

• 研究前沿(Regular Articles) •

言语加工过程中预测的形成： 影响因素和神经机制*

隋雪¹ 李昱霖¹ 岳泽明¹ 刘新¹ 李雨桐¹ 刘顺华²

(¹辽宁师范大学心理学院, 大连 116029) (²安顺学院教育科学学院, 贵州 安顺 561000)

摘要 预测性加工是指在词汇语义加工之前进行有效地预测形成预测性认知。预测性认知形成有两个主要影响因素：先验知识和语境信息。两个因素对预测性认知形成共同作用，相互促进。已形成的预测性认知在后续语义加工过程中还会发生相应的改变。本文梳理了能够解释预测性认知形成的理论并探讨了预测性认知形成的神经机制。最后从性别因素、语境信息呈现的时间、语境信息的唤醒度、自变量的控制等方面对未来研究进行了展望。

关键词 预测性加工, 预测性认知, 先验知识, 语境信息

分类号 B842

1 引言

语言能够传递丰富的信息，使用语言进行沟通效率更高。为了更好地理解语言传递的信息，需要结合具体语境(Lund et al., 2019)。语境是指语言发生的环境，语境中的各种信息(语境信息)都会影响语言加工(McNally, 2013)。语言在不同的语境中具有不同的意义，或者说语言与具体的语境结合使得语言具有了特定的意义(Hinojosa et al., 2020)。在言语交流过程中，言语加工不仅包含随语境信息呈现而进行的自下而上加工(Federmeier et al., 2007)，还包含依靠先验知识对言语信息进行的自上而下的预测性加工(Bar, 2007)。先验知识和语境信息是预测性加工的主要依据(Afflerbach, 1990; Broeker et al., 2020; Sohoglu et al., 2012)。先验知识是个体从以往接受的教育及亲身经历中获

得的对事物及事物之间关系的认知。先验知识的增加可以显著提高预测性加工的效率(Sohoglu et al., 2012)，语境信息也影响预测性加工，但个体对语境信息的加工会占用注意资源(Broeker et al., 2020)。先验知识是预测性加工的关键因素，而特定语境信息则为预测性加工提供了有价值的线索(Ufer & Blank, 2023)。先验知识和语境信息是否相互作用以及如何相互作用引起了研究者的关注。

先验知识与语境信息的结合产生对后续言语信息的预测性认知。预测性认知的准确性受语境限制性的影响，语境限制性越高，预测正确的可能性越大。Ding 等(2019)研究发现，在高限制语境下，情绪动词和中性词诱发的 N400 波幅没有显著差异，但在低限制语境下，情绪动词引发的 N400 波幅更大。而且，两种限制语境条件下都发现情绪动词引发了波幅更大的晚期正成分(late positive component, LPC)。有研究者认为预测性认知的形成是由于个体对语境信息的加工，语境信息能改变先验知识从而有效地形成预测性认知，语境信息对预测性认知的影响更大(Pfister et al., 2012)。也有研究者认为，先验知识比语境信息对

收稿日期：2024-01-10

* 教育部产学合作协同育人项目(230907276300605)、贵州省普通高等学校青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字【2022】042 号)资助。

通信作者：李雨桐, E-mail: dearliyutong@163.com

刘顺华, E-mail: 573460941@qq.com.

预测性认知的影响更大,语境信息并不能导致先验知识被改变(Gaschler et al., 2018)。双方都把形成的预测性认知当成固定不变的,稳定地影响后续的语义加工(Hinojosa et al., 2019)。脑电研究发现,预测性认知的作用体现在很多脑电成分上,如在 P200、N400 和 LPC 等成分上(Aristei et al., 2022; Hinojosa et al., 2019; van Berkum, 2018, 2019; Wang et al., 2015; Zhang et al., 2021; Zhang et al., 2022)。这说明预测性认知也在调整,随着语境信息的累加而不断更新。先验知识和语境信息对预测性认知的影响是连续的(Hopp & Godfroid, 2023)。先验知识结合语境信息形成预测性认知,随着言语加工推进,新的语境信息累积,预测性认知也相应改变,形成新的预测性认知,并影响后续言语加工。由于不同研究中个体先验知识和语境信息不同,导致预测性认知的改变也是不同的,致使不同研究发现的神经活动结果不同(Grant et al., 2020; Yao et al., 2019)。应该从动态的角度考察先验知识和语境信息对预测性认知的影响,这样才能更准确地把握预测性认知作用的时间进程以及相应的神经反应(Grant et al., 2020)。

本文首先分析先验知识和语境信息在预测性认知形成中的作用,然后结合相关理论和模型对预测性认知的形成进行解释,接着探讨预测性认知形成的神经机制,最后对预测性认知改变的研究方向进行展望。

2 预测性认知形成的主要影响因素

2.1 先验知识在预测性认知形成中的作用

个体将先验知识与语境信息整合形成有意义的心理表征,即预测性认知(Smith et al., 2021)。先验知识属于个体心理储存的图式,用做解释新接收语境信息的框架(Thomas, 1995)。个体先验知识的数量或质量影响预测性认知的形成,数量是指储存先验知识的多少,而质量是指储存先验知识的准确性(Kendeou & van den Broek, 2007)。研究者在考察语义预测性加工形成的认知时发现,个体先验知识不同导致对相同语境信息加工形成的预测性认知也不同,对后续语义加工的影响不同(van Berkum et al., 2008; van den Brink et al., 2012)。这说明先验知识在预测性加工中更重要,没有相应的先验知识就无法进行预测,先验知识解决能不能预测的问题。

White 等(2009)采用启动范式考察先验知识和语境信息对预测性认知形成的影响。他们用男人和女人作为启动词(语境信息)启动后面与性别刻板印象(先验知识)一致的单词(女人启动养育),或者与性别刻板印象不一致的单词(女人启动好斗)。结果发现,与一致条件比,不一致条件的反应时更长, N400 波幅更大。在一致条件下,被试对启动词为女人的情况反应更快,而在不一致条件下,被试对启动词为男人的情况反应更快,这反映了个体先验知识(刻板印象)的作用,尤其在相同条件下男女的反应不同更说明了先验知识差异的作用。对启动词的加工受先验知识的影响,对不同性别启动词加工形成不同的预测性认知,依据不同的预测性认知对目标词(语义)进行加工,导致对目标词的加工不同。有研究指出,社会普遍以男性作为标准规范,形成对男女不一样的刻板印象(Hegarty & Pratto, 2001)。性别刻板印象主要源于对职业性别认知的差异(王祯,管健,2021)。个体形成的刻板印象越深,对语义信息加工的影响越大(Villiger, 2023)。这说明有了先验知识,不同的先验知识就会引导和影响预测性认知,正确的先验知识就会形成有效的预测性认知,错误的先验知识就会形成无效的预测性认知。

