

中文阅读预视加工中的词频和预测性效应及其 对词切分的启示：基于眼动的证据^{*}

苏 衡¹ 刘志方² 曹立人¹

(¹浙江大学心理与行为科学系, 杭州 310028) (²宁波大学心理学系暨研究所, 宁波 315211)

摘 要 研究采用眼动随动显示技术考察中文阅读预视加工中的词汇加工问题。前三项实验发现, 剥夺预视加工的掩蔽条件、正确提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件以及不能提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件都不影响词频效应, 说明中文读者对词 n+1 处文字的预视加工达不到词汇水平。实验 4 考察剥夺预视加工的掩蔽条件、提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件对预测性效应的影响, 结果发现, 剥夺预视加工完全消除预测性效应, 提示词 n+1 右侧边界则减少预测性效应, 说明对词汇的预期加工是中文读者切分词 n+1 的参考线索。综合 4 项实验结果可知, 中文读者较难通过自下而上的文字识别切分词 n+1, 自上而下的词汇预期则是切分词 n+1 的加工形式。

关键词 中文阅读; 词频效应; 预测性效应; 词切分; 眼动

分类号 B842

1 引言

证据表明, 读者基于词汇理解拼音文字文本 (White, 2008; Rayner, Liversedge, White, & Vergilino-Perez, 2003; Kliegl, Grabner, Rolfs, & Engbert, 2004; Rayner, Binder, Ashby, & Pollatsek, 2001), 基于这个事实, 学者已经构建出多个理论模型用于解释其中的文字加工现象。尽管这些模型在一些具体细节上存在差异, 但它们都认为词汇加工可以被区分为两个子阶段(视觉刺激编码阶段除外)。比如, E-Z 读者模型就认为, 词汇加工可以划分为熟悉性检验 (familiarity check) 和词汇通达 (lexical access) 两个阶段。其中熟悉性检验仅涉及水平较低的词汇正字法模版识别; 词汇通达则是提取词汇抽象的语音和语义表征阶段 (Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006; Schotter, Reichle, & Rayner, 2014)。SWIFT 模型采用“词汇激活 (lexical activity)”的概念来描述实时的词汇加工状态, 它认为, 知觉广度内的所有词汇组成一个词汇激活性质的集合, 随着时间的推移此集

合的值实时地发生改变, 词汇激活是持续时间的函数, 词汇前加工阶段 (lexical preprocessing) 中, 该词激活度将随着时间的推进逐渐达到最大值, 在词汇通达阶段 (lexical completion) 其激活度开始下降, 激活度接近于 0 时, 该词被成功识别 (Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005; Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006; Richter, Engbert, & Kliegl, 2006; Kliegl, 2007; Kliegl, Risse, & Laubrock, 2007; Schad & Engbert, 2012)。

尽管上述两个模型对词汇加工两阶段的具体描述不同, 但它们都认为词汇难度(词汇的词频和文本背景对之的预测程度)是影响词汇加工两阶段的基本因素。比如, E-Z 读者模型认为, 熟悉性检验阶段和词汇通达阶段所需要的时间都是词频和预测性的函数, 词频和预测性越低两个阶段所需时间越长 (Rayner, Ashby, Pollatsek, & Reichle, 2004; Reichle et al., 2006; Schotter et al., 2014)。SWIFT 模型则假设词频和预测性影响最大词汇激活度, 词频和预测性越低, 其最大激活度越大, 对之的加工所

收稿日期: 2015-05-27

^{*} 教育部人文社会科学研究青年项目成果 (15YJC190014)。

通讯作者: 刘志方, E-mail: lzhf2008@163.com 曹立人, E-mail: caoliren@zju.edu.cn

需时间越多(Engbert et al., 2005; Richter et al., 2006; Schad & Engbert, 2012)。实验证据表明, 拼音文字阅读中, 词频和预测性影响目标词汇上的注视指标(首次注视时间、凝视时间和总注视时间)和眼跳指标(跳读概率和再注视概率), 说明难度确实影响词汇加工过程(Rayner & Duffy, 1986; Rayner & Well, 1996; Kliegl et al., 2004; Rayner et al., 2001); 但这些证据仍不能确定词汇难度对词汇加工两个阶段的分别影响程度问题。

根据上述模型的描述, 词频和预测性对词汇加工的两个阶段都有影响。然而, 在真实阅读中, 对特定词汇的加工还可以被区分为预视加工和注视加工两个部分。显然, 预视加工在较大程度上与第一阶段词汇加工重叠, 注视加工则在较大程度上与第二阶段词汇加工重叠。学术界尚不能明确, 在预视时间内, 读者能否完成第一阶段的词汇加工(比如, 熟悉性检验和词汇前加工)? 显然, 明确这个问题对量化和完善阅读模型很有价值。词频效应是衡量文字加工程度是否达到词汇水平的客观参考(Blythe, Liversedge, Joseph, White, & Rayner, 2009), 预测性效应也是检验模型优劣的重要参考标准, 因而考察预视加工中的词频与预测性效应为解决上述理论问题提供突破口。如果预视加工中读者可以完成或者部分完成第一阶段的词汇加工, 那么剥夺预视加工应该能够扩大词频效应; 这是因为剥夺预视意味着将预视加工所产生的词频效应“推延”至注视加工中。同样, 如果预测性能够影响对目标词汇的预视加工, 那么剥夺预视同样亦会改变预测性效应。然而, 国内外既没有相关研究在拼音文字阅读中检验此假设, 也没有研究在中文阅读中检验此假设。

