科学通报 2016 年 第 61 卷 第 25 期: 2786 ~ 2792
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS
Science125个科学前沿问题系列解读(XIII)

Why are there critical periods for language learning?

为什么存在语言学习的关键期?

李甦*, 杨玉芳*

中国科学院心理研究所行为科学院重点实验室, 北京 100101
* 联系人, E-mail: lis@psych.ac.cn; yangyf@psych.ac.cn

2016-04-01 收稿, 2016-05-15 修回, 2016-05-16 接受, 2016-08-05 网络版发表
国家自然科学基金(31571140)和国家自然科学基金重点项目(61433018)资助

摘要 语言能力是人类的特征之一. 人类语言具有极其复杂的结构, 可以用有限的元素生成出无数的语句, 用来表达思想、情感, 传承人类文明. 但人类是如何获得和学习语言的问题至今未解. *Science*杂志在2005年提出了125个需要探索的科学问题, "为什么存在语言学习的关键期" (Why are there critical periods for language learning?)即是其中之一. 本文重点阐述控制或调节语言学习关键期运作的因素, 以及影响关键期内语言学习的重要条件, 并指出了未来可能的研究方向.

关键词 语言, 关键期, 敏感期, 语言学习, 环境输入

语言能力是人类的特征之一. 在自然界中, 许多动物都有自己的交流系统, 但只有人类的语言能够用有限的元素生成无数的语句, 用来表达思想、情感, 传承人类文明[1]. 语言的强大功能来源于其结构的高度复杂性. 语言由多方面、多层次组成, 从音素到词汇, 从句法到语义. 在实际使用中, 这些方面和层次之间相互影响、相互制约, 形成纵横交错的关系. 令人惊奇的是, 儿童在尚不具备基本生活能力时, 就已经快速高效地学习和掌握了母语的复杂语言系统. 大约在4~5岁时, 他们已经拥有大量词汇, 并完全掌握了母语的基本规则, 能够理解和使用大多数的语法结构. 而后的语言发展则主要体现在词汇的增长和复杂语法结构的习得[2].

事实上, 在心理学、语言学及认知科学领域, 研究者们一直在从不同的角度, 采用不同的方法探查人类获得及学习语言的过程. *Science*杂志在2005年提出了125个需要探索的科学问题, "为什么存在语言学习的关键期"(Why are there critical periods for language learning?)即是其中之一.

1 语言学习存在关键期的早期证据

关键期这一术语最初来自于发育神经科学. 经典观点认为, 生物体早期发育过程中存在一个时间窗口, 即关键期[3,4]. 在这个窗口内系统是开放的, 可以在环境输入的影响下进行建构或者重新建构. 在此之前或者以后, 环境不能对系统的敏感性或者特定的反应属性产生影响. 关键期首先是在基本的感觉系统中发现的. 后来, 研究者在不同物种的不同系统中都观察到了关键期的存在[5]. 语言作为一种高级认知功能, 也存在学习和发展的关键期[6,7].

早年一系列"狼孩"个案的发现[8,9], 为语言学习关键期的存在提供了生动例证. 这些"狼孩"具有正常的听力, 在儿童期被剥夺了语言学习的环境, 直至青春期才回归人类社会、开始学习语言. 他们之中没有一个人能够在日后的生活中学会和掌握语言. 对生活在不同家庭的聋儿研究也支持了语言学习关键期的存在[10]. 由失聪父母(母语为手语)生育的聋儿, 出生后就暴露在手语环境之中, 学习手语的方式和

引用格式: 李甦, 杨玉芳. 为什么存在语言学习的关键期? 科学通报, 2016, 61: 2786–2792
Li S, Yang Y F. Why are there critical periods for language learning? (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 2786–2792, doi: 10.1360/N972016-00062

© 2016《中国科学》杂志社

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

时间与正常儿童的口语学习相同. 他们在2~5岁之间进入特殊学校, 通常能够获得流畅的手语能力. 而由正常父母养育的聋儿, 其手语学习是从进入特殊学校的时候开始的. 此时, 学习语言的能力已经逐渐下降. 那些在9~16岁之间进入特殊学校的聋儿, 即使在接受了多年大量的训练之后, 其手语能力仍然很低.

