

# 智力的遗传基础及其研究方法<sup>\*</sup>

童一<sup>1</sup> 甄宗雷<sup>1</sup> 卜勇<sup>1,2</sup> 刘嘉<sup>1,2</sup>

(1 认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京师范大学, 北京 100875

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 智力是人们生活中最为重要的能力之一, 也是人们关注的焦点, 从古至今人类从未停止对智力的研究。大量研究表明, 智力是由遗传因素和环境因素共同决定的。近年来新兴的分子遗传学技术和功能脑成像等技术, 为探索智力的遗传基础提供了有力的工具。使用这些技术, 可定量研究遗传对智力的影响, 探索遗传影响智力的潜在神经机制, 揭开智力的基因编码, 从而为人类更好的发展、利用自己的智力提供新的可能。行为遗传学、行为基因组学和影像遗传学研究分别从宏观、微观和中间三个层次为揭开智力的遗传基础提供了信息。研究结果表明, 存在一组特定基因与智力具有显著关联, 它们通过影响多个脑区的结构和功能, 进而共同作用于各个认知过程来影响智力。通过总结和回顾已有研究, 可以为研究知觉、注意、人格等其他认知功能的遗传基础提供到借鉴作用, 并能够为社会经济等领域提供一些指导性意见。

**关键词:** 行为遗传学; 行为基因组学; 影像遗传学; 智力

**中图分类号:** Q3-0 **文献标识码:** A

## 引言

探索人类心智的基础一直是科学中最激动人心的课题之一。随着科学的发展, 心智的奥秘存在于大脑中已是不争的事实。另一方面, 现代生命科学向我们揭示了生命的蓝图存在于 DNA 的编码中, 生物体一切结构和功能的形成都始于 DNA 的转录和表达。那么, DNA 是如何塑造我们的大脑, 又在何种程度上、以什么方式决定了人类心智的各种特征呢? 对于心智和基因关系的研究已成为当前心理学与遗传学领域的研究热点, 其中智力的遗传基础是该领域的典型课题。

人类进行高级心理过程的能力被称作认知能力, 包括推理、记忆、理解和问题解决能力等。研究者发现这些认知能力之间存在中度相关, 它们的共同核心成分被称为一般认知能力, 也称为智力。作为多种认知能力的核心部分, 智力的遗传基础一直是人类心智能力遗传研究中的核心课题。当前, 按研究层次不同, 可从宏观层次、微观层次及介于宏观和微观之间的中间层次, 利用行为遗传学、行为基因组学和影像遗传学的研究手段和方法对智力的遗传性进行研究, 如图 1 所示<sup>[1]</sup>。下文将从这三个层次对智力研究的遗传学方法及取得的成果进行回顾。

收稿日期: 2008-04-22 修订日期: 2008-05-23

<sup>\*</sup> 本基金项目受国家自然科学基金委杰出青年科学基金(30325025)和科技部 973 计划前期研究专项(2007CB516703)资助。

**通讯作者简介:** 刘嘉 (1972 - ), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为客体识别的神经机制, 以及遗传和环境对其的调控。在研究内容上, 主要涉及客体识别的时间过程, 客体的多层次表征, 以及参与客体识别脑功能区的可塑性。在研究方法上, 主要采用脑成像 (功能磁共振成像和脑磁图等)、遗传学 (行为遗传学和分子遗传学) 以及心理物理学等多种技术。E-mail: liujia@bnu.edu.cn

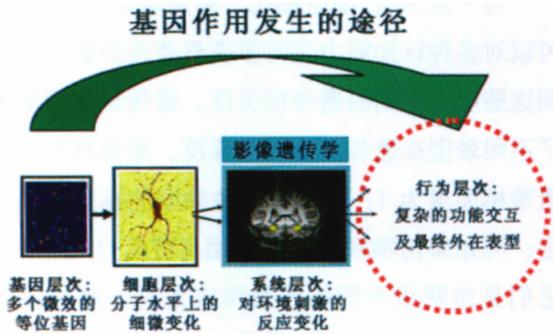


图1 基因作用发生的途径是从微观到宏观,从这个角度可以把智力的遗传研究分为三个层次。(资料来源:文献[1])

