

SCIENTIA SINICA Vitae

# 中国科学 生命科学

第51卷 第6期 2021年6月

■ [www.scichina.com](http://www.scichina.com) ■ [lifecn.scichina.com](http://lifecn.scichina.com)

迈向“发展群体神经科学”专辑

特邀编辑：左西年，董奇

中国科学院主办  
国家自然科学基金委员会





目 次

迈向“发展群体神经科学”专辑

编者按

迈向“发展群体神经科学” .....	597
左西年, 董奇	

评述

推进神经影像数据共享与开放式脑科学 .....	600
左西年, 臧玉峰, 高家红	
动作发展神经科学: 未来路径与布局 .....	619
武志俊, 王争艳, 王强	
认知控制发展神经科学: 未来路径与布局 .....	634
齐玥, 杨国春, 付迪, 李政汉, 刘勋	
记忆发展神经科学: 研究现状与未来展望 .....	647
张钦, 孟迎芳, 聂爱情, 赵鑫, 孙猛, 刘鑫宇	
人类情绪发展认知神经科学: 面向未来心理健康与教育 .....	663
徐家华, 周莹, 罗文波, 罗跃嘉, 秦绍正	
语言发展认知神经科学研究: 重要进展、趋势与规划建议 .....	679
陶沙, 陈睿, 陶言强, 李永静, 骆洁, 卢静, 刘丽, 毕鸿燕, 李甦	
创造性发展神经科学的研究现状与展望 .....	691
孙江洲, 何李, 位东涛, 杨文静, 陈群林, 左西年, 邱江	
人类共情领域认知神经科学: 研究展望与应用启示 .....	702
魏高峡, 满晓霞, 盖力锐, 姚颖, 胡卓尔, 张澍, 陈丽珍, 沈浩冉, 高媛媛, 左西年	
共情的毕生发展及其神经基础 .....	717
王启忱, 刘赞, 苏彦捷	
疼痛发展认知神经科学: 研究现状与未来趋势 .....	730
张立波, 吕雪靖, 胡理	
老化认知神经科学: 研究现状与未来展望 .....	743
刘涵慧, 李会杰	
开放式荟萃分析的规范化报告 .....	764
刘宇, 陈树铨, 樊富珉, 邸新, 范会勇, 封春亮, 郭双双, 甘怡群, 李会杰, 吕小康, 任志洪, 徐鹏飞, 袁博, 左西年, 胡传鹏	



# 创造性发展神经科学的研究现状与展望

孙江洲<sup>1,2,3</sup>, 何李<sup>2,3</sup>, 位东涛<sup>2,3</sup>, 杨文静<sup>2,3</sup>, 陈群林<sup>2,3</sup>, 左西年<sup>4</sup>, 邱江<sup>2,3\*</sup>

1. 西南大学西南民族教育与心理研究中心, 重庆 400715;
  2. 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715;
  3. 西南大学心理学部, 重庆 400715;
  4. 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875
- \* 联系人, E-mail: [qiu318@swu.edu.cn](mailto:qiu318@swu.edu.cn)

收稿日期: 2020-10-10; 接受日期: 2021-01-08; 网络版发表日期: 2021-01-22

中国科学技术协会学科发展项目(批准号: 2018XKFZ03)、国家自然科学基金(批准号: 31771231)、“长江学者奖励计划”青年学者项目(批准号: Q2017173)和中国博士后科学基金(批准号: 2019TQ0268, 2020M673100)资助

**摘要** 当前时代背景下, 结合神经影像学方法, 探明创造性的底层认知机制, 把握创造性的毕生发展规律, 探索有效激发个体创造性的方法, 明确创新型人才的培养与筛选方法等问题亟待解决. 创造性的发展存在阶段性. 个体的创造性于幼儿期便已开始萌芽, 进入儿童青少年时期发展迅速、呈现波动式发展, 进入成年期后发展较为平缓, 在老年初期有明显的下降趋势, 而后基本保持稳定. 迄今为止, 创造性神经基础的研究多集中在成年早期, 着重探讨创造性相关的大脑区域和大脑网络, 而创造性发展的神经基础尚不明晰. 本文在对以往创造性毕生发展相关研究进行梳理的基础上, 重点分析了我国当前研究面临的机遇与挑战, 提出未来发展的规划与路线.

**关键词** 创造性, 发展, 神经科学, 路线图

随着人工智能的迅速发展, 机器越来越智能, 能够替代人类完成越来越多的工作, 解放了更多的人类劳动力, 使得传统的人类劳动面临挑战. 未来社会, 人类劳动需要向创新型劳动转型. 在这种时代背景下, 对于创造性的研究变得尤为重要. 创造性, 亦称创造力, 通常是指个体生成新颖独特并且具有适用性的产出(如想法、产品等)的能力<sup>[1~3]</sup>. 创造性是一个复杂的概念, 包含思维、人格、成就等方面. 创造性的测量方式主要包含创造性思维对应的发散和聚合思维测试、创造性人格测试和创造性成就测试等. 创造性思维是创造性的核心. 探明创造性的底层认知机制, 把握创造性

的毕生发展规律, 探索有效激发个体创造性的方法, 明确创新型人才的培养与筛选方法等问题亟待解决. 认知神经科学的迅速发展为研究这些问题提供了新的方法和手段. 结合认知神经科学的方法, 从神经生理层面探明这些问题, 不仅能够揭示高创造性个体的大脑特征, 探明创造性发展的神经基础, 而且有利于采取针对性的促进措施, 对人才培养、创新型国家的建设及人类社会的长远发展都具有重要意义.

本文在对以往创造性毕生发展相关研究梳理的基础上, 结合国内外研究进展, 梳理学科发展现状, 重点分析我国当前研究面临的机遇与挑战, 提出未来发展

引用格式: 孙江洲, 何李, 位东涛, 等. 创造性发展神经科学的研究现状与展望. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 691–701  
Sun J Z, He L, Wei D T, et al. Developmental neuroscience of creativity: the future path and layout (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2021, 51: 691–701, doi: 10.1360/SSV-2020-0259

的规划与路线。

## 1 创造性的毕生发展

### 1.1 儿童青少年创造性的发展

创造性的发展贯穿人的一生。不同的发展阶段具有其独特的创造性的发展规律<sup>[4]</sup>。

创造性发展的早期研究关注天才儿童的特质及其发展<sup>[5]</sup>。Terman关注高智商儿童的生理变化与心理发展规律, 选择了1500余名儿童展开了长期的纵向追踪<sup>[6]</sup>。在儿童期, 个体已有丰富的创造性表现。幼儿时期是创造性萌芽的阶段<sup>[1]</sup>, 主要表现为好奇心与创造性的想象<sup>[4]</sup>。随着年龄的增长, 儿童渐渐能够独立地对已有表象进行加工, 想象中创造性的成分慢慢增多, 精细性逐渐提高<sup>[1]</sup>。学龄前儿童的发散思维能力已在萌芽, 他们往往拥有天马行空的想象力, 能够创造出新词汇和新游戏<sup>[7,8]</sup>。

