

# 语言演化和高更三问<sup>\*</sup>

王士元 香港理工大学中文及双语学系 / 香港理工大学语言认知与神经科学研究中心

**提 要** 本文以“高更三问”为脉络：我们从何处来？我们是何物？我们往何处去？人类与黑猩猩同属灵长目，皆起源于非洲，约在600万年前分家，300多万年前人类开始双脚直立，故能腾出双手制作越趋复杂的工具，这进一步刺激脑容量的增加和神经连接的紧密，人类的沟通方式因此变得强大。其他动物多半只依靠生物演化，人类却独一无二地在10万年前发明了语言，故能同时依靠文化演化，凭借一己之力改造环境，成为地球主宰。人类语言具有其他动物的沟通所欠缺的设计特征，如易境性、能产性、模式二重性，且充斥着歧义。研究语言演化离不开脑神经科学，因为精密的大脑才能促成语言涌现。世界急速迈向老龄化，希望认知科学的进步，能使人类早日对老年认知和语言的退化找出应对的良策。

**关键词** 双脚直立 文化演化 设计特征 歧义 大脑老化

**Abstract** Gauguin once asked three questions: Where are we from? What are we? Where are we going? This paper discusses these questions in order. Human and chimpanzees are both primates. They both originated in Africa and diverged from each other some six million years ago. Human became bipedal over three million years ago, freeing our hands to make tools of ever greater complexity, which in turn stimulated the rapid growth of the brain and more neural connections. Our methods of communication also became ever more powerful, culminating in our language. Whereas all other animals evolve largely by biological means, we are unique in having invented language about 100,000 years ago and thus became able to evolve by cultural means, re-shaping our environment to become master of the planet. Human language has several design features not shared by other animals' communication, including displacement, productivity and duality of patterning. It is also characterized by the abundance of ambiguity. Research on the evolution of language is closely related to neuroscience, since a sophisticated brain is what enables the emergence of language. Aging population is increasingly a challenge confronting the world. It is hoped that progress in the studies of cognitive neuroscience will help us to find solutions to better cope with the cognitive decline and language degeneration of the elderly.

**Key words** bipedalism; cultural evolution; design features; ambiguity; brain aging

<sup>\*</sup> 此文是根据2018年在华东师范大学的大夏讲坛和思勉人文讲座的三次演讲记录浓缩而成，感谢杜昊昀、张明辉、吴君如、袁丹、蔡雅菁等人在撰文期间协助整理文稿，并感谢《国际汉语教育（中英文）》编委丁安琪教授的约稿。

高更(Paul Gauguin)是一位卓有成就的法国画家,他在1897年创作了一幅画,画的左上角写了三行字:

我们从何处来? *D'où venons nous?*

我们是何物? *Que sommes nous?*

我们往何处去? *Où allons nous?*

这三个问题是人生最基本的三个问题,其实这三个问题都不能离开语言,因为语言是人类最重要的特征,语言不仅是区别人类和动物的分水岭,也是人工智能至今仍无法完全掌握的能力。自从达尔文提出演化论起,许多学科在这三个问题上都已取得了不少研究成果,我希望能把这些多学科的成果做个综合性的讨论。与语言研究相关的学科包括语言学、人类学、民族学、社会学、考古学、历史学、心理学、生物学、遗传学、统计学、计算机科学等。没有来源于不同学科的思想,就会像盲人摸象一样,不可能透彻地回答高更的三个问题。

## 一、我们从何处来?

一提到演化,也许大家马上会想到达尔文,但其实最早讨论人的演化的,是他的好朋友 Thomas Huxley,他在1863年首次将灵长类动物与人类的骨骼做了比较,来讨论人的起源,书里附了一张图,图上有五种灵长类的骨骼,从左到右分别是:长臂猿、红毛猩猩、黑猩猩、大猩猩、人类。

其实这张图里唯一的错误是,黑猩猩应该比大猩猩更接近人类。达尔文在1859年写作《物种起源》一书时,已经注意到了人的演化,但鉴于当时政治、宗教的压力不敢多谈这个话题。1859年书出版以后,很多人质疑达尔文:谈物种的起源,为什么没有讨论人呢?因此之后达尔文又推出了两本很重要的书,一本是1871年的《人类的由来及

性选择》,这本书不仅谈到体质上的东西是怎么演化出来的,比如多少肌肉、头发颜色、心脏结构等,同时也谈到了心智能力,还比较了人的智能和其他动物的智能。另一本是1872年出版的《人类和动物的情感表达》。我们一直以为人类什么时候都是理智的,其实并非如此,人类的理智和情感有非常密切的关系,当然不仅是人类,动物也是如此。

今天我谈演化论,想从达尔文1859年出版的《物种起源》中节录出四个重点来强调:

- (1) 地球上所有的生物都源自同一个祖先;
- (2) 很可能我们的祖先曾在非洲居住;
- (3) 人种谱系应能提供最佳的语言分类;
- (4) 同源的语言应可再分为不同的阶层。

演化论的核心假设是,世界上所有的动物都经由演化陆续产生。人类是灵长目下的一个物种,人属(*genus Homo*)虽在100多万年前就开始走出非洲,但绝大部分却已经绝种了,没有留下很多基因,而智人种(*species sapiens*)则在10多万年前才离开非洲迁徙到世界各个角落。语言之所以会涌现,和人类采取双脚直立的姿势脱不了关系,因为垂直站立一方面使双手空了出来,可以制作各种工具改善生活;另一方面又让喉头下降,使人类能够发出比黑猩猩更多样的语音。双手的灵活运用让人类发展出越来越精细的各类技能,而这些灵巧的手部动作又必须由更多的大脑部位来掌控,因而促使大脑不断生长,扩充的脑容量与神经更紧密地连接,这样不仅刺激了语言的产生,也进一步提高了双手的灵敏度。大脑的操控与四肢的执行彼此增强,正如结构与功能的共同演化,使人类得以创造出高度发展的文明。

Vallender (2008) 等人根据灵长类动物与人

类的基因差异，排列了这些动物与人类分家的年代，从远到近依序是：新世界猴 > 旧世界猴 > 长臂猿 > 红毛猩猩 > 大猩猩 > 黑猩猩。他们的那篇文章里有张图，下面列了三行数字，第一行是这些灵长类动物与人类分家的年代，第二行是它们与人类的基因差异，最需要关注的是第三行，即脑容量大小，人类的脑容量介于 1129—1685 毫升，要远远大于其他灵长类动物。人类和黑猩猩分开以后还经历了不同的阶段：第一个阶段是南方古猿 (*Australopithecus*)，全部都在非洲；第二个阶段是能人 (*Homo habilis*)，能人是最先开始做石器的；第三个阶段是直立人 (*Homo erectus*)，已经开始直立行走了，能够用腾出的双手做很多事情；最后一个阶段就是智人。

