

沈德立◎主编

基于脑科学的 教与学效能研究

全国教育科学“十一五”规划
国家重点课题研究成果（ABA060004）

本书系统总结了国内外脑科学研究的最新成果及其在教与学过程中的应用，
丰富了人们对基于脑科学的教与学效能的认识，
有助于促进教育工作者转变教育观念，创新教学理论和教学方法，提高教学效能；
有助于提示学生更高效地学习。



教育科学出版社

Educational Science Publishing House

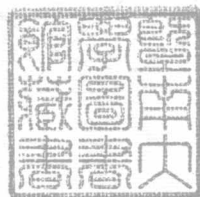
2014/1
全国教育科学“十一五”规划

国家重点课题研究成果 (ABA060004)

基于脑科学的 教与学效能研究

沈德立◎主编

吕勇 白学军◎副主编



教育科学出版社
· 北 京 ·

出版人 所广一
责任编辑 樊慧英
版式设计 贾艳凤
责任校对 贾静芳
责任印制 曲凤玲

图书在版编目 (CIP) 数据

基于脑科学的教与学效能研究 / 沈德立主编. —北京:
教育科学出版社, 2013. 5

ISBN 978 - 7 - 5041 - 7304 - 1

I. ①基… II. ①沈… III. ①脑科学—研究 IV. ①Q983

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 007522 号

基于脑科学的教与学效能研究

JIYU NAOKE XUE DE JIAOYUXUE XIAONENG YANJIU

出版发行 教育科学出版社

社 址 北京·朝阳区安慧北里安园甲 9 号

邮 编 100101

传 真 010 - 64891796

市场部电话 010 - 64989009

编辑部电话 010 - 64989449

网 址 <http://www.esph.com.cn>

经 销 各地新华书店

制 作 北京大有图文信息有限公司

印 刷 保定市市中画美凯印刷有限公司

开 本 169 毫米 × 239 毫米 16 开

印 张 35.5

字 数 734 千

版 次 2013 年 5 月第 1 版

印 次 2013 年 5 月第 1 次印刷

定 价 68.80 元

如有印装质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

前

言

人类大脑的平均重量为 1400 克左右，构成大脑的神经元数目和银河系里的星星一样庞大。大脑通过神经系统控制着所有我们意识到的和没有意识到的心理活动，如感知、注意、记忆、思维、想象、学习、情绪、情感、需要、意志、信念、能力、性格，等等。

由于人脑的高度复杂性，以及研究人脑方法与手段上的局限，长期以来，人们对其结构及功能的认识非常有限。

现代科学技术的发展为研究大脑的结构与功能提供了全新的研究手段，出现的如功能磁共振成像（fMRI）、正电子发射断层扫描（PET）、事件相关电位（ERP）、脑磁图（MEG）、单光子发射断层扫描（SPECT）、近红外光学成像（fNIR）等技术，极大地促进了人们对大脑的认识。因为上述研究手段的共同特点是探讨个体在正常活动条件下大脑内部发生的变化，这为揭示大脑内部的奥秘提供了全新的视角。

在 20 世纪 90 年代后，世界各国对人脑的研究给予了高度的重视，投入了大量的人力和财力进行专门研究，美国把 90 年代的最后十年定为“脑的十年”；欧洲在 1991 年出台“欧洲脑十年”计划；日本则将 21 世纪视为“脑科学世纪”。脑科学的研究热潮遍布全球。科学家们提出了“认识脑、保护脑、创造脑”三大目标，人们相信脑科学的研究成果将为人更好地了解自己、保护自己、防治脑疾病和开发大脑潜能等方面作出重要的贡献，“了解脑、认识自身”成为 21 世纪脑科学领域面临的最大挑战。1995 年夏，在日本京都召开的第四届世界神经科学大会上，国际脑研究组织（IBRO）提出“21 世纪是脑的世纪”的口号，这标志着重视脑的研究成为世界性的共识。

在这种背景之下，如何将脑科学研究所取得的成果转化来探索教与学的问

题，成为各国政府和学术界关心的重点。由于开展基于脑科学的教与学的研究将会在国家人才培养与综合国力的增强方面具有重要的作用，因此，这方面的工作受到世界上越来越多的国家政府、国际组织和著名大学的高度重视，并相继成立了基于脑科学的教与学的专业研究机构。例如，1999年经济合作与发展组织启动了“学习科学与脑研究”的项目。2003年成立了“国际心智、脑与教育协会”（the International Mind, Brain, and Education Society, IMBES），2007年3月，该协会的官方刊物《心智、脑与教育》杂志正式创刊。