然而创造性的发展并非是连续性的。研究者通常用“高峰”和“低谷”来描述创造性发展过程中的非连续性变化的现象。早在20世纪六七十年代, Torrance<sup>[9]</sup>对儿童青少年创造性发展的非连续性问题展开了较为全面和系统的研究。研究发现, 从学前期至青少年早期, 发散思维存在三个“低谷”。第一个“低谷”出现在5岁, 而另外两个则出现在9岁(四年级)与12岁<sup>[9]</sup>。这一发现受到随后研究者的关注, 如Lau和Cheung<sup>[10]</sup>使用一个2476人的大样本发现, 发散思维成绩在六年级和七年级有下降趋势, 而且发散思维的发展趋势存在显著的性别差异。另一项纵向研究发现, 发散思维能力在小学至中学的几个年龄段上(四、六和九年级)无显著差异, 但独创性得分在六年级时出现下降的趋势<sup>[11]</sup>。而有的研究则报告了发散思维在儿童青少年时期的持续性下降。例如, Yi等人<sup>[12]</sup>采用言语和图画两种发散思维测验在10~16岁的中国学生上施测, 发现小学生在发散思维各个维度上的得分均高于初中生, 从发展趋势来看, 随着年龄增长, 发散思维得分都呈下降趋势, 其中12~14岁下降最明显, 14岁后趋于平缓。

不同研究中创造性发展的“高峰”出现的时间也不一致。有研究发现, 发散思维发展的“高峰”出现在四年级。通过比较三、四、五年级的117名儿童的发散思维成绩发现, 四年级学生表现出较高的流畅性分数<sup>[13]</sup>。另一项研究则表明, 在不同创造性测试中, “高峰”出

现的时间不同。研究者探讨了青春期末至成年早期的创造性思维发展轨迹, 4个年龄组的98名被试(12~13岁、15~16岁、18~19岁和25~30岁)均完成了一系列创造性思维测试, 包括言语顿悟、视觉顿悟、言语发散思维和视空间发散思维<sup>[14]</sup>。结果发现, 言语发散思维测试中, 流畅性与灵活性上没有年龄组的差异; 视空间发散思维中, 15~16岁被试的表现比12~13岁被试的更好, 且该年龄段被试的表现处于峰值水平。

一些研究从顿悟问题解决和人格角度探讨创造性的发展轨迹。例如, 研究发现, 顿悟问题解决能力在青少年中期已经得到很好的发展, 并在随后持续发展<sup>[14]</sup>。青少年创造性倾向的发展趋势总体上呈现倒V型, 初中一年级是创造性倾向发展的关键期<sup>[15]</sup>。创造性人格15岁以前较为稳定, 16、17岁学生的创造性人格的水平显著降低, 18岁以后又进入相对稳定期<sup>[16]</sup>。

研究结果的差异受到一些因素的影响。首先, 研究者们使用的创造性测量方法不同。言语形式与图画形式的创造性、发散思维与顿悟问题解决可能具有不同的发展轨迹。在行为方面, 发散思维呈现“高峰”和“低谷”交替出现的波动式发展, 在青少年时期达到较高水平; 创造性人格倾向呈现倒V型发展; 而顿悟问题解决的发展则会延续到成年期。不同测试侧重的认知过程不同。言语创造性涉及语义网络中概念的产生与提取, 而图形创造性则涉及抽象概念的加工。发散思维涉及创造性想法的盲目产生和选择性保留过程, 而顿悟问题解决则涉及聚合性思维过程。其次, 可能与学校不同的教学理念与环境有关。研究发现, 教学环境会影响中学时期学生创造性水平下降的时间点<sup>[17]</sup>。此外, 创造性与时代大背景有关。一项研究比较了21世纪初与20世纪末学生的创造性, 发现前者创造性的发展轨迹较为平滑, 而后者创造性的发展轨迹具有更大浮动性<sup>[18]</sup>。两者创造性的发展都表现出相似的趋势即线性增长<sup>[18]</sup>。这些不一致的研究结果提示, 在探讨创造性思维的发展规律时, 需考虑到所用测量工具、研究对象所处的外部环境以及性别差异等因素的影响。

另外, 在儿童青少年发展的过程中, 创造性的发展受到了许多内部与外部因素的影响<sup>[19~27]</sup>。内部因素主要包括智力、动机和情绪等<sup>[27]</sup>。例如, 研究表明, 积极情绪能够提高创造性科学问题提出能力<sup>[23]</sup>。外部因素主要包括家庭、学校及社会等, 如父母的教养方式、家庭的社会经济地位、学校的环境、同伴关系、文化



等<sup>[21,22]</sup>。研究表明,高社会经济地位的个体创造性成就往往更高<sup>[28]</sup>。父母对孩子的态度也影响创造性,父母的积极鼓励与创造性正相关<sup>[29]</sup>。这提示研究者在进行儿童青少年创造性的研究时,需要纳入更多的变量。

## 1.2 成年期创造性的发展

进入成年早期,个体的生理发育和心理发展达到相对成熟的水平,流体智力与晶体智力能够得到充分利用,这为创造性的发展提供了绝佳条件,这个阶段是创造性活动的黄金时期。研究发现,相对于年龄较小的青少年被试,18~19岁的被试和25~30岁的被试在顿悟测试中有更好的表现,且25~30岁的被试在言语发散思维独创性的得分高于年龄较小的被试<sup>[14]</sup>。在随后的成年中期,个体的职业生涯稳步发展,在特定领域崭露头角、施展才华,往往能够产出高水平的创造性成果。我国研究者考察了科学家产出重大创造发明的特定年龄阶段,发现成年早期和成年中期是发明创造的最佳时期,这也是创造性活动的两个高峰期<sup>[1]</sup>。除了关注创造性活动或创造性成就,一些研究还考察了创造性思维在成年期的发展,发现成年中期是发散思维发展的顶峰。一项横断研究中,Reese等人<sup>[30]</sup>将400名成年期被试分成四个年龄段(17~22岁、40~50岁、60~70岁、75岁以上),使用一物多用任务考察他们的发散思维能力,结果发现,中年组在发散思维各个维度上的得分均显著高于其他组。另一项研究将159名被试分成五个年龄组(20~35岁、36~55岁、56~74岁、75~85岁和86~98岁),让被试完成言语和图形发散思维任务。结果发现,创造性成绩在成年早期(20~35岁)和成年中期(36~55岁)保持较高水平,而在进入老年早期时(56~74岁)开始下降<sup>[31]</sup>。