新世界猴虽然离我们人类最远，但因为同是灵长类，它们和人类也有很多相同的地方，包括它们也有公平的概念。科学家对卷尾猴 (Capuchin monkeys，一种生活在南美洲和中美洲的猴子，与人类大概在 3500 万年前分家) 做过一个公平实验：参加实验的是两只卷尾猴，一开始，猴子给实验员一颗石子，作为奖励，实验员会给猴子一块黄瓜，两只猴子都吃得很高兴；重复几次后，实验员开始区别对待两只猴子，左边的猴子给实验员石子后，得到的仍然是黄瓜，而右边的猴子给实验员石子后，得到的是葡萄。这样重复几次后，左边一直拿到黄瓜的猴子开始抓狂，表现出不满，因为葡萄比黄瓜好吃，它觉得不公平。这个实验说明猴子也有公平的概念。

离我们人类更近的是大猩猩和黑猩猩。虽然从体质和骨骼上来说大猩猩和黑猩猩更相似，比如犬牙都很长，可以作为武器，眉骨都明显地外突，但从基因来看，人类与黑猩猩更相近。我们

人类的演化不仅仅是体质上的演化，还有文化和语言的演化，所以我们和黑猩猩的差异越来越大。Lieberman (2013) 指出，人类大概在 900 万年前与大猩猩分开，大概在 600 万年前与黑猩猩分开，大概在 100 万年前刚果河又把黑猩猩分化为两类。现在有两种黑猩猩，它们的属是 *Pan* (黑猩猩属)，*Pan* 属又分化为 *troglodytes* (普通黑猩猩) 和 *paniscus* (倭黑猩猩) 两种，这两种黑猩猩在社会组织和智力上有很大的不同。

Jane Goodall 年轻时就深入非洲腹地与黑猩猩在野外同吃同住，记录下了很多关于黑猩猩的知识。黑猩猩一般依靠手势、表情、身体姿势来沟通，但也会使用声音。这些声音，研究者称之为 Pant-Hoot、Whimper、Scream 等。这是它们的沟通方式，和人类语言差异很大，没有音节，词汇很少，也不一定有语法，但它们知道自己是谁。当狗或猫走过镜子时，它们并不知道镜子里的就是它们自己，但实验表明黑猩猩知道镜子里的是自己，也就是说黑猩猩有自我意识。如果没有自我意识，就不会有思想，更不会发展出复杂的社会组织。

Kawai & Matsuzawa (2000) 做过一个关于黑猩猩的空间与数字记忆力的实验：电脑屏幕上会按顺序显示数字，1 之后是 2，2 之后是 3……一个数字闪现以后，几十毫秒后会马上消失，出现另一个数字。他们让被试从最小的数字开始，点击屏幕之前出现过各个数字的位置，被试为一只名叫 Ai 的黑猩猩。实验结果是，有时候 Ai 完成得要比京都大学的本科生好，这表明黑猩猩对空间的记忆能力非常强。

通常而言，我们对黑猩猩的印象是具有攻击性的动物，但对倭黑猩猩的研究表明，黑猩猩也可以相互协作，具有很好的感情关系。黑猩猩的身上

有寄生虫, 当自己无法清理时, 就会让其同伴帮忙清理, 这种行为称为“梳理 (grooming)”。梳理毛发的行为是猩猩很重要的社交手段。

每个基因都要有自己的后代, 因此就会有竞争。但最近很多演化论权威认为, 不应当只注重竞争, 合作也能让群体更具有生存优势, 如 Wilson (2012)、Nowak (2012)。很多动物都有合作行为, 例如两只蚂蚁共同抬一片叶子, 两只黑猩猩协作爬树采摘叶子等。可是因为人类用语言来表达复杂微妙的思想及协助配合行动, 所以人类合作的群体大小、合作的本质方式就与其他动物有天壤之别。因为黑猩猩离我们人类最近, 所以很多人类具有的智能, 黑猩猩也同样具有, 但是也有些能力是黑猩猩不具备的。Corballis (2007) 曾做过一个实验: 黑猩猩问人类讨要香蕉吃, 在人类头上戴个桶、看不到黑猩猩的情况下, 它仍然会向人类讨要香蕉, 这说明黑猩猩并没有意识到人类现在看不见, 可见黑猩猩不具备心智理论 (theory of mind), 不能理解别人在想什么。

以前研究者常常试图教黑猩猩说话, 但黑猩猩的嘴巴、喉咙、舌头跟我们不一样, 它们没有学会语言很可能是因为没有说话的能力, 于是 Allen 和 Beatrix Gardner 开始教黑猩猩 Washoe 打美国手语, 很快 Washoe 就学会了一两百个词, 而且会自己造词。比如, 当 Washoe 学会了“水”和“鸟”的手势后, 它看到水里的鸭子, 会指着鸭子打出“水鸟”的手语。虽然对不同的灵长类动物都做了尝试, 但科学家们发现, 它们比较容易掌握单个或两个单词的组合, 对于句子或者比较抽象的关系 (如 color of, different from, if-then) 却难以掌握。

回到人类, 600 万年前我们同黑猩猩分离了, 大概到 300 万年前我们站起来了, 将近 300 万年的

时候我们已经开始制造石器, 大概 20 万年前有现代人了, 到了二十世纪中叶, 电脑出现了。我们现在要了解史前史, 主要有两种数据可以参考: 一方面是其他动物的行为和智能; 另外一方面是化石。Hublin (2014) 在《科学》里发表过一篇论文, 里面有张图呈现了四种头盖骨, 分别是现代人、尼安德特人及两种黑猩猩 (黑猩猩和倭黑猩猩) 的头盖骨。仔细比较一下会发现, 其实尼安德特人的头盖骨要比现代人的大, 但目前还无法判断尼安德特人是否有语言。尼安德特人和现代人分离了五六十万年, 而两种猩猩分离了约 200 万年。但是该图里尼安德特人和现代人的头盖骨有明显的差异, 而两种黑猩猩的头盖骨则看不出差异来, 这说明文化演化是非常重要的。