Ding 等(2016)考查了句子阅读过程中,个体已有认知与后续目标词的一致性(消极认知-消极目标词,积极认知-消极目标词)对目标词语义加工的影响。结果发现,与一致条件相比,不一致条件诱发的 P600 波幅更大。说明先验知识的性质影响后续对语义信息的加工,不一致认知导致后期整合加工需要更多认知资源。Aristei 等(2022)考察消极认知对最低限度违背直觉概念(minimally counter-intuitive concept, MCI)语义加工的影响。最低限度违背直觉概念是违背现实概念一种属性的虚构概念,例如,“树”是现实概念,“会说话的树”只违背了“不会说话”一种客观事实,是最低限度违背直觉概念。结果发现了 N400 效应和 P600 效应。说明违背先验知识的信息导致了语义冲突和整合困难。Canal 等(2015)对先验知识的作用进行了探究,他们让被试加工指代具有生理意义(如母亲)和具有性别偏见意义(如护士)的代词。结果发现,对于具有性别偏见意义的代词,不匹配的代词引发了 ERP 双相模式(biphasic LAN-P600 pattern)。这说明基于先验知识形成的预测性认知

与后续信息是否一致决定其起到的是促进还是阻碍作用。

综上可知,先验知识是较为稳定的因素,先验知识决定了主体的认知能力,没有相应的先验知识就无法对当前的语境发展进行预测,可以说,先验知识解决能不能预测的问题,有了先验知识,比如都是物理学研究者,不同的知识水平导致形成不同层次的预测性认知,可以说,先验知识是预测性认知形成的关键因素,当然,它也是导致认知偏差形成的主要因素。

2.2 语境信息在预测性认知形成中的作用

语境信息是指语境中影响语言加工的具体因素,包括言语信息和非言语信息(McNally, 2013)。很多研究通过行为和神经生理学实验证明了语境信息对文字加工的促进作用。Baetens等(2011)让被试阅读一些被暗示为具有友善特征的不明身份演员的脚本,在脚本的最后呈现与脚本内容一致或者不一致的陈述句。结果发现,与前面脚本特征不一致的语句比一致语句诱发的N400波幅更大,并且,还会诱发晚期正成分(late positive potential, LPP)。之所以同一语境信息对后续不同语义内容的加工过程产生了不同的影响从而出现了不同的结果,是因为被试基于语境提供的‘不明身份演员’友善特征形成了预测性认知,其对后续语义信息加工产生了影响,预测性认知促进还是阻碍后续语义加工取决于后续语义信息是否符合预测性认知。刘志方等(2020)研究发现,基于语境信息形成的预测性认知促进了后续语义加工,并且这种促进作用受到词频影响。有研究者将实验材料以两句话分开呈现,操纵第二句话与第一句话的语义一致性,考查加工第一句话形成的预期(预测性认知)对第二句话语义加工的影响(Zhang et al., 2021; Zhang et al., 2022)。其中,Zhang等(2021)的研究控制了句子的情绪性。阅读第一个句子后会形成负面情绪认知或者中性认知,在第二个句子中嵌入负性情绪词或者中性词。结果发现,当前后两个句子都是消极的时,目标词诱发的N400波幅较小,LPP波幅较大。这说明基于语境信息形成的预测性认知不仅预测语义信息,也预测情绪信息,同样,预测性认知促进还是阻碍后续信息加工依赖于后续信息是否符合预测性认知。

Zhang等(2022)操纵第一句话的唤醒度和效价,探究加工语境信息形成的预测性认知对第二

句话中消极词加工的影响。结果发现,高唤醒情绪语境条件下,积极语境比消极语境导致消极词诱发了波幅更大的P200和LPC。而在低唤醒情绪语境条件下,只观察到P200效应。这说明语境信息的唤醒度与预测性认知密切相关。低唤醒情绪语境形成的预测性认知强度较低,预测性认知与消极词不一致只引起早期加工的冲突,没有影响晚期的整合加工(van den Brink et al., 2012)。这一研究说明基于语境信息形成的预测性认知具有唤醒强度和效价的属性,对后续语义信息加工效果依赖于后续信息的唤醒度和效价是否符合预测性认知的同一属性。

也有研究发现,语境的限制性越高,语境信息对文字加工的影响就越具体(Federmeier et al., 2007)。这样的语境信息更容易形成预测性认知,产生的促进作用也就更强。研究者(Ehrlich & Rayner, 1981)采用眼动技术结果发现,在阅读过程中,高限制性语境导致所预测的文字更容易被跳读、更少被回视,并且,阅读时间更短。Kutas和Hillyard(1984)采用脑电技术研究发现,语境的限制性越高,对后续特定词汇的期望就越强。换句话说,高限制性语境提供的语境信息约束更强,更容易形成预测性认知。当出现的词汇符合预测性认知,产生的N400波幅较小。N400对语境信息的限制性更敏感(Hoeks et al., 2004)。可见,基于语境信息形成的预测性认知对语境本身的约束属性更敏感,对后续信息加工效果依赖于后续信息对预测性认知约束属性的符合程度。

综上,语境信息为后续的语义加工提供了即时性的线索,预测性认知促进还是阻碍后续语义加工依赖于后续语义信息是否符合预测性认知。基于语境信息形成的预测性认知不仅预测语义信息,也预测情绪信息。而且,预测性认知还具有唤醒强度和效价的属性,当然,预测性认知对语境本身的约束属性更敏感,对后续信息加工效果依赖于后续信息对预测性认知约束属性的符合程度。

2.3 先验知识和语境信息在预测性认知形成中的共同作用

先验知识是预测性加工较为稳定的因素,语境信息为预测性加工提供即时性的线索,个体将语境信息与先验知识结合,形成更有效的预测性认知来促进后续的语义加工。当然,语境信息和先验知识共同作用形成预测性认知,两者不能分