步入成年晚期,感知觉和流体类认知能力等衰退明显,反应速度变得迟缓,思维缺乏灵活性,这些变化往往导致人们形成一种老年人不太可能具有创造性的刻板印象。这种刻板印象会产生一种自我实现的预言,使得个体在老年阶段放弃参与各种创造性活动<sup>[30]</sup>,这是社会发展的巨大损失,尤其是当今社会正处于人口老龄化程度不断加深的阶段,老年人的创造性需要得到释放与开发,进而为社会增添活力、创造财富。一些来自实验室的证据表明,老年人的创造性思维水平并不是总比青年人低。Palmiero等人<sup>[31]</sup>比较了19~25岁和57~82岁两个年龄段被试的言语和图形发散思维表

现,发现老年组只有图形发散思维流畅性得分略低于年轻组,在图形发散思维测验其他维度和言语发散思维测验上,老年组和年轻组的表现相当。在创造性人格方面,Hui等人<sup>[32]</sup>利用高夫人格量表考察了594名来自香港的成年人,年龄分布为18~25岁、26~40岁、41~60岁、61岁以上四个年龄段,该研究发现,创造性人格分数并未随着年龄的增长而下降,反而是老年组(61岁以上)的分数显著高于年轻组(18~25岁)和中年组(41~60岁),而且老年组对创造性人格的发展持更乐观的态度。另外,已有研究还表明,老年人会通过参与创造性活动而受益。研究者在一项针对36名老年艺术家(60~93岁)的访谈研究中发现,创造性活动可以帮助老年人发展问题解决的能力,培养生活的目标感和获得成长的愉悦,这有助于成功老龄化(successful aging)<sup>[33]</sup>。干预组与控制组的对比研究也表明,创造性活动的参与(如社区的文化艺术项目)有助于老年人抑郁症状的改善、身体健康、感受到更多的社会支持以及乐观的生活态度等<sup>[34,35]</sup>,而且在两年后的随访中,干预效果依然显著<sup>[36]</sup>。

总的来看,立足于毕生发展的视角,创造性的发展存在阶段性,其于幼儿期便已开始萌芽,进入儿童青少年时期发展迅速,呈现波动式发展,进入成年期保持较高水平,在老年初期有明显的下降趋势,而后基本保持稳定。

## 1.3 创造性发展的理论观点

研究者们提出了两种与创造性发展有关的理论:与认知发展相关的创造性发展轨迹和与心理社会发展相关的创造性发展轨迹。

认知发展观以皮亚杰提出的认知发展理论为基础,认为创造性在不同的发展阶段以不同的形式存在。因此,某一年龄段的人在创造性思维测试中的成绩可能会随着年龄的增长出现下降的趋势。这样的发现并不一定代表创造性能力下降,而可能代表创造性表现方式的改变。与直觉思维相关的创造性思维测试成绩的下降趋势可能会在儿童具体运算阶段到青少年形式运算阶段观察到,而与逻辑思维相关的创造性能力则会随着青少年认知能力在形式运算阶段的发展而逐渐发展<sup>[18]</sup>。心理社会发展观认为,儿童中期是从前传统阶段向传统阶段发展的标志,在这个转变过程中,创造性可能会由于来自社会规范的压力而减少,从而导

致学生在发散思维测试中的分数较低<sup>[37]</sup>。Claxton等人<sup>[11]</sup>使用自我认同观点来解释创造性的发展,认为青少年在面对社会规范与个体发展的冲突时,存在联结与分离的需求。在积极尝试发展独立性和自我认同的同时,青少年也开始探索与同龄人和家庭的关系。自我观察和自我认同的持续增长是青少年创造性倾向增长的一个可能原因。当前的认知行为研究支持了青少年时期在创造性发展过程中的重要性,然而其认知机制仍然有待进一步实证研究。

## 2 创造性发展的大脑基础

认知神经科学的发展为创造性的研究提供了新的技术手段。研究者使用不同的方法对创造性的神经基础展开了大量的研究,主要包括基于磁共振的大脑功能的研究和大脑结构的研究。此外,脑电(electroencephalography, EEG)、正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)、近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)等方法也常用于研究创造性的神经基础<sup>[38-42]</sup>。

迄今为止,创造性脑机制研究的对象集中在成年人,涉及其他年龄段的研究相对较少。任务态的研究探明了参与创造性过程的关键大脑区域。一项研究将元分析应用于45项功能性磁共振成像研究上<sup>[43]</sup>,结果发现,音乐创造性相关的大脑区域位于内侧额叶、额中回、扣带回、顶下小叶及梭状回和中央后回。言语创造性的主要大脑区域在前额叶皮层、颞上回、颞中回、顶下小叶、缘上回、中央后回、脑岛和枕中回。右半球额下回与舌回等区域在言语创造性中也被激活。视空间创造性激活了额下回、额中回、中央前回和丘脑。而基于个体差异的研究,则定位了与创造性相关的大脑区域。例如,一项研究使用静息态低频振幅作为功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)的指标,结合汉字组块分解任务中的反应时,考察创造性的个体差异相关的脑区<sup>[44]</sup>。结果发现,额上回的低频振幅正向预测创造性的顿悟问题解决,额上回/角回、中扣带/脑岛、前扣带/尾状核等区域负向预测创造性的顿悟问题解决。这些脑区的活动并不是相互独立的。创造性是一种高级认知过程,创造性过程需要多个脑区或大脑功能系统之间的协同。大脑区域间的协同作用是创造性想法产生的基

础<sup>[45-47]</sup>。默认网络和创造性的产生过程有关,可控制网络涉及评估创造性想法的有效性,对其进行修改,从而满足特定的任务目标<sup>[46,48]</sup>。

随着认知神经科学的发展,新的大脑指标计算方法及新的统计分析方法也被不断应用于创造性神经机制的研究。基于图论方法的研究表明,与低创造性组的被试相比,高创造性组的被试具有更高的全局效率和更短的最短路径长度<sup>[49]</sup>,并且创造性水平越高,大脑网络局部的功能整合特性(节点的介数中心度)与节点的全局效率越好<sup>[49]</sup>。基于大脑动态特性的研究表明,高创造性的个体大脑默认网络及其与其他网络的动态功能连接模式更灵活多变<sup>[50]</sup>,大脑的信息处理能力更强<sup>[51]</sup>。Beaty等人<sup>[52]</sup>使用预测模型的方法,探讨了创造性相关的大脑网络。研究发现,高创造性能力和默认网络、控制网络、突显网络等大脑功能系统间的功能连接有关。

