

由L2到L1的跨语言激活路径研究——基于词汇识别的ERP数据*

杨思琴

中国人民大学文学院
ysq44@outlook.com

江铭虎

清华大学人文学院
jiang.mh@tsinghua.edu.cn

摘要

跨语言词汇激活模型是当下语言认知与计算研究的热门话题。本研究运用事件相关电位技术(event-related potentials, ERPs)探索了二语学习者在识别二语(second language, 简称L2)词汇时激活母语(native language, 简称L1)词汇表征的路径。研究设计了隐性启动范式来开展两个实验,通过观察被试能否感知只有激活L1词汇表征才能发现的对译词重复情况这一隐性条件来推测激活结果。脑电结果显示,实验一的被试在执行语义判断任务时,对译词重复与否产生了显著的N400差异,这表明被试经由概念表征激活了L1词汇表征,进而证明了激活路径Path-1(L2->L1)的存在;实验二的被试在执行书写形式判断任务时,在没有语义启动的情况下,同样感知到了对译词这一隐性条件,这表明他们可以由L2词汇表征直接激活L1词汇表征,从而证明了激活路径Path-2(L2->L1)的存在。总体而言,词汇识别过程中从L2词汇表征到L1词汇表征的激活路径与修正层次模型(the Revised Hierarchical Model, RHM)描绘的词汇产出过程的激活路径类似。据此,本研究推测,尽管大脑在词汇识别和词汇产生过程中采用不同的处理机制,但在跨语言词汇激活过程中,它们依然存在某些共通之处。

关键词: 词汇; 激活; 路径; 模型; N400

Cross-lingual Activation Path from L2 to L1——Based on ERP Data during Word Recognition

Yang Siqin

Renmin University of China
School of Liberal Arts
ysq44@outlook.com

Jiang Minghu

Tsinghua University
School of Humanities
jiang.mh@tsinghua.edu.cn

Abstract

Cross-lingual lexical activation models are a hot topic in current linguistic cognition and computation research. This study used the ERPs to explore the pathway by which L2 learners activate their L1 lexical representations while recognizing their L2 words. The implicit priming paradigm was designed to carry out two experiments, inferring the activation condition by observing whether participants can perceive the implicit condition of repetition of translated words that can only be found after activating their L1 lexical representation. EEG results showed that when participants in Experiment 1 performed the semantic relatedness judgment task, there was a significant difference in N400 between whether the translated words were repeated or not, which indicated that

本课题获得国家自然科学重点基金项目(62036001)的支持

participants activated their L1 lexical representation through the conceptual representation, proving the existence of Path-1 (L2→L1); when participants in Experiment 2 performed the orthographic judgment task, they also perceived the implicit condition of word translation without semantic priming, which suggested that their L1 lexical representation could be directly activated from their L2 lexical representation, thus proving the existence of Path-2 (L2→L1). Overall, the activation pathway from L2 lexical representations to L1 lexical representations during word recognition is consistent with that of word production described by the RHM. Accordingly, this study speculated that although the brain adopts different processing mechanisms in the process of word recognition and word production, they still have some commonalities during the cross-lingual word activation.

Keywords: Lexical , Activation , Path , Model , N400

1 引言

不同语言之间的激活状态（简称跨语言词汇激活）是当下认知语言学和心理语言学关注的焦点，同时，跨语言词汇激活模型也是语言认知与计算研究的热门话题。以往国内外语言学家们对此不遗余力地开展了众多研究，发现并多次验证了二语学习者在识别L2词汇时，会自动激活L1词汇。然而，遗憾的是，他们对词汇识别时的激活路径则少有涉及。鉴于激活路径亦是心理词典模型结构中的关键细节，本研究将对此开展进一步探索，试图为词汇识别过程中的跨语言词汇激活模型提供一些新的见解。

语言学家威尔金斯曾言：“如果没有语音和语法，我们所能表达的内容寥寥无几。但若没有词汇，我们则很难传递任何信息(Wilkins, 1972)。”特别是对于二语学习者而言，词汇学习是语言学习过程中关键且费时的环节。并且，在早期阶段，L2词汇的掌握也倾向于依赖L1词汇的使用。于是，在研究跨语言词汇之间关系的话题上，语言学家们从不同角度提出了跨语言词汇激活模型。其中，最为经典的三个模型分别是Kroll (1994) 提出的RHM, Dijkstra (2002) 提出的双语交互激活模型+ (Bilingual Interactive Activation Model, BIA+) 和Grosjean (1988) 提出的词汇访问双语模型 (Bilingual Model of Lexical Access, BIMOLA)。

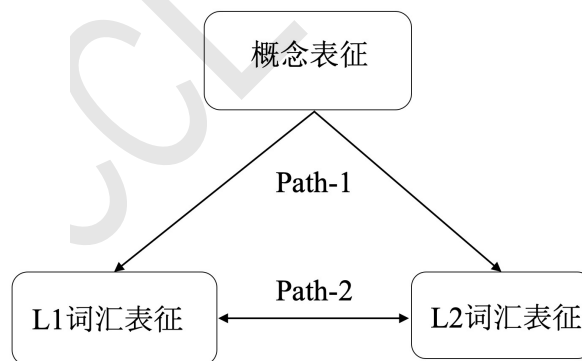


图 1: RHM两条路径示意图

RHM在描述词汇产生时明确区分了概念表征和词汇表征，并描绘了L1 词汇表征和L2词汇表征之间的两条路径，如图1，(1) 经由概念表征间接激活的路径(Path-1)，(2) 直接激活的路径(Path-2)。然而，RHM是否适用于词汇识别目前尚未可知。BIA+则基于词汇识别而提出，它认为双语词汇信息的激活是从最基础的信息(字形和字音)到(最终)语义的自动激活，词汇激活不仅受到另一种语言词汇书写形式的影响，还受到跨语言的语音和语义表征的影响。遗憾的是，该模型的构建仅基于拥有同种书写形式的不同语言，不足以阐释其它语言之间的激活情

况。BIMOLA描述的激活过程与BIA+类似。值得关注的是，它对语言模式进行了更清晰的交代：单语语言模式下的目标语言网络会被激活得比较强烈，而非目标语言网络被激活的程度则相对较弱；但在双语模式下，两种语言网络可以同时被激活。