阿法南方古猿 (*Australopithecus afarensis*) 的犬牙比黑猩猩的小很多, 头骨也没有黑猩猩那么突出, 但大脑容量仍接近于黑猩猩。1974 年在非洲埃塞俄比亚的阿法尔 (Afar) 挖掘到了小姑娘 Lucy 的化石, 表明它们已经站起来了。另外一个证据是, 在离阿法尔不远的地方, 发现火山灰下面有一些脚印, 由于能够测得火山爆发的具体时间, 我们能够据此推测什么时候以及哪种动物在此走路。中国境内挖掘出了不少直立人化石, 其中最著名的莫过于 1929 年发掘出土的周口店北京猿人。依据最近的化学分析所示, 这群直立人约在 80 万年前就已经到达北京了 (Shen & Granger, 2009)。

2008 年在西伯利亚的一个叫作丹尼索瓦的山洞里发现了古人小指头化石, 科学家从它的 DNA 中发现了另外一个人种, 命名为丹尼索瓦人 (Denisovan)。德国马普研究所的 Paabo 有一项突破性的成果, 他能够在化石中提取出古 DNA, Paabo 对丹尼索瓦山洞中的小指头化石进行了分



析,有了新的发现。自从我们与黑猩猩分开后,还存有很多别的人种,也是人属,但只有我们现代人智人存活了下来,其他的如尼安德特人、丹尼索瓦人,还有前几年在南非发现的纳莱迪人 (*Homo naledi*),到底这些人种跟我们有什么关系,有没有发生过接触,就可以通过提取化石中的古DNA来推测。Stringer & Barnes (2015) 的研究表明:尼安德特人和丹尼索瓦人都和我们现代人接触过,交换过DNA,而且能测算出交换DNA的大致年代。有的DNA非常有用,比如说藏族人在高海拔地区生活,氧气稀薄,研究发现藏族人的基因里有适应氧气稀薄的基因,这种基因就来自于丹尼索瓦人。

丹尼索瓦人很久以前就能做石器工具,而且还能制作石器的装饰品,并能在山洞里画画、制作乐器。张居中等人 (Zhang 等, 1999) 曾讨论中国境内挖掘到的新石器早期的一种乐器——贾湖骨笛,大概出现于公元前7000年至5700年,属于裴李岗文化的一部分。

自从人类双脚直立以后,手变得灵活了,喉咙也得到了改造。本来我们的喉头比较高,直立以后喉头就下降了;本来我们的软腭和喉咙里的一块软骨是相互接触的,实际上为一条管子,而当喉头下降之后,会厌部位就形成了互相垂直的两条管子,有力地促进了言语发声。

## 二、我们是何物?

高更的第二问是:“我们是何物?”当然,我们是有语言的动物。那语言为何物?语言首先是我们沟通交流最重要的工具,同时也是我们思想/思维最重要的载体和最基本的条件。但在十九至二十世纪,“语言是怎么来的”一直是学界一个讳莫如深的话题,许多人即使长篇大论也难以廓清。因

此,当时巴黎、伦敦等语言学会便下令会议期间禁止讨论语言起源问题。

一直到1960年,美国语言学家 Hockett (1960) 写了一篇文章 *The origin of speech* (《语言的起源》),才系统地讨论了这个问题。他指出,语言是人类多种多样的沟通方式中非常独特的一种。为此,他尝试用13种设计特征 (design features) 来说明人类语言的独特性:声耳渠道 (vocal-auditory channel)、四散传播定向接受 (broadcast transmission and directional reception)、迅速消失 (rapid fading)、互换性 (interchangeability)、整体反馈 (total feedback)、专门化 (specialization)、语义性 (semanticity)、任意性 (arbitrariness)、分离性 (discreteness)、易境性 (displacement)、能产性 (productivity)、传统的传播 (traditional transmission) 和模式二重性 (duality of patterning)。

同时,他也比较了不同物种的沟通方式所利用的设计特征的差异 (Hockett, 1960),以数量来说,使用设计特征由多到少的物种依序是:人类、猿类、灵长类、陆生哺乳动物和爬虫类。我们人类语言涵盖了全部13个设计特征,且易境性、能产性和模式二重性这三个特征是人类所独有的。尽管我们现在并不完全认同他当时提出的主张,但 Hockett 的这篇文章的确堪称讨论语言起源问题的“分水岭”。

在动物之中,除了人之外,鸟也依靠声音来沟通交流。伯克利大学著名的动物行为学家 Peter Marler 专门研究白冠带鹀 (white-crowned sparrow) 和北美歌雀 (song sparrow)。他想知道这两种小鸟怎样学会各自属种的鸣叫,为此,他做了四组不同的实验,他用控制变量的方法给刚出生的白冠带鹀输入 a、b、c、d 四种不同形式的鸟鸣旋律,并

观察它们在不同阶段的习得效果(Gould & Marler, 1987):a组,在前50天敏感期(sensitive period)输入白冠带鸫和北美歌雀的鸣叫声;b组,敏感期内只输入北美歌雀的鸣叫声;c组,敏感期间无声音输入;d组,敏感期间只输入白冠带鸫的鸣叫声,但参与实验的雄性小白冠带鸫是只聋鸟。实验结果发现:a组的小白冠带鸫能学会自己属种的鸣叫而不被北美歌雀的声音干扰;但b、c、d组的却学不会。

白冠带鸫在习得自己属种鸣叫的过程中存在时间限制,正如我们习得外语的过程中存在“关键期(critical period)”一样,它们也存在关键期——大约是出生后的前50天。此外还有一个相似之处是,婴儿在习得语言之前存在一个牙牙学语(babbling)的阶段,雏鸟在习得特定鸣叫之前也存在一个吱呀初鸣(subsong)的阶段。这再次表明动物行为存在很多共同之处。Lorenz曾研究过小鸭子怎么找妈妈,他发现刚出生的小鸭子会把它所见到的第一个能动的物体当作自己的妈妈,这种行为叫“印刻现象”(imprinting)。根据这个现象,Lorenz让刚出生的小鸭子第一眼就看到自己,从而成功充当起了它们的“妈妈”,所以他在奥地利的田野、街头行走时总是有一群小鸭子跟着他。

语言到底有什么样的特色呢?战国时期的荀子曾经说过:“名无固宜,约之以命,约定俗成谓之宜,异于约则谓之不宜……名有固善,径易而不拂,谓之善名。”这几句话可以说是道出了语言一个非常基本的特征——任意性,也即前文Hockett所提出的其中一个设计特征:arbitrariness,即语言符号的音义结合关系是任意的、约定俗成的。但语言符号的音义结合关系是否真的是完全任意的呢?加州大学圣地亚哥分校著名的神经学家做过一些实验,来说明语音和语义之间的结合关系并不是完全