20世纪60年代, Lenneberg[11]提出的模型为语言学习关键期问题的探索提供了重要框架. 根据这个模型, 语言学习关键期具有一定的起始时间. 在大脑达到某种成熟后开始, 在大脑失去可塑性之后关闭, 即大约从2岁开始, 直至青春期结束. Lenneberg[11]及其他研究者[6,12]还研究了语言学习过程中不同语言学成分(如语音、词汇和句法等)发展的年龄特点, 认为语言的不同方面的关键期都在青春期左右关闭.

2 对语言学习关键期经典理论的质疑

以上这些早期界定的语言获得关键期的时间窗口, 在后续的研究中不断遭到质疑. 行为和脑科学研究均发现, 到2岁时儿童已经获得了多方面的语言能力, 而且关键期并非在语言所有方面都表现出相同的时间进程. 语音、词汇以及句法学习的关键期具有不同的时间框架, 尽管目前尚未在个体水平上确定精确的时间点[13]. 研究表明, 在言语知觉方面就存在多个敏感期, 其开启(onset)和结束(closure)时间都不相同[14]. 语音学习的关键期在1岁之前[15], 而句法学习则在18~36个月之间发展迅速, 在7岁之后有明显下降[6]. 词汇学习在18个月左右开始爆发, 其关键期并没有像语言其他方面那样表现出清晰的时间窗口. 一个人可以在任何年龄学习新的词汇, 或许词汇学习在人的一生中始终保持开放状态[16,17].

近年来, 关键期的概念发生了重要变化. 研究发现, 即使是视觉系统, 在关键期时间窗以外, 经验也会对学习产生影响, 尽管这种影响不是很深[14]. 据此, 研究者们提出“敏感期”(sensitive period)或者“最佳时间”(optimal timing)的概念[18]. 这些概念反映了这样一个事实: 关键期的窗口不是突然打开或者关闭, 而且可能永远不会完全关闭, 学习将贯穿人的一生[19]. 由此, 是什么样的过程开启了语言学习的关键期, 又是什么因素在控制或调节着语言学习关键期的运作, 才是更本质的问题.

3 控制或调节语言学习关键期运作的神经生物学机制

在视觉领域特别是眼优势(ocular dominance)领域, 研究者在细胞分子水平上探讨了最佳学习时间开启和关闭的药理学触发(pharmacological triggers)机制, 为理解语言学习关键期的存在及其变化的机制提供了新的启迪和借鉴[20,21]. 研究者一致认为, 关键期的开启取决于大脑中神经递质兴奋-抑制环路(excitatory-inhibitory circuit)的平衡.

在婴儿期, 神经突触分泌的递质多数是兴奋性的, 增强了大脑的电活动. 在大脑生长发育的一定阶段, 抑制性神经递质开始逐渐发挥作用. 正是兴奋与抑制之间的平衡决定了关键期的开启时间. γ-氨基丁酸(gamma-aminobutyric acid, GABA)是中枢神经系统内主要的抑制性神经递质. 因此, GABA神经环路的形成对于关键期的开启十分重要. 研究证明, 特定的GABA环路(小清蛋白细胞(parvalbumin, PV))的成熟决定着关键期的开始时间[5,22]. PV细胞是关键期开启的重要开关, 它的兴奋与抑制平衡的最佳状态决定了可塑性在一生中是否有可能变化[4].