离,相互依赖。已有先验知识越丰富、语境信息越全面形成的预测性认知就越有效,否则就可能形成无效甚至错误的预测性认知,导致后续语义加工困难。

有研究采用出声思考范式探究了读者对文章内容的熟悉程度(先验知识)和文本类型(散文和短篇小说)对预测性加工的影响。结果发现,熟悉程度高的读者出现更多的预测性加工,而文本类型对预测性加工没有产生显著影响(Afflerbach, 1990)。这一结果说明,限制性较低的语境信息没有丰富的先验知识对预测性认知的作用更大。如果提高语境信息的约束性,结合先验知识,预测性认知就更大程度地受到语境信息的影响。van Berkum 等(2008)用 ERP 技术结合听句子范式研究发现,与基于语境信息形成的预测性认知与后续句子语义不一致条件相比,一致条件产生的 N400 波幅更小。这说明预测性认知促进了语义加工。van den Brink 等(2012)在此基础上引入语义错误条件研究发现,预测性认知对后续不同类型句子加工的脑电波幅不同。他们发现不同被试在相同语境条件下,听到相同刺激时产生的 ERP 波幅有差异。这说明预测性认知不完全由语境信息决定,除语境信息以外,还与个体先验知识有关。

Grant 等(2020)以听觉呈现实验材料,考查预测性认知对语义加工的影响。要求被试听完句子,回答句子后面出现的理解性问题。实验控制了刻板印象(先验知识)与说话者身份(语境信息)的一致性,记录 ERP 反应。结果发现,与一致情况相比,不一致情况诱发了波幅更大的 N400。说明通过语境信息与先验知识的违背引发形成不同于以往的预测性认知(预测性认知改变),改变的预测性认知影响对后续语义的加工。

Gubelmann 和 Handschuh (2022)操纵句法结构进行研究。实验材料包括两句话,第一句是关于性别、名字和职业等信息的肯定句和否定句,第二句话是一个事实陈述。结果发现,个体的先验知识对否定句的语境信息更敏感,即被试更容易接受否定条件下的语境信息,促进预测性认知的形成。因为在否定句中被试认为语境信息只起参照的作用,而在肯定句中的语境信息可能与原有的先验知识存在着某种关联。全文等(2022)结合了语境信息、先验知识(快速读者、慢速读者)和加工深度,考查预测性认知对语义加工的影响。研

究发现,先验知识和语境信息共同影响预测性认知的形成,并且,这种影响受到加工深度调节。

综上所述,语境信息和先验知识在预测性认知形成中共同发挥作用,但是,限制性较低的语境信息没有丰富的先验知识对预测性认知的作用大。在限制性较高的语境中,被试也会结合自身先验知识对后续语义加工形成更准确的预测。总之,先验知识越丰富、语境信息越全面形成的预测性认知就越有效。

3 对预测性认知形成的理论解释

3.1 预测编码理论对预测性认知形成的解释

对预测性认知形成较有影响的解释理论是预测编码理论(Friston et al., 2015),该理论强调,大脑结合自身经验(先验知识)积极预测即将到来的信息,产生一个预刺激模板(预测性认知)。预测性加工就是将预刺激模板与感官接收的实际刺激(语境信息)进行匹配。该理论强调预测信号向下传递,到最低的表征水平,而预测激活的表征与感觉输入比较,比较的结果沿着平行路径向上传播(Ryskin & Nieuwland, 2023)。可以将言语加工中的预测编码理论理解为:存在一个解释言语加工过程的神经网络模型(neural network mode),模型中不同的层级映射到大脑不同的区域。先验知识从高的层级向低的层级传递信号,语境信息从低的层级向高的层级传递信号,大脑将先验知识和语境信息传递的信号建立链接并形成反馈,这一反馈就是预测性认知,而预测性认知会随着语境信息传递的信号进行不断的更新,以保证对输入的推断和加工能够适应新的语境。而预测性认知存在两种情况:预测正确和预测错误。对于这两种情况信号如何传递和编码仍然没有定论。基于神经解剖学(Davis & Sohoglu, 2020)的推测,预测正确和预测错误的信号由不同功能的神经元进行传递,这种推测也成为后续预测编码细化理论之间的争论焦点。

基于预测编码理论,研究者们提出了词汇预测理论(Luke & Christianson, 2016)和等级扩散预激活理论(Frisson et al., 2017)。词汇预测理论认为预测性加工预测的是后续具体的词汇(具体信息)。预测性加工是一种全或无的加工方式,即只存在预测正确和预测错误两种情况,如果预测正确,就会促进后续词汇的加工,反之则会阻碍词汇加

工(Luke & Christianson, 2016)。而等级扩散预激活理论则认为预测性加工是对后续词汇的预激活,存在不同的预测等级,并非只存在全或无两种情况。即使没办法预测出具体的词汇,也可以通过预测出词汇的词性、时态等不太详细的信息促进词汇的加工。预激活程度受到读者的目标和先验知识的影响,且如果预测错误也不会阻碍词汇加工(Frisson et al., 2017)。两种理论的不同之处在于都主张语境信息和先验知识会促进后续词汇信息的预测加工。不同之处在于,词汇预测理论对词汇的预测只有“对或错”,而等级扩散理论则是预测词汇不同的分级信息。两种理论认为预测错误造成的影响不同,词汇预测理论认为预测错误会阻碍加工,而等级扩散激活理论认为预测错误不会阻碍加工。

3.2 语境限制性对预测性认知形成的解释

语境限制性影响预测性认知的形成,进而影响后续语义加工。有研究比较了在实际刺激出现之前,高限制语境和低限制语境所诱发的大脑活动的差异。结果发现,在预测期间,高限制性语境产生的脑电负成分的增加与实际预测目标词诱发的N400波幅减小相关(Dikker & Pykkänen, 2013; Piai et al., 2016)。这表明高限制性语境形成的预测性认知更加有助于目标词的整合加工。根据贝叶斯大脑理论(Kwisthout & Van Rooij, 2020),语言的使用者会不断地更新所有可能语言输入的整体分布。相比高限制性语境,在低限制性语境中语言输入的整体分布更难以计算。资源理性理论认为,大脑在外界信息所施加的限制下能够进行理性推理(Lieder & Griffiths, 2020)。但这些外界信息施加的限制具体是什么仍然有待确定。而在言语信息的预测性加工过程中,探究个体在不同限制性水平的语境中形成预测性认知的差异,能够为揭示外界信息施加的限制提供初步线索(Bornkessel-Schlesewsky et al., 2022)。在言语信息的预测性加工框架中隐含着这样一种观点,人类对世界有一个内部模型,个体的预测就是从这个模型中得出的。这个模型不是天生的,而是学习之后形成的(Ryskin & Nieuwland, 2023)。联结主义认为,预测本身并不是目的,而是一种手段,通过这种手段,内部模型可以不断地去适应,以便更准确地反映世界(Elman, 2009)。结合言语信息加工中预测性认知的形成来看,一种观点认为预测性认知的形