### 1 行为遗传学

行为遗传学 (behavior genetics) 是研究行为和遗传之间关系的科学。在个体间表现为连续变异的性状称为数量性状, 行为遗传学一般通过测量人类智力或某方面认知能力作为数量性状, 来研究它的遗传特性。其主要研究方法包括数量性状的遗传度计算和 ACE 模型分析等。

#### 1.1 遗传度

遗传度就是用一定的数值来表示遗传因素在表型变异中所起作用的大小<sup>[2]</sup>。一种数量性状, 比如智力, 受遗传影响越大, 则遗传度越高, 相反, 受环境因素作用越大, 遗传度就越低。如果表型变异完全取决于遗传因素, 则其遗传度为 100%, 而若表型变异完全是由环境因素造成的, 则遗传度等于 0。

估算遗传度的方法有多种, 采用双生子设计估算遗传度是最常用的方法。在双生子中, 由同一受精卵分裂成两个胚胎并分别发育而成的称为同卵双生子, 由两个不同的受精卵发育而成的称为异卵双生子。研究中常常使用 DNA 标记法或问卷筛选法来确定双生子属于同卵还是异卵, 同卵双生子具有完全相同的基因, 异卵双生子平均具有 50% 的相同基因。遗传度数值  $h^2$  等于同卵双生子

的表型相关度  $r_{MZ}$  与异卵双生子的表型相关度  $r_{DZ}$  之差的 2 倍<sup>[3]</sup>, 即:  $h^2=2 \times (r_{MZ}-r_{DZ})$ 。

利用遗传度的概念和研究方法, Beaujean 于 2004 年对 12 篇研究智力的遗传度的文章进行了元分析<sup>[4]</sup>。这 12 项研究中使用的双生子数目从同卵和异卵各 12 对到各 300 余对不等, 年龄范围从 6 岁到 70 岁。综合这些研究发现, 信息处理速度的遗传度在 0.3- 0.5 这个范围内, 而且越复杂的认知任务表现出来的遗传度越高。同时, 在智力的遗传度和年龄关系的研究中也得到了一些令人惊讶的结果。多项研究均发现双生子智力相关度随年龄增长而变化的趋势<sup>[5]</sup>。图 2 中给出了 McGue 1993 年总结多项双生子研究得到的智力相关度和年龄的关系图。从图中可见, 同卵和异卵双生子在智力相关度上的差别随年龄增长有显著增加, 这说明遗传对智力的影响会随年龄增长而增加。对这个结果, 一种可能的解释是, 影响智力的基因到了一定的发展阶段才开始表达; 另一种可能的解释是, 生命早期表达的一些基因所造成的影响, 在之后的生活中造成了滚雪球式的效应, 表现为越来越明显的表型差异, 或者通过影响其周围环境而得到反馈性的增强<sup>[6]</sup>。

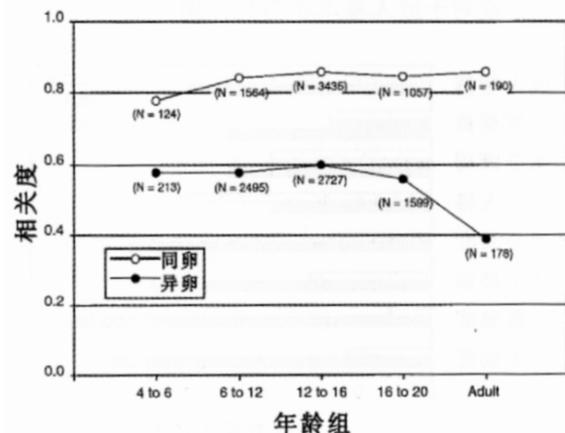


图2 同卵双生子与异卵双生子的智力相关度随年龄的变化。(资料来源:文献[5])