分子生物学水平的研究进一步发现, 大脑皮层可塑性的分子触发器(molecular triggers), 如脑源性神经营养因子(brain-derived neurotrophic factor, BDNF)能够将神经环路从不成熟状态(兴奋与抑制活动不平衡)转换到可塑的状态[23]. 当分子触发器对感觉输入产生反应, 促进PV细胞和GABA功能成熟时, 关键期就开启了. 在可塑期内, 一些分子层面的因素使神经环路对感觉经验做出反应.

语言学习关键期的开启时间可以通过药物或者基因敲除加以调控. 苯二氮平类药物具有促进GABA触发关键期提前开启的功能. 而基因的操控, 如删除参与GABA合成的基因或者环境的破坏(如黑暗环境, 听力丧失), 则会导致关键期开启的延迟. Weikum等人[24]对触发言语知觉关键期开启和关闭时间的生物学通路进行了探查. 研究人员对比了3类儿童的言语知觉能力: 母亲在怀孕期处于抑郁状态并使用抗抑郁药物, 如血清素再提取抗抑制剂(serotonin reuptake inhibitor, SRI), 母亲抑郁但未使用抗抑郁药物, 未患抑郁症的正常母亲(控制组). 结果发现, 控制组婴儿可以在6个月时区分非母语的语音, 到了10个月就不能分辨了, 说明这时婴儿已经完成了语音范畴化的

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

过程. 那些患抑郁症但没有服用抗抑郁药物的母亲的孩子, 同正常母亲的孩子一样, 在10个月之前仍然可以区分非母语语音对比. 而在整个怀孕期都服用SRI的母亲的孩子, 出生前的SRI环境加速了他们言语知觉的发展进程, 胎儿在36个孕周时不仅可以区分元音之间的差别, 而且还可以区分元音-辅音组合之间的细小差别. 到出生6个月时, 就不能对非母语语音对比进行辨别, 即完成了语音范畴化过程. 这一结果说明, SRI可以使语言学习关键期提早开启.

关键期的关闭(即可塑性的稳定状态)是由分子制动器(molecular brakes)来维持的[25]. 分子制动器包括功能性的机制(如5羟色胺的再提取), 以及抑制内部调节兴奋-抑制环路平衡的神经调控系统[26]. 此外, 还包括生理上阻止突触修剪和分叉的机制[27], 例如, 外周神经网络或髓磷脂相关的信号限制神经环路的过度重新连接, 将其转变为稳定的状态. 这些制动器通过限制可塑性, 阻止结构的持续变化. 关键期关闭的功能优势在于它有助于保持已经习得的结构并使其巩固和稳定.

关键期关闭的时间也是可以调控的. 视觉领域的研究发现, 通过在基因、药理或行为(如注意力训练)水平上有针对性地操控几个在关键期之后出现的类似于制动器的因素, 可以在以后的生活中恢复可塑性或将关键期扩展到成年时期[20,26,28]. 关键期的提前或延迟开启、扩展、缩短、衰减或者重启, 这些改变说明关键期自身就具有可塑性. 换句话说, 关键期的时间点本身就具有可塑性[14].

在语言学习的关键期内, 神经网络以修剪, 以突触的自我平衡再生长(通过tPA, TNFα和蛋白质合成)为中介展开重组[4]. 在这个开放期内, 经验的丰富或者匮乏会导致重大的(有时是快速)连接变化. 因此, 这是一个机会与易损性(vulnerability)并存的时期, 环境因素极易对语言学习产生影响.

4 关键期内语言学习的机制

除了生物学发育的准备之外, 语言学习需要有环境输入, 这是影响和决定语言获得和发展的另一个不可或缺的条件. 听觉系统是发育最早的感觉通道, 婴儿在母体中就开始受到母语环境的影响. 人类的语言学习是从韵律特征开始的. 使用韵律线索, 婴儿可以将语流切分成各种不同尺度的单元. 这是语音和词汇学习的重要前提. 研究发现, 新生儿偏好听那些与母语属于同一韵律类型的语言[29]. 在4~5个月的时候, 婴儿就能够将母语与属于同一韵律类型的其他语言区分开来, 并且对母语表现出选择性的偏好[30].