成是为了能够更好地进行语义加工,而形成预测性认知的方法就是对语境信息的加工。高限制性语境提供的语境信息约束更强,因此更容易形成预测性认知。另一种观点也认为预测性认知的形成是为了能够更好地进行语义加工,但他们强调形成预测性认知的方法主要依靠先验知识(Reuter et al., 2018)。先验知识的丰富性解释了成人和儿童预测性认知形成的差异(Ryskin & Nieuwland, 2023)。有研究考察了年轻人和老年人加工可预测和不可预测刺激的神经反应差异(Broderick et al., 2021)。结果发现,与年轻人相比,老年人对可预测和不可预测刺激的神经反应差异更小。这种由年龄因素导致的预测性认知形成的差异在很大程度上是先验知识差异导致的(Ryskin et al., 2020)。为了揭示预测认知的形成如何受到语境信息的影响,我们将已有理论与言语加工模型结合尝试解释预测性认知的形成。

3.3 言语加工模型对预测性认知形成的解释

对预测性认知形成的解释还需结合言语加工模型,确定预测性认知的形成如何受到语境信息的影响。有代表性的言语加工模型有平行加工模型和串行两阶段模型。其中,平行加工模型的代表是制约满足模型(Tanenhaus & Trueswell, 1995)。该模型把言语理解过程中所有的信息都看作对句法结构的制约,而理解的过程就是协调这些制约的过程。因此,在语义加工过程中,语境信息会激活不同的分析,这些分析由于信息支持强度不同其激活强度也不同。而最高激活强度的信息纳入主导地位,一旦某种分析超过阈限,该分析就被确定为最终分析。这个模型里面的不同分析之间是一种竞争关系(Macdonald, 1994)。而串行两阶段模型的代表是花园路径模型。该模型认为,言语加工分两个阶段:句法加工阶段和语义加工阶段。句法加工阶段以最简原则和整块结构原则提取句子主干(Frazier & Fodor, 1978)。最简原则是指选择句子结构中最少的基本结点,不考虑不必要的和潜在的结点,优先找寻句子最基本的主干部分进行加工。整块结构原则是指按照句法结构中的意群大块分割句子成分,而不是对每个词汇逐个地加工。研究者认为,这两个原则是人类认知过程中经济性原则的体现,人们倾向于用最少的认知资源完成认知加工,这是所有言语认知加工的通用原则(Wrobel, 2020)。而语义加工阶段是

根据主题、内容、语境信息这些非结构信息再次进行句法分析。此时要将第一阶段对于句法的加工结果与现有语境信息进行匹配。如果匹配成功,则完成言语信息的理解,如果不匹配,就会进行再次的重新分析,直到匹配为止。

以上理论和模型都强调,先验知识和语境信息影响预测性认知的形成,形成的预测性认知又对后续的语义加工产生影响,先验知识和语境信息影响预测性认知得到了研究的证实。在搜集相应的证据来验证已经提出的理论和模型的可行性的过程中,研究者对预测性认知形成的神经机制进行了考察,得到了较为一致的结果(详见下文)。但对预测性认知形成的神经活动时间模式的研究结果却存在很大的差异,因此尚不能确定预测性认知形成的神经活动的具体时间进程。

4 预测性认知形成的神经机制

先验知识和语境信息影响语义预测性加工得到了一致的证实,研究者们也提出了相应的理论和模型进行解释。在对理论和模型验证的过程中,研究者们(Goldstein et al., 2022; Huang et al., 2023; Hubbard & Federmeier, 2021; Shain et al., 2020; Wang et al., 2018; Wang et al., 2020; Wei et al., 2023)利用 EEG (脑电图)、MEG (脑磁图)、ERP (事件相关电位)、ECoG (脑皮层点图)、fMRI (功能性磁共振成像)等技术,并结合表征相似度分析(representation similarity analysis, RSA)对预测性认知形成的神经机制进行了考察。RSA 是考察大脑神经机制的重要方法,该方法由多元模式分析(Multivariate Pattern Analysis, MVPA)演变而来(Kriegeskorte et al., 2008; Wang et al., 2018)。RSA 的基本假设是,事物之间表征的相似性能够引起大脑活动模式的相似性(Huang et al., 2023)。使用 RSA 方法,可以将神经活动的多变量模式与相关方法进行比较,该方法可以跨时间序列及跨电极使用。这种方法不仅可以识别时间和空间神经活动模式的相似性,还可以在统计上检测可分离的神经状态(Hubbard & Federmeier, 2021)。对于预测性认知形成的神经机制来说, RSA 表明在目标词加工之前,预测相同词汇(在不同语境中)的神经活动模式比预测不同词汇的神经活动模式更接近加工目标词汇的神经活动模式。因此当目标词处于高限制性语境中时,加工目标词之前的神经活