### 1.2 ACE 模型

尽管通过遗传度估计可以对智力的遗传性进行研究,但无法进一步考察遗传和环境的交互对智力的影响。ACE 模型通过对遗传因素 A、共同环境因素 C、个体环境因素 E 的分别计算,可进一步指出一种表型的变异中有多大比例源于遗传,以及有多大比例分别源于共同环境和个体环境<sup>[3]</sup>。对于一元数量性状,ACE 模型的基本原理如下:成长在同一家族的同卵双生子,他们的基因和受到的共同环境因素的影响都是相同的,因此他们的表型相关度等于 A+C 的值,他们之间的任何差异都来源于个体环境因素 E。异卵双生子平均具有 50% 的相同基因,也受到全部的共同环境因素影响,因此异卵双生子之间的表型相关度等于 1/2A+C。从以上的关系中即可推算出 A、C、E 三者的值: $A = 2 \times (r_{MZ} - r_{DZ})$ ,  $C = r_{MZ} - A$ ,  $E = 1 - r_{MZ}$ 。而对于多元数量性状,ACE 模型可基于多元数量性状的协方差矩阵,利用极大似然估计,计算得到 A、C、E 值。

利用一元 ACE 模型,McGuffin 等人对智商、阅读障碍、人格特征等行为表型进行了分析<sup>[7]</sup>,结果如图 3 所示。从图中可看到成人智商中的遗传因素所占比例比儿童智商更高,与利用遗传度所得到的结果类似。更重要的是,随着年龄的增长,共同环境因素对于成人基本不再起作用。

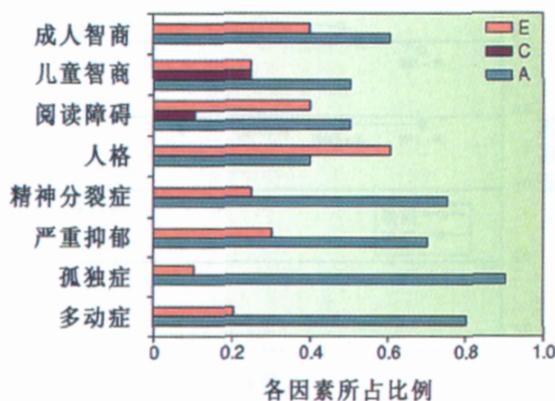


图 3 通过 ACE 模型计算出的遗传和两种环境成分对各种行为表型的影响。(资料来源:文献[7])

与一元 ACE 模型相比,采用多元 ACE 模型可以对多种认知能力进行多变量遗传分析,并得到这些能力之间的遗传相关度。遗传相关度衡量了不同表型在遗传上的相关程度,若两种表型的遗传相关度为 1,说明它们由共同的基因遗传决定;而如果两种表型的遗传相关度为 0,则说明它们是由两组不同基因遗传决定的。利用多元 ACE 模型,最近的研究结果表明不同的认知过程的遗传是由同一群基因所调控的。Petrill 等人于 1997 年使用多变量遗传分析发现<sup>[8]</sup>,虽然各种特异性认知能力的遗传度都是中等,它们之间也只有中度相关,但是它们之间的遗传相关度接近 1.0。这表明,如果发现一个与某种认知能力相关的基因,比如空间能力,它也会影响其他的认知能力,比如语言能力和记忆力。这也说明了,不同种类的特异性认知能力之间的共同成分主要来自遗传,而它们之间的不同主要来自环境。Plomin 等人 2002 年结合了 Sternberg 的记忆扫描任务和 Posner 的字母匹配任务,用潜在双变量遗传分析方法来处理行为数据。结果发现,对两种任务的双变量遗传分析得到了 0.84 的遗传相关度,表明这两种任务有着很高的内在基因重叠<sup>[9]</sup>。也就是说,虽然智力涉及到多个不同的认知过程,它们却都与某一组特定的基因有着密切的关系。这些与智力相关的基因在大脑中的效应是普遍的,它们可能影响到大脑中的多个区域,而并非特异地对应于个别或少数的认知模块。

上述的行为遗传学研究说明存在着一组与智力相关的基因,但它无法提供有关这些基因的具体位置和序列的信息,而这方面的问题属于行为基因组学的研究范畴。

## 2 行为基因组学

行为基因组学从分子层次上研究行为和遗传的

关系,其目的是找出对特定行为变异有贡献的基因,并且衡量它们的效应大小。一般把数量性状对应的基因称为数量性状位点(Quantitative Trait Locus)。智力的行为基因组学研究就是找到与智力相关的数量性状位点。目前主要有两种方法来对数量性状位点进行定位,它们分别是连锁分析和关联分析。

