

统计学习与双语认知的关系

陈瑶^{1,2}, 李利^{2*}

(1. 华南师范大学外国语言文学学院, 广州 510631; 2. 华南师范大学国际文化学院, 汉语学习与国际推广省重点实验室, 广州 510631)

摘要:统计学习是提取环境输入潜在规则的一种认知机制, 其与语言的关联已得到证实。双语认知是学界关注的热点之一。统计学习与双语认知的关系如何? 文章先介绍统计学习认知机制及其与语言的关系, 然后从“统计学习能力可否预测二语学习表现”、“统计学习训练能否促进二语学习”和“双语经验能否提高统计学习能力”三个维度述评相关文献, 并指出未来可从输入特征、个体差异和神经科学角度进一步探讨统计学习与双语认知的关系。

关键词:统计学习; 双语认知; 双语优势; 二语学习

中图分类号:B842.5

文献标识码:A

文章编号:1003-5184(2022)05-0409-07

1 引言

语言如何习得? 乔姆斯基认为人类仅凭大脑中的语言习得装置(Language acquisition device, LAD)便可习得语言。随后, Hauser 等(2002)进一步将 LAD 精细化, 认为 LAD 实质上为递归机制(recursion mechanism), 强调语言习得主要由天生官能所决定, 忽略语言输入在语言习得中的作用。然而, Saffran 等(1996a, 1996b)向上述观点提出挑战, 两项研究分别向婴儿和成人随机呈现由 3 个不同音节组成的 4 个固定音节组(bidaku, golabu, padoti, tupi-ro), 音节组间存有转接概率^{**}, 组内转接概率为 1, 组间为 0.33, 非组间为 0, 结果发现被试对转接概率数值越高的音节组越敏感, 表明婴儿和成人均可通过语言单位间的规则划分词汇, 进而习得语言, 上述研究成果验证了语言输入对语言习得的重要作用, 首次提出了统计学习这一概念。统计学习指的是个体基于环境输入的统计线索提取潜在规则的一种认知机制(Kidd & Christiansen, 2018; Saffran et al., 1996a)。基于此, Christiansen 和 Chater(2015)进一步对天赋论中的 LAD(递归机制)进行辩驳, 提出 LAD(递归机制)并不存在, 认为人类在加工语言的递归结构时依靠的是人类古老的顺序学习能力, 即统计学习能力。该文吸引了大批学者探讨统计学习与语言间的关系。目前, 相关研究均证实了统计学习与语言间存在紧密关联, 多数聚焦单语现象, 仅有少数关注双语研究(徐贵平等 2020; Weiss et al.,

2020)。事实上, 随着全球化进程的加快, 世界范围内双语者数量日渐增多, 这对双语者、双语现象及双语认知的研究提出了更紧迫的需求。不同于单语者, 双语者日常生活与工作中需要加工母语、二语甚至更多的语言, 这种特殊而复杂的语言使用情境预示, 基于双语者研究的统计学习成果会比母语研究成果更丰富, 更有挑战性。因此, 探讨统计学习与双语认知的关系, 通过了解二者之间的相互作用, 可以进一步从双语研究角度促进我们对统计学习与语言间关系的认识。通过对相关研究进行梳理, 目前关注统计学习与二语学习和双语认知间关系的研究多聚焦“统计学习能力可否预测二语学习表现”, “统计学习训练能否促进二语学习”和“双语经验能否提高统计学习能力”三个维度。因此, 本文先简单介绍统计学习认知机制及其与语言间的关系, 然后从上述三个维度对相关研究进行梳理和评述, 最后从输入特征、个体差异以及神经科学角度尝试提出未来研究展望。

2 统计学习认知机制及其与语言的关系

统计学习最为常用的研究范式包括统计学习范式(statistical learning paradigm, SL)和人工语言范式(artificial language paradigm, AL)。SL 范式分为学习阶段和测试阶段。学习阶段让被试重复接触系列含有统计规则的信息流, 要求被试在测试阶段完成二选一迫选测试, 通过判断的准确率以测量统计学习表现。AL 范式同样分为学习阶段和测试阶段, 学