需要指出的是, 以上理论模型对词汇加工阶段的描述都是基于对拼音文字阅读研究结果的总结, 缺乏在象形文字(如中文)阅读中的系统检验。证据表明, 中文词具有心理现实性(psychological reality), 中文读者同样基于词汇阅读理解句子(Bai, Yan, Liversedge, Zang, & Rayner, 2008; Bai et al., 2013; Shen et al., 2012; Blythe et al., 2012; Liu & Li, 2014; Li & Shen, 2013; Ma, Li, & Rayner, 2014; Yan, Tian, Bai, & Rayner, 2006; Rayner, Li, Juhasz, & Yan, 2005; 白学军等人, 2011; 沈德立等人, 2010)。然而, 相对于拼音文字, 中文书写方式、文字加工过程和阅读眼动控制方面都有其特殊性。比如, 中文的基本书写单元为字, 每个汉字都有自身含义, 中文词间没有空格; 汉字加工受到“词优效应”影响, 也有很强的

独立性(申薇, 李兴珊, 2012); 在阅读中, 中文读者不像拼音文字读者那样基于词汇制定和执行眼跳计划(Li, Liu, & Rayner, 2011)。然而, Li, Bicknell, Liu, Wei 和 Rayner (2014)全面考察了中文字词在阅读眼动控制中的作用, 结果发现词汇特性对眼动控制的影响程度甚于汉字特性的影响作用, 由此可见, 尽管中文阅读的文字加工有其特殊性, 但也符合主要的普遍性语言规律。因而, 检验中文阅读中预视加工中词频和预测性效应合乎实际情况, 也有重要理论价值。

读者基于词汇理解中文意味着其中必然存在词切分现象(Reilly & Radach, 2012), 考察上述问题显然还有利于揭示词切分实质。多项证据表明, 中文读者能够在预视中切分词汇。比如, Yan 与其合作者通过词汇上注视点的分布推测读者能够在预视中切分词 $n+1$ (Yan, Kliegl, Richter, Nuthmann, & Shu, 2010; Shu, Zhou, Yan, & Kliegl, 2011; Yan, Zhou, Shu, & Kliegl, 2015)。还有证据表明, 提示词 $n+1$ 的右侧边界能够积极影响眼动过程(张智君, 刘志方, 赵亚军, 季靖, 2012; 刘志方, 闫国利, 张智君, 潘运, 杨桂芳, 2013), 词 $n+1$ 上汉字位置顺序颠倒也影响注视持续时间, 跨词间两个汉字顺序颠倒对注视时间的影响程度比词内汉字顺序颠倒的影响程度更大(Gu & Li, 2015)。这些结果都显示读者都能够预视切分词 $n+1$ 。中文的书写方式特殊, 读者必须通过某种形式的词汇加工切分词 $n+1$ 。李兴珊等人构建的词切分模型认为, 根据词汇经验, 中文读者通过字词加工切分词汇(Li, Rayner, & Cave, 2009; Li, Gu, Liu, & Rayner, 2012; 李兴珊, 刘萍萍, 马国杰, 2011)。然而, 中文读者采用何种性质的词汇加工切分词 $n+1$, 目前则尚无相关研究。

词频效应和预测性效应是词汇加工中的两个常见现象, 它们分别反映不同性质的、独立的词汇加工过程, E-Z 读者模型和 SWIFT 模型都提出相应函数对之进行描述(Rayner et al., 2004; Engbert et al., 2005; Schad & Engbert, 2012)。据此, 本研究分别从词频效应和预测性效应两个角度考察预视切分词 $n+1$ 的加工性质问题。如果读者通过识别字词切分词 $n+1$, 那意味着在预视中能够达到或者至少部分达到早期词汇加工阶段, 基于这个假设, 剥夺词汇预视会将正常情况下预视加工所致的词频效应“推延”至注视加工中, 因此掩蔽词 n 右侧词汇将导致词频效应增大, 与此同时提示词 $n+1$ 右侧边界的会促进词汇加工, 进而将减少词频效应。本研究

的前三项实验检验上述假设, 若产生符合预期的呈现条件变量与词频变量间的交互作用, 则意味着读者可基于自下而上的字词加工执行切分词 $n+1$ 任务。基于同样逻辑, 若中文读者通过自上而下的预期确定词 $n+1$ 的右侧边界, 掩蔽词 n 右侧词汇(剥夺预视)将导致预测性效应增大, 同时提示词 $n+1$ 右侧边界的掩蔽将减少预测性效应。实验 4 包含上述两种掩蔽条件, 以此检验“读者通过预期切分词 $n+1$ ”的可能性。