### 2.1 连锁分析

连锁分析的原理是利用细胞在减数分裂过程中,同一染色单体上相隔越近的两个位点间的重组率越低这个性质,来定位特定的数量性状位点。研究中通常使用取血或者取口腔上皮细胞的方式,获取具有感兴趣表型的家族成员的DNA,然后分析各个遗传标记在亲代和子代DNA上的分布状况。当家族成员身上的一些遗传标记的分布状况与感兴趣表型的分布状况一致,即表明该遗传标记处在感兴趣表型对应的基因附近,可以通过遗传标记的位置指示出感兴趣基因的位置。

利用连锁分析,当前研究已经对一些与智力相关的数量性状位点进行了初步定位。Luciano等人2006年对人的全基因组进行了连锁分析,结果如图4所示,在2号染色体长臂上找到了一些与言语智商、操作智商和总智商相关的基因<sup>[10]</sup>。另外,Wainwright等人发现18号染色体上有与阅读能力相关的基因<sup>[11]</sup>;Singer等人发现12号染色体长臂上有与前瞻性记忆相关的基因<sup>[12]</sup>;Buyske等人发现11号染色体长臂和14号染色体长臂上有与数字操作能力相关的基因<sup>[13]</sup>。

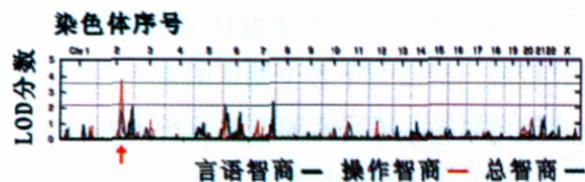


图4 全基因组连锁分析图谱。横坐标是1-23号染色体(即X染色体)及染色体上的大致位置,纵坐标是LOD分数,它表示该位置包含的基因与智商之间关联的程度。(资料来源:文献<sup>[10]</sup>)

连锁分析虽然可以用于探测效应比较明显的数量性状位点,但是对效应较弱的基因的敏感性却不是很高,而关联分析在这方面有优势。

### 2.2 关联分析

关联分析是一种能比连锁分析更加敏感地对微效的数量性状位点进行定位的方法。它通过扫描每个被试的整个基因组里的遗传标记,来寻找被试之间的遗传差异与某些表型之间的关系。与连锁分析相比,这种方法需要较多数量的被试,被试间没有亲缘关系。

进行关联分析,需要两组被试。他们在感兴趣的表型上有差异,而在其他方面都相似。如果某个遗传标记的变异在具有感兴趣表型的被试中的存在频率显著高于不具有该表型的被试,则说明这种变异与该表型有关联。这些被关联的遗传标记的变异位点能有效地指出与感兴趣表型相关的基因在染色体上的位置。但是遗传标记本身可能并不属于与该表型有关的基因,而只是在实际基因所在的大概位置上做出了记号。为进一步对基因进行定位,一般需要对局部基因组片段进行进一步测序,来找出导致特定表型的精确序列。

通过使用关联分析,当前研究也在智力的基因组学研究中取得了极大的进展。2001年,Morley和Montgomery在一篇综述里列出了70多个可能与人类认知能力有关的基因<sup>[14]</sup>。2004年,Tsai等人对114名健康女童进行了全基因组关联分析,寻找与智力相关的基因<sup>[15]</sup>,发现脑源性神经营养因子(BDNF)第66位上的缬氨酸/蛋氨酸变异与IQ测验得分有显著相关。带有两个缬氨酸密码子的等位基因的个体的智商测验得分显著高于带有一个缬氨酸密码子和一个蛋氨酸密码子的等位基因的个体。Plomin等人2006年进行了针对智力的全基因组关联分析,发现影响

智力的基因数目非常多,而每个基因对智力的影响都在 0.5% 以下<sup>[16]</sup>,说明智力是受到众多基因以及它们之间复杂的交互过程共同作用的。这些基因中常被关注的主要有 COMT、5-HTT 等 8 种与神经递质相关的基因, BDNF 等 4 种与大脑发育相关的基因,还有 APOE 这种与阿尔茨海默氏症相关的基因。