在关注创造性的神经基础的研究中,多数研究使用横断设计,少部分研究使用纵向设计探讨了创造性发展与提升的神经基础。Chen等人<sup>[53]</sup>综合考察了159名大学生入学时和临近毕业时的发散思维的发展变化以及相关的大脑结构变化,发现背外侧前额叶皮层的灰质密度可以预测个体三年后的发散思维水平,另外还发现,额颞、额顶网络灰质密度的萎缩速度越慢越有利于个体发散思维的发展。创造性训练不仅能提升成年人创造性相关的表现,而且可以重塑大脑的结构和功能<sup>[54-58]</sup>。经过短期发散思维训练后,训练组多个大脑区域的神经活动显著增加,这些区域包括双侧背外侧前扣带回、左侧背外侧前额叶、左侧顶下小叶等<sup>[57]</sup>。接受为期三个月的创造性绘画训练的学生与学习有机化学课程的学生相比,其前额叶的白质结构具有显著差异,接受创造性绘画课程的学生通过前额叶白质的重组变得更有创造性<sup>[58]</sup>。

一些研究通过组间对比,探讨了儿童青少年创造性的神经基础。一项研究采用创造性问题解决任务研究了青少年和成人创造性神经机制的差异<sup>[59]</sup>。该研究选取了青少年和成年人被试,年龄范围分别为15~17岁和25~30岁,要求被试在磁共振中进行火柴棒任务,通过移除指定数量的火柴棒,生成指定数量的正方形。结果表明,青少年比成年人在外侧前额叶具有更强的激活。这一区域对于探索与辅助创造性的认知具有重要意义。另一项研究则采用一物多用任务研究了成年

人和青少年发散思维过程中大脑活动的差异<sup>[60]</sup>。结果表明, 成年人发散思维分数更高, 并且成年人的左侧额中回与额下回的激活比青少年更强, 且该区域的激活和发散思维呈显著正相关。这些结果与青少年的前额叶区域尚未优化有关。研究者也使用结构成像的方法, 探讨了不同年龄组的被试发散思维大脑基础的差异<sup>[61]</sup>。研究者以青少年与成年人为被试, 以灰质体积与皮层厚度为大脑结构指标, 发现视空间发散思维和左侧额上回、右侧颞中回、枕叶、顶叶等区域的灰质结构有关。分组变量调节了发散思维的灵活性与缘上回区域皮层厚度的关系。具体来说, 青少年缘上回的皮层厚度和发散思维任务灵活性的得分呈显著负相关, 成年人则没有发现这样的趋势。

研究者也关注儿童青少年的创造性培养与提升的大脑基础。一项研究以15~16岁的青少年为被试, 设计了一物多用和规则转换两种训练方式, 探讨了青少年的大脑在任务态下的激活模式在训练前后发生的变化<sup>[62]</sup>。经过8次训练后, 任务态下大脑的激活模式并未发生显著的变化。但该研究发现, 训练前后发散思维流畅性分数的改变与外侧前额叶区域训练前后激活的改变呈显著正相关。静息态的功能连接在训练前后并没有发生显著变化<sup>[63]</sup>。但该研究发现, 训练之前缘上回与枕叶的功能连接可以预测个体的发散思维得分的改变。Saggar等人<sup>[64]</sup>利用纵向设计, 对48名处在儿童中期的被试进行纵向测量, 从个体差异角度, 采用数据驱动的聚类方法揭示了儿童中期创造性思维能力的不同发展轨迹。结果发现, 虽然有些孩子的创造性能力出现了典型的下降, 但另一些孩子的创造性能力却随着时间的推移而显著增加。该研究进一步使用功能性近红外光谱发现, 右脑外侧额叶分化的增加伴随创造性思维能力的发展与提升。创造性发展脑机制的研究表明, 外侧前额叶区域在不同的创造性测试中都发挥了重要作用。

综上所述, 创造性神经基础的研究多集中在成年早期, 定位了与创造性相关的大脑区域和大脑网络。虽然不同研究的侧重点有所不同, 但这些研究中, 外侧前额叶区域、后顶叶皮层、扣带回和颞叶皮层的结果较为一致。迄今为止, 涉及其他发展阶段的研究相对较少。从毕生发展的角度, 当涉及更广泛的年龄阶段时, 当前的研究结论能否进一步推广, 有待进一步探讨。

### 3 创造性发展神经科学未来发展方向的预测和展望

当前社会迅速向智能化、信息化发展, 这对创造性的科学研究提出了新的要求。目前创造性神经科学的研究方向主要包括以下几个方面: 首先, 创造性认知过程的神经基础, 着眼于使用不同的创造性任务范式, 探讨参与创造性认知过程中的大脑活动模式或功能连接模式; 其次, 特殊领域的创造性的脑机制, 关注音乐、舞蹈、绘画、诗歌、艺术设计等领域的创造性过程对应的大脑基础; 再次, 从个体差异的角度揭示高创造性个体的大脑特征, 利用大样本数据, 建立创造性水平与大脑结构或功能特征之间的关系。这些研究多关注成年个体, 而创造性发展神经科学的研究尚处于起步阶段。未来研究应当在以下方面着力。

(1) 从大脑基础层面探明创造性的发展规律。以往研究多从行为层面探讨创造性的发展规律, 大脑基础的研究相对缺乏。虽然大量研究探讨了成年人创造性的神经基础<sup>[45~53]</sup>, 但创造性发展相关的研究还较少, 且结论缺乏一致性。探明创造性发展过程中关键的大脑区域, 明确创造性发展的关键阶段及不同阶段的大脑结构和功能特点, 有利于进一步了解创造性发展的大脑基础, 进而有针对性地实施干预手段, 促进个体创造性的发展。此外, 在毕生发展过程中, 个体创造性的发展伴随多种认知能力的发展, 如智力、工作记忆、抑制控制等。创造性过程中, 需要调用各种认知能力, 从而产生创造性产品。研究表明, 创造性与执行控制能力密切相关<sup>[46,65]</sup>。在发展的过程中, 创造性相关的认知能力及大脑结构和功能如何支持创造性的发展这一问题有待探明。

(2) 探明影响创造性发展的因素。在个体毕生发展过程中, 创造性水平受到各种先天因素和后天环境的影响<sup>[1]</sup>, 主要包括遗传因素和环境因素。研究表明, 多巴胺、5-羟色胺神经递质通路上基因位点的多态性与创造性有关<sup>[66]</sup>, 精神分裂症和双相情感障碍的多基因风险分数可以预测个体的艺术创造性分数以及是否选择艺术类职业<sup>[67]</sup>。这些研究多从行为水平进行考察。未来研究可结合神经影像学方法, 从基因的单位点、单体型及基因间交互作用、多基因分析和全基因组关联分析等方面探讨基因对创造性发展的影响及其神经基础。环境因素方面, 家庭和学校是个体成长过程中最