* 通讯作者: 李利, E-mail: liliwrm@163.com。

** 转接概率指的是基于前一个出现的成分, 另一个成分会出现的条件概率(Endress et al., 2020), 转接概率分为两种, 邻接依存(adjacent dependency)和非邻接依存(non-adjacent dependency), 邻接依存指的是两个成分同时出现, 例如“AB”, 而非邻接依存指的是两个成分中间隔着另一个成分同时出现, 例如“AXB”。

习阶段向被试呈现基于人工语言的符号序列,符号序列由潜在规则所限定,被试需提取其中的规则,但与 SL 范式不同,AL 范式需要被试连续多天对潜在的规则进行学习,随后要求被试在测试阶段判断当前序列是否与学习阶段序列的潜在规则相符,判断的准确率为统计学习表现。

2.1 统计学习认知机制与神经基础

统计学习机制如何?对此问题的认识,学界经历了从单元论到多元论的演变。最初,研究者采用上述范式考察人类信息加工时是否涉及了统计学习机制,结果发现统计学习机制在各种认知过程中广泛存在,例如视觉加工(唐溢等,2015)和语言加工等(姜山等,2022;于文勃,王璐,瞿邢芳等,2021)。由此,研究者认为统计学习可能以单一的机制提取不同的规则,提出统计学习机制可能是单元机制(Frost et al., 2019; Hsu et al., 2014)。但随着研究的推进,不少学者发现不同通道的统计学习呈现不同的行为模式,表明不同通道的加工涉及不同的统计学习机制(Frost et al., 2015; Mitchel & Weiss, 2011; Siegelman & Frost, 2015)。随即,单元论受到质疑,多元论成为主流(Siegelman, 2020)。多元论认为统计学习包括两套机制,一套机制基于感知觉加工,负责处理简单的规则(例如邻接依存和单通道规则),激活脑区主要是知觉运动皮层;另一套机制基于注意和控制,负责处理复杂的规则(例如非邻接依存和多通道规则),激活脑区主要是前额叶皮层和顶叶皮层(Arciuli, 2017; Batterink et al., 2019; Conway, 2020; Siegelman & Frost, 2015)。可见,多元论主要从输入特征和认知成分层面探讨统计学习机制的多元属性。

2.2 统计学习与语言间的关联

语言富含统计规则,个体可通过统计学习机制提取语言中的潜在规则。由此,统计学习被认为是语言学习与加工的重要机制(Christiansen, 2019)。为验证两者的关联,研究者从行为研究和认知神经科学研究层面进行探讨。在行为研究层面,历时研究发现婴幼儿的统计学习能力可预测他们后期的母语能力发展(Shafte et al., 2012; van der Kleij et al., 2019)。个体差异研究发现统计学习能力可预测母语学习表现,例如句法加工(Kidd & Arciuli, 2016)、词汇知识(Shafte et al., 2012)和阅读能力等(Arciuli, 2018; Qi et al., 2019)。关注语言障碍群体的研究也发现语言能力存有障碍的个体在统计学习能力上也存有缺陷(Gabay et al., 2015; Mainela - Arnold & Evans, 2014; Saffran, 2018)。甚至有研究发现家

庭经济条件低下的孩子,只要统计学习能力强,也能弥补家庭条件带来的缺陷,获得与中产阶级及以上家庭背景孩子相同的语言水平(Eghbalzad et al., 2021)。在神经科学研究层面,有研究发现统计学习和语言加工的神经机制相似甚至重合(Christiansen et al., 2012)。此外,Daltrozzo 等(2017)发现与统计学习相关的 ERP 成分可预测个体在语法任务和词汇任务中的表现。以上行为研究和神经科学研究的结果均一致证明统计学习与语言间存有紧密的关联。

3 统计学习能力可否预测二语学习表现

统计学习能力可以预测母语学习表现(Qi et al., 2019; Shafte et al., 2012),那么,统计学习能力可否预测二语学习表现?目前相关研究仍处于探索阶段。