### 3 影像遗传学

行为基因组学的研究发现了许多对智力有影响的数量性状位点,但是这些影响通常较弱,通常需要大量的被试,才能通过行为基因组学的统计方法检验出来。而大脑是行为的生物基础,基因只有通过影响大脑的结构或功能才能进而调控人的行为,因而利用新近发展而来的脑成像技术来研究基因的变异在人脑结构或功能上的反映,可减少环节过多带来的干扰,从而提高搜寻基因的效力和减少被试数量。与传统的外在行为表型相对,这些反映在脑结构或功能上的特征被称为“内表型”,而这种结合脑成像技术与行为遗传学或者行为基因组学来研究认知功能遗传性的新兴学科被称为影像遗传学。影像遗传学研究一般需要使用神经影像技术(如 MRI, PET 等)来获取内表型,并结合双生子遗传分析和基因组研究,以及认知能力测验等方法,来探索大脑、基因和智力这三者之间的关系。

利用影像遗传学方法对认知功能的遗传性进行研究,关键在于挑选出合适的内表型。Geus 等人 2001 年提出了以下一些用于确定内表型的标准<sup>[17]</sup>:

- 1) 具有可靠性和稳定性;
- 2) 具有一定的遗传度;
- 3) 与感兴趣的认知特征相关;

4) 与认知特征之间的相关有一部分来自遗传因素;

5) 与认知特征之间的相关具有心理学意义。

使用神经影像获取与认知功能相关的内表型,从具体方法上大致可以分为三类<sup>[18]</sup>:

1) 采用高分辨率结构脑成像技术,来测量全脑或者局部脑区的结构信息,如体积和灰质、白质密度,纤维束的特征等,作为内表型特征;

2) 采用特定成像技术(如 PET, MRS) 测量在特定状态下局部脑组织的新陈代谢作为内表型特征;

3) 采用功能脑成像技术(fMRI, PET) 来测量功能状态下脑区的激活和连接状况作为内表型特征。

研究结果发现,全脑体积具有很高的遗传度<sup>[19]</sup>,且全脑体积和智力测验分数之间存在着显著相关<sup>[20]</sup>。Posthuma 等人 2002 年研究了各个皮层的灰白质总体积,结果表明遗传因素能够通过影响这些脑组织的体积来影响智力<sup>[21]</sup>。其他研究结果表明高遗传度的脑区主要包括负责注意、语言、视觉等功能的区域<sup>[22]</sup>。Hulshoff Pol 等人 2006 年研究了更加精细的大脑结构,发现一些区域的灰质和白质密度与智力具有共同的遗传基础<sup>[23]</sup>。他们使用了 54 对同卵双生子和 58 对异卵双生子以及他们的 34 位兄弟姐妹作为被试,采用结构方程模型和基于体素的形态学数据进行遗传分析,并分析每一对双生子各个脑区的灰、白质密度与测量得到的言语智商和非言语智商之间的相关。结果发现上枕额纤维束、胼胝体、左侧视辐射处的白质,以及额叶、枕叶和海马旁回处的灰质,在形态上的个体差异与智力的个体差异有共同的遗传基础。这一发现指出了脑内存在一个

由遗传决定并构成智力的神经基础的网络系统(图5)。

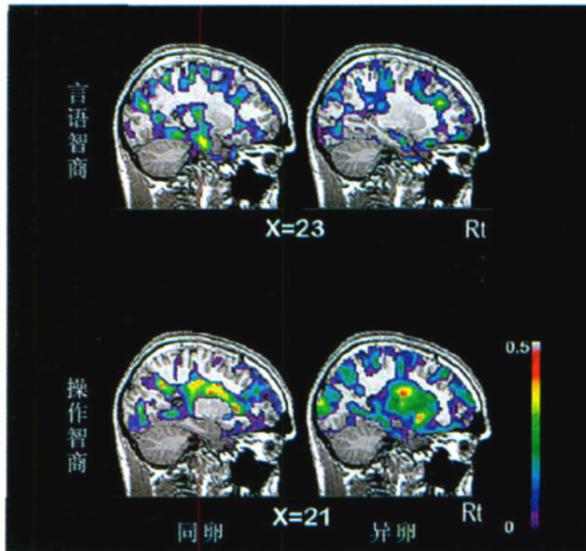
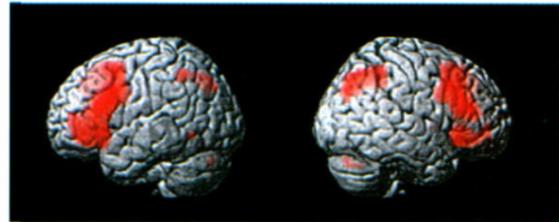