通过对RHM、BIA+和BIMOLA三个模型的分析，本研究发现，不同词汇表征之间的激活路径在语言模式得到控制的前提下还有待进一步探究。以往的研究分析表明，RHM清晰地反映了双语心理词典的结构，即二语学习者不同语言的词汇是分别表征的，但它们的概念是共同表征的(李荣宝, 彭聃龄, 郭桃梅, 2003; Zeelenberg and Pecher, 2003; Li et al., 2009; Perea et al., 2021)。例如, 彭聃龄等曾经运用脑电技术探索英语和汉语两种语言词汇的表征情况。结果显示: 反映语言书写形式加工的P190脑电波在汉英两种词汇加工过程中存在明显的差异; 而反映语义加工的N400脑电波在不同语言的词汇中则没有显著的差别(李荣宝, 彭聃龄, 郭桃梅, 2003)。综合来看, 该研究结果清晰地展现了在词汇记忆中, 词汇表征与概念表征的分离, 以及不同语言词汇表征之间的区分。

基于此, 本研究推测L2词汇表征和L1词汇表征之间也存在两条关联路径, Path-1和Path-2, 但这两条路径是否可以作为词汇之间的激活路径还尚未可知。以往研究表明, 当二语学习者在二语模式下阅读L2词汇时, 大脑会自动激活母语词汇中的对译词(Thierry and Wu, 2007; Wu and Thierry, 2012; 肖巍, 倪传斌, 2016; 肖巍, 2018), 这为从L2词汇表征到L1词汇表征的激活结果提供了实验证据。在接下来的研究中, 本研究将重点观测从L2词汇表征到L1词汇表征的两条路径[Path-1 (L2->L1) 和Path-2 (L2->L1)]是否可以激活。

2 研究问题

为了控制语言模式从而营造单语模式, 避免双语模式下两种语言同时激活给跨语言词汇激活路径的观测带来干扰, 本论文计划采用只呈现目标语言的隐式启动范式作为词汇呈现的方式。在该范式中, 存在一个只有翻译成非目标语言后才能觉察到的隐性因素(例如, window-curtain, 窗户-窗帘)。实验通过观测被试能否觉察到该隐性因素(例如, 窗), 来推测非目标语言是被否激活。

针对Path-1 (L2 -> L1), 本研究将通过开展实验一, 运用语义判断任务来检测它的激活情况。因为在语义判断任务中, 被试只有调用了词汇的概念意义, 才能得出正确的反应。所以本研究假设, 如果语义判断任务下的L1词汇表征被激活, 那么, 该激活过程必然会经过Path-1。鉴于L1词汇概念的激活可能会同时经过两条路径, 而经过Path-1的激活就必然会启动概念表征。因此, 为了探索Path-2 (L2->L1), 本研究将采用一个抑制概念意义加工的书写形式判断任务来开展实验。Valdes (2005) 和Spruyt (2009) 发现, 语义启动可以通过对被试注意力的分配进行调节, 控制甚至抑制。Mari-Beffa (2005) 也发现, 当被试的实验任务与语义启动无关时, 大脑的控制机制将抑制语义的激活。因此, 本研究将设计一个引导被试关注词汇书写形式特征而非语义的任务, 简称为书写形式判断任务。它要求被试判断连续呈现的英语词对(启动词和目标词)中是否有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻, 其中, 满足以上情况的有两种(如interview-reporter, 第一个单词中存在两个相邻的元音字母; arm-shoulder, 第二个单词中存在两个相邻的元音字母)。不满足也有两类(如bedroom-wheel, 都存在两个相邻的元音字母; network-tennis, 都不存在两个相邻的元音字母)。本研究通过观察在语义没有启动的情况下L1词汇表征的激活情况, 来推测该激活是否经过Path-2。

鉴于事件相关电位(event-related potential, ERP)具有毫秒级的分辨率, 能更精确地记录数毫秒内大脑神经活动的细微变化, 本研究将它作为实验的研究技术。其中, 作为最广泛的参考脑电成分之一(Silva-Pereyra et al., 1999; Laszlo and Federmeier, 2011; Tiedt et al., 2020), N400可以反映大脑对词汇的概念和形式加工。例如: 当两个词语先后呈现给被试时, 不存在语义关联的词对将比存在语义关联的词对诱发更负的N400波幅(Thierry and Wu, 2007; Jia et al., 2013; Friesen et al., 2016; Yang et al., 2021b)。类似的, 不存在形式关联的词语(例“兔子-课桌”)将比存在形式关联的词语(例“小说-小孩”)诱发较大的N400波幅(Thierry and Wu, 2007)。另外, 当多个与N400相关的语言现象同时出现的时候, N400有可能会呈现叠加和覆盖的现象(Ye et al., 2006; Yang et al., 2021a)。据此, 本研究将该脑电成分作为分析词汇加工的特征参数。

3 实验一

3.1 语料设计

表 1: 实验一语料设计范例

| | 汉语对译词首字重复 | | 汉语对译词首字不同 | |
|------|---------------|----------------|---------------|-------------------|
| | 启动词 | 目标词 | 启动词 | 目标词 |
| | S+R+ | | S+R- | |
| 语义相关 | school 学校 | academic 学术 | coffee 咖啡 | milk 牛奶 |
| | S-R+ | | S-R- | |
| 语义无关 | airport 机场 | chance 机会 | honesty 诚实 | convenience 方便 |

实验一使用了120组英文单词词对（240个单词）作为实验材料，包含2个变量：语义相关性和对译词首字重复情况，如表1所示。2×2组成4组实验材料（Semantic: S+代表语义相关，S-代表语义无关；Repetition: R+代表汉语对译词首字重复，R-代表汉语对译词首字不重复）。S+R+代表语义相关词对且汉语对译词首字重复的词对；S+R-代表语义相关词对且汉语对译词首字不重复的词对；S-R+代表语义无关词对且汉语对译词首字重复的词对；S-R-代表语义无关词对且汉语对译词首字不重复的词对。实验材料的范例如表1所示。其中，每组包含30个英语单词词对。