最早对此进行探讨的是 Frost 等(2013),他们采用 SL 范式考察统计学习能力与二语字词学习间的关联,结果发现个体的统计学习能力越佳,二语字词学习表现越好,表明统计学习能力可以预测二语字词学习表现。Brooks 等(2017)探讨统计学习与二语词法结构规则学习间的关联,结果同样发现统计学习能力可以预测二语词法结构学习表现。此外,有研究对比统计学习和其他认知能力(例如工作记忆)对二语词法结构学习的预测效应,结果发现只有统计学习能力可以预测二语词法结构学习表现(Medonough & Trofimovich, 2016)。除了上述行为研究,相关的神经科学研究也提供了同样的证据。Yu 等(2019)采用 SL 范式考察统计学习能力在汉语二语学习者汉字字词形音转换表现中的作用,结果发现统计学习相关脑区(左侧额下回)的激活程度可以预测汉语二语者汉字字词形音转换的表现。

上述研究均发现统计学习能力能够预测二语个别维度的学习表现,那么什么因素会影响这种预测效应?Granena(2013)从二语习得年龄角度考察早期和晚期双语者统计学习能力与二语语法学习间的关联,结果仅发现晚期双语者的统计学习能力可以预测其二语语法学习表现,对于早期习得二语的个体而言,统计学习能力对二语语法习得表现的预测效能较少。该研究结果也意味着,二语习得年龄会影响统计学习能力对二语学习表现的预测效应。

4 统计学习训练能否促进二语学习表现

既然统计学习可预测语言学习表现,那么提高统计学习能力可否促进语言学习的表现?为了探讨此问题,Smith 等(2015)对大学生被试实施为期四天的基于视觉图形的统计学习训练,结果发现该训

练不仅提高了个体的统计学习能力,还提升了个体的母语语音识别能力。结果表明,统计学习能力具有可塑性,即统计学习能力可通过认知训练得到提高,进而促进语言习得。那么,统计学习训练可否促进二语学习?目前未有研究正面回答此问题,现有研究多从人工语言角度研究统计学习训练对二语学习的影响。鉴于被试在学习人工语言时母语已达到高熟练程度,且有研究发现人工语言和二语加工的神经机制相似甚至部分重合(Qi & Legault, 2020),由此本文基于人工语言相关研究讨论统计学习训练对二语学习的促进效应。相关研究多从计算机统计学习训练、神经刺激以及音乐训练三个层面展开探讨。

计算机统计学习训练对二语学习的促进效应。Onnis 等(2015)采用 SL 范式,让被试接触人工词汇语音流,语音流中含有两种转接概率,其中一种转接概率的出现频率高于另一种转接概率,由此察看被试可否通过接触出现频率高的转接概率,从而促进语音流规则的习得。结果发现被试倾向于使用出现频率高的转接概率划分语音流中的人工词汇,表明统计学习能力可通过训练得以提升,同时表明统计学习能力的提升有利于提高二语词汇的划分能力。

神经刺激对二语学习的促进效应。既然统计学习具有可塑性,那么对统计学习相关脑区(例如布洛卡区)进行神经刺激可否提升统计学习能力进而促进二语学习?为了探讨此问题,Uddén 等人(2008)采用 AL 范式,先对被试的左侧布洛卡区(BA44/BA45)实施 TMS 刺激,然后要求被试学习人工语法并完成语法判断任务,结果发现接受了神经刺激的被试在语法判断任务中的准确率更高,且更快作出反应,表明对布洛卡区施加 TMS 刺激可提高统计学习能力,进而促进二语语法学习。该研究仅关注了邻接依存语法规则,忽略了自然语言句法结构中更为重要的非邻接依存规则,那么对布洛卡区的神经刺激是否对二语非邻接依存规则学习同样产生促进作用呢?为此,Uddén 等(2017)在被试学习非邻接依存人工语言语法规则前,对被试的布洛卡区实施 TMS 刺激,结果发现对该区域的神经刺激可以促进非邻接依存语法规则的习得,进一步证明对布洛卡区的神经刺激可促进二语语法学习。但目前这方面的研究仅局限于布洛卡区,对其他与统计学习相关脑区的探索仍较为匮乏。有研究发现对背外侧前额叶皮层施加去激活的 TMS 刺激能巩固个体对视觉图形序列规则的记忆(Ambrus et al., 2020),表明除了布洛卡区,对背外侧前额叶皮层施加神经