重要的环境。从神经科学角度, 探明家庭环境(家庭经济地位、父母教养方式等)、学校环境(同伴关系、教师教学风格等)对个体创造性发展的积极和消极影响及其神经通路, 有利于优化环境因素, 从而促进个体创造性的发展。

(3) 测量方法的统一。创造性的测量是研究者们一直关注的问题<sup>[68]</sup>。开发适用于全年龄段的有效测量工具和实验范式在创造性发展神经科学的研究中十分重要。当前研究中, 发散思维范式、创造性问题解决范式等被广泛应用于创造性神经基础的研究<sup>[69-71]</sup>。这些研究多在成年人样本上进行, 这些范式在任务难度上难以适应整个发展过程的被试, 缺乏适用多个年龄段的研究范式和测量方法。此外, 不同的测量方法和实验范式所涉及的认知过程存在差异, 导致研究间的结果无法比较, 难以得出创造性随年龄连续发展变化的过程, 研究结论无法推广。未来研究可在创造性测量工具和实验范式上着力, 开发出能够适用于毕生发展且适用于神经科学研究的测量工具和实验范式。由于毕生发展研究跨年龄段采样的特点, 理想的测量工具需要能够排除个体发展过程中不断增长的知识经验的影响。在测量内容上, 需整合发散和聚合性思维、人格特质、创造性成就等多个维度。在测量时长和评分系统上也需要进一步完善传统方式, 精简内容, 升级评分系统, 以有利于大规模数据的获取。

(4) 研究设计的多样性需要进一步拓展。在发展的过程中, 个体的创造性也是不断变化的。横断研究和纵向研究的结合, 不仅可以从行为层面和大脑层面探讨创造性的发展规律, 而且能够建立基于个体的纵向发展轨迹, 为创造性发展的神经基础的研究提供更多角度, 可以从更丰富的层面揭示创造性的发展规律。例如, 未来研究可通过纵向追踪, 从个体差异角度, 建立每个被试的创造性发展轨迹, 进而探讨大脑结构和功能对不同创造性发展轨迹的预测作用。

(5) 研究方法及其样本的多样性有待拓展。多种指标的结合(如行为、脑、基因数据等)、神经干预手段的应用、机器学习方法的应用等, 可以从多个层面刻画创造性发展的神经生理基础。样本多样性也需要进一步丰富。目前多数创造性神经基础的研究着眼于正常个体。关于异常发育个体的创造性研究较少。研究表明, 创造性与精神分裂症、双相情感障碍、孤独症等精神疾病的关系密切<sup>[72,73]</sup>。未来研究在关注正常发育

个体的创造性发展以外, 应尝试从发展的角度探明创造性发展与精神疾病的关系, 这有利于高创造性个体的筛选和疾病的预防。

(6) 研究成果的应用转化。将已有的科学研究成果应用于实践, 是科学研究的最终目的。创造性教育模式、拔尖人才的培养和成长规律等是心理学界和教育界共同关注的热点问题<sup>[1]</sup>。探讨有利于创造性发展的学校教育政策的改革措施、高创造性人才的筛选与培养、企业员工创造性的激发、国家鼓励创新的政策建议等都是未来重要的研究方向。

## 4 创造性发展神经科学国内发展路线图

当前国际形势日趋复杂, 国家自主创新是摆在发展面前的首要问题。探明创造性发展的神经生理机制, 并有效促进国民创造性的发展是关系国家未来发展的重要课题。国际上许多组织与机构尝试通过建立多表型、多中心、多模态、大样本的数据库探讨儿童青少年的认知发展及大脑发育的规律<sup>[74]</sup>, 例如, 青少年大脑认知发展研究(Adolescent Brain Cognitive Development, ABCD)、人类连接组毕生发展项目(Lifespan Human Connectome Project in Development, HCP-D)、内森-克莱恩研究所-洛克兰样本(The Nathan Kline Institute-Rockland Sample, NKI-RS)等<sup>[75-77]</sup>。这些开放的数据库加速了发展神经科学的发展。我国在创造性发展神经科学方面的研究面临着机遇与挑战。一方面, 国内在创造性神经基础的研究和创造性发展的行为研究方面具有一定的基础, 在研究方法和实验范式上具有一定的优势, 在国内外具有一定的影响力。另一方面, 国内在创造性毕生发展神经基础研究方面较为缺乏, 在研究资源整合、多学科交叉融合等方面仍存在局限。未来国内应在以下几个方面规划发展路线(图1)。

首先, 建立全国范围的数据库。数据库应当具备以下特点: 覆盖全国多地区、被试量丰富、年龄跨度广泛、包含多种模态的影像学和遗传学数据、以创造性为核心的多种行为指标、兼顾横断数据和纵向数据。数据库的建立将为创造性发展神经科学的发展奠定基础。研究者可利用数据库展开大样本研究, 同时, 能够利用不同站点的数据, 对研究结果进行验证。此外, 多样性的数据库能够提供更多的角度探讨创造性发展的



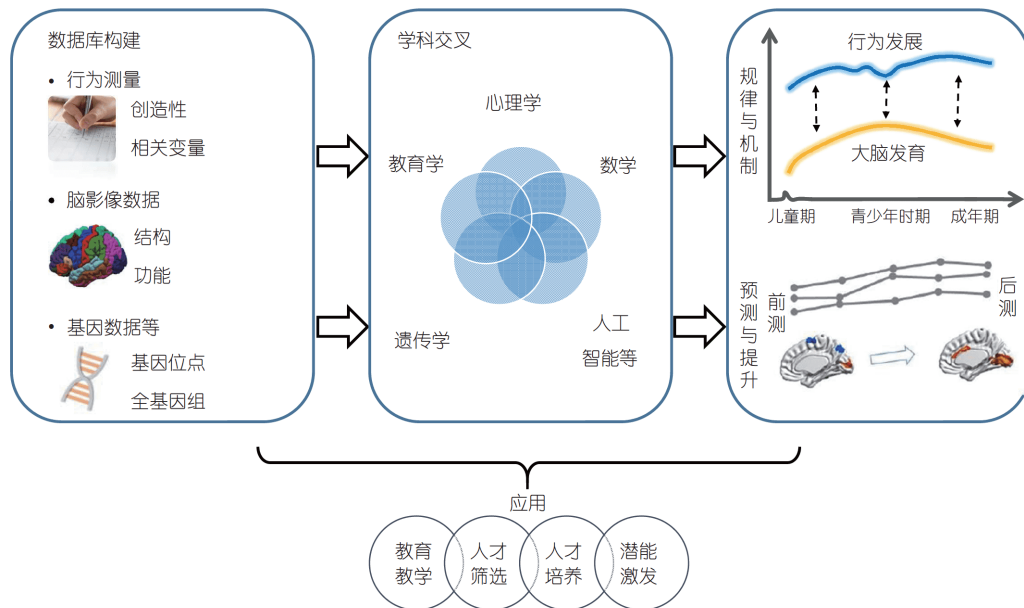


图 1 创造性发展神经科学研究内容(网络版彩图)