2 实验 1: 剥夺预视加工对词频效应的影响

2.1 方法

2.1.1 被试

宁波大学 44 名大学生参加本次实验, 其中男生 20 名, 女生 24 名。被试的视力或矫正视力正常, 之前均未参加过类似实验。实验结束后可获得报酬 20 元。

2.1.2 实验材料

实验材料采用刘志方、张智君和田迅(2012)的实验材料。该材料首先挑选词义相近、笔画数相匹配, 但词频差异较大的名词词对, 然后利用这些词对编造框架句子, 框架句子完全由 7 或 6 个双字词构成, 词对中两个词汇(高频词和低频词)都可以放置在同一框架句子中相同位置, 所有目标词汇都安置在句子中间(第三或第四个词), 见图 1 所示。严

司令调集后方 战士 支援前线。	高频词条件
司令调集后方 官兵 支援前线。	低频词条件

图 1 框架句子包含目标词对图示(句子中斜体加粗词汇为目标词汇)

格控制框架句子的难度和通顺度, 严格控制目标词汇的词频、首字笔画数、尾字笔画数、词汇总笔画数差异(详细情况见文献: 刘志方等, 2012)。正式实验材料中设置了 16 个阅读理解判断题, 以确定被试是否认真阅读句子。为让被试理解并熟悉实验过程, 在正式实验前先进行练习, 练习中共包含另外的 10 个阅读句子, 其中穿插有 4 个判断题。

2.1.3 实验仪器

通过加拿大 SR 公司生产的 Eye Link 1000 型桌面式眼动仪记录被试的眼动。该设备的采样频率为 1000 次/s。句子呈现在 19 英寸的 DELL 显示器上, 显示器分辨率为 1024×768, 刷新频率为 75 Hz。被试距离刺激呈现屏幕 54 cm。

2.1.4 实验程序

每个被试单独施测。被试进入实验室坐好后, 下颚置于头托, 要求其尽量不要移动头部。实验开始前呈现指导语, 确保被试理解整个实验程序后对仪器进行校准。校准结束后开始练习, 被试理解并熟悉整个实验过程后开始正式实验。完成整个实验大约需要 15 min。

2.2 实验设计

采用 2(呈现条件: 控制条件 vs 词 n 右侧掩蔽条件)×2(目标词词频: 高频 vs 低频)完全被试内设计。控制条件是没有做任何处理的呈现条件(下同)。掩蔽条件则是开始之初, 句子所有的词汇都被“※”符号掩蔽, 随着注视位置的移动逐步显现相应词汇。词 n 右侧掩蔽条件则根据注视点位置使词 n 及其左侧词汇显现, 词 n 右侧的所有词汇则一直被掩蔽(正在被注视的词汇是词 n , 词 n 右侧第一个词汇为词 $n+1$, 依次类推), 该条件举例见图 2。

实验条件与实验句子材料间的平衡方式为: 将

控制条件	词 n 右侧掩蔽条件
政府大力鼓励农民使用新型化肥。	政府大力※※※※※※※※。
*	*
政府大力鼓励农民使用新型化肥。	政府大力鼓励※※※※※※※※。
*	*
词 $n+1$ 右侧掩蔽	双字 $n+1$ 右侧掩蔽
政府大力鼓励※※※※※※※※。	政府大力鼓※※※※※※※※。
*	*
政府大力鼓励农民※※※※※※。	政府大力鼓励农民使※※※※※※。
*	*

图 2 四项实验中的各个呈现条件举例(“*”代表注视点)

表 1 目标词兴趣区内眼动指标的均值和标准差

呈现条件	首次注视时间		凝视时间		跳读概率		再注视概率	
	高频词	低频词	高频词	低频词	高频词	低频词	高频词	低频词
控制条件	232 (39)	240 (40)	270 (58)	302 (72)	18.4 (16.0)	15.9 (16.6)	13.6 (9.9)	19.6 (16.6)
词 n 右侧 掩蔽条件	267 (47)	265 (54)	405 (125)	426 (159)	9.7 (9.8)	9.8 (13.5)	43.2 (29.8)	43.0 (30.9)

注：时间指标单位为 ms，括号内为标准差，下同

40 个句子框架随机分成 4 组，每组内所包含的 6 词句和 7 词句的数量相同。4 种实验条件采用拉丁方排列顺序在 4 组句子间排列。共生成 4 个实验文件，这 4 个实验文件在被试间平衡。每个实验文件中的 40 个句子均随机呈现。

2.3 结果

被试对于问题回答的正确率都在 85% 以上，呈现条件主效应项目分析和被试分析均不显著 ($p > 0.05$)，表明被试均认真阅读各种呈现条件下的句子。基于研究目的报告 4 项基于目标词兴趣区的眼动指标：首次注视时间(第一遍阅读中落入兴趣区内第一个注视点的持续时间)、凝视时间(第一遍阅读中在兴趣区内的总注视时间)、再注视概率(第一遍阅读中得到 1 次以上注视的目标词数与总目标词数的比率)和跳读概率(第一遍阅读中被跳读的目标词数与总目标词数之间的比率)。表 1 列出了呈现条件和词频条件下各项眼动指标的均值和标准差。