动模式已经与加工目标词时所唤起的神经活动模式非常相似(Ryskin & Nieuwland, 2023)。

有研究者将 RSA 与 MEG 结合起来,探究在高限制性语境下的言语理解过程中被试对词汇语义进行预测时的神经活动(Wang et al., 2018)。结果发现,预测性认知加工的大脑神经活动与加工相同词汇时的大脑神经活动的空间和时间模式相似。时间模式差异定位于左下和内侧颞叶,而空间模式反映了与所预测单词语义特征相同的空间分布。Wang 等(2020)将 RSA 与 EEG/MEG 结合考察对有、无生命特征预测性认知的神经证据,实验操纵了动词后面的名词是否具有生命特征。结果发现,与对无生命特征的动词形成预测性认知相比,对有生命特征的动词形成预测性认知的神经活动空间模式的相似性更大。Huang 等(2023)结合 ERP 技术和 RSA 考察了对有、无生命特征预测性认知的神经证据,选择了低限制性语境,操纵了量词后面的名词是否具有生命特征。结果同样发现,在名词出现之前,有生命特征的预测性认知的神经活动模式的相似性大于无生命特征的预测性认知的神经活动模式。可见,预测性认知不仅能够对语法、语义这些具体的细粒度词汇特征进行预激活,同样能够对粗粒度词汇特征(有、无生命特征)进行预激活。此外,有研究(Wei et al., 2023)考察了预测性认知对语音的预激活,为将语音纳入预激活的范围,扩充预测性认知对细粒度词汇特征预激活的范围提供了神经证据支持。他们操纵四字汉语成语末位的音节,发现预测性认知形成的神经活动模式与加工匹配的末位音节的神经活动模式具有相似性。这为预测性认知对语音的预激活提供了证据。同时,该研究发现预测性认知对语音的预激活出现在音节呈现之前。而 Hubbard 和 Federmeier (2021)将 EEG 技术与 RSA 结合起来,比较了高、低限制性语境形成的预测性认知诱发的脑电活动与可预测和不可预测词汇诱发的脑电活动的相似性。结果发现,预测性认知诱发的脑电活动与可预测词汇诱发的脑电活动具有相似性。更重要的是,这种相似性同样出现在目标词汇呈现的早期时间窗口中,这说明预测性认知对词汇特征的预激活可能存在较为精确的时间节点。

与 EEG 技术相比, fMRI 相对较低的时间分辨率阻碍了 fMRI 技术在语言预测研究中的广泛应

用,但依靠 RSA 可以在一定程度上解决这些问题(Ryskin & Nieuwland, 2023)。当个体理解或产生语言时,不同脑区的神经活动可以通过局部血氧含量的增加来间接测量。研究发现,在语言网络中,当目标词汇不可预测时,血流似乎会增加(Shain et al., 2020)。fMRI 的空间分辨率可以推断神经活动的来源,当与功能定位方法相结合时,可以探测预测性认知形成的神经机制。而随着神经外科水平的提高, ECoG (脑皮层点图)技术使得大脑神经电活动可以直接从人类的脑皮层记录下来(Goldstein et al., 2022)。ECoG 技术是一个快速发展的领域,这种技术可以极大地提高考察大脑神经活动空间和时间模式的精度。因此, ECoG 技术的使用有望对考察预测性认知形成的神经机制提供相当大的启发(Ryskin & Nieuwland, 2023)。

但值得注意的是,以往探究大脑神经活动时间模式得出的预测性认知形成的神经反应时间进程仍然存在争议。Canal 等(2015)发现与预测性认知不匹配的代词引发了 ERP 双相模式(biphasic LAN-P600 pattern)。Ding 等(2016)发现,与预测性认知不一致条件诱发了波幅更大的 P600。Ding 等(2019)进一步考察预测性认知对情绪动词加工的影响时发现,在不同的语境限制条件下预测性认知对情绪动词加工的影响有所不同。在高限制语境下,没有发现情绪动词和中性词在 N400 波幅上差异,但低限制语境下发现情绪动词存在 N400 效应。同时,在两种限制语境条件下都发现了 LPC 效应。而 Aristei 等(2022)考察消极的预测性认知对最低限度违背直觉概念(MCIs, minimally counterintuitive concepts)语义加工的影响,同时发现了 N400 和 P600 效应。从上述研究结果不难看出,不同研究报告的 ERPs 成分区别很大,因而无法确定预测性认知形成的具体时间进程。造成这种情况的原因可能是因为这些 ERP 实验考察的是被试已经形成的预测性认知,而已经形成的认知并不是一成不变的(杨琪 等, 2022)。认知会在言语交流过程中即时生成或者不断调整,即信息接收者通过发现或者接收关于信息传递者身份、言语内容、情绪信息等方面的新知识改变自己之前的认知,去不断适应新的语境(王霞 等, 2019)。因此,预测性认知的改变可能是导致以往研究神经反应时间进程存在争议的原因。

5 未来研究展望

预测性认知形成的具体时间进程存在争议的原因可能是预测性认知发生了即时改变,这种改变导致被试大脑神经生理反应有所不同。以往研究很少考察语义预测性加工形成的认知随着时间推移而改变对语义加工产生的影响(van Berkum, 2018, 2019)。关于预测性加工时间进程的考查,大部分是基于加工比较固定结构的语境信息(性别、职业、社会地位)形成的预测性认知,忽略了预测性认知受到先验知识和语境信息的影响会发生变化。未来研究可以从以下几个方面展开:第一,性别因素导致的先验知识差异引起的预测性认知改变;第二,语境信息呈现的时间引起的预测性认知改变;第三,语境信息的唤醒度引起的预测性认知改变。第四,实验中自变量水平的设置引起的预测性认知改变。

首先,性别因素导致的先验知识引起的预测性认知改变。男性和女性的差别不仅体现在生理结构等内在方面,也体现在接触不同的群体成员和受到外界不同预期影响等外在方面。现代女性被过多地预期具有阳刚特征(Diekman & Eagly, 2000)。Kahalon 等(2020)对外界积极预期对男性和女性产生的消极影响进行研究,发现女性比男性感受到更高的外界积极预期的威胁。因此,来自外界的相同的语境信息可能对男性和女性预测性认知的改变有着不同的影响。社会角色理论提出群体成员行为塑造个体先验知识时,通常男性声音会产生更大的效应。有研究发现,实验材料以男声呈现时比以女声呈现时更容易引起已形成的认知的改变(Vandello et al., 2013)。但 Grant 等人(2020)通过检查 N400 在实验过程中的变化来补充对声音性别的分析,结果发现,先验知识引发的预测性认知改变与个体性别歧视的差异有关。所以,在考察预测性认知改变对神经反应时间进程的影响时,可以把性别这一变量纳入其中,客观分析预测性认知的改变如何受到性别因素影响。

其次,语境信息的呈现时间引起的预测性认知改变。预测性认知的改变需要结合个体先验知识和语境信息,这一过程需要时间来完成。研究表明(Vandello et al., 2013),改变男性先验知识要比改变女性先验知识需要更长的时间。这种先验知识改变的时间差异,也会在实验过程中刺激呈