婴儿如何学习和掌握母语? 有很多学者对此进行研究. Kuhl[13]在行为与神经水平的研究发现, 在关键期内影响婴儿学习母语音位系统的两个重要因素是统计学习和社会性认知.

统计学习是一种内隐学习[31]. 在母语环境中, 婴儿会分析所听到的语音的统计分布属性. 虽然不同语言中包含的音位数量不同, 但是发音器官的结构决定了人类所发出的声音具有一定的变化范围. 不同语言之间的差异就在于其声音的分布模式不同, 即拥有不同的元音和辅音系统. 当儿童对言语的声学特征进行分析的时候, 特定语言的音位范畴内部就会出现很高的分布概率, 而在范畴边界上的声音分布频率却很低. 语音的分布模式提供了知觉语言音位结构的线索, 有助于母语音位范畴的学习. 语音知觉的范畴化过程, 使婴儿对母语音位的分辨能力提升, 对母语中不存在的语音对立敏感性降低[32,33].

Kuhl[34]对来自美国和瑞典的6个月的婴儿进行了元音原型测查. 结果表明, 6个月时婴儿对元音原型已经表现出强烈的母语知觉磁体效应(perceptual magneteffect), 即以母语元音为中心的元音分类. 美语婴儿多将美语的元音变式知觉为同一范畴, 而瑞典语婴儿则多将瑞典语中的元音变式知觉为同一范畴. 这一结果反映出婴儿对其母语中声音分布属性具有敏感性. 研究证明, 这一效应是人类所独有的, 需要具有一定的语言经验才能获得. 此外, 婴儿还能从分布模式中学习语言的音韵模式以及构成词汇的音位配列规则. 9个月的时候婴儿就能够区分母语中具有不同出现频率的音位顺序[35].

对母语中语音分布模式的统计学习会改变大脑的可塑性. Kuhl实验室的Bosseler等人[36]近期对婴儿大脑神经活动震荡节律进行研究, 提供了统计学习改变大脑活动的新证据. 大脑神经震荡theta波段(~4~8 Hz)的活动是反映注意及付出认知努力的一个指标[37,38]. 以此为指标, 研究者对6~8, 10~12个月的婴儿以及成人3组被试知觉母语和非母语声音时的大脑活动进行了研究. 结果发现, 6~8个月的婴儿对经常出现的声音, 无论这些声音是来自于母语还是非母语, 都表现出theta波增强的特点. 成人则表现出相反的模式, 只对非母语的声音(无论是否经常出现)表

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

现出theta波增强的特点. 而10~12个月的婴儿表现出介于中间的模式, 但与成人的模式更为接近. 这些结果说明, 此时大脑神经回路正在集中登记那些经常出现在语言环境中的代表音素类别的信息.

社会性认知是婴儿语言学习的另一个重要条件. Kuhl等人[39]对比了在真实情境交流和电视化交流两种条件下, 9个月的美国婴儿学习普通话音位的结果. 结果发现, 在电视化交流的条件下, 婴儿分辨音位对比的得分显著低于真实情境交流条件下的婴儿得分. 基于这些研究结果, Kuhl[13]认为, 环境与成熟一样, 也是触发抑制性环路的重要因素. 言语发展的正常环境不仅是指某些语言要素机械地作用于婴儿, 而是包括在正常环境中婴儿与成人言语交往的动力过程. 在这一交往过程中, 成人可以把很多生活中的行为和内容用言语形式表达出来, 使婴儿在语音、词汇和意义之间建立联系. 在儿童语言学习的过程中, 社会性认知和语言加工的内在神机制统彼此交互影响, 控制着关键期的开启、关闭和在此期间的学习过程.