对目标词兴趣区域内眼动指标进行 2×2 方差分析结果显示：

词 n 右侧掩蔽条件导致首次注视时间的显著增加， $F_1(1,43) = 19.80, p < 0.05, \eta^2 = 0.32, F_2(1,39) = 30.84, p < 0.05, \eta^2 = 0.44$ 。词频主效应不显著， $F_1(1,43) = 0.28, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.24, p > 0.05$ 。呈现条件与词频交互作用不显著， $F_1(1,43) = 1.14, p > 0.05, F_2(1,39) = 1.69, p > 0.05$ 。

词 n 右侧掩蔽条件导致凝视注视时间显著增加， $F_1(1,43) = 49.40, p < 0.05, \eta^2 = 0.54, F_2(1,39) = 140.29, p < 0.05, \eta^2 = 0.78$ 。词频的主效应显著， $F_1(1,43) = 4.97, p < 0.05, \eta^2 = 0.10, F_2(1,39) = 9.31, p < 0.05, \eta^2 = 0.19$ 。呈现条件与词频交互作用不显著， $F_1(1,43) = 0.45, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.32, p > 0.05$ 。

词 n 右侧掩蔽条件导致跳读概率显著减少， $F_1(1,43) = 8.98, p < 0.05, \eta^2 = 0.17, F_2(1,39) = 19.94, p < 0.05, \eta^2 = 0.34$ 。词频效应不显著， $F_1(1,43) = 0.58, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.91, p > 0.05$ 。呈现条件与词频交

互作用不显著， $F_1(1,43) = 0.61, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.79, p > 0.05$ 。

词 n 右侧掩蔽条件导致再注视概率显著增加， $F_1(1,43) = 43.85, p < 0.05, \eta^2 = 0.51, F_2(1,39) = 116.56, p < 0.05, \eta^2 = 0.75$ 。词频效应不显著， $F_1(1,43) = 2.12, p > 0.05, F_2(1,39) = 2.87, p > 0.05$ 。呈现条件与词频交互作用不显著， $F_1(1,43) = 2.76, p > 0.05, F_2(1,39) = 1.98, p > 0.05$ 。

2.4 讨论

实验 1 通过掩蔽词 n 右侧词汇考察中文读者对词 n+1 的预视加工程度问题。事先假设：如果剥夺预视能够扩大词频效应量，则表明对词 n+1 文字的预视加工能够达到或者部分程度达到词汇水平(按照 E-Z 读者模型和 SWIFT 模型对词汇加工阶段的区分，至少能够达到或者部分达到词汇加工的早期阶段)，词频和呈现条件交互作用是本实验的参考标准。结果发现，(1)呈现条件影响所有的眼动指标(首次注视时间、凝视时间、再注视概率和跳读概率)，这表明剥夺预视影响词汇加工；(2)词频影响凝视时间表明词汇加工影响眼动控制过程；(3)但没有发现词频和呈现条件在任何眼动指标上的交互作用显著，这表明读者对文字的预视加工不能达到词汇水平。由此可见，中文读者对字词预视加工达不到词汇水平，自下而上的字词识别不是切分词 n+1 的主要加工形式。

3 实验 2：提示词 n+1 右侧边界的掩蔽对词频效应的影响

目的：考察提示词 n+1 右侧边界的掩蔽是否能够促进词汇加工，进而推测中文读者是否能够通过自下而上的字词加工切分词 n+1。实验 2 的掩蔽条件提示词 n+1 的右侧边界。如果读者能够通过自下而上的文字预视加工完成或执行切分词 n+1 过程，那么还应该看到实验 2 提示词 n+1 右侧边界条件应该相对于控制条件减少词频效应，否则则仍旧证实实验 1 的推论。

表 2 目标词兴趣区内眼动指标的均值和标准差

呈现条件	首次注视时间		凝视时间		跳读概率		再注视概率	
	高频词	低频词	高频词	低频词	高频词	低频词	高频词	低频词
控制条件	231	241	274	291	27.3	21.2	14.0	16.3
	(42)	(42)	(68)	(72)	(19.9)	(21.7)	(13.4)	(12.3)
词 n+1 右侧掩蔽条件	206	221	221	244	11.6	13.0	5.0	8.6
	(34)	(36)	(37)	(54)	(13.6)	(15.2)	(7.2)	(10.2)

3.1 方法

3.1.1 被试

宁波大学 40 名大学生参加本次实验, 其中男、女各 20 人。被试的视力或矫正视力正常, 之前均未参加过类似实验。实验结束后可获得报酬 20 元。

3.1.2 实验材料、实验仪器和实验程序

实验材料、实验仪器和实验程序同实验 1。

3.1.3 实验设计

采用 2(呈现条件: 控制条件 vs 词 n+1 右侧掩蔽条件)×2(目标词词频: 高频率 vs 低频率)的被试内设计。词 n+1 右侧掩蔽条件的举例见图 2。呈现条件与句子材料平衡方式同实验 1。