实验一从词频、词长、具体度、L2与对译词的一致性和词对的相关性五个方面对实验语料进行控制。由于单词以成对的形式出现，因此在控制词频时，研究一将词汇呈现的顺序（简称为词序）也作为一个因素纳入分析。针对词频，本研究以Van-Heuven (2014) 新改进的英语词频数据库为参考。以语义相关性、对译词首字重复情况和词序为三因素的方差分析结果显示，任何交互作用和主效应均不显著($ps > 0.5$)。对于词长，本研究计算了作为语料的英语单词的字母数。以语义相关性、对译词首字重复情况和词序为三因素的方差分析结果显示，任何交互作用和主效应均不显著($ps > 0.5$)。为了确保英文单词翻译和中文词语的一致性。本研究邀请了16名大学生对英语词语进行翻译，并观测他们在看到英文单词时，首先想到的中文翻译是否与本研究中采用的中文词语相同。除了汉字拼写错误以外，每个词语的一致性均在75%及以上。

此外，本研究招募了15名大学生使用5点李克特量表对英语词对的语义相关程度进行了评估。其中，5分代表语义相关性最高，1分代表语义相关性最低。将评估数据收集完之后，研究一将语义相关性和对译词首字重复情况这两个条件作为两因素进行统计分析。结果显示，语义相关性的主效应显著 $[F(1, 116) = 4124.094, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.973]$ ，此外，语义相关性和对译词首字重复也存在交互效应 $[F(1, 116) = 5.448, p = 0.021, \eta_p^2 = 0.045]$ 。配对t检验显示，S+R+的语义相关性高于S-R+的语义相关性 $[t(29) = 31.148, p < 0.001]$ ，和S-R-的语义相关性 $[t(29) = 38.300, p < 0.001]$ ；S+R-的语义相关性高于S-R+的语义相关性 $[t(29) = 62.058, p < 0.001]$ ，和S-R-的语义相关性 $[t(29) = 100.116, p < 0.001]$ 。但是，S+R+的语义相关性与S+R-的语义相关性差异不显著 $[t(29) = -1.282, p = 0.210]$ 。值得注意的是，S-R+的语义相关性高于S-R-的语义相关性 $[t(29) = 2.414, p = 0.022]$ 。

在具体实验中，由于满足实验方案要求的英语词对数量有限，实验中的所有材料重复呈现2次，以保证测量次数。一共有240个试次。在呈现的过程中，所有的实验材料均以伪随机的顺序呈现。

3.2 被试

实验一一共招募了22位大学生参加了此次实验。所有的被试皆为大陆学生。其中2位被试的脑电数据无法提取和使用。最终有20位被试（9位男生）的数据进入后续分析。他们的年龄范围在19岁~26岁之间。其中，女性的平均年龄是22.27岁，男性的平均年龄是21.22岁。根据爱丁堡的惯性测试，参加实验的被试都属于右利手(Oldfield, 1971)。另外，在实验之前，所有被试的

视力或矫正视力均正常。他们在参加实验时身体健康，且没有任何神经或精神疾病的病史。所有被试均获得了《赫尔辛基宣言》(Helsinki Declaration)的知情同意。为了控制英语水平，在选取的被试中，所有被试都参加了大学英语六级考试，且分数都在550分以上。所有被试都获得了等额的现金报酬，并同意了当地伦理委员会批准的实验方案。

3.3 实验流程

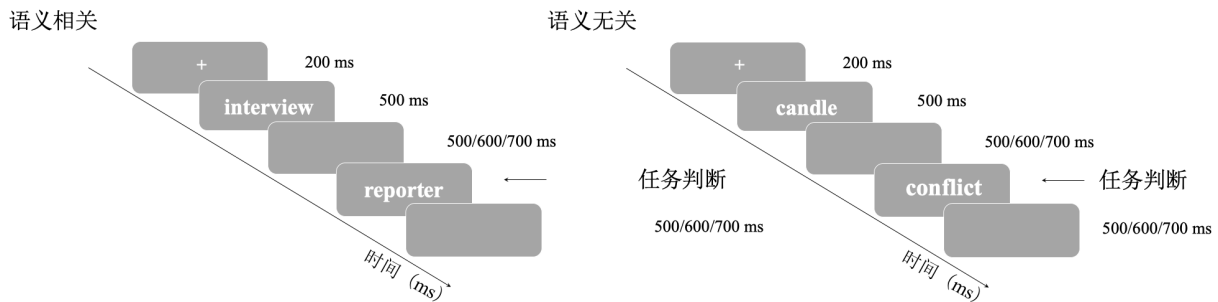


图 2: 实验一试次的流程图范例

被试坐在离电脑屏幕80 cm左右的椅子上完成操作。本研究运用心理学软件工具E-Prime 2.0将任务要求和实验材料均呈现在电脑屏幕上。屏幕背景为灰色，而作为实验材料的英语词对均以白色34号的字体呈现。被试被告知实验一的操作任务（即判断前后呈现的词语语义是否相关）后开始实验。首先是练习模块。屏幕向被试呈现了20对英语词对，包括与正式实验材料类似的四种类型分别5对。被试在练习实验任务的过程中，只有正确率达到了90%及以上之后可以进入接下来的正式实验。实验试次的流程图范例如图2所示，每个试次的流程如下：首先，一个提示符号“+”呈现在屏幕中央，持续时间为200 ms，提醒被试集中注意力；其次，第一个英语单词出现在屏幕中央，停留时间为500 ms；之后是一个空白屏幕，停留的时长是500、600或700 ms中的任意一个；最后，第二个词出现在屏幕上，直到被试对此反应后才消失；被试作出反应后，空白屏幕再次出现。此处空白屏幕的停留时间是随机的，可能停留200 ms，也可能停留300 ms或400 ms。到此为止，一个实验任务便完成了。所有词对均以伪随机顺序呈现。研究结果的数据分析仅基于正式实验。

3.4 数据采集与分析

实验一使用62 Ag/AgCl 电极弹性帽来记录被试在参加实验过程中的脑电数据。该电极帽上配备着国际10-20电极放置系统(EasyCap; Brain Products GmbH, Gilching, Germany)。设备中的FCz和AFz电极分别用作参考电极和接地电极。两个眼电极用于测量垂直和水平眼电图，分别放置在左眼下方和右眼外侧(Picton et al., 2000)。在准备正式实验前，电极阻抗保持在10k Ω 以下。在Brain Vision Recorder软件(Brain Products, Munich, Germany)的控制下，研究使用带通为0.01-100Hz的BrainAmpDC放大器系统(Brain Products GmbH)记录被试的EEG数据。电生理记录的过程严格遵循以往已发表并被公认的流程(Yang et al., 2021b)。