现时间间隔不同的研究结果上体现。有研究(Regel et al., 2010)为了考察被试预测性认知的改变对语义加工的影响,研究者将整个实验分成两部分,持续时间超过两天。这种过长的时间间隔会引起预测性认知发生未知的变化。Gubelmann 和 Handschuh (2022)的研究考查了前面句子的肯定与否定对后面句子加工的影响。如果前后句子间隔时间太短,可能会导致一些被试来不及将自身先验知识和语境信息相结合,影响预测性认知的改变。因此,有必要将实验刺激的呈现时间间隔作为变量进行控制,进而探究预测性认知改变对神经反应时间进程的影响。

再次,语境信息的唤醒度引起预测性认知改变。唤醒度的差异可能会导致预测性认知稳定程度的差异,导致预测性认知不同程度的改变。Zhang 等(2022)在考察双句子阅读时形成一致的预测性认知对情绪词语义加工的影响,对第一句话的唤醒度和效价进行了操纵,探究了语境信息加工形成的预测性认知对消极词汇加工的影响。ERP 结果发现,高唤醒情绪语境条件,对消极词进行加工时,积极认知比消极认知诱发了波幅更大的 P200 和 LPC。而在低唤醒情绪语境条件下,只观察到 P200 效应。这说明语境信息的唤醒度会影响预测性认知的改变。低唤醒度情况形成的预测性认知更容易发生改变,预测性认知的改变只引起早期加工的冲突,没有出现与晚期整合加工相关联的晚期正成分。而高唤醒度情况形成的预测性认知则相反。因此,未来研究可以通过对语境限制性的操纵,探究预测性认知的改变对神经反应时间进程的影响。

最后,实验中自变量水平的设置引起预测性认知改变。自变量水平设置可能会影响语境信息的数量差异,导致个体在接收语境信息的过程中引发预测性认知改变。有研究者(Grant et al., 2020; White et al., 2009)只观测到了预测性加工引发的单相 N400。其他研究者(Aristei et al., 2022; Zhang et al., 2021)观测的结果却不是单相 N400,而是双相 N400-LPP。造成这种差异也许是自变量水平设置方面的原因。White 等(2009)的研究操纵单一语境信息,实验材料以视觉刺激的方式呈现。Grant 等(2020)采用的是更加自然的听觉刺激呈现,也是操纵单一语境信息。研究结果都只观测到了单相 N400。而其他的研究(Aristei et al., 2022; Zhang

et al., 2021)采用同样的范式,但操纵的是多种语境信息。结果发现,除了 N400 以外,还出现了晚期正成分 LPP。对此,较为合理的解释是,相比于多种语境信息,单一语境信息由于实验因为只聚焦一种语境信息或者说句子在呈现过程中始终由同一说话者完成,这样会让被试形成更稳定的预测性认知,较少地出现预测性认知改变的情况,从而产生更少的与典型性加工相关联的 LPP 成分(van den Brink et al., 2012)。因此,操纵自变量水平的设置也可以考察预测性认知的改变对神经反应时间进程的影响。

总之,探究以上可能引起预测性认知改变的因素,对进一步确定预测性加工的时间进程是很有帮助的。预测性认知与后续的语义加工存在着重要的联系,但它们之间相互作用的机制尚未得到充分的证明(Malmer & Taji, 2021),未来这方面的研究非常值得期待。

参考文献

- 刘志方, 全文, 张智君, 赵亚军. (2020). 语境预测性对阅读中字词加工过程的影响: 眼动证据. *心理学报*, 52(9), 1031-1047.
- 全文, 余雪, 刘志方, 朱星宇, 齐琦. (2022). 快慢读者利用语境信息的差异: 加工深度的作用. *心理与行为研究*, 20(4), 450-456.
- 王霞, 卢家楣, 陈武英. (2019). 情绪词加工过程及其情绪效应特点: ERP 的证据. *心理科学进展*, 27(11), 1842-1852.
- 王禎, 管健. (2021). 积极刻板印象会产生消极影响? *心理科学进展*, 29(9), 1657-1668.
- 杨琪, 蒋晓鸣, 周晓林. (2022). 语言理解中的预设加工. *心理科学进展*, 30(7), 1511-1523.
- Afflerbach, P. (1990). The influence of prior knowledge and text genre on readers' prediction strategies. *Journal of Reading Behavior*, 22(2), 131-148.
- Aristei, S., Knoop, C. A., Lubrich, O., Nehrlich, T., Enge, A., Stark, K., ... Abdel Rahman, R. (2022). Affect as anaesthetic: How emotional contexts modulate the processing of counterintuitive concepts. *Language, Cognition and Neuroscience*, 38(10), 1514-1530.
- Baetens, K., der Cruyssen, L. V., Achtziger, A., Vandekerckhove, M., & Van Overwalle, F. (2011). N400 and LPP in spontaneous trait inferences. *Brain Research*, 1418, 83-92.
- Bar, M. (2007). The proactive brain: Using analogies and associations to generate predictions. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(7), 280-289.
- Bornkessel-Schlesewsky, I., Sharrad, I., Howlett, C. A., Alday, P. M., Corcoran, A. W., Bellan, V., ... Schlewsky, M. (2022). Rapid adaptation of predictive models during