任意的(Ramachandran & Hubbard, 2001):有一种大家都不知道的语言,该语言中有两个词——kiki和bouba,它们代表两个不同形状的东西:一个是不规则的尖锐七角形,另一个是较圆弧状的七叶花瓣形。如果拿这个形状给不同语言背景的被试做个调查,许多人就会认为kiki指称尖角的图形,bouba指称圆弧的花瓣。所以,声音和语义的结合并不是完全任意的,它们之间存在某种关系。

因此,语言的特征并不尽如Hockett提出的13种特征那样,有时候比较复杂。此外,还有一个Hockett未曾提及,但也与语言密切相关的特征,就是歧义。在语言表达中,如果不联系特定背景,就经常会产生歧义。比如汉语的句子“鸡不吃了”就可以有两种解读:“不吃鸡了”和“鸡不吃东西了”。前者将“鸡”理解为“吃”的受事,后者则理解为“吃”的施事。

这样的例子在汉语中不胜枚举,其他语言亦然。比如,英语句子“It's too hot to eat”中的“it”可以有不同的指称(食物、天气、调料、动物……),另外“hot”也有两个基本义项“热”和“辣”,所以组合起来就有好多不同的意思。再比如日语句子“学生が好き先生”也有两个意思:①喜欢学生的先生;②学生喜欢的先生。

另外,赵元任(1980)曾在《语言问题》一书中写过一个《施氏食狮史》的故事,如果不看文字或专门记诵,很难理解其中的文意:

“石室诗士施氏,嗜狮,誓食十狮。氏时时适市视狮。十时,适十狮适市。是时,适施氏适市。氏视是十狮,恃矢势,使是十狮逝世。氏拾是十狮尸,适石室。石室湿,氏使侍拭石室。石室拭,氏始试食十狮尸。食时,始识是十狮尸,实十石狮尸。试释是事。”

当然对语言感兴趣的不只是语言学家。比如人工智能领域的开拓者之一、1978年诺贝尔经济学奖得主 Herbert Simon 就曾经指出：语言在其发展阶段中一定要等到我们动力系统(motor system)中不同的功能(如呼吸、发声、咀嚼等)交互在一起并同步化(synchronized)后才能获得原动力(initial boost), 如此我们才能发出成千上万具有区别性的词, 并且在长段话语中这些词的发声能足够迅速地储存到我们的工作记忆中。具备了这些条件, 我们才能够拥有比较复杂的思想和比较精密的语言(Simon, 1962)。我在印度的一次讲演中提出了类似的主张:

“许多这些能力在他种动物中也不同程度地存在着(看看黑猩猩使用工具与解决问题的例子)。在人类演化中, 这些能力也许比语言更早出现, 渐渐一步一步地, 这些能力在语言精练的过程中越来越为人所运用, 好像完成了一片片的马赛克拼贴画一样。同样地, 这些能力也被运用在其他精细的人类组织中, 特别是在数学与音乐方面。”(Wang, 1982)

总而言之, 语言是建立在很多已有的能力上的, 因此我觉得类似于“语言是一种特别的器官”这样的说法是无稽之谈。

现在再回到“我们是何物?”方面。Cann 到医院收集了几百个胎盘, 提取并比较了胎盘中的线粒体 DNA (mitochondrial DNA, 简称 mtDNA), 并绘制了所谓“线粒体夏娃”的人类母系脉络谱系树(Cann 等, 1987)。mtDNA 存在于细胞内但在细胞核外, 仅包含 37 个基因, 并表现为母系遗传, 故其结构类型是反映母系脉络的重要指标。从那张树图上我们可以看到: 140 多个胎盘中, 只有前 7 个很早便与其余分开了, 而这 7 个全部为非洲裔。

这篇文章第一次从基因角度讨论现代人是否起源于非洲的问题, 所以我们称之为“非洲起源假说”。

mtDNA 能体现母系遗传, 而 Y 染色体则体现父系遗传; 较之前者, 后者的基因要多得多。斯坦福大学由 Cavalli-Sforza 所指导的一组研究人员(Underhill 等, 2000)就接着比较了 Y 染色体的序列变异并绘制了另一幅父系脉络谱系树。与 mtDNA 的考察结果类似, 最先分出来的 8 个 Y 染色体全部为非洲裔, 这再一次佐证了“非洲起源假说”的合理性。在此基础之上, 他们首次绘制了全球的人类演化迁徙路径, 据他们所言, 大约在 10 万年前, 现代人从起源地非洲开始四散迁徙。

那么语言又是从何时何地起源的呢? 关于这个问题目前有两派说法: 单源论(monogenesis)和多源论(polygenesis)。我们相信语言有好几个不同的发源地(Freedman & Wang, 1996), 当然这个问题不大容易厘清。但无论是单源还是多源, 现在世界上大概有六七千种不同的语言。那如何将这些语言组织起来并归类呢? 著名语言学家 Greenberg 认为这些为数众多的语言都是从几个很大的语族中发展出来的, 并在语言归类上做出了有益的尝试:

(1) 非洲的语言情形最复杂, 其中南部多数地区是尼日尔—刚果语系。

(2) 印度南部有一小块语言属于达罗毗荼语系(Dravidian), 它本来是很大一块, 但印欧语系把它推挤到了一个小角落。

(3) 横跨欧亚大陆多数地方, 甚至包括美洲北部一大块区域的是欧亚语系, 其中很大一支就是印欧语系。

(4) 主要分布在亚洲和北美, 也包括欧洲零星地方的是得内—高加索语系, 依据 Greenberg 的观点, 汉藏语就属于得内—高加索语系; 而通过观察



得内—高加索语系在世界范围内的分布,也能佐证这些地区的人们存在亲缘关系。所以,语言和化石一样,也是考察人类亲缘谱系关系的重要证据。

(5) 东南亚、大洋洲和非洲的马达加斯加是南方大语系,主要包括一些太平洋的语言。

(6) 美洲多数地方是美洲印第安语系。

中国语言学有非常好的传统,从荀子、扬雄到许慎、陈第,都做出了重要的研究。可我们不太注重语言与语言之间的区别与联系,我们的眼光总是局限于汉语,但汉语只是全世界 7000 多种语言中的一种。现在有机会了,我们应该把视野放开,同样关注汉语和其他语言之间的关系。过去在汉语研究领域贡献卓著的语言学家中很多都是外国人,我们相信不久的将来,中国学者也能成为某门外语研究领域的权威。

再深入谈谈欧亚语系中的诸语族,其中可细分为 7 个,包括印欧语、阿尔泰语、韩—日—阿伊努语(Korean—Japanese—Ainu)、爱斯基摩—阿留申语(Eskimo—Aleut)、乌拉尔语(Uralic)、吉利亚克语(Gilyak)及楚科奇—勘察加语(Chukchi-Kamchatkan)等,而最为人所熟知的就是印欧语。