在收集完数据之后，使用Brain Vision Analyzer软件(Brain Products, Munich, Germany)来分析EEG数据，分析的过程分别是调整参考、眼电矫正、过滤、分割、基线校正、伪影剔除和平均。调整参考：脑电图数据被重新引用到关联的乳突，然后在预处理后引用到所有脑电图通道的平均值。眼电矫正：使用嵌入在Brain Vision Analyzer软件(Brain Products, Munich, Germany)中的基于独立成分分析的程序校正眼部伪影。过滤：EEG数据从0.1到35Hz离线进行带通滤波。分割：从目标词开始前200 ms到开始后800 ms的EEG被分割成主要观测并呈现在脑电图上的窗口(200 ms目标前基线)。伪影剔除：剔除可能由肢体等外部运动引起的伪影(电压超过 $\pm 80\mu V$)波段。平均：将处理好的脑电进行叠加平均。

本研究需要分析的数据包括行为数据和脑电数据。其中，行为数据包括反应时间和反应正确率。反应时间取的是每个被试在同种条件下所有反应时间的中位数(由于样本容量较大，之

所以选择中位数，是因为其排除有效被试中的个别极端数据，更能反映整体水平）。反应正确率是同种条件下正确反应的次数与该条件下所有反应次数的比例。

对于脑电数据，本研究主要观测和分析Cz、C1、C2、C3、C4、FCz、FC1和FC2这8个电极记录的N400成分。N400成分被认为是反映词汇语义相关性和重复启动的脑电成分(Thierry and Wu, 2007; Wu and Thierry, 2010; Lau et al., 2013; Yang et al., 2021b)。该电极簇是通过观测N400的脑电地形图分布来确定的。N400的分析窗口为300~500 ms。该时间窗口与之前研究所取的时间窗口近似(Thierry and Wu, 2007; Wu and Thierry, 2010; Liang and Chen, 2014)。本研究的数据分析采用的N400是分析窗口中电极簇（包含8个电极点）的平均振幅。

数据分析采用的是双因素（语义相关性×汉语对译词首字重复情况）重复测量方差分析。当自由度大于1时，则采用Greenhouse-Geisser法校正。如果交互作用显著，则继续进行简单效应分析或t检验。

3.5 实验结果

3.5.1 行为数据结果

实验一记录了被试的正确率和反应时间。S+R+的平均正确率为90.1% (SD = 1.2%)。S+R-的平均正确率为96.1% (SD = 1.1%)。S-R+的平均正确率为96.7% (SD = 0.7%)。S-R-的平均正确率98% (SD = 0.5%)。每种条件的平均正确率均在90%以上，保证了数据的有效性。

反应时间从第二个英语单词（目标词）出现的时候开始记录。S+R+的反应时间为756 ms (SD = 28)。S+R-的反应时间为722 ms (SD = 26)。S-R+的反应时间为794 ms (SD = 32)。S-R-的反应时间为740 ms (SD = 29)。研究采用双因素（语义相关性×汉语对译词首字重复情况）重复测量方差分析方法分析反应时间。结果显示，语义相关性有接近显著的主效应 $[F(1, 19) = 3.315, p = 0.084, \eta_p^2 = 0.149]$ 。汉语对译词首字重复的主效应显著 $[F(1, 19) = 19.366, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.505]$ 。

3.5.2 脑电数据结果

实验一8个电极点各自的N400波幅（ERP）、N400平均波幅（N400 Amplitude）和脑电地形图（The Scalp Topographies of N400）如图3所示。分析结果显示，语义相关性的主效应显著 $[F(1, 19) = 34.745, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.646]$ ，并且，语义相关性×汉语对译词首字重复的交互作用显著 $[F(1, 19) = 5.343, p = 0.032, \eta_p^2 = 0.219]$ 。在语义相关的情况下，汉语对译词首字引发的N400有显著差异，其中，汉语对译词首字重复条件引发的波幅比不重复条件引发的波幅更负 $[F(1, 19) = 7.09, p = 0.015]$ 。但是，在语义无关的情况下，统计结果没有表现出显著差异 $[F(1, 19) = 0.35, p = 0.560]$ 。在汉语对译词首字重复的词对中，语义无关条件引发的脑电波幅明显比语义相关条件引发的脑电波幅更负 $[F(1, 19) = 10.96, p = 0.004]$ ，在汉语对译词首字不重复的词对中也如此 $[F(1, 19) = 43.80, p < 0.001]$ 。

3.6 讨论

实验一结果中的正确率均在90%以上，保证了数据的有效性。行为实验结果显示，被试在语义相关性上表现出了接近显著的反应时间差，在汉语对译词首字重复与不重复的两种情况下也表现出了明显的反应时间差。据此可推测，被试在进行语义判断过程中不仅觉察到了语义相关性因素，而且也激活了英语词对的汉语对译词。这契合(Thierry and Wu, 2007; Wu and Thierry, 2010; 肖巍, 倪传斌, 2016; 肖巍, 2018)的研究结果。

在脑电数据结果中，只有在语义相关的情况下，汉语对译词首字重复的变量才会引发显著的N400差异，在语义无关的情况下则没有显著的差异。值得注意的是，在语义相关的词对中，汉语对译词首字重复条件引发的波幅比不重复条件引发的波幅更负。显然，这是汉语对译词首字重复导致的波幅差异。但是，在语义无关的词对中，无论汉语对译词首字是否重复，都会因为语义无关而引发一个显著的N400效应。并且，语义无关引发的N400波幅比汉语对译词首字重复引发的波幅明显更大。由以往N400成分意义的综述可知，N400是脑与语言研究中反映语义信息加工和反应重复启动的脑电成分(Thierry and Wu, 2007; Jia et al., 2013; Friesen et al., 2016; Yang et al., 2021b)。当多个与N400相关的语言现象同时出现时，N400有可能会出现叠加和覆盖的现象(Ye et al., 2006; Yang et al., 2021a)。因此，本研究推测，此处母语对译词首字重复条件引发的N400很可能与语义无关引发的N400重合在一起了。