3.2 结果

实验中被试对于问题回答的正确率都在 85%以上, 呈现条件主效应均不显著($ps > 0.05$)。实验 2 各条件下目标词汇兴趣区眼动指标均值和标准差见表 2。

对上述指标进行 2×2 方差分析结果显示:

词 n+1 右侧掩蔽条件导致首次注视时间显著减少, $F_1(1,39) = 17.89, p < 0.05, \eta^2 = 0.31, F_2(1,39) = 20.96, p < 0.05, \eta^2 = 0.35$ 。词频效应显著, $F_1(1,39) = 6.40, p < 0.05, \eta^2 = 0.14, F_2(1,39) = 5.35, p < 0.05, \eta^2 = 0.12$ 。呈现条件与词频交互作用不显著, $F_1(1,39) = 0.23, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.21, p > 0.05$ 。

词 n+1 右侧掩蔽条件导致凝视时间显著减少, $F_1(1,39) = 28.83, p < 0.05, \eta^2 = 0.43, F_2(1,39) = 37.68, p < 0.05, \eta^2 = 0.49$ 。词频效应显著, $F_1(1,39) = 8.68, p < 0.05, \eta^2 = 0.18, F_2(1,39) = 5.59, p < 0.05, \eta^2 = 0.13$ 。呈现条件与词频交互作用不显著, $F_1(1,39) = 0.17, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.23, p > 0.05$ 。

词 n+1 右侧掩蔽条件导致跳读概率显著减少, $F_1(1,39) = 48.52, p < 0.05, \eta^2 = 0.55, F_2(1,39) = 28.44, p < 0.05, \eta^2 = 0.42$ 。词频效应不显著, $F_1(1,39) = 1.53, p > 0.05, F_2(1,39) = 1.978, p > 0.05$ 。呈现条件与词频交互作用显著, $F_1(1,39) = 5.19, p < 0.05, \eta^2 = 0.12, F_2(1,39) = 4.61, p < 0.05, \eta^2 = 0.11$; 简单效应分析显示控制条件中词频效应显著($ps < 0.05$), 词 n+1 右侧

掩蔽条件中的词频效应不显著($ps > 0.05$)。

词 n+1 右侧掩蔽条件导致再注视概率显著减少, $F_1(1,39) = 20.31, p < 0.05, \eta^2 = 0.34, F_2(1,39) = 24.54, p < 0.05, \eta^2 = 0.39$ 。词频效应被试分析显著, $F_1(1,39) = 5.874, p < 0.05, \eta^2 = 0.13$, 项目分析边缘显著, $F_2(1,39) = 3.81, p = 0.06, \eta^2 = 0.09$ 。呈现条件与词频交互作用不显著, $F_1(1,39) = 0.377, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.213, p > 0.05$ 。

3.3 讨论

实验 2 考察提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件对词频效应的影响, 进而推测预视切分词 n+1 问题。结果显示, 提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件导致各项眼动指标变小(见表 2 数据)。首次注视时间、凝视时间和再注视概率减少反映词汇加工难度降低, 但跳读概率减少却反映词汇加工难度增加(Rayner, 1998), 因此呈现条件导致各项眼动数据变小说明提供词 n+1 右侧边界的掩蔽或许只是改变具体眼动模式, 而未必促进了词汇加工。词频变量对各项指标的影响, 除了在跳读概率上不显著外, 其他指标上均达到显著或边缘显著水平; 除跳读概率外, 词频和呈现条件的交互作用在各项指标上均不显著, 这意味着提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件消除对词 n+2 处的汉字加工, 进而影响了基于该字的眼跳过程(Liu, Reichle, & Li, 2015), 但该条件并没有改变其他指标上词频效应同样也意味着读者较难通过自下而上的字词加工切分词 n+1 (这与实验 1 推论基本一致)。

相对于控制条件, 提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件改变了读者的眼动模式(减少了首次注视时间和凝视时间)。两种原因都可以导致此结果: (1)外源性注意, 突然的视觉变化(词 n+1 突然出现)导致注视快速向右移动; (2)词 n+1 右侧掩蔽条件促进切分词 n+1 进而减少注视时间。此掩蔽条件改变读者眼动模式若是由于外源性注意所致, 那就意味着实验 2 结果不能说明读者能够预视切分词 n+1, 为排除这种可能, 并收集支持前两项实验结论的其他证据, 组织实验 3。实验 3 考察不完全剥夺词 n+1 上两

个汉字的预视对词频效应的影响。

4 实验 3: 非提示词 n+1 右侧边界对词频效应的影响

目的: (1)排除实验 2 结果由实验范式本身所引入的外源性注意所致; (2)考察非完全剥夺词 n+1 上汉字预视加工对词频效应的影响。如果实验 3 非正常呈现条件对眼动指标的影响模式与实验 2 不同, 则可以排除实验 2 结果由外源性注意所致; 若呈现条件与词频变量之间还不存在交互作用, 则再次证实前两项实验推论: 词 n+1 文字的预视加工达不到词汇水平。