图5 言语智商与右侧海马旁回等区域的灰质密度有显著的遗传相关,非言语智商则与右侧上枕额纤维束等区域的白质密度有显著的遗传相关。这表示影响这两个区域的灰白质密度的基因与影响智力的基因有部分重叠。(资料来源:文献[23])

另一些影像遗传学研究,利用行为基因组学发现的一些与智力相关的基因,研究它们在脑内发生作用的位置和方式。这些研究通常着眼于某种在脑内表达的基因上的一个多态性位点,比较该位点上有不同变异的个体在认知任务上的表现,以及执行任务时的大脑激活状态。Egan 等人 2003 年进行了一项基于功能脑成像的研究,表明人类脑源性神经营养因子(BDNF)的基因多态性与海马区执行记忆任务的表现存在相关<sup>[24]</sup>。Diamond 等人 2004 年的研究表明,在儿童中,COMT 基因多态性与某些涉及前额叶的任务存在着显著的特异性相关<sup>[25]</sup>。Bishop 等人 2008 年发现,COMT 第 158 位上的缬氨酸/蛋氨酸变异能影响和语言与空间相关的流体智力,并且与外侧前额叶、辅助运动前区/前扣带回、顶内沟这些区域在任务状态

下的血氧水平有关,如图 6 所示。具有包含缬氨酸的等位基因的个体,其流体智力和以上脑区执行任务时的血氧水平都高于具有包含蛋氨酸的等位基因的个体<sup>[26]</sup>。

#### 空间任务



#### 言语任务

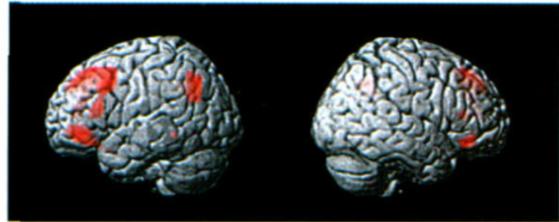


图6 在空间任务和言语任务状态下,具有包含缬氨酸的等位基因的个体在某些脑区的血氧激活水平高于具有包含蛋氨酸的等位基因的个体。图中显示了差异显著性达到  $p < 0.05$  的脑区。(资料来源:文献[26])

从以上的介绍可见,目前研究结果表明,智力的遗传性是由多种基因决定的,且这些基因对大脑的产生的作用是普遍的;与智力相关并受到基因影响的脑区,也广泛分布在大脑中的多个位置,承担多种认知功能。基因、脑区和各个认知过程之间不存在特定一对一的对应关系,而是普遍交互地互相影响。它们之间的关系可以用图 7 来表示。这种普遍交互性的根本机制在于,与认知有关的基因能同时影响多个脑区和多种表型,而这些表型也都受到多个基因的影响<sup>[27]</sup>。另外有细胞学研究提示,流体智力的基础可能是神经元的可塑性,这种可塑性主要由基因决定,而大脑中具体的神经回路结构则是由环境所塑造<sup>[28]</sup>。

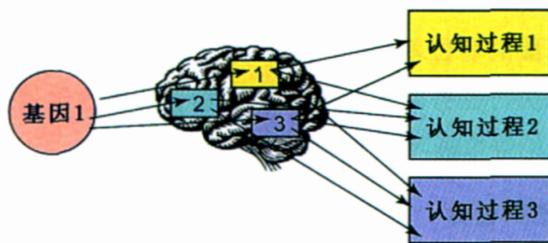


图7 与智力相关的基因通过普遍影响各个脑区及认知过程来起作用。(资料来源:文献[27])