西方语言学界往往把英国法官 William Jones 所说的话当作现代语言学的发端。Jones 虽然是学法律的,但他非常喜欢语言,且精通英文、德文、法文、拉丁文、希腊文和波斯文。在一次前往印度的旅程中,他发现当地的宗教语言——梵文与他所熟知的语言,尤其是波斯文、拉丁文和希腊文存在许多相似的地方。因此 1786 年他在印度的一次著名讲演中提出,这绝不是偶然的,这些语言一定是同源的。

在他之后,一代代学者继续研究印欧语的亲属关系。其中有两位德国的语言学家 August

Schleicher 和 Johannes Schmidt,前者首倡“时间—纵向传递—树形图理论”,后者则提出了“空间—横向传递—波浪理论”。迄今为止,树形图理论和波浪理论仍是语言学的两大经典理论。

2003 年,新西兰语言学家 Gray 和 Atkinson 在 *Nature* (《自然》) 上发表了一篇文章(Gray & Atkinson, 2003),在他们所绘制的谱系树中,日耳曼语系和罗曼语系的分化时间大约在 5500 年以前。这两个语系的共同祖先,在约 6100 年前和凯尔特语系(Celtic)分家,而日耳曼语系、罗曼语系及凯尔特语系的共同祖先,是在 6500 年前与斯拉夫语系分化开来的。

当然,这样的划分还是相当宏观的,不过已经更进一步了,因为我们已经开始量化,主要的量化依据还是“词”,当然量化的效果值得讨论。Renfrew (1989) 罗列了部分印欧语和日语的整数词(1—10),从词形比较中可以很容易地发现各语言之间的亲疏远近关系,比方大家都知道英语的数字由小到大依序是 one、two、three、four、five、six、seven、eight、nine、ten。已经灭绝的哥德语(Gothic)是 ains、twai、threis、fidwor、fimf、saihs、sibun、ahtau、niun、taihun;拉丁语是 unus、duo、trēs、quattuor、quinque、sex、septem、octo、novem、decem(请注意 Renfrew 原本的表中把拉丁文的“三”误植为“trs”);希腊语是 heis、duō、treis、tettares、pente、heks、hepta、oktō、ennea、deka;梵语是 ekas、dvā、trayas、catvāras、panca、ṣaṭ、sapta、aṣṭā、nava、daśa;仔细比较,就会发现这 5 种语言间的数字存在一定的相似性,但再和日语比较,其数字是 hitotsu、futatsu、mittsu、yottsu、itsutsu、muttsu、nanatsu、yattsu、kokonotsu、too,感觉上就差得



很远。以“三”为例，前五种语言分别是 three、threis、trēs、treis、trayas，但日语却是 mittsu，所以很显然的，英语、哥德语、拉丁语、希腊语和梵语同属印欧语系，但日语是另一个语系。

再进一步，我们可以发现亲属语言同一个词的词形之间往往存在严整的对应规律。找到这些对应规律，就能很容易地解释如何从原始印欧语变化到日耳曼语。

比如，德国著名的语言学家 Jacob Grimm 发现了印欧语辅音递变的规律，被称为“格林姆定律 (Grimm's law)”，具体如图 1 所示：①浊送气音变为浊不送气音；②清塞音变为摩擦音（塞音擦化）；③浊塞音变为清塞音（浊音清化）。而类似的音变现象在其他语言中可以同时找到，如图右侧区域就分别列举了汉语方言中的上海话、台湾闽南语和香港粤语，来依次说明这些方言相对于普通话也有  $d > t$ 、 $p > f$  及  $k > h$  的音变。

Grimm's Law: PIE > Germanic			Examples from Chinese dialects:
$b^h > b$	$b > p$	$p > f$	
<i>b<sup>h</sup>ratr, brother</i>	<i>lab-, lip</i>	<i>ped-, foot</i>	$d > t$ : 头 抬 地 上海 do de di
$d^h > d$	$d > t$	$t > \theta$	$p > f$ : 房 饭 肥 台湾 pang png pui
<i>mad<sup>h</sup>u, mead</i>	<i>dec-, ten</i>	<i>dent-, tooth</i>	$k > h$ : 考 口 可 香港 haau hau ho
$g^h > g$	$g > k$	$k > h$	
	<i>genu, knee</i>	<i>canis, hound</i>	

图 1 格林姆定律及汉语方言的例证

### 三、我们往何处去？

在探讨高更的第三个问题前，我要再次强调，人之所以为人，就是因为我们的大脑，针对人的大脑我想谈六点：

(1) 胎儿几个月大的时候就能听到周围的语音，每个人的一生中，大脑都会发展，从婴儿的认知、情感、语言等的习得，一直到晚年的衰退，大

脑都会随着环境与经验进行改造。人类的演化跟大脑有密切的联系。

(2) 系统研究脑的功能始于 Vesalius, 1543 年，他首次把大脑的外形分为两半，并且把脑朝下那一面的结构全都精确地画了出来。十九世纪时 Broca、Wernicke、Dejerine 从病人身上先后发现了语音、语义及阅读在大脑里对应的不同区域。二十世纪 Penfield 为了保护癫痫病人的语言能力，用电极直接刺激大脑而取得珍贵数据，让我们看到大脑控制身体各部分的不同脑回。之后又有 Sperry 和 Gazzaniga 把病人的胼胝体切开，让我们了解左右两半球不同的功能。

(3) 自从西班牙医生 Santiago Ramón y Cajal 发现了大脑的基本单位，神经科学就有了日新月异的进展。神经元如何通过轴突传电，如何在突触里发出种种不同的神经递质来与其他的神经元沟通，这些问题都先后得到解答，这些顶尖的科学家也先后获得了十几个诺贝尔奖。

(4) 目前研究大脑与行为关系的新科技，包括几个不同的重要成像方法，例如 PET、MRI、fMRI、EEG、MEG、NIR（近红外线）、超声波，等等。当被试起心动念时，我们能利用这些成像技术即时看到他大脑里的血氧、电力或磁力的变化。

(5) 由于在子宫里听了几个月的母语，婴儿一出世的哭声就跟母语的韵律 (prosody) 相似，并且会用口、舌做一些简单的动作。八个月就可以辨别母语及其他语言，也能记得音节出现的频率，来帮助断词。两岁左右词汇量暴增，六七岁时母语基本学成。在青春期之前，学任何外语都特别迅速容易，并且不止一门，两三门都没有问题。这和关键期有关系。