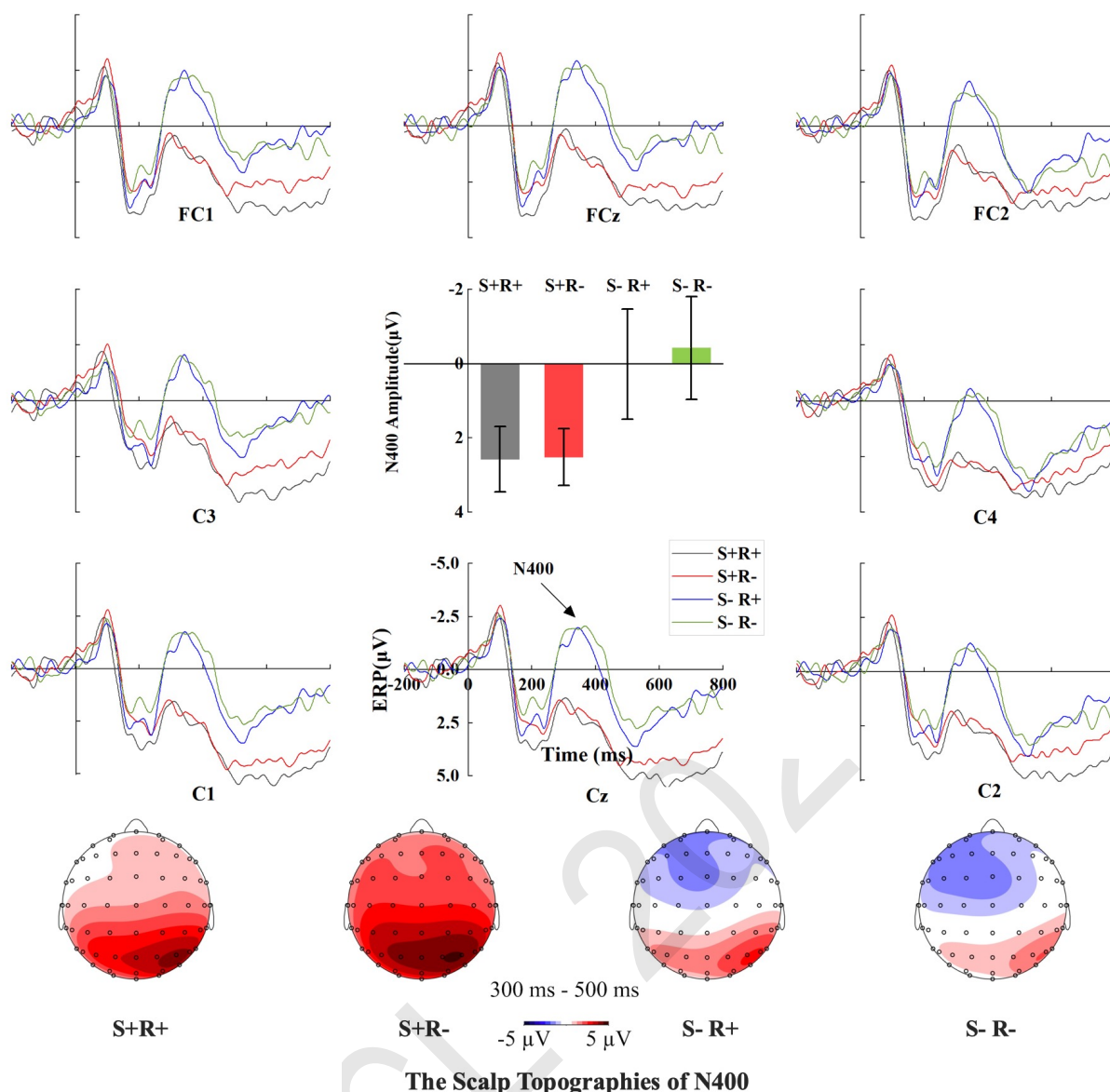


图 3: 实验一脑电结果图

总之，结合反应时间的结果来看，当被试在加工二语词汇的语义内容时，大脑可能自动激活了它在母语中的词汇。并且，结合实验一的假设和实验设计可知，该激活过程必然经过不同语言共享的概念表征。因此，本研究推测，从L2词汇表征到L1词汇表征的激活过程可能经过Path-1 (L2->L1)。

4 实验二

4.1 语料设计

实验二共设置了3个变量，分别是语义相关性，对译词首字重复情况和元音字母相邻情况。如表2， $2 \times 2 \times 2$ 组成8组实验材料 (Semantic: S+代表语义相关, S-代表语义无关; Repetition: R+代表汉语对译词首字重复, R-代表汉语对译词首字不重复; Adjacent: A+代表有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻, A-代表不满足有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻的情况)。S+R+A+: 语义相关词对、汉语对译词首字重复、有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻; S+R+A-: 语义相关词对、汉语对译词首字重复、不满足有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻的情况; S+R-A+: 语义相关词对、汉语对

表 2: 实验二语料设计范例

| | 汉语对译词首字重复 | | | | 汉语对译词首字不同 | | | |
|------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|--------|
| | 元音字母相邻 | | 元音字母不相邻 | | 元音字母相邻 | | 元音字母不相邻 | |
| | 启动词 | 目标词 | 启动词 | 目标词 | 启动词 | 目标词 | 启动词 | 目标词 |
| 语义相关 | S+R+A+ | | S+R+A- | | S+R-A+ | | S+R-A- | |
| | education | classroom | British | English | bone | blood | bus | driver |
| | 教育 | 教室 | 英国 | 英语 | 骨头 | 血液 | 巴士 | 司机 |
| 语义无关 | S-R+A+ | | S-R+A- | | S-R-A+ | | S-R-A- | |
| | fruit | level | happen | fever | pencil | society | century | plant |
| | 水果 | 水平 | 发生 | 发烧 | 铅笔 | 社会 | 世纪 | 植物 |

译词首字不重复、有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻；S+R-A-：语义关键词对、汉语对译词首字不重复、不满足有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻的情况；S-R+A+：语义无关词对、汉语对译词首字重复、有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻；S-R+A-：语义无关词对、汉语对译词首字重复、不满足有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻的情况；S-R-A+：语义无关词对、汉语对译词首字不重复、有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻；S-R-A-：语义无关词对、汉语对译词首字不重复、不满足有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻的情况。