#### 4 结论

智力是认知能力的核心成分,它具有很高的遗传度。行为遗传学、行为基因组学和影像遗传学分别从宏观层次、微观层次和中间层次对智力进行研究,即测量智力中的遗传和环境因素大小,定位影响智力的基因,并探索基因影响智力的神经机制。已有的结果表明,存在一组基因能够交互地影响各个脑区的结构和功能,作用于多个认知过程,从而对智力产生普遍的影响。目前被研究较多的主要是一些负责神经递质代谢或者神经元生长发育的基因。这些发现提示了,基因可能主要通过作用于神经元的一般生理特性,如神经元的生长、突触的形成、信号传递过程等,以神经连接网络为单位来影响大脑的工作。与此相一致的是,近年来有不少新的认知神经科学研究,也舍弃了特定认知功能对应特定脑区的传统研究模式,而从网络系统的角度出发来研究认知问题。

将来的研究还会更多地把宏观、微观和中间三个层次上的研究结合起来,进一步探索智力在遗传和神经机制上的本质。另外,针对基因表达如何调控、表达产物在细胞内外如何相互作用的功能基因组学也在蓬勃发展,它从生物大分子和细胞的层次上进行研究,能够在基因和神经机制之间架起桥梁。本文总结的这些针对智力的遗传学研究,可以为研究其他认知功能和心理行为特性提供借鉴,从而更全面地理解人类心智的遗传学基础。

#### 参考文献

- [1] Hariri A R, Drabant E M, Weinberger D R. Imaging genetics perspectives from studies of genetically driven variation in serotonin function and corticolimbic affective processing *Biological Psychiatry*, 2006, 59(10): 888-897
- [2] O. Kempthorne and O. B. Tandon. The estimation of heritability by regression of offspring on parent. *Biometrics*, 1953, 9(1): 90-100
- [3] Jinks J L, Fulker D W. Comparison of the biometrical, MAVA, and classical approaches to the analysis of human behavior. *Psychology Bulletin*, 1970, 73(5):311-49
- [4] Beaujean A A. Heritability of cognitive abilities as measured by mental chronometric tasks A meta-analysis *Intelligence*, 2004, 33: 187-201
- [5] McGue M, Bouchard T J Jr, Iacono W G, Lykken D T. Behavioral genetics of cognitive ability: A life-span perspective. In: Plomin R, McClearn G E, ed. *Nature, nurture, and psychology*. Washington, DC: American Psychological Association, 1993, 59-76
- [6] Plomin R, Spinath F M. Intelligence: genetics genes and genomics *Journal of Personality and Social Psychology*, 2004, 86(1): 112-129
- [7] McGuffin P, Riley B, Plomin R. *Genomics and behavior: Toward Behavioral Genomics Science*, 2001, 291: 1232-1249
- [8] Petrill S A. Molarity versus modularity of cognitive functioning? A behavioral genetic perspective. *Current Directions in Psychological Science*, 1997, 6: 96-99
- [9] Plomin R, Spinath F M. Genetics and general cognitive ability (J). *Trends in Cognitive Sciences* 2002, 6: 169-176
- [10] Luciano M, Wright M J, Duffy D L, et al. Genome-wide Scan of IQ Finds Significant Linkage to a Quantitative Trait Locus on 2q. *Behavior Genetics* 2006, 36(1): 45-55
- [11] Wainwright M A, Wright M J, Luciano M, et al. A linkage study of academic skills defined by the queensland core skills test. *Behavior Genetics* 2006, 36(1): 56-64
- [12] Singer J J, Falchi M, MacGregor A J et al. Genome-wide scan for prospective memory suggests linkage to chromosome 12q22 *Behavior Genetics* 2006, 36(1): 18-28
- [13] Buyske S, Bates M E, Gharani N. Cognitive traits link to human chromosomal regions *Behavior Genetics* 2006, 36(1): 65-76
- [14] Morley K I, Montgomery G W. The genetics of cognitive processes candidate genes in humans and animals *Behavior Genetics* 2001, 31(6): 511-531
- [15] Tsi S J, Hong C J, Younger Yu W Y, Chen T J. Association study of a brain-derived neurotrophic factor (BDNF) Val66Met polymorphism and personality