刺激也可以提高统计学习能力,而该研究并未探讨这种刺激可否促进二语学习,未来可考察除了布洛卡区以外,对其他与统计学习相关的脑区(例如背外侧前额叶皮层)施加神经刺激可否促进二语学习。

音乐训练对二语学习的促进效应。音乐和语言共享核心机制,音乐训练可以在一定程度上促进语言学习。Shook 等(2013)采用 SL 范式探讨音乐训练可否提高统计学习能力进而促进二语学习,他们让音乐水平高和音乐水平低的被试学习基于摩斯密码的人工语言,随后让被试在测试阶段完成人工语言熟悉度判断任务,结果发现音乐水平高的被试的统计学习能力更强,人工语言学习得也更好,表明音乐训练可提高统计学习能力,进而促进二语学习。

5 双语经验能否提高统计学习能力

双语者需灵活转换和使用两种语言,这在一定程度上能促进双语者的认知功能,例如 Ellen Bialystok 的系列研究发现,双语经验可促进执行控制、工作记忆和注意力等认知功能(Barac et al., 2016; Bialystok, 2015; Sorge et al., 2017)。既然统计学习作为一种认知功能,研究者便猜测,双语经验可能也会提高统计学习能力,并为此开展系列研究,然而不同的研究得出的结果也不一,有质疑的证据也有支持的证据。

Yim 和 Rudoy(2013)认为双语优势可能会拓展到统计学习层面,即双语者的统计学习表现会优于单语者的统计学习表现,于是采用 SL 范式加以探索,结果发现两类被试的统计学习表现并无显著差异,由此认为双语者在统计学习层面并不比单语者有优势。随后,Bulgarelli 等(2019)认为 Yim 和 Rudoy(2013)的研究仅让被试加工单一的规则,这与双语认知加工的复杂过程有很大差异。因此,Bulgarelli 等(2019)进一步采用 SL 范式探索双语者在多重规则中的统计学习表现,仍然无法发现双语者较单语者存在优势的有力证据。

然而,另一系列研究得出的结果却截然相反。Antovich 和 Graf Estes(2018)采用 SL 范式探索早期双语经验能否促进婴儿对语音规则的习得,结果发现早期双语经验可以提高被试的统计学习能力。Kuo 和 Anderson(2012)采用 SL 范式考察双语经验能否影响儿童语音音位规则的习得,结果发现无论儿童二语水平如何,双语被试均比单语被试更好地习得语音中的音位规则,表明统计学习的双语优势效应是存在的,并且不受二语水平的影响。也有研究采用 SL 范式考察双语经验能否提高成人的统计

学习能力,结果发现,双语经验可以提高成人的语言统计学习能力,但不能提高其他维度的统计学习能力,例如视觉图形统计学习能力(Bartolotti et al., 2011; Potter et al., 2017)。以上研究表明,无论被试是婴儿,儿童还是成人,双语经验均可提高语言统计学习能力。然而,上述研究是基于单一规则的统计学习能力的探讨,实验任务无法模拟复杂的双语情境,由此研究结果也受到质疑。为此,部分学者尝试在多套复杂规则中探讨了统计学习中的双语优势效应(Wang & Saffran, 2014; de Bree et al., 2017)。例如, Wang 和 Saffran (2014) 采用 SL 范式考察双语经验可否影响人工音调语言的统计学习表现,人工音调语言含有两套规则,音节规则和音调规则,结果发现,双语者在加工人工音调语言如此复杂的规则时比单语者更有优势。更有研究基于自然语言探讨此论题,结果同样发现双语经验可以提高自然语言规则的统计学习表现(Orena & Polka, 2019)。

上述大多研究能较为稳定地发现语言统计学习上的双语优势效应,但少数却得到相反的结果。那么,为何部分研究无法发现这种优势效应?在什么条件下方能发现这种优势效应?这均为后续研究需要深入探讨的问题。