由于实验二仅关注语义相关性和对译词首字重复情况这两个条件的行为数据和脑电数据，元音字母条件的设置仅仅是为了制造一个加工书写形式的任务而非研究目的，因此，实验二没有考虑它的统计数据。与实验一类似，实验二也分别从词频、词长、具体度、L2与对译词的一致性和词对的相关性五个方面对实验语料进行了控制。

4.2 被试

实验二一共招募了23位大学生作为被试。所有的被试皆为大陆学生。其中，3位被试的脑电结果干扰信号太多，数据无效。最终有20位被试（10位男生）的数据进入最终的统计分析。他们的年龄范围在19岁~26岁之间。其中，女性的平均年龄是22.1岁，男性的平均年龄是21.3岁。根据爱丁堡的惯性测试结果，参加实验的被试都是右利手(Oldfield, 1971)。另外，在实验之前，所有被试的视力或矫正视力均正常。被试在参加实验时身体健康，且没有任何神经或精神疾病的病史。所有被试均获得了《赫尔辛基宣言》(Helsinki Declaration)的知情同意。为了控制被试整体的英语水平，研究记录了他们的语言成绩。被试都参加了大学英语六级考试，且分数均在550分以上。所有被试都获得了等额的现金报酬，并书面同意了当地伦理委员会批准的实验方案。

4.3 实验流程

除了实验任务以外，实验二的实验流程与实验一的实验流程大体相似。在实验二中，被试被要求执行书写形式判断任务，即判断连续呈现的英语词对（启动词和目标词）中是否有且只有一个英语单词中有两个元音字母相邻。

4.4 数据采集与分析

实验二的数据采集与分析方法与实验一一致。

4.5 实验结果

4.5.1 行为数据结果

实验二记录了被试的正确率和反应时间。S+R+的平均正确率为90.1% (SD = 1.2%)。S+R-的平均正确率为94.6% (SD = 1.2%)。S-R+的平均正确率为95.9% (SD = 1.2%)。S-R-的平均正确率92.8% (SD = 1.1%)。每种条件的平均正确率均在90%以上，保证了数据的有效性。反应时间从第二个英语单词（目标词）出现的时候开始记录。S+R+的反

应时间为1159 ms (SD = 88)。S+R-的反应时间为1169 ms (SD = 102)。S-R+的反应时间为1087 ms (SD = 87)。S-R-的反应时间为1118 ms (SD = 80)。双因素(语义相关性×汉语对译词首字重复情况)重复测量方差分析的统计结果显示,只有语义相关性的主效应显著 $[F(1, 19) = 9.141, p = 0.007, \eta_p^2 = 0.325]$ 。