我国政府也高度关注脑科学的发展及其应用。2006年国务院颁布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》，将“脑科学与认知科学”作为“科学前沿问题”，提出主要研究方向有“可塑性与人类智力的关系”和“学习记忆与思维等脑高级认知功能的过程及其神经基础”。在这种形势下，我于2006年申报了全国教育科学“十一五”规划国家重点课题“基于脑科学的教与学效能研究”（ABA060004），并获得了批准。

五年来，在我的带领下，课题组成员主要围绕以下四个方面开展工作。

第一，调研我国教师和学生脑科学的素养，系统介绍了脑的结构与发育、脑科学的最新研究方法和仪器设备。

第二，以学科为中心，全面总结国内外关于数学、母语（语文）、外语、艺术等学科的脑科学研究成果，并在此基础上提出了教与学的建议。

第三，以教与学的重要认知过程为中心，概括总结了国内外注意、记忆、元记忆、思维、创造性思维、内隐认知、心理理论、学习策略和情绪的脑科学研究成果，并提出了相应的教与学的建议。

第四，我们采用多种方法和手段，开展40余项内容涉及语文、数学、双语、音乐、注意、记忆、元认知、学习策略、思维、创造性思维、情绪和心理理论等内容的实验研究，取得了大量的第一手资料，丰富了我们对于基于脑科学的教与学效能的认识。

通过上述研究工作，我们认识到以下几点。

第一，由于人脑的极端复杂性，虽然脑科学家已经开展了大量的研究，但还需要对脑功能进行深入研究。将脑科学研究成果与教育教学活动和学习结合起来，目前还面临着许多困难和挑战。因此，需要脑科学家、心理学家和教育学家做大量的具体工作。

第二,脑科学的研究成果有利于人们转变传统的教育教学理念。首先,脑科学研究成果表明,个体出生后其大脑结构与功能的发展具有很强的可塑性。这为教育促进个体心理发展提供了科学的依据。因此,教育工作者可利用大脑发展的可塑性这一特点,积极开展教育教学活动,促进个体各种才能和良好人格品质的发展。其次,个体大脑的发育,既遵循共同的规律,又存在很大的个体差异性,这种差异性会直接影响个体能力的发挥与表现。因此,教育工作者应努力了解脑科学的知识,了解个体脑的结构与功能发育不同而导致能力上的差异,变单一智力观为多元智力观。在个体能力的评价与衡量方面,要反对采用统一标准,积极倡导多种标准;在教育教学活动过程中,要更加自觉地坚持因材施教原则,充分发挥个体才能。再次,经验会在一定程度上使脑的结构与功能发生变化。因此,教育工作者要及时了解大脑各个功能及结构发展变化的关键期,开展有针对性的教育活动,抓住经验对脑影响的敏感期,提高教育教学活动的效能。

第三,脑科学的研究成果揭示如何使学生更高效率地学习。首先,已有研究表明,积极情绪下的学习效果好,即在积极情绪状态下,学生记忆后保持效果更好;在消极情绪下,学生记忆后保持效果差。因此,要想提高学习效率,在学习时必须保持或具有积极的情绪状态。其次,科学认识考试(或测试)在学习过程中所发挥的作用。新近的研究发现,学习(特别是阅读)某一内容时,“学习加测试”的学习事件组合比同样时间的“学习加学习”组合更为有效,前者更能促进个体对知识的长期保持,这就是著名的测试效应或提取练习效应。再次,应该更加重视内隐学习。已有研究表明,内隐学习与外显学习存在着不同的脑机制。且内隐学习具有外显学习所不具备的特点,即(a)自动性,内隐知识能自动产生,无须有意识地去发现操作任务内的外显规则;(b)概括性,很容易概括到不同的符号集合;(c)无意识性,内隐获得的知识难以用语言来表达;(d)高潜性,内隐学习具有和外显学习一样的潜力。

本课题在立项之初,所要达到的目标之一就是將脑科学研究成果应用于教与学,以提高教与学的效率。本书就是我们在这方面所进行的一次有益尝试。

需要指出的是,基于脑科学的教与学效能的研究是一个世界性的、全新的课题。真正实现將脑科学研究成果应用于教与学效能的提高上,是一项复杂的、还有大量工作需要去完成的工作。正如美国学者丹尼尔·安瑟瑞和多纳·柯砌(2006)在其《波澜水面上的桥梁:教育与认知神经科学》一文中所指出的,目