Figure 1 Research content of the developmental neuroscience of creativity (color online)

神经基础。

其次,多领域、多学科、多种研究取向交叉结合。例如,对于创造性的遗传基础的问题,通过心理学与遗传学的结合,找出创造性相关的基因靶点及其基因表达基础,进而通过对个体行为的纵向追踪,研究基因对个体创造性纵向发展的影响。对于创造性提升的问题,使用神经影像学方法定位关键大脑区域,进而通过经颅电刺激技术或经颅磁刺激的方法,实现神经干预,进而探讨创造性提升与神经活动的因果关系。以创造性发展神经科学为核心,通过心理学、数学、人工智能、医学、遗传学等多学科交叉融合,结合多种技术和方法,从认知心理学、实验心理学、神经生物学等多个取向<sup>[1]</sup>,探讨创造性的发展规律及其神经生理基础,明确关键发展阶段,并实现有效干预与提升。

再次,展开跨文化研究。中华民族在漫长历史中形成了独特的创新文化<sup>[1]</sup>。由于受到传统文化和社会氛围的影响,中国人在许多方面存在特异性。通过跨文化研究,探讨中国人特有的创造性发展轨迹,有利于

结合具体情况,探索适用中国人的创造性发展的策略。

最后,着眼实际应用。结合教育学和管理学方法,将实验室研究应用于实践。例如,创造性大脑基础和遗传学基础的研究结论可用于高创造性个体的选拔。创造性发展轨迹的研究结论可用于确定创造性发展的关键期,进而有利于在发展关键期实施激励与培养。提升创造性的实验室方法可在教育实践中予以改进,融入教师教学理念当中,进而实现创造性教学。然而成果转化的实现仍存在一些困难。例如,大规模的影像学和遗传学数据的获取对大型设备的依赖性较强,教育实践中系统化的应用难以统一,容易形成多元分散化的创造性教学模式等。未来可通过技术的革新降低数据采集的难度,也可以通过编制应用于教育实践的系列指南系统化创造性教育。通过实验室研究和实践的融合,探讨教育教学和人才管理中创造性的激发与培养,充分调动个体发挥其创造性潜能,培养高创造性的人才,使创造性思维转化为真正的创新成果。

## 参考文献

- 1 Lin C D. Creative Psychology (in Chinese). Beijing: Beijing Normal University Press, 2018 [林崇德. 创造性心理学. 北京: 北京师范大学出版社, 2018]

- 2 Runco M A, Jaeger G J. The standard definition of creativity. *Creat Res J*, 2012, 24: 92–96
- 3 Sternberg R J, Lubart T I. Investing in creativity. *Psychol Inquiry*, 1996, 4: 229–232
- 4 Dong Q. Developmental Psychology of Children's Creativity (in Chinese). Hangzhou: Zhejiang Education Press, 1993 [董奇. 儿童创造力发展心理. 杭州: 浙江教育出版社, 1993]
- 5 Zhang Q, Shi J N. Trend and current state of research on gifted child (in Chinese). *Chin Mental Health J*, 2005, 19: 685–687 [张琼, 施建农. 超常儿童研究现状与趋势. 中国心理卫生杂志, 2005, 19: 685–687]
- 6 Shi J N, Xu F. Developmental Psychology of Extraordinary Children (in Chinese). Hefei: Anhui Education Press, 2004 [施建农, 徐凡. 超常儿童发展心理学. 合肥: 安徽教育出版社, 2004]
- 7 Bijvoet-van den Berg S, Hoicka E. Individual differences and age-related changes in divergent thinking in toddlers and preschoolers. *Dev Psychol*, 2014, 50: 1629–1639
- 8 Hoicka E, Mowat R, Kirkwood J, et al. One-year-olds think creatively, just like their parents. *Child Dev*, 2016, 87: 1099–1105
- 9 Torrance E P. Understanding the Fourth Grade Slump in Creative Thinking. Washington: U.S. Office of Education, 1967
- 10 Lau S, Cheung P C. Developmental trends of creativity: what twists of turn do boys and girls take at different grades? *Creat Res J*, 2010, 22: 329–336
- 11 Claxton A F, Pannells T C, Rhoads P A. Developmental trends in the creativity of school-age children. *Creat Res J*, 2005, 17: 327–335
- 12 Yi X, Hu W, Plucker J A, et al. Is there a developmental slump in creativity in China? The relationship between organizational climate and creativity development in Chinese adolescents. *J Creat Behav*, 2013, 47: 22–40
- 13 Charles R E, Runco M A. Developmental trends in the evaluative and divergent thinking of children. *Creat Res J*, 2001, 13: 417–437
- 14 Kleibeuker S W, De Dreu C K W, Crone E A. The development of creative cognition across adolescence: distinct trajectories for insight and divergent thinking. *Dev Sci*, 2013, 16: 2–12
- 15 Shen J L, Wang X, Shi B G. A study on the structure and development of adolescents' creative tendencies (in Chinese). *Psychol Dev Educ*, 2005, 21: 28–33 [申继亮, 王鑫, 师保国. 青少年创造性倾向的结构与发展特征研究. 心理发展与教育, 2005, 21: 28–33]
- 16 Nie Y G, Zheng X. A study on the developmental characteristics of children's and adolescent's creative personality (in Chinese). *Psychol Sci*, 2005, 28: 356–361 [聂衍刚, 郑雪. 儿童青少年的创造性人格发展特点的研究. 心理科学, 2005, 28: 356–361]
- 17 Besançon M, Lubart T. Differences in the development of creative competencies in children schooled in diverse learning environments. *Learn Individ Differ*, 2008, 18: 381–389
- 18 Chang Y L, Chen H C, Wu I C, et al. Developmental trends of divergent thinking and feeling across different grades for Taiwanese adolescence between 1990's and 2010's. *Think Skills Creat*, 2017, 23: 112–128
- 19 Esquivel G B. Teacher behaviors that foster creativity. *Educ Psychol Rev*, 1995, 7: 185–202
- 20 Han Q, Hu W P, Jia X J. The influence of the group member construction of peer interaction on the primary school students' creative problem finding (in Chinese). *Psychol Sci*, 2013, 36: 417–423 [韩琴, 胡卫平, 贾小娟. 同伴互动小组结构对小学生创造性问题提出的影响. 心理科学, 2013, 36: 417–423]
- 21 Zhang J H, Li J Q, Zheng X M, et al. On the relationship between middle school students' parenting styles and creative thinking: The mediating role of self-concept (in Chinese). *Stud Psychol Behav*, 2014, 12: 145–150 [张景焕, 李建全, 郑雪梅, 等. 父母教养方式对初中生创造思维的影响: 自我概念的中介作用. 心理与行为研究, 2014, 12: 145–150]
- 22 Shi B G, Shen J L. The relationships among family SES, intelligence, intrinsic motivation and creativity (in Chinese). *Psychol Dev Educ*, 2007, 23: 30–34 [师保国, 申继亮. 家庭社会经济地位、智力和内部动机与创造性的关系. 心理发展与教育, 2007, 23: 30–34]
- 23 Hu W P, Wang X Q. Effects of different emotion states on adolescents' creative scientific problem finding (in Chinese). *Psychol Sci*, 2010, 33: 608–611 [胡卫平, 王兴起. 情绪对创造性科学问题提出能力的影响. 心理科学, 2010, 33: 608–611]
- 24 Li H Y, Hu W P, Shen J L. School environment effects on the relations between adolescents' personality and creative scientific problem finding. *Psychol Sci*, 2010, 33: 1154–1158 [李海燕, 胡卫平, 申继亮. 学校环境对初中生人格特征与创造性科学问题提出能力关系的影响. 心理科学, 2010, 33: 1154–1158]
- 25 Lu J M, Liu W, He W, et al. The influence of the students mood on their creativity (in Chinese). *Acta Psychol Sin*, 2002, 34: 381–386 [卢家楣, 刘伟, 贺雯, 等. 情绪状态对学生创造性的影响. 心理学报, 2002, 34: 381–386]
- 26 Cole D G, Sugioka H L, Yamagata-lynch L C. Supportive classroom environments for creativity in higher education. *J Creat Behav*, 1999, 33: 277–293