4.5.2 脑电数据结果

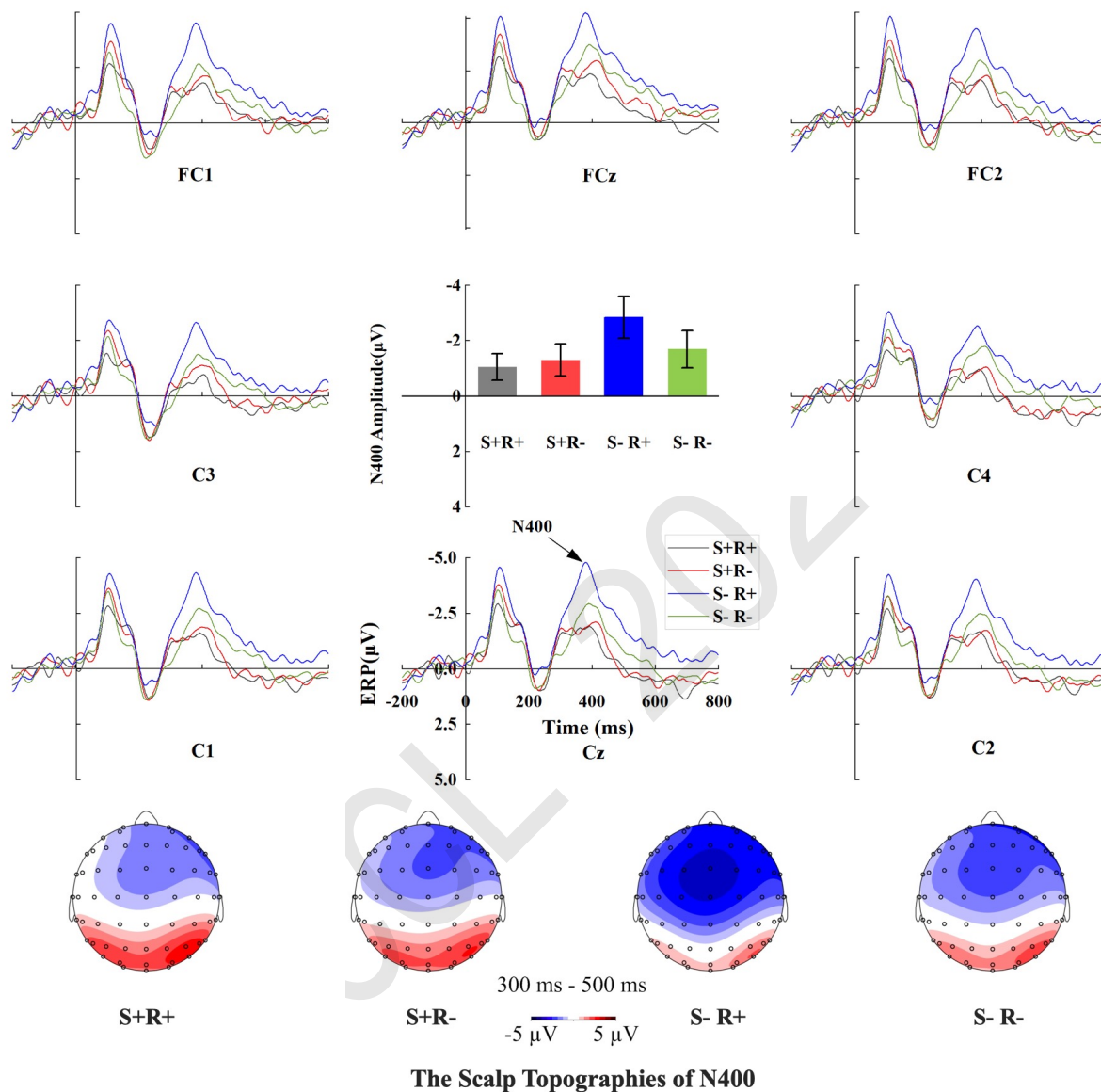


图 4: 实验二脑电结果图

实验二8个电极点各自的N400波幅(ERP)、N400平均波幅(N400 Amplitude)和脑电地形图(The Scalp Topographies of N400)如图4所示。分析结果显示,语义相关性与汉语对译词首字重复情况的交互作用显著 $[F(1, 19) = 4.594, p = 0.045, \eta_p^2 = 0.195]$,语义相关性的主效应也显著 $[F(1, 19) = 6.901, p = 0.017, \eta_p^2 = 0.266]$ 。在对译词首字重复的情况下,语义相关性差异显著 $[F(1, 19) = 9.330, p = 0.007]$,其中,语义无关词对引发的N400比语义相关词对引发的N400更负。然而,在对译词首字不重复的情况下,语义相关性差异则不显著 $[F(1, 29) = 0.67, p = 0.423]$ 。

4.6 讨论

实验二邀请了中英二语学习者作为被试，让他们运用本研究设计的书写形式判断任务来判断前后出现的英语词对中的元音相邻情况。每种条件的正确率均在90%以上，保证了数据的有效性。其中，在行为实验结果中出现了语义相关性的主效应。但是，在脑电结果中，语义相关性与汉语对译词首字重复情况产生了显著的交互效应。并且，脑电结果显示，对译词的不同情况对语义启动产生显著的影响。具体而言，在对译词首字不重复的情况下，反映在N400波幅上的语义相关性差异不显著。而在对译词首字重复的情况下，反映语义相关性的N400波幅则呈现出了显著的差异。鉴于对译词这一隐性因素给语义启动带来的显著影响，本研究推测，实验二中的被试在二语模式下对L2词汇执行书写形式判断任务时，可能首先激活了L2词汇在L1中的对译词，而这正是经由Path-2 (L2->L1) 的激活路径。此外，当汉语对译词首字不重复时，该任务对语义启动的抑制效果更加显著。

此外，通过对比对译词首字重复条件下的不同情况不难发现，在对译词首字重复的情况下，被试可能激活了共享的概念表征。但是，对概念表征的激活路径，是从二语词汇表征直接到概念表征，还是从二语词汇表征到母语词汇表征再到概念表征，目前尚未可知。但值得关注的是，在对译词首字不重复的条件中，被试却没有任何迹象表明其激活了概念表征。对比以上两种情况，其变量不是二语词汇而是母语词汇。因此，本研究从推测，在对译词首字重复的条件中，当被试在没有激活母语的词汇表征时，可能与对译词首字不重复的条件一样，也没有激活概念表征。然而，当被试激活了母语的词汇表征之后，觉察到了对译词首字重复的特殊存在，可能在此之后继续激活了概念表征。

为了解释实验中出现的再激活现象，本研究引入(Collins and Elizabeth, 1975)描述的语义加工的扩散-激活理论进行分析。该理论认为，大脑中词汇记忆可以分为概念网络和词汇网络（包括词汇的书写形式），并对激活过程进行了如下描述：当某个词汇被大脑处理时，它在大脑中的激活则以递减的梯度沿着网络路径扩散。这种激活正如来自一个源的信号，它在向外扩散过程中会逐渐衰减。值得注意的是，如果外界的刺激是一个变量，交叉的激活则需要触发到一个具体的阈值。如果对不同来源的刺激求和，当交叉点的总和达到阈值时，大脑则可能重新评估网络中产生交叉点的路径，再进行激活。基于此，本研究推测，在实验过程中，之所以在对译词首字重复的条件下出现了词汇语义的再激活，可能是因为对译词首字重复这个条件对于被试而言是在激活过程中发现的新变量，这个的新变量出现刺激了大脑重新评估网络中产生交叉点的路径，从而进行再激活。

综上所述，本研究在实验二中发现，当被试在识别词汇过程中执行书写形式判断任务时，可能经由Path-2 (L2->L1) 激活了母语词汇表征。

5 总结

本研究运用ERP技术在二语模式下观测到了二语学习者从L2词汇到L1对译词两条路径的激活情况。在实验一中，被试执行的是英语语义判断任务。在实验二中，被试执行的是英语书写形式判断任务。结果显示，在两种任务下，被试都可能激活母语词汇的对译词。此外，实验一的结果证明了激活路径Path-1 (L2->L1) 的存在；而实验二的结果则表明激活路径Path-2 (L2->L1) 的存在。该研究结果弥补了BIA+和BIMOLA在描述词汇识别时在跨语言词汇激活路径方面的缺失，给词汇识别过程中跨语言词汇激活路径的模型结构提供了新的证据。并且，研究发现，词汇识别过程中从L2词汇表征到L1词汇表征的激活路径与RHM描绘的词汇产出过程的激活路径类似。据此，本研究推测，尽管大脑在词汇识别和词汇产生过程中采用不同的处理机制，但在跨语言词汇激活过程中，它们依然存在某些共通之处。这种共通之处是否与心理词典和双语心理词典在大脑中的储存方式存在内在的联系，还有待进一步探索。总体而言，本研究的实验结果也进一步印证了二语激活母语的跨语言现象(Degani and Tokowicz, 2013; Mishra and Singh, 2016; Costa et al., 2017)。

近期，Dijkstra (2018) 构建了一个跨语言词汇激活的计算模型——Multilink。作为跨语言研究领域语言认知与计算结合的重要成果，该模型集成了RHM和BIA+的基本理论，在单语和双语词汇决策、单词命名和单词翻译生成等任务中模拟不同长度和频率的同源词和非同源词的识别和生成。未来，囊括跨语言词汇激活路径的理论模型亦有望被开发成计算模型，将诸如此类的模型理论转化为具体可实现的流程。