6 统计学习与双语认知关系的总结与未来展望

综上所述,本文分析了统计学习机制与语言的关系,进一步从“统计学习能力可否预测二语学习表现”、“统计学习训练能否促进二语学习”以及“双语经验能否提高统计学习能力”三个维度,探讨了统计学习与双语认知间的关系,多数研究发现统计学习能力对二语学习不同维度的预测效应,统计学习训练对二语学习的促进效应以及统计学习中的双语优势效应。不难发现,尽管已有一定成果,但多数研究实质上从统计学习机制单元论角度进行探讨,基于统计学习机制多元属性的研究成果较少。多元论主要从输入特征和认知成分层面探讨统计学习机制的多元属性。基于此,关于统计学习与双语认知关系的研究,本文尝试从输入特征、个体差异和神经科学角度提出未来的研究展望。

6.1 输入特征对统计学习与双语认知关系的影响研究

根据多元论观点,统计学习机制受到输入特征的调节,那么统计学习任务的输入特征以及二语输入特征都可能会影响统计学习和双语认知间的关系。在统计学习能力预测方面,未来可考察统计学习任务的输入特征可否影响其对二语学习表现的预测效应,以及统计学习能力可否预测其他维度的二

语学习表现,例如不同通道的统计学习能力是否会对不同层面的二语学习产生不同的预测效应。在统计学习能力训练方面,目前关注统计学习训练对二语学习促进效应的研究多聚焦人工语言,仍未有研究直接关注自然语言,鉴于语言输入特征会在一定程度影响研究结果,自然语言有着更为复杂的规则,未来研究可基于自然语言探索统计学习训练对二语的促进效应。最后,多数研究能较为稳定地发现统计学习上的双语优势效应,但少数却得到相反的结果。对此, Bulgarelli 等(2019)认为可能是因为不同研究所采用的统计学习任务的属性和难度不同,才导致结果不一,未来研究可将统计学习任务输入特征纳入研究范畴,进一步探讨在什么任务条件下能发现统计学习中的双语优势效应。

6.2 统计学习与双语认知关系的个体差异研究

根据多元论观点,统计学习机制包括认知控制和注意等认知成分(Arciuli, 2017; Conway, 2020)。双语者在这些认知成分上的差异可能会调节统计学习与双语认知的关系。即对于认知能力不同的双语者而言,统计学习对二语学习的预测效应,统计学习训练对二语学习促进效应以及统计学习中的双语优势效应,均可能有所不同。因此,未来可将注意力和认知控制等认知成分纳入研究范畴,在统计学习和双语认知关系的研究中要关注到以上个体认知方面的差异。此外,部分研究发现二语习得年龄、二语学习时长和二语学习方式等语言学习经验会影响语言认知相关的行为模式和神经机制(于文勃,王璐,程幸悦等, 2021; DeLuca et al., 2019; Li & Jeong, 2020)。在统计学习与双语认知关系的相关研究中, Granena (2013) 发现二语习得年龄可以调节统计学习对二语学习表现的预测效应。那么,对二语学习经验存在个体差异的双语者,统计学习训练对二语学习的促进效应是否有差异?二语学习经验不同,统计学习中的双语优势效应是否都会存在?这些应该是未来研究亟待回答的问题。

6.3 统计学习与双语认知关系的神经科学研究

学界对统计学习的神经机制已有初步的了解,然而对统计学习与双语认知间关联的神经机制的了解甚少。未来可采用脑成像技术考察统计学习神经机制和二语学习神经机制中有何重叠之处,从神经科学维度考察统计学习的何种机制与二语学习的何种机制产生关联,进而对二语学习产生影响。具体地说,第一,未来可从神经科学角度考察统计学习能力对二语学习表现的预测效应,观察个体的统计学习能力是否与二语学习相关的神经机制存在关联,

如何关联,以及什么因素会影响这种关联。例如,Daltrozzo 等(2017)运用 ERP 探索统计学习相关的事件相关电位和母语语言能力间的关联,结果在脑电层面找到统计学习能力可以预测语言学习表现的证据,二语学习的相关研究亦可参照此研究思路进行拓展。第二,未来可探索统计学习训练可否为二语学习和二语加工相关脑机制带来正面影响,例如可以尝试对比观察训练前和训练后二语学习相关的脑机制是否得到优化,以此考察统计学习训练可否从神经机制层面促进二语学习。第三,未来还可考察能否在神经科学层面找到统计学习中双语优势的证据,即观察个体在学习二语后,统计学习相关脑区的激活模式、功能连接和结构连接是否发生了变化以及如何发生的变化。由此,从神经科学层面进一步揭示统计学习与双语认知间关系的奥秘。