5 总结与展望

在获得特定的听觉经验之前, 胎儿的大脑中就已存在着支持言语加工的神经解剖结构[40]. 颞叶和额叶是经典的语言区. 新生儿的脑成像和近红外成像研究[41,42]揭示出, 这些脑区对连续言语的激活反应要强于非言语; 对于按照正常顺序叙述的熟悉和非熟悉语言的激活要强于对倒述语言(一种非言语的控制刺激)或者其他具有相同复杂程度的非言语信号. 所有这些都说明, 婴儿在出生前, 已经具有了广泛的语言学习的生物学基础和特定的经验. 那么, 成熟与经验在发展过程中是如何相互影响的? 年龄与经验相关的变化是如何开启、保持或者关闭语言学习关键期的? 为什么语言学习的不同方面(如语音、词汇和句法)关键期的开启和关闭存在不同的时间点, 它们又是如何重叠的? 已有针对婴儿语音知觉的研究所发现的语言关键期的可能机制是否普适于其他水平的语言结构? 或是分别存在特定的规律? 语言学习关键期的存在及其内在运作机制是与认识人类语言的本质密切相关的重要科学问题, 将会吸引科学家的持久兴趣和关注. 而基于发育神经科学(对婴儿大脑活动的监控)和生物分子学相结合的研究将会为揭示语言学习关键期的存在及其内在运作机制提供重要的证据.

参考文献

1 Arshavsky Y. Two functions of early language experience. Brain Res Rev, 2009, 60: 327–340
2 Gleason J B. The Development of Language. Boston: Pearson Education, 2005
3 Hubel D H, Wiesel T N. Receptive fields of cells in striate cortex of very young, visually inexperienced kittens. J Neurophysiol, 1963, 26: 994–1002
4 Hensch T K. Critical period plasticity in local cortical circuits. Nat Rev Neurosci, 2005, 6: 877–888
5 Hensch T K. Critical period regulation. Annu Rev Neurosci, 2004, 27: 549–579
6 Johnson J S, Newport E L. Critical period effects in second language learning: The influence of maturation state on the acquisition of English as a second language. Cogn Psychol, 1989, 21: 60–99
7 White L, Genesee F. How native is near-native? The issue of ultimate attainment in adult second language acquisition. Second Lang Res, 1996, 12: 233–265
8 Curtiss S. Genie: A Psycholinguistic Study of a Modern-Day Wild Child. New York: Academic Press, 1977
9 Singh J A, Zingg R M. Wolf-Children and Feral Man. Hamden: Archon Books, 1996
10 Mayberry R I, Eichen E B. The long-lasting advantage of learning sign language in childhood: Another look at the critical period for language acquisition. J Mem Lang, 1991, 30: 486–512
11 Lenneberg E H. Biological Foundations of Language. New York: John Wiley and Sons, 1967
12 Bialystok E, Hakuta K. In Other Words: The Science and Psychology of Second Language Acquisition. New York: Basic Books, 1994
13 Kuhl P K. Brain Mechanisms underlying the critical period for language: Linking theory and practice. In: Battro A M, Dehaene S, Singer W J, eds. Human Neuroplast Education. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 33–59
14 Werker J F, Hensch T K. Critical periods in speech perception: New directions. Annu Rev Psychol, 2015, 66: 173–196
15 Werker J F, Tees R C. Speech perception as a window for understanding plasticity and commitment in language systems of the brain. Dev Psychobiol, 2005, 46: 233–251