参考文献

- Collins A M. and Elizabeth F L . 1975. A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6):407–428.
- Costa A. , Pannunzi M. , Deco G. , and Pickering M J. . 2017. Do bilinguals automatically activate their native language when they are not using it? *Cognitive Science*, 41(6):1629–1644.
- Degani T. and Tokowicz N . 2013. Cross-language influences: translation status affects intraword sense relatedness. *Memory and Cognition*, 41(7):1046–1064.
- Dijkstra T. and van Heuven W J B. . 2002. The architecture of the bilingual word recognition system: From identification to decision. *Bilingualism: Language and Cognition*, 5(3):175–197.
- Dijkstra T. O. N. , Wahl Alexander , Buytenhuijs Franka , Van Halem Nino , Al-Jibouri Zina , De Korte Marcel , and RekkÉ Steven . 2018. Multilink: a computational model for bilingual word recognition and word translation. *Bilingualism: Language and Cognition*, 22(04):657–679.
- Friesen D C. , Oh J. , and Bialystok E . 2016. Phonologically-mediated meaning activation in monolinguals and bilinguals evidence from homophone effects in erp. *Linguistic Approaches to Bilingualism*, 6(3):262–289.
- Grosjean François . 1988. Exploring the recognition of guest words in bilingual speech. *Language and Cognitive Processes*, 3(3):233–274.
- Jia X. , Wang S. , Zhang B. , and Zhang J. X. . 2013. Electrophysiological evidence for relation information activation in chinese compound word comprehension. *Neuropsychologia*, 51(7):1296–301.
- Kroll J F. and Stewart E . 1994. Category interference in translation and picture naming: Evidence for asymmetric connections between bilingual memory representations. *Journal of Memory and Language*, 33(2):149–174.
- Laszlo S. and Federmeier K. D. . 2011. The n400 as a snapshot of interactive processing: Evidence from regression analyses of orthographic neighbor and lexical associate effects. *Psychophysiology*, 48(2):176–186.
- Lau E. F. , Gramfort A. , Hamalainen M. S. , and Kuperberg G. R. . 2013. Automatic semantic facilitation in anterior temporal cortex revealed through multimodal neuroimaging. *Journal of Neuroscience*, 33(43):17174–81.
- Li , Mo L. , Wang L. , Luo R M. , and Y. X. . 2009. Evidence for long-term cross-language repetition priming in low fluency chinese–english bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 12(1):13–21.
- Liang Lijuan and Chen Baoguo . 2014. Processing morphologically complex words in second-language learners: The effect of proficiency. *Acta Psychologica*, 150:69–79.
- Mari-Beffa P. , Valdes B. , Cullen D. J. , Catena A. , and Houghton G. . 2005. Erp analyses of task effects on semantic processing from words. *Cognitive Brain Research*, 23(2-3):293–305.
- Mishra Ramesh Kumar and Singh Niharika . 2016. The influence of second language proficiency on bilingual parallel language activation in hindi-english bilinguals. *Journal of Cognitive Psychology*, 28(4):396–411.
- Oldfield Richard C . 1971. The assessment and analysis of handedness: The edinburgh inventory - sciencedirect. *Neuropsychologia*, 9(1):97–113.
- Perea M. , Labusch M. , and Marcet A. . 2021. How are words with diacritical vowels represented in the mental lexicon? evidence from spanish and german. *Language, Cognition and Neuroscience*, pages 457–468.
- Picton T.W. , Bentin S. , Berg P. , Donchin E. , Hillyard S.A. , Johnson JR. R. , Miller G.A. , Ritter W. , Ruchkin D.S. , Rugg M.D. , and Taylor M.J. . 2000. Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37(2):127–152.

- Silva-Pereyra J. , Harmony T. , Villanueva G. , Fernández T. , Rodríguez M. , Galán L. , Díaz-Comas Lourdes. , Jorge B. , Fernández-Bouzas A. , Marosi E. , and Reyes A . 1999. N400 and lexical decisions: automatic or controlled processing? *Clinical Neurophysiology*, 110(5):813–824.
- Spruyt Adriaan , Houwer Jan De , and Hermans Dirk . 2009. Modulation of automatic semantic priming by feature-specific attention allocation. *Journal of Memory and Language*, 61(1):37–54.
- Thierry G. and Wu Y. J. . 2007. Brain potentials reveal unconscious translation during foreign-language comprehension. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(30):12530–12535.
- Tiedt H. O. , Ehlen F. , and Klostermann F. . 2020. Age-related dissociation of n400 effect and lexical priming. *Scientific Reports*, 10:e20291.
- Valdes B. , Catena A. , and Mari-Beffa P. . 2005. Automatic and controlled semantic processing: a masked prime-task effect. *Conscious Cogn*, 14(2):278–95.
- van Heuven W. J. , Mandera P. , Keuleers E. , and Brysbaert M. . 2014. Subtlex-uk: a new and improved word frequency database for british english. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(6):1176–90.
- Wilkins D A. . 1972. *Linguistics in language teaching*. Edward Arnold, London.
- Wu Y. J. and Thierry G. . 2010. Chinese-english bilinguals reading english hear chinese. *Journal of Neuroscience*, 30(22):7646–51.
- Wu Y. J. and Thierry G. . 2012. Unconscious translation during incidental foreign language processing. *Neuroimage*, 59(4):3468–73.
- Yang S Q. , Cai Y Y. , Xie W. , and Jiang M H . 2021a. Semantic and syntactic processing during comprehension: Erp evidence from chinese qing structure. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15:e701923.
- Yang S Q. , Zhang X C. , and Jiang M H. . 2021b. Bilingual brains learn to use l2 alliterations covertly like poets: Brain erp evidence. *Frontiers in Psychology*, 12:e691846.
- Ye Z. , Luo Y J. , Friederici A D. , and Zhou X. . 2006. Semantic and syntactic processing in chinese sentence comprehension: evidence from event-related potentials. *Brain Research*, 1071(1):186–96.
- Zeelenberg René and Pecher Diane . 2003. Evidence for long-term cross-language repetition priming in conceptual implicit memory tasks. *Journal of Memory and Language*, 49(1):80–94.
- 李荣宝, 彭聃龄, 郭桃梅. 2003. 汉英语义通达过程的事件相关电位研究. *心理学报*, 35(3):309–316.
- 肖巍. 2018. 二语词汇加工中的一语自动激活: 来自中国英语学习者的证据. 清华大学出版社, 北京.
- 肖巍, 倪传斌. 2016. 二语词汇加工中的一语自动激活: 来自中国英语学习者的证据. *外语教学与研究*, 48(2):236–248.