4.1 方法

4.1.1 被试

宁波大学 40 名大学生参加本次实验, 男、女各 20 人。被试的视力或矫正视力正常, 之前均未参加过类似实验。实验结束后可获得报酬 20 元。

4.1.2 实验材料、实验仪器和实验程序

实验材料、实验仪器和实验程序同实验 1。

4.1.3 实验设计

采用 2(呈现条件: 控制条件 vs 双字 n+1 右侧掩蔽条件)×2(目标词词频: 高频率 vs 低频率)的被试内设计。双字 n+1 右侧掩蔽条件举例见图 2。呈现条件与句子材料平衡方式同实验 1。实验 3 采用与实验 2 相似的研究范式, 不同的是, 实验 2 中的掩蔽条件是将每个双字词划为同一兴趣区, 电脑参照注视点所在兴趣区域显示被掩蔽的词汇, 而实验 3 将所有兴趣区向左平移一个字的距离, 并在句子末尾增加一个兴趣区涵盖最后一个字。这样本来两个相邻但不属于同一词的两个字划分到一个兴趣区, 实验 3 的双字 n+1 右侧掩蔽条件所参照的兴趣区内虽然也包括 2 个汉字, 但是该掩蔽条件不能提供相应的词边界线索。以双字词为例, 证据表明中文读者将首次注视落于其左侧字的概率明显多于落于其右侧字的概率(Yan et al., 2009; 白学军等人, 2011); 因此这种操作有两个作用: (1)不完全剥夺对词 n+1

上两个汉字的预视加工; (2)没有词 n+1 右侧边界的提示线索。

4.2 结果

实验中被试对于问题回答正确率都在 86%以上, 呈现条件主效应不显著($p > 0.05$)。实验 3 各条件下眼动指标均值和标准差见表 3。

对目标词兴趣区内眼动指标进行 2×2 方差分析结果显示:

首次注视时间的呈现条件主效应不显著, $F_1(1,39) = 1.59, p > 0.05, F_2(1,39) = 1.40, p > 0.05$ 。词频效应不显著, $F_1(1,39) = 1.52, p > 0.05, F_2(1,39) = 1.93, p > 0.05$ 。呈现条件与词频交互作用不显著, $F_1(1,39) = 0.70, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.98, p > 0.05$ 。

凝视时间的呈现条件主效应不显著, $F_1(1,39) = 0.30, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.37, p > 0.05$ 。词频效应显著, $F_1(1,39) = 7.00, p < 0.05, \eta^2 = 0.15, F_2(1,39) = 6.55, p < 0.05, \eta^2 = 0.14$ 。呈现条件与词频交互作用不显著, $F_1(1,39) = 0.42, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.42, p > 0.05$ 。

双字 n+1 右侧掩蔽条件导致跳读概率显著减少, $F_1(1,39) = 6.85, p < 0.05, \eta^2 = 0.15, F_2(1,39) = 9.04, p < 0.05, \eta^2 = 0.19$ 。词频效应不显著, $F_1(1,39) = 1.13, p > 0.05, F_2(1,39) = 1.57, p > 0.05$ 。呈现条件与词频交互作用不显著, $F_1(1,39) = 0.08, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.05, p > 0.05$ 。

再注视概率的呈现条件主效应不显著, $F_1(1,39) = 0.31, p = 0.582, F_2(1,39) = 0.19, p > 0.05$ 。词频效应边缘显著, $F_1(1,39) = 3.67, p = 0.06, \eta^2 = 0.09, F_2(1,39) = 3.74, p = 0.06, \eta^2 = 0.09$ 。呈现条件与词频交互作用不显著, $F_1(1,39) = 0.001, p > 0.05, F_2(1,39) = 0.001, p > 0.05$ 。

4.3 讨论

实验 3 考察非提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件对词频效应的影响模式, 以及外源性注意导致实验 2 结果的可能性。对于呈现条件的主效应而言, 非提示词 n+1 右侧边界的掩蔽条件并没有导致首次注视和凝视时间减少, 此影响趋势与实验 2 完全不

表 3 目标词兴趣区内眼动指标的均值和标准差

呈现条件	首次注视时间		凝视时间		跳读概率		再注视概率	
	高频词	低频词	高频词	低频词	高频词	低频词	高频词	低频词
控制条件	235 (30)	244 (40)	279 (53)	296 (73)	19.0 (16.3)	17.5 (15.6)	17.3 (14.8)	20.8 (16.1)
双字 n+1 右侧掩蔽条件	233 (35)	234 (37)	278 (53)	305 (78)	13.8 (13.1)	11.5 (10.3)	16.3 (14.4)	19.8 (16.7)