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

16 Newport E L, Bavelier D, Neville H J. Critical thinking about critical periods: Perspective on a critical period for language acquisition. In: Dupoux E, ed. Language, Brain and Cognitive Development: Essays in Honor of Jacques Mehler. Cambridge: MIT Press, 2001. 481–502
17 Kuhl P K. Brain mechanisms in early language acquisition. Neuron, 2010, 67: 713–727
18 Brainard M S, Knudsen E I. Sensitive periods for visual calibration of the auditory space map in the barn owl optic tectum. J Neurosci, 1998, 18: 3929–3942
19 Bavelier D, Davidson R J. Brain training: Games to do you good. Nature, 2013, 494: 425–426
20 vanVersendaal D, Rajendran R, Saiepour M H, et al. Elimination of inhibitory synapses is a major component of adult ocular dominance plasticity. Neuron, 2012, 74: 374–383
21 Syken J, Grandpre T, Kanold P O, et al. PirB restricts ocular-dominance plasticity in visual cortex. Science, 2006, 313: 1795–1800
22 Hensch T K, Fagiolini M, Mataga N, et al. Local GABA circuit control of experience-dependent plasticity in developing visual cortex. Science, 1998, 282: 1504–1508
23 Takesian A E, Hensch T K. Balancing plasticity/stability across brain development. Prog Brain Res, 2013, 207: 3–34
24 Weikum W M, Oberlander T F, Hensch T K, et al. Prenatal exposure to antidepressants and depressed maternal mood alter trajectory of infant speech perception. Proc Natl Acad Sci USA, 2012, 109: 17221–17227
25 Bavelier D, Levi D M, Li R W, et al. Removing brakes on adult brain plasticity: From molecular to behavioral interventions. J Neurosci, 2010, 30: 14964–14971
26 Morishita H, Miwa J M, Heintz N, et al. Lynx1, a cholinergic brake, limits plasticity in adult visual cortex. Science, 2010, 330: 1238–1240
27 Miyata S, Komatsu Y, Yoshimura Y, et al. Persistent cortical plasticity by upregulation of chondroitin 6-sulfation. Nat Neurosci, 2012, 15: 414–422
28 Lee S, Hjerling-Leffler J, Zagha E, et al. The largest group of superficial neocortical GABAergic interneurons expresses ionotropic serotonin receptors. J Neurosci, 2010, 30: 16796–16808
29 Moon C, Cooper R P, Fifer W P. Two-day-olds prefer their native language. Infant Behav Dev, 1993, 16: 495–500
30 Nazzi T, Ramus F. Perception and acquisition of linguistic rhythm by infants. Speech Commun, 2003, 41: 233–243
31 Saffran J R, Aslin R N, Newport E L. Statistical learning by 8-month-old infants. Science, 1996, 274: 1926–1928
32 Maye J, Werker J F, Gerken L. Infant sensitivity to distributional information can affect phonetic discrimination. Cognition, 2002, 82: B101–B111
33 Yoshida K A, Pons F, Maye J, et al. Distributional phonetic learning at 10 months of age. Infancy, 2010, 15: 420–433
34 Kuhl P K. Human adults and human infants show a “perceptual magnet effect” for the prototypes of speech categories, monkeys do not. Percept Psychophys, 1991, 50: 93–107
35 Kuhl P K. Early language acquisition: Cracking the speech code. Nat Rev Neurosci, 2004, 5: 831–843
36 Bosseler A N, Taulu S, Pihko E, et al. Theta brain rhythms index perceptual narrowing in infant speech perception. Front Psychol, 2013, 4: 690
37 Kahana M J, Sekuler R, Caplan J B, et al. Human theta oscillations exhibit task dependence during visual maze navigation. Nature, 1999, 399: 781–784
38 Jensen O, Tesche C D. Frontal theta activity in humans increases with memory load in a working memory task. Eur J Neurosci, 2002, 15: 1395–1399
39 Kuhl P K, Tsao F M, Liu H M. Foreign-language experience in infancy: Effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. Proc Natl Acad Sci USA, 2003, 100: 9096–9101
40 Dehaene-Lambertz G, Hertz-Pannier L, Dubois J, et al. How does early brain organization promote language acquisition in humans? Eur Rev, 2008, 16: 399–411
41 Dehaene-Lambertz G, Dehaene S, Hertz-Pannier L. Functional neuroimaging of speech perception in infants. Science, 2002, 298: 2013–2015
42 Pena M, Maki A, Kovacc D, et al. Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth. Proc Natl Acad Sci USA, 2003, 100: 11702–11705

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Why are there critical periods for language learning?