前在脑科学与教育工作者之间建立起直接的桥梁还有许多困难和障碍，主要是二者之间缺少共同语言、相同的知识背景和跨学科交流的平台。

为了实现上述目标，今后需要做好以下几方面的工作。首先，在国家层面上建立脑科学研究者与教育工作者共同交流的平台，使他们之间相互了解各自的工作以及亟须解决的问题。其次，在全国各类教师培训过程中，增加脑科学研究的成果，一方面丰富他们的脑科学知识，促进其对自身的认识，另一方面促进我国教育理论工作者和一线教师转变教育观念，创新教学理论和教学方法，提高教学效能。再次，从国家发展战略的高度，应面向全体学生普及和宣传脑科学的知识，以利于学生更好地掌握新知识 with 技能，促进他们健康成长。

沈德立

2012 年 5 月

著者的话

本课题的各项实验与调研工作是在我的指导下，由课题组全体成员共同完成的。

参加本书各章撰写的人员是：第一章，马谐、刘娟、白学军；第二章，胡恒、吕勇；第三章，李甜甜、吕勇；第四章，陶云；第五章，臧传丽、白学军；第六章，胡伟、吕勇；第七章，王芹、白学军；第八章，杨海波；第九章，于乐、吕勇；第十章，宋娟；第十一章，张丽华；第十二章，贾宁；第十三章，葛操；第十四章，陈友庆；第十五章，张锦坤；第十六章，李芳；第十七章，陈向阳。

如何将脑科学研究成果更好地应用于教与学还处于不断探索中，因此书中存在的一些不足之处，敬请批评指正。

沈德立

2012年5月

目 录

第一章 教与学的脑科学研究概述	1
第一节 教与学和脑科学的关系	1
一、脑科学的本质及和教与学的关系	2
二、脑科学在教与学研究中的意义	3
第二节 教与学的脑科学研究历史	11
一、教与学的脑科学研究历史	11
二、我国教与学的脑科学研究发展	20
第三节 脑科学知识素养现状研究	27
一、科学素养的概述	27
二、脑科学素养问卷编制	28
三、大学生脑科学素养的现状研究	34
四、中小学教师脑科学素养现状研究	41
第二章 脑的结构与发育	49
第一节 脑的结构	49
一、周围神经系统	50
二、中枢神经系统	51
三、大脑的基本结构	53
第二节 脑的发育	55
一、脑胚胎发育阶段	56
二、新生儿阶段	57
三、婴儿阶段	58
四、幼儿阶段	58
五、儿童青少年阶段	59
六、成年人阶段	59
第三节 脑的可塑性及对教育的启示	60
一、脑的可塑性的含义	60

二、脑的功能可塑性和结构可塑性	61
三、脑的可塑性的发展	63
四、影响脑的可塑性的因素	64
五、脑的可塑性对于教育的启示	65
第三章 脑科学的研究方法	68
第一节 血液动力学测量	68
一、正电子发射断层扫描技术	68
二、功能磁共振成像技术	71
三、单光子发射计算机断层成像技术	75
第二节 电磁工具	77
一、事件相关脑电位	77
二、脑磁图	82
三、透颅磁刺激	85
第三节 光学成像	88
一、光学成像的发展史	88
二、光学成像的分类	89
三、光学成像的发展前景	92
第四节 不同技术的比较与综合应用	92
一、不同脑成像技术的比较	92
二、不同脑成像技术的结合	94
第四章 母语学习与脑科学	98
第一节 脑科学与语音学习	98
一、语音和语音学	98
二、脑科学与语音学习	100
第二节 脑科学与字词学习	103
一、字词学习的神经心理学基础	104
二、脑科学与字词学习	104
三、功能磁共振的研究	106
第三节 脑科学与句法的学习	109
一、句法和句子理解	109
二、句法习得的生物基础——大脑	109
三、早期句法习得及脑的可塑性	110
四、句法加工的认知神经研究	111
五、基于脑科学的句法学习对教学的启示	114
第四节 影响母语学习的因素	116
一、遗传	116

二、生理机制	117
三、语言环境	120
四、认知发展	122
五、年龄或成熟	123
六、性别	126
第五章 数学学习与脑科学	127
第一节 数字加工的认知过程及其脑机制	127
一、数字加工的含义及有关概念	127
二、数字加工的基本理论	132
三、数字加工的脑机制研究	137
四、数字加工与空间注意的关系及脑机制	138
五、数字加工的脑科学研究对数学教育的启示	143
第二节 数学运算的脑机制	145
一、基本的数学运算的脑机制	145
二、精算与估算的脑机制	151
三、计算能力的年龄发展与个体差异	153
四、算术学习与脑的可塑性变化	155
五、数学学习的脑机制研究对数学教育的启示	160
第三节 发展性计算障碍及教育对策	161
一、发展性计算障碍的本质	162
二、发展性计算障碍的成因	166
三、发展性计算障碍的诊断	170
四、对我国数学教育的启示	173
第六章 第二语言习得与脑科学	175
第一节 第二语言习得概述	175
一、什么是第二语言习得	175
二、第二语言的习得理论	176
第二节 影响第二语言习得的因素	178
一、关键期	178
二、第二语言与第一语言习得的关系	180
三、习得年龄	184
四、熟练程度	185
五、语言切换代价	188
六、第二语言习得内容	190
第三节 第二语言习得脑机制对外语教学的启示	194
一、第二语言习得关键期对外语教学的启示	194