同, 表明实验 2 的结果并非是由外源注意所致。实验 3 同样关注词频与呈现条件间的交互作用, 结果也未发现任何显著的交互作用。实验 3 再次表明, 词 $n+1$ 上文字的预视加工达不到词汇水平, 读者不太可能通过自下而上的字词识别切分词 $n+1$ 。

对前三项实验结果有两个可能的解释: 解释一, 读者不能在预视中切分词 $n+1$; 解释二, 预视中, 读者通过其他加工形式切分词 $n+1$ 。解释一与以往的研究结论不一致(Gu & Li, 2015; Yan et al., 2010, 2015; Shu et al., 2011; 张智君等, 2012; 刘志方等, 2013), 为澄清中文读者依据何种性质的词汇加工在预视中切分词 $n+1$, 组织实验 4, 以检验读者通过预期切分词 $n+1$ 的可能性。

5 实验 4: 剥夺预视与提示词 $n+1$ 右侧边界对预测性效应的影响

目的: 检验中文读者通过词汇预期加工切分词 $n+1$ 的可能性。实验假设, 如果掩蔽条件改变目标词汇的预测性效应, 则意味着中文读者通过预期切分词 $n+1$; 否则则说明预期加工也不是切分词 $n+1$ 的加工形式。

5.1 方法

5.1.1 被试

宁波大学 48 名大学生参加本次实验, 男生 28 名、女生 20 名。被试的视力或矫正视力正常, 之前均未参加过类似的实验。实验结束后可获得报酬 20 元。

5.1.2 实验材料、实验仪器和实验程序

实验仪器和实验程序同实验 1。实验材料采用白学军等人(2011)的实验材料, 该实验材料中的目标词汇也都是双字词。严格控制匹配高-低预测性词对的首字字频、尾字字频和整词词频。高-低预测性词对中两个词汇的首字笔画数、尾字笔画数和整词笔画数也得到严格的匹配。严格控制框架句子的通顺性和难度(关于实验材料的具体细节请参见文献: 白学

军, 曹玉肖, 顾俊娟, 郭志英, 闫国利, 2011)

5.1.3 实验设计

前三项实验表明, 提示词 $n+1$ 右侧边界的掩蔽条件对读者眼动过程的影响, 不是由该条件引入的外源性注意所致, 因此实验 4 中并没有包括实验 3 中的掩蔽条件。实验 4 采用 3(呈现条件: 控制条件 vs 词 n 右侧掩蔽条件 vs 词 $n+1$ 右侧掩蔽条件) $\times$ 2(目标词汇的预测性: 高预测性 vs 低预测性)的完全被试内设计。实验框架句子总共 90 个句子, 呈现条件与句子材料平衡方式同实验 1。

5.2 结果

实验中被试对于问题回答的正确率都在 85% 以上, 呈现条件主效应不显著($ps > 0.05$)。表 4 列出了呈现条件和词频条件下各项眼动指标的平均值和标准差。

对目标词区域内眼动指标的 3×2 方差分析显示:

首次注视时间呈现条件主效应显著, $F_1(2,94) = 25.43, p < 0.05, \eta^2 = 0.35, F_2(2,178) = 32.16, p < 0.05, \eta^2 = 0.27$ 。事后检验显示, 除控制条件与词 $n+1$ 右侧掩蔽条件间差异不显著外($p > 0.05$), 其他条件间的差异都达到显著水平($ps < 0.05$)。预测性主效应不显著, $F_1(1,47) = 1.82, p > 0.05, F_2(1,89) = 1.61, p > 0.05$ 。呈现条件与预测性交互作用不显著, $F_1(2,94) = 0.59, p > 0.05, F_2(2,178) = 0.48, p > 0.05$ 。

凝视时间的呈现条件主效应显著, $F_1(2,94) = 55.44, p < 0.05, \eta^2 = 0.54, F_2(2, 178) = 148.94, p < 0.05, \eta^2 = 0.63$ 。预测性主效应显著, $F_1(1,47) = 6.99, p < 0.05, \eta^2 = 0.13, F_2(1,89) = 6.27, p < 0.05, \eta^2 = 0.07$ 。呈现条件与预测性交互作用显著, $F_1(2,94) = 4.12, p < 0.05, \eta^2 = 0.08, F_2(2,178) = 5.08, p < 0.05, \eta^2 = 0.06$ 。简单效应分析显示, 控制条件和词 $n+1$ 右侧掩蔽条件下预测性主效应显著($ps < 0.05$), 但在词 n 右侧掩蔽条件下预测性主效应不显著($p > 0.05$)。跳读概率的呈现条件主效应显著, $F_1(2,94) = 12.54, p <$

表 4 目标词兴趣区内眼动指标的均值和标准差

呈现条件	首次注视时间		凝视时间		跳读概率		再注视概率	
	高预测	低预测	高预测	低预测	高预测	低预测	高预测	低预测
控制条件	229	233	247	270	24.6	25.1	8.5	15.6
	(31)	(34)	(39)	(59)	(17.5)	(21.1)	(8.1)	(14.0)
词 n 右侧掩蔽条件	256	257	335	331	12.4	13.5	28.3	26.8
	(42)	(38)	(91)	(72)	(14.3)	(14.6)	(21.9)	(18.7)
词 $n+1$ 右侧掩蔽条件	223	230	240	256	18.6	17.8	7.6	9.7
	(31)	(30)	(39)	(46)	(15.1)	(14.4)	(10.2)	(10.5)

