讨学科领域知识中程序性知识水平对中学生问题表征的影响。先用程序性知识水平测量问卷挑选出 60 名中学生参加实验, 将其分为两组。然后采用学习 - 干扰 - 测验研究范式, 以四类算式为研究材料, 研究程序性知识水平对中学生问题表征策略的影响。结果表明: 低程序性知识水平与高程序性知识水平的学生在问题表征时都使用直接转换策略和问题模型策略; 低程序性知识水平学生倾向于采用直接转换策略; 高程序性知识水平学生倾向于采用问题模型策略。

关键词: 学科领域; 程序性知识; 直接转换策略; 问题模型策略

*基金项目: 国家社会科学基金“十一五”规划教育学课题(BBA080049); 广州市人文社会科学(发展与教育心理学)重点研究基地研究成果。

#通讯作者。

1. 引言

早在 20 世纪 70 年代, 人工智能研究领域就开始探讨领域知识(Domain Knowledge)了, 在人工智能研究中, 领域知识这一概念被界定为某一领域内的概念、概念之间的相互关系以及有关概念的约束的集合, 具有知识本身所具有的所有属性的特点。在上个世纪 90 年代, Alexander(1989)等人结合前人的研究, 提出了领域知识这一概念。具体而言, 领域知识是由个体关于某个特定领域的陈述性知识、程序性知识和条件性知识这三部分组成的所有知识。在这一知识分类体系中, 程序性知识指的是技能知识, 即知道如何在认知任务中使用已有知识。A. W. Lazonder, Wilhelm 等(2008)通过分析领域知识在探索性学习过程中的认知机制发现, 具有高领域知识的个体在学习过程中直接使用概念驱动, 而低领域知识的个体在学习过程中则先采用数据驱动, 再转换为概念驱动。国内学者蔡笑岳和苏静(2007)研究也发现领域知识在不同的文本结构和问题解决过程中对个体新知识的获得表现出很强的预测能力, 为新知识的获得提供了基础知识, 促进相关信息的记忆。何伯锋(2009)在学科领域知识的研究与教学——当代领域知识研究及其教学迁移一文中, 总结了领域知识的作用。第一, 在问题解决时, 高领域知识的学生能执行高级的认知策略, 且效率高, 而低领域知识的学生则不能。第二, 领域知识增强元认知监控能力, 促进策略性程序性知识的习得。

蔡笑岳等人(2010)在 Alexander 及其同事的研究基础上, 参考了 Anderson 和 Gagne 的知识表征分类理论, 结合中小学的学科知识特点, 创造性地提出了学科领域知识这一概念。他指出, 学科领域知识是某一学科当中的具有一定相关性、逻辑性、操作性的知识按其知识属性、认知特性而加以组织形成的知识组块和认知操作图式。学科领域知识包括三种知识形态, 即学理内容知识、认知过程知识和问题条件知识。在学科领域知识中, 学理内容知识是指某学科在教学中出现的传统的陈述性知识, 具体表现为某学科内的概念、原理、法则、定义等事实性的知识, 是回答“是什么”这类问题的知识。问题条件知识是指某学科问题情境中进行问题解决时使用某些知识的限制性条件。它决定了什么情境下要应用学理内容知识和认知

过程知识。认知过程知识即传统知识分类中的程序性知识, 指的是在进行学科问题解决的过程中, 反映进行认知操作的认识过程、思考过程和操作步骤的知识。其本质是学科领域中一套关于问题解决的操作规则或程序, 是个体对外部事物进行处理的程序, 是关于“怎么做”的知识, 属于认知技能的知识范畴。