LI Su &YANG YuFang

Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

The unique human ability is linguistic communication. Only human being can produce an infinite number of meaningful messages through a finite number of lexical items and use language as a tool of mutual communication and mentalactivity. It is a mystery that human infants learn language so easily and quickly. Although researchers from different areas have been devoted to explore underlying mechanism of language learning for several decades, why there are critical periods for language learning is still an open question.

The classic notion of a critical period (CP) is a window, typically in early development, during which a system is open to structuring or restructuring on the basis of input from the environment. Before and after this period, environmental influences cannot affect the sensitivity or response properties of that particular system. CPs have been observed in various systems across species. Recently, it was found that even in the visual system, experience can have an impact at time points outside of the CP. The alternate term, sensitive (or optimal) period, was introduced to reflect the fact that windows do not always open and close abruptly and may never close completely. Learning is possible throughout the life span. Thus, what processes open/close (or reopen) CPs and mediate their operation is the core of answering why there are critical periods for language learning.

Recent cellular and molecular findings from the development of the visual system provide insights into neural and biological mechanisms of CPs in language learning. The balance between the excitatory and inhibitory activity defines the critical period. The onset and offset of a critical period is depended upon the excitatory–inhibitory balance of neurotransmitters in the brain. Additionally, the molecular mechanism affects the critical period is different for each stage. The onset is attributed to molecular triggers that can shift neural circuits from an immature to a plasticstate. The neural circuits using the neurotransmitter gamma-aminobutyric acid (GABA) are crucial for the onset of the critical period. During the plastic period, some molecular factors enable changes in neural circuitsin response to sensory experience. Finally, the offset is defined by molecular brakes, which limit excessive circuit rewiring, prevent further structural changes, and shift the neural circuit to a stable state.

A study on the speech perception development of infants whose mother had experienced depression throughout their pregnancy and had chosen to take an antidepressant (serotonin reuptake inhibitor (SRI)) showed that prenatal exposure to SRIs accelerated the entire speech perception trajectory. By 6 months of age, SRI-exposed infants had already stopped discriminating the pair-vowel contrast compared to the infants of a control group of mothers who had not experienced depression. This is direct evidence that the onset and offset of CPs in language learning can be triggered. Also, statistical learning from the distributional properties in speech and social interaction play important roles in infant initial language learning and could govern brain plasticity during critical periods.

Brain and behavioral studies have indicated a very complex set of interacting brain systems in the initial acquisition of language early in infancy, many of which appear to reflect adult language processing. Thus, some interesting issues, such as how the changes of maturation and experience affect the onset and offset of a critical period, why the different aspects of language (phonology, syntax, and semantics) have different time frames in CP will continuously attract researchers' attentions. The combination of developmental neuroscience and molecular tools will eventually elucidate the mechanisms underlying CP in language learning.

language, critical period, sensitive period, language learning, environmental input

doi: 10.1360/N972016-00062

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



李虹

博士，中国科学院心理研究所副研究员．北京学前教育研究会常务理事，学术指导委员会委员．研究方向为儿童语言与认知发展、儿童早期读写发展．近期关注儿童文字学习的神经机制．主持多项国家自然科学基金，在国内外期刊上发表论文 40 余篇，出版专著《学前儿童心理学》．



杨玉芳

中国科学院心理研究所研究员，研究领域是心理语言学．主要关注广义语法成分之间的界面问题和语言理解的认知神经基础，注重研究成果在语言工程中的应用．近年来，开展了音乐与语言的对比研究．共有 100 余篇论文发表在国内外优秀学术刊物，出版译著《音乐、语言与脑》，编著《心理语言学》，主持完成多项国家自然科学基金项目．

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net