- trait and intelligence in healthy young females. *Neuropsychobiology*, 2004, 49: 13- 16
- [16] Plomin R, Kennedy J K J, Craig I W. The quest for quantitative trait loci associated with intelligence. *Intelligence*, 2006, 34(6): 513- 526
- [17] de Geus E J C, Wright M J, Martin N G, Boomsma D I. Genetics of brain function and cognition. *Behavior Genetics*, 2001, 31(6): 489- 495
- [18] Mossley M, Bammer R, Illes J. Diffusion - tensor imaging of cognitive performance. *Brain and Cognition*, 2002, 50(3): 396- 413
- [19] Tramo M J et al. Brain size, head size, and intelligence quotient in monozygotic twins. *Neurology*, 1998, 50: 1246 - 1252
- [20] Gignac G, Vernon P A, Wickett J C. Factors influencing the relationship between brain size and intelligence. In: *The Scientific Study of General Intelligence*. Nyborg H, ed. Amsterdam: Pergamon, 2003. 93 - 106
- [21] Posthuma D, De Geus E J, Baare W F, et al. The association between brain volume and intelligence is of genetic origin. *Nature Neuroscience*, 2002, 5: 83 - 84
- [22] Peper JS, Brouwer RM, Boomsma DI, et al. Genetic influences on human brain structure: A review of brain imaging studies in twins. *Human Brain Mapping*, 2007, 28(6): 464 - 473
- [23] Hilleke E, Pol H, Hugo G, et al. Genetic contributions to human brain morphology and intelligence. *The Journal of Neuroscience*, 2006, 26(40): 10235- 10242
- [24] Egan M F, Kojima M, Callicott J H, et al. The BDNF val66met polymorphism affects activity- dependent secretion of BDNF and human memory and hippocampal function. *Cell*, 2003, 112: 257 - 269
- [25] Diamond A, Briand L, Fossella J, Gehlbach L. Genetic and neurochemical modulation of prefrontal cognitive functions in children. *The American Journal of Psychiatry*, 2004, 161: 125 - 132
- [26] Bishop S J, Fossella J, Croucher C J, Duncan J. COMT val158met genotype affects recruitment of neural mechanisms supporting fluid intelligence. *Cerebral Cortex*, 2008, 10: 1093
- [27] Kovas Y, Plomin R. Generalist genes implications for the cognitive sciences. *Trends in Cognitive Sciences*, 2006, 10(5): 198- 203
- [28] Garlick D. Understanding the nature of the general factor of intelligence: The role of individual differences in neural plasticity as an explanatory mechanism. *Psychological Review*, 2002, 109(1): 116- 136

#### 推荐语:

近二十年来, 生命科学领域里最振奋人心的事件无疑是脑功能成像和分子遗传学的出现和蓬勃发展。北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室的刘嘉等回顾了国际上最近几年来利用分子遗传学和脑成像技术来研究智力及其脑机制的最新成果, 并着重介绍了这些新兴技术的原理以及在认知神经科学研究里的应用。

#### 推荐人: 董奇

董奇, 北京师范大学认知神经科学与学习研究所所长, 认知神经科学与学习国家重点实验室学术委员会主任, 教育部脑与认知科学网上合作研究中心主任, 教授、博士生导师。中国心理学会副理事长, 《心理发展与教育》副主编。1998年获国家杰出青年科学基金, 被人事部、教育部授予“有突出贡献的回国留学人员”, 现为“国家百千万工程”第一、第二层次人选。

## From Genes to Cognition: Genetic Approaches in Researches on Intelligence

Tong Yi<sup>1</sup> Zhen Zonglei<sup>1</sup> Bu Yong<sup>1,2</sup> Liu Jia<sup>1,2</sup>

(1 State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875)

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** Researchers have reached a consensus that intelligence is modulated by both nature and nurture. In particular, following the tradition that can trace back to the dawn of psychology, recent studies on the genetic modulation have poured forth flames with the two newly- developed and most exciting techniques in life science: molecular genetics and functional neuroimaging. Here we will review researches that endeavor to locate genes specific to intelligence and characterize their mechanisms from three independent yet slightly- mingled approaches: behavior genetics, behavior genomics and imaging genomics. Results have shown that there is a group of genes significantly related to intelligence, which can influence intelligence through various brain areas and cognitive processes. Through the review of the genetic researches on intelligence, we propose that similar approaches can be used to exam the genetic origins of other cognitive abilities, such as perception, attention, personality and even decision- making in politics and economics.

**Key words:** Behavior Genetics; Behavior Genomics; Imaging Genomics; Intelligence