信息加工心理学家安德森将知识分为陈述性知识与程序性知识两大类。他认为程序性知识是关于“怎样办”的知识, 与陈述性知识相对应的知识, 是个体具有的用于具体情境的算法或一套行为步骤。我国教育心理学家皮连生先生曾经提出, 从广义上讲, 程序性知识可以分成两个亚类, 第一类为用于处理外部事物的程序性知识, 又被称之为技能。第二类为用于处理自身认知过程的程序性知识, 可以理解为策略。李长虹(2010)在其研究中从程序性知识的自动化水平、可逆性、全面性和组织性这四个指标来界定中学生数学学习中所掌握得程序性知识的水平。本文参照李长虹等人的研究, 设计出了程序性知识调查问卷, 从程序性知识的自动化、可逆性和全面性这三个方面考察初中学生在因式分解上的程序性知识。

Mayer 等人(2004)最先提出数学心理表征中存在直接转换(Direct Translation Strategy)和问题模型(Problem Model)两种问题表征策略。直接转换策略是指当个体面对问题时, 首先从题中选取数字和关键词这些表面信息, 然后对表面信息进行加工, 其中强调量的推理; 问题模型策略是指当主体面对问题时, 首先试图理解问题情境, 然后根据情境表征制定计划, 其中强调质的推理, 即理解问题中条件之间的关系。许多研究证明, 学优生和学差生在问题解决过程中所使用的问题表征策略是不相同的。我国学者陈英和及其弟子以小学生为被试率先研究了直接转换策略和问题模型策略(2004)。研究发现学优生较多地使用问题模型策略, 学差生较多地使用直接转换策略, 随着年级的升高, 这种策略选择偏向的变化并不大。仲宁宁和陈英和(2006)等采用实验法和访谈法研究某小学的 43 名学生的数学问题表征策略, 发现学优生倾向于使用问题模型策略, 学困生则较多采用直接转换策略。对于学生所采用的问题表征策略影响知识的学习还是学生的知识结构影响问题表征策略这一问题, 张萍萍和李淑文(2005)对初中生数学问题差异性的表征

进行了研究,表明学生的数学知识结构影响其对数学问题的表征,对同一数学问题不同的表征策略可以得出不同的答案。张锦坤、沈德立(2006)等采用眼动研究证明了小学生在解决算数应用题上主要采取直译策略和问题模型策略。解题正确率高者倾向于采用问题模型策略,正确率低者往往采用直译策略。

综上所述,无论是领域知识的研究,还是学科领域知识的研究,都表明个体所具备的知识水平影响学生的问题表征策略,但是以往的研究多从宏观的角度研究学生的问题表征策略,较少有人从微观的角度探讨初中生的问题表征策略。因此本研究在借鉴前人研究的基础上,采用问卷法和实验法,集中探讨学科领域教学中程序性的水平对中学生问题表征策略的影响。本研究以人教版八年级数学下册因式分解为材料形成程序性知识问卷,采用程序性知识问卷考察学生的程序性知识的水平。根据学生在程序性知识问卷上的得分,选取 60 名学生参加 E-prime 行为实验。通过分析丰富组与贫乏组在由表面相似和原理相似的 4 类字母计算题上的正确率与反应时,来考察贫乏组与丰富组所采取的问题表征策略。

2. 实验研究

2.1. 被试

实验被试为广州市某初级中学三个班的八年级学生 158 人。采用自编程序性知识水平问卷测量学生的程序性知识水平,按照程序性知识问卷的成绩,选取排名中的前 27% 的学生为高程序性知识水平的学生,排名后 27% 的同学作为低程序性知识水平的学生。然后请数学教师对其进行评定,确定 60 人参加问题表征策略实验,高程序性知识水平 30 人(男 18 人,女 12 人),低程序性知识水平 30 人(男 14 人,女 16 人),平均年龄为 13.24。剔除无效数据,获得有效数据 50 个,其中高程序性知识水平 25(男 11 人,女 14 人)人,低程序性知识水平 25(男 16 人,女 9 人)人。

2.2. 实验材料

2.2.1. 实验材料

程序性知识主要由程序性知识自动化、可逆性和全面性三部分组成(Gagne, 1985; Gagne & Glaser, 1987)。程序性知识自动化是指学生在有限的时间内能