- language comprehension: Aperiodic EEG slope, individual alpha frequency and idea density modulate individual differences in real-time model updating. *Frontiers in Psychology*, 13, 817516.
- Broderick, M. P., Di Liberto, G. M., Anderson, A. J., Rofes, A., & Lalor, E. C. (2021). Dissociable electrophysiological measures of natural language processing reveal differences in speech comprehension strategy in healthy ageing. *Scientific Reports*, 11(1), 4963.
- Broeker, L., Ewolds, H., de Oliveira, R. F., Künzell, S., & Raab, M. (2020). Additive effects of prior knowledge and predictive visual information in improving continuous tracking performance. *Journal of Cognition*, 3(1), 1–12.
- Canal, P., Garnham, A., & Oakhill, J. (2015). Beyond gender stereotypes in language comprehension: Self sex-role descriptions affect the brain's potentials associated with agreement processing. *Frontiers in Psychology*, 6, 1953.
- Davis, M. H., & Sohoglu, E. (2020). Three functions of prediction error for Bayesian inference in speech perception. In Gazzaniga, M. et al., (Eds.), *The cognitive neurosciences* (6th ed., pp. 177–189). MIT Press.
- Diekmann, A. B., & Eagly, A. H. (2000). Stereotypes as dynamic constructs: Women and men of the past, present, and future. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 26(10), 1171–1188.
- Dikker, S., & Pykkänen, L. (2013). Predicting language: MEG evidence for lexical preactivation. *Brain & Language*, 127(1), 55–64.
- Ding, J., Wang, L., & Yang, Y. (2016). The dynamic influence of emotional words on sentence comprehension: An ERP study. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 16(3), 433–446.
- Ding, J., Wang, L., & Yang, Y. (2019). The influence of emotional words on predictive processing during sentence comprehension. *Language, Cognition and Neuroscience*, 35(2), 151–162.
- Ehrlich, S. F., & Rayner, K. (1981). Contextual effects on word perception and eye movements during reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 20(6), 641–655.
- Elman, J. L. (2009). On the meaning of words and dinosaur bones: Lexical knowledge without a lexicon. *Cognitive Science*, 33(4), 547–582.
- Federmeier, K. D., Wlotko, E. W., De Ochoa-Dewald, E., & Kutas, M. (2007). Multiple effects of sentential constraint on word processing. *Brain Research*, 1146, 75–84.
- Frazier, L., & Fodor, J. D. (1978). The sausage machine: A new two-stage parsing model. *Cognition*, 6(4), 291–325.
- Frisson, S., Harvey, D. R., & Staub, A. (2017). No prediction error cost in reading: Evidence from eye movements. *Journal of Memory and Language*, 95, 200–214.
- Friston, K. J., Bastos, A. M., Pinotsis, D., & Litvak, V. (2015). LFP and oscillations—What do they tell us? *Current Opinion in Neurobiology*, 31, 1–6.
- Gaschler, R., Kemper, M., Zhao, F., Pumpe, I., Ruderisch, C. B., Röttger, E., & Haider, H. (2018). Differential effects of cue-based and sequence knowledge-based predictability on multitasking performance. *Acta Psychologica*, 191, 76–86.
- Goldstein, A., Zada, Z., Buchnik, E., Schain, M., Price, A., Aubrey, B., ... Hasson, U. (2022). Shared computational principles for language processing in humans and deep language models. *Nature Neuroscience*, 25(3), 369–380.
- Grant, A., Grey, S., & van Hell, J. G. (2020). Male fashionistas and female football fans: Gender stereotypes affect neurophysiological correlates of semantic processing during speech comprehension. *Journal of Neurolinguistics*, 53, 100876.
- Gubelmann, R., & Handschuh, S. (2022). *Context matters: A pragmatic study of PLMs' negation understanding*. Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers), 4602–4621. Dublin, Ireland.
- Hegarty, P., & Pratto, F. (2001). The effects of social category norms and stereotypes on explanations for intergroup differences. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80(5), 723–735.
- Hinojosa, J. A., Moreno, E. M., & Ferré, P. (2019). Affective neurolinguistics: Towards a framework for reconciling language and emotion. *Language, Cognition and Neuroscience*, 35(7), 813–839.
- Hinojosa, J. A., Moreno, E. M., & Ferré, P. (2020). Affective neurolinguistics: Towards a framework for reconciling language and emotion. *Language, Cognition and Neuroscience*, 35(7), 813–839.
- Hoeks, J. C., Stowe, L. A., & Doedens, G. (2004). Seeing words in context: The interaction of lexical and sentence level information during reading. *Cognitive brain research*, 19(1), 59–73.
- Hopp, H., & Godfroid, A. (2023). Introduction: Second language acquisition and psycholinguistics. In A. Godfroid, & H. Hopp. (Eds.). *The Routledge handbook of second language acquisition and psycholinguistics* (pp. 1–9). Routledge.
- Huang, Z., Feng, C., & Qu, Q. (2023). Predicting coarse-grained semantic features in language comprehension: Evidence from ERP representational similarity analysis and Chinese classifier. *Cerebral Cortex*, 33(13), 8312–8320.
- Hubbard, R. J., & Federmeier, K. D. (2021). Representational pattern similarity of electrical brain activity reveals rapid and specific prediction during language comprehension. *Cerebral Cortex*, 31(9), 4300–4313.
- Kahalon, R., Shnabel, N., & Becker, J. C. (2020). The effects of exposure to positive gender stereotypes on women's and men's performance in counter-stereotypical tasks and pursuit of agentic and communal goals. *Social Psychology*, 51(1), 50–62.
- Kendeou, P., & Van Den Broek, P. (2007). The effects of prior knowledge and text structure on comprehension processes during reading of scientific texts. *Memory &*