二、第二语言与第一语言的关系对外语教学的启示	195
三、内隐学习对第二语言教学的启示	196
第七章 艺术学习与脑科学	197
第一节 艺术学习概述	197
一、艺术学习的本质、类型及特点	197
二、艺术与多元智能理论	199
三、艺术学习的脑科学研究	200
第二节 音乐的脑机制研究与莫扎特效应	204
一、音乐心理学	204
二、音乐的脑加工机制	205
三、莫扎特效应的脑神经基础	211
第三节 艺术学习与脑的潜能开发	214
一、艺术学习的脑科学依据	214
二、艺术学习与教育实践	219
三、中国的艺术学习与教育现状	220
第八章 注意的脑机制与教学	223
第一节 注意概述	223
一、注意的分类	224
二、与注意有关的概念	225
三、注意的研究方法	228
四、注意的制约因素	231
五、注意理论	232
第二节 注意的神经活动	237
一、视觉注意的神经机制	237
二、听觉注意的神经机制	240
第三节 注意的脑机制研究对教学的启示	242
一、如何诱发学生注意	242
二、大脑生化物质与注意	243
三、学生注意过程中的脑电活动	244
四、创设条件促进学生注意转移	245
第九章 记忆的脑机制与教学	246
第一节 记忆理论的概述	246
一、工作记忆	246
二、情景记忆	249
三、内隐记忆	251

第二节 记忆的脑机制	253
一、工作记忆的脑机制	253
二、情景记忆与工作记忆的脑机制	255
三、内隐记忆与外显记忆的脑机制	258
四、前瞻记忆的脑机制	260
五、相继记忆效应的脑机制	264
第三节 记忆障碍的脑机制	265
一、逆行性遗忘与顺行性遗忘	266
二、公众事件与自传性记忆的分离	267
三、与逆行性遗忘相关的脑结构	267
四、逆行性遗忘研究的局限性	271
第四节 记忆的脑机制研究对教学的启示	271
一、工作记忆研究对阅读教学的启示	272
二、情景记忆有助于学习	273
三、内隐记忆研究对教学的启示	273
四、程序性记忆对教学的启示	274
第十章 思维的脑机制与教学	275
第一节 思维概述	275
一、思维的实质与分类	275
二、思维的过程	276
三、思维的内容	277
第二节 分类与表征的脑机制	282
一、物体分类的脑机制	282
二、分类过程中信息表征的脑机制	286
第三节 归纳的脑机制	289
一、类别归纳过程的脑机制	289
二、类别归纳策略的脑机制	291
第四节 问题解决的脑机制	294
一、问题解决的概述	294
二、问题解决的影响因素	295
三、顿悟及其脑机制	297
第五节 思维脑机制研究对教学的启示	303
一、信息表征的脑机制对教学的启示	303
二、类别归纳的脑机制对教学的启示	304
三、分类中的线索效应对教学的启示	305
四、问题解决的脑机制对教学的启示	305

五、顿悟的脑机制对教学的启示	306
第十一章 创造性思维的脑机制与教学	307
第一节 创造性思维概述	307
一、创造性思维的实质	307
二、创造性思维的基本条件	309
第二节 创造性思维的脑机制	310
一、大脑两半球的功能偏侧化与创造性	310
二、发散性思维的脑机制	312
三、远距离联想的脑机制	313
四、类比推理的脑机制	315
五、创造性思维与认知抑制的脑机制	317
六、创造想象的脑机制	321
第三节 创造力开发	323
一、创造力的影响因素	323
二、基于脑机制的创造力开发	324
第十二章 元记忆的脑机制与教学	328
第一节 元记忆概述	328
一、元记忆简介	328
二、元记忆监测的研究方法和理论	330
三、元记忆控制的研究方法和理论	342
第二节 元记忆的脑机制	348
一、动态过滤理论	348
二、元认知与执行功能的神经机制	359
三、各类元记忆形式的脑机制	363
四、基于神经心理学的元记忆脑机制	369
第三节 元记忆的脑机制对教学的启示	381
一、学习过程中的元记忆	381
二、元记忆的脑机制研究对教学的启示	383
三、元记忆监测错误的修正及其对教学的启示	385
四、元记忆控制的脑机制及对教学的启示	392
第十三章 内隐认知的脑机制与教学	396
第一节 内隐记忆的脑机制	396
一、内隐记忆及其特征	396
二、内隐记忆脑机制研究的兴起	398
三、内隐记忆的脑机制	399