准确使用单一规则的数量,测量项目由简单的单一规则应用的题目组成。程序性知识的可逆性是指方向使用规则的水平,测量则由规则方向逆用的题目组成。程序性知识全面性是指在一定时间内能够准确使用单一规则的数量,测量项目由与某个知识点相关的所有规则组成。根据这一理论,本文采用人教版八年级下册为实验材料,形成程序性测量知识水平测量问卷,问卷、分三个份问卷,第一个份问卷是程序性知识水平自动化水平测量问卷,规定学生在 10 分钟之内完成;第二个份问卷是程序性知识可逆性水平;第三个部分为程序性知识的全面性水平。问卷总分为 300 分,每个分问卷各 100 分。

请 3 位长期在一线教学的数学教师和 3 位心理学专家在了解程序性知识的含义的基础上,根据程序性知识水平问卷评估指标体系对程序性知识水平测量问卷进行评定,分析测量问卷的效度,问卷平均效度为 0.967(见表 1,程序性知识水平问卷评估体系)。以程序性知识总分计算信度,得到程序性知识的自动化, $r = 0.885$; 程序性知识的可逆性, $r = 0.829$; 程序性知识的全面性, $r = 0.874$; $P < 0.01$ 。采用分半信度检验题目内部一致性信度,程序性知识的自动化, $r = 0.847$; 程序性知识的可逆性, $r = 0.792$; 程序性知识的全面性, $r = 0.765$; $P < 0.01$ 。

2.2.2. 正式实验材料

实验学习材料为 10 道字母加法算式,每道算式有一个小写字母和一个大写字母组成,要求被试按照字母加法规则进行计算,如 $s + 5 = ?$ 。

实验测试材料由 A、B、C、D 四类加法算式组成,A 类为表面特征一致原理特征一致: $f + 4 = ?$; B 类为表面特征一致原理特征不一致: $m - 4 = ?$; C 类

Table 1. System of procedural knowledge questionnaire assessment index

表 1. 程序性知识水平问卷评估指标体系

评价 指标	评价内容 指标内涵	评价等级			
		较差 1分	一般 2分	良好 3分	优秀 4分
自动化	学生在有限的时间内能准确使用单一规则的数量				
可逆性	反向使用规则的水平				
全面性	在没有时间的限制下能够准确使用单一规则的数量				

为表面特征不一致原理特征一致： $G + 2 = ?$ ；D类为表面特征不一致原理特征不一致： $J - 2 = ?$ 。

2.3. 实验设计

采用 2(学生类型：高分组、低分组) × 4(算式类型：A、B、C、D)两因素混合实验设计。学生类型为组间因素，算式类型为组内因素。其中高分组代表高程序性知识水平组，低分组代表低程序性知识水平组。

2.4. 实验程序

采用 E-Prime 呈现刺激。实验程序分为练习阶段、干扰阶段和测验阶段。在练习阶段，给被试逐个呈现字母的加法算式，让其学习字母的加法原理，总共 10 道题，比如 $s + 5 = x$ ，屏幕首先呈现“+”提醒被试注意实验开始，呈现时间为 800 ms，然后呈现算式字母算式，呈现时间无限制，被试按键反应消失。

2.5. 数据处理

把 50 名学生程序性知识水平测验成绩与行为实验数据分别录入 SPSS，采用 SPSS12.0 进行统计分析。

3. 结果与分析

3.1. 各种实验处理下的基本情况

表 2 是对高分组与低分组在四类字母转换任务中的平均正确率与反应时进行描述性统计。

3.2. 以四类字母转换任务正确率为因变量的方差分析

如表 3 所示，方差分析表明，学生类型主效应不显著，任务类型主效应显著，两者的交互作用显著。进一步做简单效应检验发现，低分组在 A 类等式上的正确率显著高于 B 类等式 [$t(24) = 0.96, p = 0.00$]，低分组在 A 类等式上的正确率显著高于 C 类等式 [$t(24) = 11.62, p = 0.00$]，低分组在 C 类等式上的正确率显著高于 D 类等式 [$t(24) = 5.83, p = 0.00$]，低分组在 B 类等式上的正确率显著高于 D 类等式 [$t(24) = 3.21, p = 0.004$]。