(6) 自然选择让人类可以顺利完成传宗接代的

任务, 让物种可以延续下去, 但是之后自然选择就不怎么保护人类了。接着各个器官, 包括大脑就开始衰退。由于科技及医疗的进步, 人的寿命不断增加, 许多前所未有的疾病也随之而来。如何能够活得久又活得好, 是我们不得不正视的严峻挑战。为老龄化社会做好万全的准备, 才能为人类开创积极美好的未来。

前面提过 300 万年前南方古猿 Lucy 的大脑还不到 500 克, 但是她已经站起来了; 到了 80 万年前的直立人 (如北京猿人), 大脑已经增长了很多; 到智人和尼安德特人, 大脑平均差不多是 1500 克, 但是有很大的个体差异, 小的大概 1000 克, 大的大概 2000 克。

由于我们的大脑藏在头骨下面, 很难看到, 所以以前人们都不知道我们的情感、智慧都由大脑控制, 反而因为心跳容易感觉到, 就认为很多东西都是由心脏控制的, 这是一个很大的错误。例如, 汉语说“这个人很细心”“他心好”, 英语说“he is brave-hearted (他很勇敢)”, 其实这些跟心脏都没有关系, 都是大脑控制的。汉语中“脑”这个字其实很晚才出现, 第一次出现是在《左传》里。我们推测其他语言里“脑”这个词也出现得很晚, 例如, 日耳曼语系中的德文把脑叫作 *Gehirn*, 拉丁语系里的法文把脑叫作 *cerveau*, 斯拉夫语系里的俄文把脑叫作 *мозг*, 都不一样, 因而也就无法在更早的语言里构拟出一个更早的形式。“脑”字在不同语言中的书写形式见图 2。

Vesalius 第一次画出了人的大脑, 将头盖骨和脑膜移除后, 就可以看到大脑, 一个个凸出的地方就是脑回 (*gyrus*), 脑回和脑回之间凹进去的地方就是脑沟 (*sulcus*), 左右大脑之间有很深的分界。大脑中有很多血管, 因为人体心脏所供给的血液中

20% 都供给大脑, 所以大脑需要很多血管。

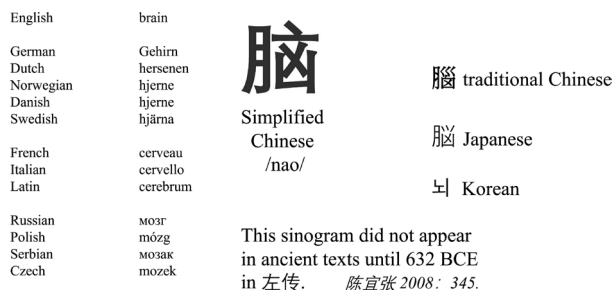


图 2 “脑”字在不同语言中的书写形式

人脑有个非常重要的功能, 就是说话。这个功能与布罗卡区 (Broca's area) 有密切关系, 这一点最早是由法国人 Paul Broca 发现的。大脑的底部非常复杂, 除了有很多血管、脑回、脑沟以外, 还有非常重要的神经, 共有 12 对, 依序是: 嗅神经、视神经、动眼神经、滑车神经、三叉神经、展神经、面神经、前庭蜗神经、舌咽神经、迷走神经、副神经、舌下神经。我们讲话时, 要动用到许多神经。

自从人类站起来以后, 身体也经过了改造。一个比较明显的改造就是我们开始有比较长的脖子, 猴子、猿、猩猩都没有脖子。另外, 我们的心脏本来离喉咙很近, 在演化中也下降了一些, 所以人体也需要不断改造来适应这些变化。上文提到三叉神经、面神经、舌下神经等都与说话有关, 可是如果只是唇部运动, 说的话是听不见的, 因为喉咙没有发音。所以除了上述神经之外, 还要迷走神经来控制喉咙。喉咙和舌头应该要连得近一点, 理应直接把迷走神经连过去, 但事实并非如此, 因为我们演化了, 我们的身体改造了, 所以迷走神经从大脑出来, 一直下降, 从心脏上很大的血管一直绕上去。因此, 有时候声调和辅音、元音的发音有点不同步。不同步就为音变提供了可能, 很多音变就是

由此发生的。

欧洲研究大脑的三位先驱是 Paul Broca、Carl Wernicke 和 Jules Dejerine。Broca 是通过脑损伤研究语言的开创者。他的朋友把一个病人介绍给他，那个病人看起来很健康，但大脑受损导致他不会说话，只会说一个音节 *tan*，因此很多文献把他称作“*tan* 先生”。还有一位老先生，比 *tan* 先生情况好一点儿，会说五个词。显然这两个人的病症非常相像，所以这两个人去世后，Broca 给他们的大脑做了检查，Broca 认为这两个人不能说话与他们左大脑额叶的第三脑回受伤有关，所以他猜测这个部位和说话有关系，这种病现在被称为 Broca 失语症。

当然，并非所有的失语症患者都如 *tan* 先生这么严重。Caramazza 的研究团队(2000)曾对两个讲意大利语的女性病人进行研究：两位患者，一位叫作 AS，另一位叫作 IFA。他们用 *pastore* (牧羊者) 和 *minatore* (矿工) 这两个词进行测试。研究发现：AS 发辅音的错误率较低，发元音的错误率较高，而 IFA 则正好相反，这叫作选择性损伤 (selective impairment)。可见，失语症的研究需要进一步关注细节。

Wernicke 的病人问题出在理解语言上，如果问病人一句话，他可以说上十几分钟，所以他不是不会说话，而是说的话无法让人理解。又比如，有个病人说：“It just suddenly had a feffort and all the feffort had gone with it. It even stepped my horn. They took them from earth you know. They make my favorite nine to severed and now I'm a been habed by the uh stam offortment of my anuulment which is now forever.” 我们无法理解他讲的话，有些像词，但又不是词，比方说 *stam*、*feffort*，这种不是词，叫作“新词 (neologism)” 或“非词”。这些病人大脑受

伤部位与 Broca 的两个病人并不一样。布罗卡区在额叶，威尔尼克区 (Wernicke's area) 在颞叶。

Dejerine 主要研究阅读方面。有一个叫 Oscar C. 的人，有一天早上起来发现自己不认识字了。他看人看东西都没有问题，也知道字怎么写的。比方说 A 这个字母，看着有点像画架，但是这个字母他读不出来，也不知道就是法文 /a/ 这个音；他知道 Z 这个字母有点像条蛇，但是他也读不出来。他连字母都发不出来，更不要说词了，这叫作失读症 (alexia)。奇怪的是，Oscar C. 虽有失读症，却还是会写字。