参考文献

- 姜山,周楚,郭秀艳,郑莉. (2022). 先验知识对非相邻倒置依赖隐式学习的约束. *心理学探新*, 42(2), 106 – 115.
- 唐溢,张智君,曾玫媚,黄可,刘炜,赵亚军. (2015). 基于名人面孔视觉特征和语义信息的视觉统计学习. *心理学报*, 47(7), 837 – 850.
- 徐贵平,范若琳,金花. (2020). 统计学习的认知神经机制及其与语言的关系. *心理科学进展*, 28(9), 1525 – 1538.
- 于文勃,王璐,程幸悦,王天琳,张晶晶,梁丹丹. (2021). 语言经验对概率词切分的影响. *心理科学进展*, 29(5), 787 – 795.
- 于文勃,王璐,瞿邢芳,王天琳,张晶晶,梁丹丹. (2021). 转换概率和词长期期待对语音统计学习的影响. *心理学报*, 53(6), 565 – 574.
- Ambrus, G. G., Vékony, T., Janacek, K., Trimborn, A. B. C., Kovács, G., & Nemeth, D. (2020). When less is more: Enhanced statistical learning of non – adjacent dependencies after disruption of bilateral DLPFC. *Journal of Memory and Language*, 114, 104144.
- Antovich, D. M., & Graf Estes, K. (2018). Learning across languages: Bilingual experience supports dual language statistical word segmentation. *Developmental Science*, 21(2), 12548.
- Arciuli, J. (2017). The multi – component nature of statistical learning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372.
- Arciuli, J. (2018). Reading as statistical learning. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49(3S), 634 – 643.
- Barac, R., Moreno, S., & Bialystok, E. (2016). Behavioral and electrophysiological differences in executive control between monolingual and bilingual children. *Child Development*, 87(4), 1277 – 1290.
- Bartolotti, J., Marian, V., Schroeder, S. R., & Shook, A. (2011). Bilingualism and inhibitory control influence statistical learning of novel word forms. *Frontiers in Psychology*, 2, 324.
- Batterink, L., Paller, K., & Reber, P. (2019). Understanding the neural bases of implicit and statistical learning. *Topics in Cognitive Science*, 11(3), 482 – 503.
- Bialystok, E. (2015). Bilingualism and the development of executive function: The role of attention. *Child Development Perspectives*, 9(2), 117 – 121.
- Brooks, P. J., Kwoka, N., & Kempe, V. (2017). Distributional effects and individual differences in L2 morphology learning. *Language Learning*, 67(1), 171 – 207.
- Bulgarelli, F., Bosch, L., & Weiss, D. J. (2019). Multi – pattern visual statistical learning in monolinguals and bilinguals. *Frontiers in Psychology*, 10, 204.
- Christiansen, M. H. (2019). Implicit statistical learning: A tale of two literatures. *Topics in Cognitive Science*, 11(3), 468 – 481.
- Christiansen, M. H., & Chater, N. (2015). The language faculty that wasn't: A usage – based account of natural language recursion. *Frontiers in Psychology*, 6, 1182.
- Christiansen, M. H., Conway, C. M., & Onnis, L. (2012). Similar neural correlates for language and sequential learning: Evidence from event – related brain potentials. *Language and Cognitive Processes*, 27(2), 231 – 256.
- Conway, C. M. (2020). How does the brain learn environmental structure? Ten core principles for understanding the neurocognitive mechanisms of statistical learning. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 112, 279 – 299.
- Daltrozzo, J., Emerson, S. N., Deocampo, J., Singh, S., Freggens, M., Branum – Martin, L., & Conway, C. M. (2017). Visual statistical learning is related to natural language ability in adults: An ERP study. *Brain and Language*, 166, 40 – 51.
- deBree, E., Verhagen, J., Kerkhoff, A., Doedens, W., & Unsworth, S. (2017). Language learning from inconsistent input: Bilingual and monolingual toddlers compared. *Infant and Child Development*, 26(4).
- DeLuca, V., Rothman, J., Bialystok, E., & Pliatsikas, C. (2019). Redefining bilingualism as a spectrum of experiences that differentially affects brain structure and function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7565 – 7574.
- Eghbalzad, L., Deocampo, J. A., & Conway, C. M. (2021). How statistical learning interacts with the socioeconomic environment to shape children's language development. *PLOS ONE*, 16(1).
- Endress, A. D., Slone, L. K., & Johnson, S. P. (2020). Statistical learning and memory. *Cognition*, 204.
- Frost, R., Armstrong, B. C., & Christiansen, M. H. (2019). Sta-