高分组在 A 类等式上的正确率显著高于 B 类等式 [$t(24) = 6.22, p = 0.00$]，在 A 类等式上的正确率与 C

Table 2. The mean and standard deviation of correct rate and reaction time of high and low grades groups in four kinds of letters conversion task

表 2. 高分组与低分组在四类字母转换任务中的正确率与反应时的平均数与标准差

学生类型	A	B	C	D
平均正确率(百分比)				
高分组 n = 25	0.89 ± 0.10	0.68 ± 0.14	0.88 ± 0.11	0.84 ± 0.15
低分组 n = 25	0.91 ± 0.06	0.69 ± 0.18	0.86 ± 0.12	0.63 ± 0.15
平均反应时(秒)				
高分组 n = 25	4.52 ± 1.05	11.03 ± 4.10	5.28 ± 1.42	9.03 ± 2.86
低分组 n = 25	4.94 ± 1.63	9.30 ± 2.16	6.71 ± 3.09	9.20 ± 2.18

Table 3. Variance analysis of the correct rate of the task type and students' type

表 3. 任务类型与学生类型正确率方差分析

变异源	自由度	平方和	均方	F	P
学生类型主效应	1	0.12	0.12	2.74	0.11
任务类型主效应	3	1.86	0.62	72.07	0.00
两者交互作用	3	0.21	0.07	7.92	0.00

类等式的正确率没有显著差别 [$t(24) = 0.26, p = 0.80$]，高分组在 C 类等式上的正确率与 D 类等式没有显著差异 [$t(24) = 1.97, p = 0.60$]，高分组在 B 类等式上的正确率与 D 类等式的正确率没有显著差异 [$t(24) = 2.04, p = 0.053$]。

3.3. 以四类字母转化任务反应时为因变量的方差分析

方差分析表明，学生类型主效应不显著，任务类型主效应显著，两者的交互作用显著。进一步做简单效应检验发现，低分组在 A 类等式上的反应时显著低于 B 类等式 [$t(24) = 8.02, p = 0.00$]，低分组在 A 类等式上的反应时显著低于 C 类等式 [$t(24) = 3.27, p = 0.003$]，低分组在 C 类等式上的反应时显著低于 D 类等式 [$t(24) = 3.92, p = 0.001$] (见表 4)。

高分组在 A 类等式上的反应时低于 B 类等式 [$t(24) = 8.38, p = 0.00$]，在 A 类等式上的反应时显著低于 C 类等式 [$t(24) = 4.23, p = 0.00$]，高分组在 C 类等式上的反应时显著低于 D 类等式 [$t(24) = 5.94, p = 0.00$]，高分组在 B 类等式上的反应时显著低于 D 类等式 [$t(24) = 3.86, p = 0.001$]。

Table 4. Variance analysis of the reaction time of the task type and students' type
表 4. 任务类型与学生类型反应时方差分析

变异源	自由度	平方和	均方	F	P
学生类型 主效应	1	0.28	0.28	0.02	0.88
任务类型 主效应	3	982.84	327.61	76.13	0.00
两者交互 作用	3	65.56	21.85	5.08	0.002