- Cognition*, 35(7), 1567–1577.
- Kriegeskorte, N., Mur, M., & Bandettini, P. A. (2008). Representational similarity analysis-connecting the branches of systems neuroscience. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2, 4.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Event-Related Brain Potentials (ERPs) Elicited by novel stimuli during sentence processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425, 236–241. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1984.tb23540.x.
- Kwisthout, J., & Van Rooij, I. (2020). Computational resource demands of a predictive Bayesian brain. *Computational Brain & Behavior*, 3, 174–188.
- Lieder, F., & Griffiths, T. L. (2020). Resource-rational analysis: Understanding human cognition as the optimal use of limited computational resources. *Behavioral and Brain Sciences* 43, e1: 1–60.
- Luke, S. G., & Christianson, K. (2016). Limits on lexical prediction during reading. *Cognitive Psychology*, 88, 22–60.
- Lund, T. C., Sidhu, D. M., & Pexman, P. M. (2019). Sensitivity to emotion information in children's lexical processing. *Cognition*, 190, 61–71.
- Macdonald, S. E. (1994). Gorillas' (gorilla gorilla gorilla) spatial memory in a foraging task. *Journal of Comparative Psychology*, 108(2), 107–113.
- Malmir, A., & Taji, N. (2021). The interplay of action, context, and linguistic vs. non-linguistic resources in L2 pragmatic performance: The case of requests and refusals. *Language Related Research*, 12(3), 215–253.
- McNally, L. (2013). Semantics and pragmatics. *WIREs Cognitive Science*, 4(3), 285–297.
- Pfister, R., Heinemann, A., Kiesel, A., Thomaschke, R., & Janczyk, M. (2012). Do endogenous and exogenous action control compete for perception? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(2), 279–284.
- Piai, V., Anderson, K. L., Lin, J. J., Dewar, C., Parvizi, J., Dronkers, N. F., & Knight, R. T. (2016). Direct brain recordings reveal hippocampal rhythm underpinnings of language processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(40), 11366–11371.
- Regel, S., Coulson, S., & Gunter, T. C. (2010). The communicative style of a speaker can affect language comprehension? ERP evidence from the comprehension of irony. *Brain Research*, 1311, 121–135.
- Reuter, T., Emberson, L., Romberg, A., & Lew-Williams, C. (2018). Individual differences in nonverbal prediction and vocabulary size in infancy. *Cognition*, 176, 215–219.
- Ryskin, R., Levy, R. P., & Fedorenko, E. (2020). Do domain-general executive resources play a role in linguistic prediction? Re-evaluation of the evidence and a path forward. *Neuropsychologia*, 136, 107258.
- Ryskin, R., & Nieuwland, M. S. (2023). Prediction during language comprehension: What is next? *Trends in Cognitive Sciences*, 27(11), 1032–1052.
- Shain, C., Blank, I. A., van Schijndel, M., Schuler, W., & Fedorenko, E. (2020). fMRI reveals language-specific predictive coding during naturalistic sentence comprehension. *Neuropsychologia*, 138, 107307.
- Smith, R., Snow, P., Serry, T., & Hammond, L. (2021). The role of background knowledge in reading comprehension: A critical review. *Reading Psychology*, 42(3), 214–240.
- Sohoglu, E., Peelle, J. E., Carlyon, R. P., & Davis, M. H. (2012). Predictive top-down integration of prior knowledge during speech perception. *Journal of Neuroscience*, 32(25), 8443–8453.
- Tanenhaus, M. K., & Trueswell, C. (1995). Sentence comprehension. In J. L. Miller, & P. D. Eimas (Eds.). *Speech, language, and communication* (pp. 217–262). San Diego, CA: Academic Press.
- Thomas, S. (1995). Predictive strategies in teaching reading comprehension. *Jurnal Pendidik dan Pendidikan*, 14, 103–112.
- Ufer, C., & Blank, H. (2023). Multivariate analysis of brain activity patterns as a tool to understand predictive processes in speech perception. *Language, Cognition and Neuroscience*, 1–17.
- van Berkum, J. J. A. (2018). Language comprehension, emotion, and sociality: Aren't we missing something? In S.-A. Rueschemeyer, & M. G. Gaskell (Eds.), *The Oxford Handbook of psycholinguistics* (pp. 644–670). Oxford University Press.
- van Berkum, J. J. A. (2019). Language comprehension and emotion: Where are the interfaces, and who cares? In G. I. de Zubicaray, & N. O. Schiller (Eds.), *The Oxford handbook of neurolinguistics* (pp. 736–766). Oxford University Press.
- van Berkum, J. J. A., van den Brink, D., Tesink, C. M. J. Y., Kos, M., & Hagoort, P. (2008). The neural integration of speaker and message. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), 580–591.
- van den Brink, D., van Berkum, J. J. A., Bastiaansen, M. C. M., Tesink, C. M. J. Y., Kos, M., Buitelaar, J. K., & Hagoort, P. (2012). Empathy matters: ERP evidence for inter-individual differences in social language processing. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(2), 173–183.
- Vandello, J. A., Hettinger, V. E., Bosson, J. K., & Siddiqi, J. (2013). When equal isn't really equal: The masculine dilemma of seeking work flexibility. *Journal of Social Issues*, 69(2), 303–321.
- Villiger, D. (2023). Stereotypes and self-fulfilling prophecies in the Bayesian brain. *Inquiry*, 1–25.
- Wang, L., Bastiaansen, M., & Yang, Y. (2015). The influence of emotional salience on the integration of person names into context. *Brain Research*, 1609, 82–92.
- Wang, L., Kuperberg, G., & Jensen, O. (2018). Specific lexico-semantic predictions are associated with unique spatial and temporal patterns of neural activity. *Elife*, 7,

- e39061.
- Wang, L., Wlotko, E., Alexander, E., Schoot, L., Kim, M., Warnke, L., & Kuperberg, G. R. (2020). Neural evidence for the prediction of animacy features during language comprehension: Evidence from MEG and EEG representational similarity analysis. *Journal of Neuroscience*, 40(16), 3278–3291.
- Wei, W., Huang, Z., Feng, C., & Qu, Q. (2023). Predicting phonological information in language comprehension: Evidence from ERP representational similarity analysis and Chinese idioms. *Cerebral Cortex*, 33(15), 9367–9375.
- White, K. R., Crites, S. L., Taylor, J. H., & Corral, G. (2009). Wait, what? Assessing stereotype incongruities using the N400 ERP component. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 4(2), 191–198.
- Wrobel, M. R. (2020). The impact of lexicon adaptation on the emotion mining from software engineering artifacts. *IEEE Access*, 8, 48742–48751.
- Yao, Z., Xuan, Y., & Zhu, X. (2019). Effect of experience information on emotional word processing in alexithymia. *Journal of Affective Disorders*, 259, 251–258.
- Zhang, Q., Ding, J., Zhang, Z., Yang, X., & Yang, Y. (2021). The effect of congruent emotional context in emotional word processing during discourse comprehension. *Journal of Neurolinguistics*, 59, 100989.
- Zhang, Q., Mou, C., Yang, X., Yang, Y., & Li, L. (2022). EXPRESS: The effect of contextual arousal on the integration of emotional words during discourse comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 76(4), 17470218221098838.

Prediction formation during speech perception: Factors and neural mechanisms

SUI Xue¹, LI Yulin¹, YUE Zeming¹, LIU Xin¹, LI Yutong¹, LIU Shunhua²

(¹ School of Psychology, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

(² School of Education Science, Anshun University, Anshun 561000, China)

Abstract: Predictive processing refers to the effective prediction to form predictive cognition before lexical semantic processing. There are two main factors influencing the formation of predictive cognition: prior knowledge and contextual information. The two factors contribute to predictive cognition and promote each other. The formed predictive cognition will also change in the subsequent semantic processing. This paper reviews the theories that can explain the formation of predictive cognition and explores the neural mechanism of the formation of predictive cognition. Finally, the future research is prospected from the aspects of gender, the time of presentation of contextual information, the arousal of contextual information and the control of independent variables.

Keywords: predictive processing, predictive cognition, prior knowledge, contextual information