- tistical learning research: A critical review and possible new directions. *Psychological Bulletin*, 145(12), 1128 – 1153.
- Frost, R., Armstrong, B. C., Siegelman, N., & Christiansen, M. H. (2015). Domain generality versus modality specificity: The paradox of statistical learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(3), 117 – 125.
- Frost, R., Siegelman, N., Narkiss, A., & Afek, L. (2013). What predicts successful literacy acquisition in a second language? *Psychological Science*, 24(7), 1243 – 1252.
- Gabay, Y., Thiessen, E. D., & Holt, L. L. (2015). Impaired statistical learning in developmental dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(3), 934 – 945.
- Granena, G. (2013). Individual differences in sequence learning ability and second language acquisition in early childhood and adulthood. *Language Learning*, 63(4), 665 – 703.
- Hauser, M. D., Chomsky, N., & Fitch, W. T. (2002). The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve? *Science*, 298(5598), 1569 – 1579.
- Hsu, H. J., Tomblin, J. B., & Christiansen, M. H. (2014). Impaired statistical learning of non – adjacent dependencies in adolescents with specific language impairment. *Frontiers in Psychology*, 5, 175.
- Kidd, E., & Arciuli, J. (2016). Individual differences in statistical learning predict children's comprehension of syntax. *Child Development*, 87(1), 184 – 193.
- Kidd, E., Donnelly, S., & Christiansen, M. H. (2018). Individual differences in language acquisition and processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(2), 154 – 169.
- Kuo, L. J., & Anderson, R. C. (2012). Effects of early bilingualism on learning phonological regularities in a new language. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(3), 455 – 467.
- Li, P., & Jeong, H. (2020). The social brain of language: Grouping second language learning in social interaction. *Nature Partner Journal: Science of Learning*, 5, 8.
- Mainela – Arnold, E., & Evans, J. L. (2014). Do statistical segmentation abilities predict lexical – phonological and lexical – semantic abilities in children with and without SLI? *Journal of Child Language*, 41(2), 327 – 351.
- McDonough, K., & Trofimovich, P. (2016). The role of statistical learning and working memory in L2 speakers' pattern learning. *The Modern Language Journal*, 100(2), 428 – 445.
- Mitchel, A. D., & Weiss, D. J. (2011). Learning across senses: Cross – modal effects in multisensory statistical learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(5), 1081 – 1091.
- Onnis, L., Lou – Magnuson, M., Yun, H., & Thiessen, E. (2015, July). *Is statistical learning trainable?* Paper presented at the 37th annual meeting of the Cognitive Science Society, Pasadena, California.
- Orena, A. J., & Polka, L. (2019). Monolingual and bilingual infants' word segmentation abilities in an inter – mixed dual – language task. *Infancy*, 24(5), 718 – 737.
- Potter, C. E., Wang, T., & Saffran, J. R. (2017). Second language experience facilitates statistical learning of novel linguistic materials. *Cognitive Science*, 41(S4), 913 – 927.
- Qi, Z., & Legault, J. (2020). Neural hemispheric organization in successful adult language learning: Is left always right? *Psychology of Learning and Motivation*, 72, 119 – 162.
- Qi, Z., Sanchez Araujo, Y., Georgan, W. C., Gabrieli, J. D., & Arciuli, J. (2019). Hearing matters more than seeing: A cross – modality study of statistical learning and reading ability. *Scientific Studies of Reading*, 23(1), 101 – 115.
- Saffran, J. R. (2018). Statistical learning as a window into developmental disabilities. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 10, 35.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996a). Statistical learning by 8 – month – old infants. *Science*, 274(5294), 1926 – 1928.
- Saffran, J. R., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (1996b). Word segmentation: The role of distributional cues. *Journal of Memory and Language*, 35(4), 606 – 621.
- Shafro, C. L., Conway, C. M., Field, S. L., & Houston, D. M. (2012). Visual sequence learning in infancy: Domain – general and domain – specific associations with language. *Infancy*, 17, 247 – 271.
- Shook, A., Marian, V., Bartolotti, J., & Schroeder, S. R. (2013). Musical experience influences statistical learning of a novel language. *The American Journal of Psychology*, 126(1), 95 – 104.
- Siegelman, N. (2020). Statistical learning abilities and their relation to language. *Language and Linguistics Compass*, 14(3), 12365.
- Siegelman, N., & Frost, R. (2015). Statistical learning as an individual ability: Theoretical perspectives and empirical evidence. *Journal of Memory and Language*, 81, 105 – 120.
- Smith, G. N., Conway, C. M., Bauernschmidt, A., & Pisoni, D. B. (2015). Can we improve structured sequence processing? Exploring the direct and indirect effects of computerized training using a mediational model. *PLOS ONE*, 10(5), e0127148.
- Sorge, G., Toplak, M., & Bialystok, E. (2017). Interactions between levels of attention ability and levels of bilingualism in children's executive functioning. *Developmental Science*, 20(1), e12408.
- Uddén, J., Folia, V., Forkstam, C., Ingvar, M., Fernández, G., Overeem, S., ... Petersson, K. (2008). The inferior frontal cortex in artificial syntax processing: An rTMS study. *Brain Research*, 1224, 69 – 78.
- Uddén, J., Ingvar, M., Hagoort, P., & Petersson, K. M. (2017).