4. 讨论

4.1. 低程序性知识水平学生的问题表征特征

研究结果发现,低分组的学生在 A 类算式上的正确率要显著高于 B 类算式 [$t(24) = 0.96, P < 0.01$],表明低分组的学生在表面特征一致时,对原理特征一致算式的正确率要高于原理特征不一致算式的正确率。低分组在 A 类等式上的正确率又显著高于 C 类等式 [$t(24) = 11.62, P < 0.01$],且低分组在 A 类等式上的反应时显著低于 C 类等式 [$t(24) = 3.27, P < 0.01$],由此可见低分组的学生受算式表面特征影响,在表面特征不一致的算式上占用了更多的加工时间,对其加工的效率也不高。此外低分组在 A 类算式上的反应时要显著低于 B 类算式,可见在表面特征一致时,低分组的中学生对原理特征一致的算式加工速度显著增加,加工效率得到提高。因此低程序性知识水平学生在问题表征策略上既重视对表面特征的加工又深受原理特征的影响,这一研究结论与以往的研究是相一致的。张维等(张维、蔡笑岳, 2011)探讨了学科领域知识丰富性对中学生代数问题表征层次的影响,发现学科领域知识贫乏组的学生在表征代数问题时,既对表面特征进行编码,又对原理特征进行编码,为了摆脱原理特征的干扰,往往会优先对表面特征进行编码,而丢弃了原理特征。对学习困难儿童的问题表征特点研究也表明,数学学习困难儿童倾向于采用语词、图画等表面特征,对关系与原理表征应用较少(郑琳娜、张奇, 2007)。

4.2. 高程序性知识水平学生的问题表征特征

研究结果显示,高分组学生在 A 类等式上的正确率显著高于 B 类等式 [$t(24) = 6.22, p < 0.01$],高分组

在 A 类等式上的反应时低于 B 类等式 [$t(24) = 8.38, p < 0.01$]。可见高分组学生解答算式的正确率受到原理特征的影响,解答原理一致算式的正确率要显著高于解答原理特征不一致的算式,原理相似能够易化高分组学生对算式的加工,提高学生对算式的加工效率。高分组在 A 类算式上的正确率 C 类算式的正确率没有显著差异 [$t(24) = 0.26, p > 0.01$],而在 A 类等式上的反应时显著低于 C 类等式 [$t(24) = 4.23, p < 0.01$],可见虽然高分组学生解答算式的正确率没有受到表面特征的影响,但是表面特征还是占用了高分组学生的认知加工时间。可见高分组学生在问题表征时既对表面特征进行编码,又对原理特征进行编码,但是他们尽量排除表面特征的干扰,侧重编码原理特征,因此他们解题的正确率较高。这一研究结果与前人的研究具有一致性,张维等人的研究表明(张维、蔡笑岳, 2012),学科领域知识丰富组的学生在问题表征时同时表面特征和原理特征,表面特征会占用其认知加工时间,但不会对问题解决产生干扰作用。宋桂花等人(宋桂花、梁宁建, 2008)研究了高分组与低分组在解决数学应用题时的眼动模式区别,发现高分组在数字关键词的注视次数显著低于低分组,而对句子兴趣区的相对注视次数相对高于低分组,说明高分组重视编码原理特征,加工了表面特征但又尽量减少表面特征干扰这一问题表征特点。

4.3. 高程序性与低程序性知识水平学生的问题表征策略

Hegarty(1992)采用眼动研究探讨了个体的问题表征策略,发现学生在表征程序性知识时,存在直接转换和问题模型两种策略,直接转化策略侧重于关注题目中诸如数字这类表面特征,重视运算操作,而问题模型策略侧重于关注题目中诸如概念、变量名等原理特征。一般来说,个体在其问题解决过程中会同时使用两种策略,但是问题解决成功者会更多的使用问题模型策略,而问题解决不成功者则更多的使用直接转化策略。根据本研究结论与 Hegarty(1992)等人的研究具有一致性,高程序性知识水平学生与低程序性知识水平的学生在问题表征时,都使用了直接转化策略与问题模型策略,高程序性知识的学生更多的使用问题模型策略,较少的使用直接转化策略,与之相反,低