第二节 内隐学习及其脑机制	407
一、内隐学习及其特征	407
二、内隐学习的研究范式	408
三、内隐学习的脑机制	412
第三节 内隐认知的脑机制对教学的启示	418
一、内隐记忆的脑机制对教学的启示	419
二、内隐学习的脑机制对教学的启示	420
第十四章 心理理论的脑机制与教学	427
第一节 心理理论研究概述	427
一、什么是心理理论	427
二、心理理论的研究内容	429
三、心理理论的发展特点	435
第二节 心理理论的脑机制	441
一、心理理论的脑成像	442
二、社会行为障碍人群的心理理论脑机制	444
三、镜像神经元系统	448
第三节 心理理论的训练	450
一、心理理论训练的研究概况	450
二、心理理论的训练方法	453
三、心理理论训练的研究举例	455
第十五章 学习策略的脑机制与教学	463
第一节 有效学习策略	463
一、测试效应	464
二、分散学习	466
三、交错式学习与批量式学习	468
四、次优策略何以学习者广泛采用	469
第二节 测试效应的理论与脑机制	471
一、测试效应的理论	472
二、测试效应的脑机制	475
第三节 提取练习策略脑机制及对教学的启示	478
一、测试效应对教学的启示	478
二、提取练习策略更有利于提高教学效果	484
第十六章 情绪的脑机制与教学	487
第一节 情绪与脑	487
一、情绪的概述	487

二、情绪过程的脑机制	493
第二节 情绪记忆的脑机制	503
一、情绪记忆过程的脑机制	503
二、不同类型情绪记忆的脑机制	511
三、情绪背景记忆的脑机制	516
四、情绪记忆的性别差异及脑机制	518
第三节 情绪的脑机制对教学的启示	519
一、情绪的脑机制研究对教学的启示	519
二、情绪的脑机制研究对学习的启示	520
第十七章 元认知的脑机制与教学	522
第一节 元认知概述	522
一、什么是元认知	522
二、元认知的成分	523
三、元认知的实质	525
四、元认知的测评方法	528
五、元认知研究的新进展	533
第二节 元认知的脑机制	540
一、认知与元认知的脑机制的分离	541
二、与不同元认知过程相关的脑区	542
第三节 元认知与高效率学习	544
一、元认知与自我调节学习	545
二、基于元认知理论的思维技能训练	546
三、元认知与高效率学习的关系	550
后记	552

第一章

教与学的脑科学研究概述

※本章提要※

脑是人类心智产生的物质基础，由于其结构与功能的复杂性，20 世纪上半叶以前，人们对其奥秘的科学认识不多。从 20 世纪下半叶开始，随着研究脑的新技术和新方法的不断出现，人们对脑的结构、功能逐渐有了新的认识。本章首先探讨了教与学和脑科学的关系；其次回顾了教与学的脑科学研究历史；最后通过自编的脑科学素养问卷，调查研究我国大学生与教师脑科学素养的现状。

第一节 教与学和脑科学的关系

脑是人类智慧的载体。然而，长期以来，鉴于脑结构与功能的复杂性，揭开脑的奥秘异常艰难，用脑知识指导实践更是难以想象。20 世纪 60 年代末以来，伴随分子生物学和计算机科学的飞速发展，深化脑机制的认识不仅重要、必要，而且成为了可能。三十多年来，由于研究方法和技术不断革新，以及跨学科研究者的通力合作，脑科学领域取得了突破性的进展，其研究成果正深刻改变着人类对脑的认识；同时，也正极大地促进着计算技术、信息工程技术以及其他相关科学技术领域的发展，特别是引发了与人自身健康和发展相关的医学、教育、心理乃至整个生活领域与生存状态的根本性变革^①。

教育研究自 20 世纪 20 年代以来经历了各种波折，各方心理学家和教育学家都在寻找行之有效的教育教学手段。在经历了行为主义、新行为主义、人本主义、联结主义和至今还在盛行的建构主义教育理论之后，认知神经科学以其独特的视角和先进的技术手段开始对人的认知活动进行全面、翔实和深入的剖析。

^① 高文. 2001. 跨越脑科学与教育的鸿沟[J]. 全球教育展望, 2: 16-25.