- 27 Niu W H. Individual and environmental influences on Chinese student creativity. *J Creat Behav*, 2007, 41: 151–175
- 28 Dai D Y, Tan X, Marathe D, et al. Influences of social and educational environments on creativity during adolescence: Does SES matter? *Creat Res J*, 2012, 24: 191–199
- 29 Robinson J R, Freeburg B W, Workman J. Family environment and creativity in fashion design students. *Int J Fashion Des Tech Educ*, 2013, 6: 200–209
- 30 Reese H W, Lee L J, Cohen S H, et al. Effects of intellectual variables, age, and gender on divergent thinking in adulthood. *Int J Behav Dev*, 2001, 25: 491–500
- 31 Palmiero M, Di Giacomo D, Passafiume D. Divergent thinking and age-related changes. *Creat Res J*, 2014, 26: 456–460
- 32 Hui A N N, Yeung D Y, Sue-Chan C, et al. Gains and losses in creative personality as perceived by adults across the life span. *Dev Psychol*, 2014, 50: 709–713
- 33 Fisher B J, Specht D K. Successful aging and creativity in later life. *J Aging Stud*, 1999, 13: 457–472
- 34 Cohen G D, Perlstein S, Chapline J, et al. The impact of professionally conducted cultural programs on the physical health, mental health, and social functioning of older adults. *Gerontologist*, 2006, 46: 726–734
- 35 Greaves C J, Farbus L. Effects of creative and social activity on the health and well-being of socially isolated older people: outcomes from a multi-method observational study. *J R Soc Promot Health*, 2006, 126: 134–142
- 36 Cohen G D, Perlstein S, Chapline J, et al. The impact of professionally conducted cultural programs on the physical health, mental health, and social functioning of older adults—2-year results. *J Aging Hum Arts*, 2007, 1: 5–22
- 37 Runco M A. *Creativity: Theories and Themes: Research, Development, and Practice*. New York: Academic Press, 2006
- 38 Bechtereva N P, Korotkov A D, Pakhomov S V, et al. PET study of brain maintenance of verbal creative activity. *Int J Psychophysiol*, 2004, 53: 11–20
- 39 Chávez-Eakle R A, Graff-Guerrero A, García-Reyna J C, et al. Cerebral blood flow associated with creative performance: a comparative study. *NeuroImage*, 2007, 38: 519–528
- 40 Fink A, Benedek M. EEG alpha power and creative ideation. *Neurosci Biobehav Rev*, 2014, 44: 111–123
- 41 Folley B S, Park S. Verbal creativity and schizotypal personality in relation to prefrontal hemispheric laterality: a behavioral and near-infrared optical imaging study. *Schizophr Res*, 2005, 80: 271–282
- 42 Jung R E, Gasparovic C, Chavez R S, et al. Biochemical support for the “Threshold” theory of creativity: a magnetic resonance spectroscopy study. *J Neurosci*, 2009, 29: 5319–5325
- 43 Boccia M, Piccardi L, Palermo L, et al. Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity. *Front Psychol*, 2015, 6: 1195
- 44 Lin J, Cui X, Dai X, et al. Neural correlates of creative insight: Amplitude of low-frequency fluctuation of resting-state brain activity predicts creative insight. *PLoS ONE*, 2018, 13: e0203071
- 45 Beaty R E, Benedek M, B Kaufman S, et al. Default and executive network coupling supports creative idea production. *Sci Rep*, 2015, 5: 10964
- 46 Beaty R E, Benedek M, Silvia P J, et al. Creative cognition and brain network dynamics. *Trends Cogn Sci*, 2016, 20: 87–95
- 47 Ellamil M, Dobson C, Beeman M, et al. Evaluative and generative modes of thought during the creative process. *NeuroImage*, 2012, 59: 1783–1794
- 48 Jung R E, Mead B S, Carrasco J, et al. The structure of creative cognition in the human brain. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 330
- 49 Jiao B, Zhang D, Liang A, et al. Association between resting-state brain network topological organization and creative ability: Evidence from a multiple linear regression model. *Biol Psychol*, 2017, 129: 165–177
- 50 Sun J, Liu Z, Rolls E T, et al. Verbal creativity correlates with the temporal variability of brain networks during the resting state. *Cereb Cortex*, 2019, 29: 1047–1058
- 51 Shi L, Beaty R E, Chen Q, et al. Brain entropy is associated with divergent thinking. *Cereb Cortex*, 2020, 30: 708–717
- 52 Beaty R E, Kenett Y N, Christensen A P, et al. Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115: 1087–1092
- 53 Chen Q, Beaty R E, Wei D, et al. Longitudinal alterations of frontoparietal and frontotemporal networks predict future creative cognitive ability. *Cereb Cortex*, 2018, 28: 103–115
- 54 Fink A, Benedek M, Koschutnig K, et al. Training of verbal creativity modulates brain activity in regions associated with language- and memory-