如果是其他类型的文字，情况又有所不同。例如日文有三个部分：一个叫 *kanji*，也就是汉字；还有两种假名，一种叫 *hiragana* (平假名)，另一种叫 *katakana* (片假名)。有的病人，写复杂得多的汉字基本没有大问题，但是却写不出来假名，这是选择性失写症 (agraphia)。

Broca 那个时候对于大脑了解得太少。他觉得一旦切开后，别人就不能再好好地研究了，因此他把 Leborgne 和 Lelong 这两个病人的大脑保留在药水中，放在巴黎的一个博物馆里。科学家 Nina Dronkers 跟 Broca 的家人联系，把这两个大脑取出来通过成像技术进行分析。之后，她在 *Brain* 发表了文章指出：问题并没有那么简单，不是布罗卡区有损伤就会得这种失语症，其实整个大脑其他很多地方都已经受伤了。成像技术的确给我们带来很多新的研究成果。

我们观察大脑，不能只在外边观察，还要进入到里面去，观察里面最小的单位是什么，单位和单位之间是怎样沟通的，哪些单位构成最小的一组，哪些单位是在这些单位之上的，等等。这方面的研究最早是由西班牙医生 Santiago Ramón y Cajal



开创的。他认为我们的大脑是由无数个小神经元组成的,每个神经元之间有空隙,不会相互碰触。他借助显微镜把它们画出来,直到现在教科书都还在使用他的画。海马回对语言乃至人生都非常重要,它能让我们的经验变成记忆。比方我们学一个新词 tarabu,通过我们的海马回,我们才能对这个词的意义得到长久的记忆。过了一段时间你还会记得,也是因为海马回的运作。

还有一种神经元叫锥体细胞(pyramidal cells)。这种神经元,长得有点像金字塔,所以叫作 pyramidal。把它放大了就会发现,神经元跟神经元之间,有个很小的空隙。神经元如果有话要“讲”,就会发出一个电的刺激,顺着轴突一步一步传到突触,然后就会放出一些化学成分,这些化学成分就叫神经递质。我们有时候会觉得高兴,有时候又会觉得悲伤,这些情感表现都与神经递质相关。Cajal 认为人一生下来大脑就是定型的,不会怎么改变,有的神经元会死、会缩小,但不会有新的神经元生长出来。这种观点是有争议的,有的神经学家认为,人的一辈子都可能会生长新的神经元,正因为如此,人才可以“活到老学到老”,而且可以学得很好,因此我们人的大脑一辈子都有可塑性。Cajal 研究神经元之后,又有学者继续他的工作,其中有十几位杰出的科学家拿到了诺贝尔奖。

Penfield 是个医生,他的病人需要做手术把大脑不正常的部分切掉,因为这个部分让病人失去控制。为了避免影响病人手术后说话的功能, Penfield 拿一个电极,很轻地碰一下这里,又碰一下那里,看病人有什么反应。有时候他让病人说话,给病人一张张图,蝴蝶、桌子、电话等,图片一出现,病人就说话。Penfield 发现如果电极点对

地方,有的词,如“蝴蝶”,病人就说不出来了。把这个电极拿掉之后,病人就说:“唉,医生,我知道这是蝴蝶,但是‘蝴蝶’我想说,却说不出来呀!我又想说‘飞蛾’,但是‘飞蛾’都说不出来。我知道不是飞蛾,是蝴蝶。”通过这样的方法,我们就能一步步认识到大脑的每个部分大概有什么功能。Penfield (1959) 指出:九到十二岁这个阶段非常容易学会语言,十二岁以后就变得困难了,这就是关键年龄的问题。

Lenneberg (1967) 写过一本很重要的书,叫作 *Biological Foundations of Language* (《语言的生理基础》)。他画了一张图表示:人刚生下来的时候,大脑是 300 多克,然后会逐渐增长,到两岁左右,增长到差不多 1000 克,之后就停下来了。关键期在大脑重量上也有体现。Lenneberg 认为关键时期大概在两岁。然而,青春期和关键期影响的只是语言的一部分,语言包括很多部分,有词汇、语用、句法、语义等,也有发音。关键期大概主要跟发音有关。俄国著名语言学家雅克布森(Roman Jakobson)曾被戏称为“the only linguist who can speak twelve languages fluently, all in Russian”,也就是说他会讲十二种语言,都非常流利,但是听起来都像俄文。换句话说,他学这些语言的时候,已经过了关键期,所以他发不出标准的语音,但是他可以写出语义表达准确的优美文章。

Hensch (2016) 指出人们现在慢慢在了解什么时候会产生新的神经元。如果知道什么神经元用于发音,也许我们将来可以把关键期从小时候往后移,甚至移到八九十岁。

通过成像技术 PET (positron emission tomography, 正电子发射断层扫描) 可以发现:看字的时候,枕叶亮了;说话的时候,布罗卡区亮了;想动词的时

候，布罗卡区和威尔尼克区一起亮了。我们正在一步步地了解我们的大脑在做什么。我们有时候得到的种种刺激，有的刺激是不相符的，这时就会产生一种矛盾。当有这种矛盾产生的时候，大脑的前额叶部分会发现矛盾，然后再去解决，这一部分叫作前额皮层（prefrontal cortex）。

曾志朗和我（Tzeng & Wang, 1983）做过一些 Stroop 实验。如果让被试说出图片里一些长条形是什么颜色，如红色、蓝色、绿色、紫色，被试的反应会比较快；但是如果让说英语的被试说出用绿色所写的英文词“blue”是什么颜色，就困难得多了，回答应该是“green（绿色）”，写的却是“blue（蓝色）”这个词。同理，如果让汉语的被试说出用红色所写的“蓝”这个中文字是什么颜色，也会有困难，因为回答应该是“红色”，写的却是“蓝”字。一方面你要提取信息，另一方面你要排除干扰。有些人在这方面能做得很好，有些人年纪大了，在这方面就退步了。

Friederici (2011) 曾做过一个实验：她让被试听“*Heute hat der Opa dem Jungen den Lutscher geschenkt.*（今天老爷爷把糖给了青年。）”这个句子。虽然都是日耳曼语，但德文的这个句子和英文的差别很大。德文最常见的句式是“主语（*der Opa*）+ 间接宾语（*dem Jungen*）+ 直接宾语（*Lutscher*）+ 动词（*geschenkt*）”，但在不同的情形中可以调换顺序。例如，可以把间接宾语放到前面（*Heute hat dem Jungen der Opa den Lutscher geschenkt.*），也可以把间接宾语和直接宾语都提到主语前面来（*Heute hat dem Jungen den Lutscher der Opa geschenkt.*）。研究发现，被试听到不太常见的句式时，大脑的反应比较大，听到常见句式，大脑的波动较缓和；将间接宾语提前后，波动幅度