- Broca's region: A causal role in implicit processing of grammars with crossed non – adjacent dependencies. *Cognition*, 164, 188 – 198.
- van der Kleij, S. W. , Groen, M. A. , Segers, E. , & Verhoeven, L. (2019) Sequential implicit learning ability predicts growth in reading skills in typical readers and children with dyslexia. *Scientific Studies of Reading*, 23(1), 77 – 88.
- Wang, T. , & Saffran, J. R. (2014). Statistical learning of a tonal language: The influence of bilingualism and previous linguistic experience. *Frontiers in Psychology*, 5, 953.
- Weiss, D. , Schwob, N. , & Lebkuecher, A. (2020). Bilingualism and statistical learning: Lessons from studies using artificial languages. *Bilingualism: Language and Cognition*, 23(1), 92 – 97.
- Yim, D. , & Rudoy, J. (2013). Implicit statistical learning and language skills in bilingual children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 56(1), 310 – 322.
- Yu, A. , Chen, M. S. Y. , Cherodath, S. , Hung, D. L. , Tzeng, O. J. L. , & Wu, D. H. (2019). Neuroimaging evidence for sensitivity to orthography – to – phonology conversion in native readers and foreign learners of Chinese. *Journal of Neurolinguistics*, 50, 53 – 70.

The Relationship between Statistical Learning and Bilingual Cognition

Chen Yao^{1,2}, Li Li²

(1. School of Foreign Studies, South China Normal University, Guangzhou 510631;

2. School of International Culture, The Key Laboratory of Chinese Learning and International Promotion, South China Normal University, Guangzhou 510631)

Abstract: Statistical learning is a kind of cognitive mechanism with which humans extract the underlying rules from environmental input. Its relationship with language has been testified by numerous studies. Bilingual cognition is one of the hot issues in the academic field. So how about the relationship between statistical learning and bilingual cognition? The current paper first introduced the cognitive mechanism of statistical learning and its relationship with language and then reviewed the relevant studies concerning the relationship between statistical learning and bilingual cognition from the following three dimensions, whether statistical learning ability can predict second language performance, whether statistical learning training can promote second language learning, and whether bilingualism can improve statistical learning competence. At last, the current paper put forward future research trends from the perspectives of input features, individual differences, and neuroscience.

Key words: statistical learning; bilingual cognition; bilingual advantage; second language learning