程序性知识学生更多的使用直接转化策略而较少的使用问题模型策略。冯虹(2007)等研究者探讨了学生数学应用题问题表征的年级差异,学生问题表征策略随着年龄的增加有明显的变化,小学5年级的学生侧重于采用直接转化策略,而初中二年级的学生则侧重于采用问题模型策略。可见随着学生程序性知识水平的提高,学生的问题表征策略会出现显著的变化,高程序性知识水平的学生会更多的采用问题模型策略。

5. 结论

1) 低程序性知识水平学生问题表征特点表现为同时加工表面特征与原理特征,但是受表面特征的干扰很大,因此对原理特征的加工不够。

2) 高程序性知识水平学生问题表征特点表现同时编码表面特征与原理特征,但是表面特征的干扰较少,侧重于对原理特征进行深入加工。

3) 在某种程度上,无论是高程序性知识的学生,还是低程序性知识的学生,都采用了直接转换与问题模型两种问题表征策略。但是高程序性知识的学生更多的使用问题模型策略,低程序性知识的学生较多的使用直接转换策略。

参考文献 (References)

Hondt, M. D., & Hondt, T. D. (1743). Is domain knowledge an aspect? In *Lecture notes in computer science. Proceedings of the workshop on object-oriented technology*. Berlin: Springer-Verlag.

- Lazonder, A. W., Wilhelm, P., & Hagemans, M. G. (2008). The influence of domain knowledge on strategy use during simulation-based inquiry learning. *Learning and Instruction, 18*, 580-592.
- 蔡笑岳, 苏静(2008). 工作记忆与领域知识在个体认知行为中的作用. *心理与行为研究*, 4期, 306-310.
- 蔡笑岳, 何伯锋(2010). 学科领域知识的研究与教学——当代领域知识研究及其教学迁移. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 2期, 43-51.
- 蔡笑岳, 何伯锋(2010). 学科领域知识的研究与教学. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 2期, 43-51.
- 皮连生(1997). 论智力的知识观. *华东师范大学学报(教育科学版)*, 3期, 52-58.
- 李长虹, 蔡笑岳, 何伯锋(2010). 学科领域知识与数学学习的知识表征研究. *心理发展与教育*, 3期, 282-289.
- Hegarty, M., Mayer, R. E., & Monk, C. A. (1995). Comprehension of arithmetic word problem: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers. *Journal of Educational Psychology, 1*, 18-32.
- 陈英和, 仲宁宁, 耿柳娜(2004). 关于数学应用题心理表征策略的新理论. *心理科学*, 1期, 246-247.
- 仲宁宁, 陈英和等(2006). 小学二年级数学学优生与学困生应用题表征策略差异比较. *中国特殊教育*, 69期, 63-65.
- 张萍萍(2007). *初中生数学问题表征差异性的实证研究*. 东北师范大学硕士学位论文, 长春.
- 张锦坤, 沈德立, 臧传丽(2006). 算术应用题表征策略的眼动研究. *心理与行为研究*, 3期, 188-193.
- 姚元锦, 张辅等(2007). 中学数学问题的代数表征与几何表征. *西南师范大学学报*, 1期, 154-157.
- 张维, 蔡笑岳, 曾苑霞(2011). 学科领域知识丰富性对中学代数问题表征层次的影响. *心理科学*, 34期, 398-400.
- 郑琳娜, 张奇(2007). 数学困难儿童的表征类型及其对应用题解决的影响. *中国健康心理学杂志*, 15期, 521-523.
- 宋桂花, 梁宁建(2008). 大学生数学问题解决的表征策略研究. 华东师范大学硕士学位论文, 上海.
- Hegarty, M., Mayer, R. E., & Green, C. E. (1992). Comprehension of arithmetic word problems: Evidence from students' eye fixations. *Journal of Educational Psychology, 84*, 76-84.
- 冯虹, 阴国恩, 安容(2007). 比较应用题的问题表征策略研究. *心理学探新*, 27期, 40-43.