- related demands. *Hum Brain Mapp*, 2015, 36: 4104–4115
- 55 Fink A, Grabner R H, Benedek M, et al. Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization. *Eur J Neurosci*, 2006, 23: 2241–2246
- 56 Saggat M, Quintin E M, Bott N T, et al. Changes in brain activation associated with spontaneous improvisation and figural creativity after design-thinking-based training: a longitudinal fMRI study. *Cereb Cortex*, 2016, 27: 3542–3552
- 57 Sun J, Chen Q, Zhang Q, et al. Training your brain to be more creative: brain functional and structural changes induced by divergent thinking training. *Hum Brain Mapp*, 2016, 37: 3375–3387
- 58 Schlegel A, Alexander P, Fogelson S V, et al. The artist emerges: visual art learning alters neural structure and function. *NeuroImage*, 2015, 105: 440–451
- 59 Kleibeuker S W, Koolschijn P C M P, Jolles D D, et al. Prefrontal cortex involvement in creative problem solving in middle adolescence and adulthood. *Dev Cogn Neurosci*, 2013, 5: 197–206
- 60 Kleibeuker S W, Koolschijn P C M P, Jolles D D, et al. The neural coding of creative idea generation across adolescence and early adulthood. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7: 905
- 61 Cousijn J, Koolschijn P C M P, Zanolie K, et al. The relation between gray matter morphology and divergent thinking in adolescents and young adults. *PLoS ONE*, 2014, 9: e114619
- 62 Kleibeuker S W, Stevenson C E, van der Aar L, et al. Training in the adolescent brain: An fMRI training study on divergent thinking. *Dev Psychol*, 2017, 53: 353–365
- 63 Cousijn J, Zanolie K, Munsters R J M, et al. The relation between resting state connectivity and creativity in adolescents before and after training. *PLoS ONE*, 2014, 9: e105780
- 64 Saggat M, Xie H, Beaty R E, et al. Creativity slumps and bumps: Examining the neurobehavioral basis of creativity development during middle childhood. *NeuroImage*, 2019, 196: 94–101
- 65 Benedek M, Jauk E, Sommer M, et al. Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence*, 2014, 46: 73–83
- 66 Zhang J H, Zhang Z M, Zhang S, et al. The genetic basis of creativity in dopamine and 5-hydroxytryptamine pathway and the moderating effect of family environment (in Chinese). *Adv Psychol Sci*, 2015, 23: 1489–1498 [张景焕, 张子木, 张舜, 等. 多巴胺、5-羟色胺通路相关基因及家庭环境对创造力的影响及其作用机制. *心理科学进展*, 2015, 23: 1489–1498]
- 67 Power R A, Steinberg S, Bjornsdottir G, et al. Polygenic risk scores for schizophrenia and bipolar disorder predict creativity. *Nat Neurosci*, 2015, 18: 953–955
- 68 Gong Z, Liu C, Shen W B. Several thoughts on measuring creativity (in Chinese). *Adv Psychol Sci*, 2016, 24: 31–45 [贡喆, 刘昌, 沈汪兵. 有关创造力测量的一些思考. *心理科学进展*, 2016, 24: 31–45]
- 69 Dietrich A, Kanso R. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychol Bull*, 2010, 136: 822–848
- 70 Luo J, Niki K. Function of hippocampus in “insight” of problem solving. *Hippocampus*, 2003, 13: 316–323
- 71 Wu X, Yang W, Tong D, et al. A meta-analysis of neuroimaging studies on divergent thinking using activation likelihood estimation. *Hum Brain Mapp*, 2015, 36: 2703–2718
- 72 Healey D, Rucklidge J J. An investigation into the relationship among ADHD symptomatology, creativity, and neuropsychological functioning in children. *Child Neuropsychol*, 2006, 12: 421–438
- 73 Li Y D, Huang H, Yang W J, et al. A unified framework of the “Genes-Brain-Environment-Behavior” for the relation between creativity and psychopathology (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 1233–1249 [李亚丹, 黄晖, 杨文静, 等. “基因-脑-环境-行为”框架下创造力与精神疾病的关系及大数据背景下的研究展望. *科学通报*, 2016, 61: 1233–1249]
- 74 Rosenberg M D, Casey B J, Holmes A J. Prediction complements explanation in understanding the developing brain. *Nat Commun*, 2018, 9: 589
- 75 Auchter A M, Hernandez Mejia M, Heyser C J, et al. A description of the ABCD organizational structure and communication framework. *Dev Cogn Neurosci*, 2018, 32: 8–15
- 76 Somerville L H, Bookheimer S Y, Buckner R L, et al. The Lifespan Human Connectome Project in Development: A large-scale study of brain connectivity development in 5–21 year olds. *NeuroImage*, 2018, 183: 456–468
- 77 Nooner K B, Colcombe S J, Tobe R H, et al. The NKI-rockland sample: A model for accelerating the pace of discovery science in psychiatry. *Front Neurosci*, 2012, 6: 152



## Developmental neuroscience of creativity: the future path and layout

SUN JiangZhou<sup>1,2,3</sup>, HE Li<sup>2,3</sup>, WEI DongTao<sup>2,3</sup>, YANG WenJing<sup>2,3</sup>, CHEN QunLin<sup>2,3</sup>,  
ZUO XiNian<sup>4</sup> & QIU Jiang<sup>2,3</sup>

*1 Center for Studies of Education and Psychology of Ethnic Minorities in Southwest China of Southwest University, Chongqing 400715, China;*

*2 Key Laboratory of Cognition and Personality (SWU), Ministry of Education, Chongqing 400715, China;*

*3 Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China;*

*4 State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*

In the current era, it is urgent to explore the underlying cognitive mechanism of creativity, grasp the development trajectory of creativity, explore effective methods to stimulate individual creativity, and clarify the cultivation and selection of innovative talents by combining the neuroimaging methods. There are different stages in the development of creativity. It begins to sprout in infancy and develops rapidly in childhood and adolescence, showing a fluctuating development. When entering adulthood, the development of creativity is relatively flat. It has a significant downward trend in the early stage of old age, and then basically remains stable. So far, the research of the neural basis of creativity focuses on the early adulthood, locating the brain region and brain network related to creativity, but the neural basis of creative development is unclear. Based on the previous research about the development of creativity, this paper focused on analyzing the opportunities and challenges faced in China, and put forward the future development plan and roadmap.

**creativity, development, neuroscience, roadmap**

**doi:** [10.1360/SSV-2020-0259](https://doi.org/10.1360/SSV-2020-0259)