就大一点，如果两个宾语都提前，则波动的幅度最大。所以即使是一个非常便宜的仪器，也能够做出有意义的研究，关键是要提出好的问题。

有一种仪器叫脑磁图扫描仪（MEG, *magnetoencephalography*），它的时间和空间精度都非常好，但非常昂贵且不易维持，而且采集数据时被试的头在仪器里不能动。Boto (2018) 在 *Nature* 发表了一篇关于便携式 MEG 的文章，现在 MEG 可以戴在头上，采集数据时还可以喝咖啡。

May (2011) 曾用超声波观察妈妈子宫里的婴儿。婴儿在子宫里 26 周的时候就可以听到声音，尤其是妈妈说话的声音。28 周的时候，种种动作如伸舌头、张嘴就都有了。这些都是婴儿一出生就必须具备的生存能力，所以他们在妈妈子宫里已经开始练习了，否则出生后不会吸奶就不可能存活。

回到高更的第三个问题：“我们往何处去？”世界正在加速老龄化，科技的发展也许能为世界老龄化带来一些福祉。如阿尔兹海默症是一种大家比较熟悉的疾病，是德国人 Alois Alzheimer 在 1911 年发现的，Cabeza 等人 (2005) 和 Stix (2010) 研究表明：我们的大脑皮层本来是在头里挤得满满的，但是由于神经元的消失，就出现了空洞。对比正常大脑与阿尔茨海默症的大脑，会发现后者的脑皮层萎缩、容积下降。

人类跟黑猩猩分化之后，一直走进了现在的科技时代。科技带来了空前的力量，让我们彻底地改造了地球的面貌。目前，我们需要更深入地通过大脑，来了解我们的本性，来增长智慧。美国遗传学家 Dobzhansky 曾经说过：“*Nothing in biology makes sense except in the light of evolution.*（没有演化论的照耀，生物学的一切都是黯淡的。）”这句话

也可以套用在语言学研究上, 因为每一门学问, 背后都应该有演化论作为支撑。我们要了解现在, 就一定要知道过去, 也要想到未来。因为有了语言才可能有人类, 所以研究语言是了解人类来龙去脉的最重要的途径。

#### 作者简介

王士元, 美国加州伯克利大学荣休教授, 中国香港理工大学中文及双语学系讲座教授, 芝加哥大学荣誉博士, 主要研究方向为用演化论的框架探讨语言和认知在大脑里的运作。

#### 参考文献

- 陈宜张. 神经科学的历史发展和思考. 上海: 上海科学技术出版社, 2008.
- 赵元任. 语言问题. 北京: 商务印书馆, 1980.
- Boto, E. et al. Moving magnetoencephalography towards real-world applications with a wearable system. *Nature*, 555, 2018.
- Cabeza, R., Nyberg, L. & Park, D. *Cognitive Neuroscience of Aging: Linking Cognitive and Cerebral Aging*. New York: Oxford University Press, 2005.
- Cann, R., Stoneking, M. & Wilson, A. Mitochondrial DNA and human evolution. *Nature*, 325, 1987.
- Caramazza, A. et al. Separable processing of consonants and vowels. *Nature*, 403, 2000.
- Corballis, M. C. The uniqueness of human recursive thinking. *American Scientist*, 95, 2007.
- Freedman, D. A. & Wang, W. S-Y. Language polygenesis: a probabilistic model. *Anthropological Science*, 104, 1996.
- Friederici, A. D. The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiological Reviews*, 91, 2011.
- Gray, R. D. & Atkinson, Q. D. Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin. *Nature*, 426, 2003.
- Gould, J. L. & Marler, P. Learning by instinct. *Scientific American*, 256, 1987.
- Hensch, T. K. The power of the infant brain. *Scientific American*, 314, 2016.
- Hockett, C. F. The origin of speech. *Scientific American*, 203, 1960.
- Hublin, J.-J. How to build a Neandertal. *Science*, 344, 2014.
- Huxley, T. H. *Evidence as to Man's Place in Nature*. New York: Cambridge University Press, 1863.
- Kawai, N. & Matsuzawa, T. Numerical memory span in a chimpanzee. *Nature*, 403, 2000.
- Lenneberg, E. H. *Biological Foundations of Language*. New York: Wiley, 1967.
- Lieberman, D. E. *The Story of the Human Body: Evolution, Health, and Disease*. New York: Pantheon Books, 2013.
- May, L. et al. Language and the newborn brain: does prenatal language experience shape the neonate neural response to speech? *Frontiers in Psychology*, 2, 2011.
- Molnár, Z. Thomas Willis (1621–1675), the founder of clinical neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 2004.



- Nowak, M. A. Why we help: the evolution of cooperation. *Scientific American*, 307, 2012.
- Penfield, W. & Roberts, L. *Speech and Brain Mechanisms*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1959.
- Posner, M. I. & Raichle, M. E. *Images of Mind*. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1994.
- Ramachandran, V. S. & Hubbard, E. M. Synaesthesia—a window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies*, 8, 2001.
- Renfrew, C. The origins of Indo-European languages. *Scientific American*, 261, 1989.
- Simon, H. A. The architecture of complexity. *Proc. Am. Philos. Soc.*, 106, 1962.
- Shen, G. & Granger, D. Isotopes in Quartz reveal the age of China's Peking Man. *Nature*, 458, 2009.
- Stix, G. Alzheimer's: forestalling the darkness. *Scientific American*, 302, 2010.
- Stringer, C. B. & Barnes, I. Deciphering the Denisovans. *PNAS*, 112, 2015.
- Tzeng, O. J. & Wang, W. S-Y. The first two R's: The way different languages reduce speech to script affects how visual information is processed in the brain. *American Scientist*, 71, 1983.
- Underhill, P. A. et al. Y chromosome sequence variation and the history of human populations. *Nature Genetics*, 26, 2000.
- Vallender, E. J. et al. Genetic basis of human brain evolution. *Trends in Neuroscience*, 31, 2008.
- Wang, W.S-Y. *Explorations in Language Evolution*. Hyderabad, India: Osmania University Press, 1982.
- Wilson, E. O. *The Social Conquest of Earth*. New York: Liveright, 2012.
- Zhang, J. et al. Oldest playable musical instruments found at Jiahu early Neolithic site in China. *Nature*, 401, 1999.

(责任编辑 向晓云)