0.05, $\eta^2 = 0.12$, $F_2(2,178) = 31.97$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.26$ 。事后检验显示, 所有条件之间的差异都达到显著水平($ps < 0.05$)。预测性主效应不显著, $F_1(1,47) = 0.05$, $p > 0.05$, $F_2(1,89) = 0.07$, $p > 0.05$ 。呈现条件与预测性交互作用不显著, $F_1(2,94) = 0.27$, $p > 0.05$, $F_2(2,178) = 0.27$, $p > 0.05$ 。

再注视概率的呈现条件主效应显著, $F_1(2,94) = 58.15$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.55$, $F_2(2,178) = 112.58$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.56$ 。预测性主效应显著, $F_1(1,47) = 5.90$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.11$, $F_2(1,89) = 6.63$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.07$ 。呈现条件与预测性交互作用显著, $F_1(2,94) = 4.82$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.09$, $F_2(2,178) = 4.66$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.05$ 。简单效应分析显示, 控制条件预测性主效应显著($p < 0.05$), 但在其他条件下预测性主效应不显著($ps > 0.05$)。

5.3 讨论

实验 4 考察读者基于预期切分词 $n+1$ 的可能性。事先假设, 如果剥夺预视能够导致预测性效应增大, 且提示词 $n+1$ 右侧边界减少预测性效应, 则意味着读者通过预期切分词 $n+1$ 。结果发现, 呈现条件和预测性交互影响凝视时间和再注视概率, 简单效应分析后发现, 相对于控制条件, 剥夺预视导致凝视时间和再注视概率的预测性效应完全消失; 提示词 $n+1$ 右侧边界(词 $n+1$ 右侧掩蔽条件)则导致预测性效应在凝视时间上减少, 在再注视概率指标上消失。由此可见, 提示词 $n+1$ 右侧边界掩蔽条件对预测性效应的影响符合并支持预先假设。

不过, 剥夺预视的掩蔽条件对预测性效应的影响则与预先假设不符, 但考虑到预测性效应反映主观预期对词汇加工过程的影响, 是种较为高级的认知过程, 根据交互激活理论(interactive activation models)的观点, 预测性能够影响早期的低级层面的词汇加工过程(Morton, 1969), 两者之间存在交互激活过程意味为两者缺一不可, 因而剥夺预视意味着势必减弱预期对词汇加工过程的影响。剥夺预视加工完全消除预测性效应意味着预测性只影响正常阅读中的早期的词汇预视加工阶段, 这个结果也说明中文读者基于预期切分词 $n+1$ 。

6 总讨论

6.1 词 $n+1$ 的预视加工程度和词汇加工阶段探讨

中文读者能够预视加工词 $n+1$ 处的汉字已经成为常识。然而, 词 $n+1$ 上汉字的预视加工能否达到词汇水平却鲜有研究。证据表明, 中文读者在词汇

加工的早期便可以确定词汇边界(Yan et al., 2010, 2015; Shu et al., 2011; Gu & Li, 2015; 张智君等, 2012; 刘志方等, 2013); 因此考察词 $n+1$ 预视加工程度有助于澄清词切分问题。现有理论模型(E-Z 读者模型和 SWIFT 模型)一致认同词汇加工的两阶段划分, 因此若能确定词 $n+1$ 预视加工可达到词汇加工的第一阶段, 就能澄清词切分的参考依据问题。由于词频效应基于词汇加工产生, 它影响词汇加工的各个阶段(Reichle et al., 2006; Schotter et al., 2014; Engbert et al., 2002, 2005; Kliegl et al., 2006, 2007), 因此是衡量文字加工是否达到词汇水平的参考标准(Blythe et al., 2009); 研究据此假设, 如果完全剥夺预视导致词频效应增大, 提示词 $n+1$ 右侧边界减少词频效应, 则表明中文读者对词 $n+1$ 的预视加工能够达到词汇水平。然而, 前三项实验结果并不支持该预测, 表明词 $n+1$ 预视加工不能达到词汇水平。

以往研究显示, 汉字识别在中文词汇加工中起到重要作用。比如 Yan 等人(2006)的研究发现, 在句子阅读中字频能够影响中文读者对目标词汇的注视时间, 这表明字频对汉字识别加工的影响直到注视阶段仍没有结束; 申薇和李兴珊(2012)对单词识别过程的研究表明, 中文汉字加工受到“词优效应”影响, 与此同时汉字加工也有很强的独立性; 李兴珊等人(2011)构建的词切分模型中也包含汉字加工。因此, 词 $n+1$ 处两个汉字的预视加工不能达到词汇水平意味着中文词的加工中可能存在汉字加工阶段。预视加工中不能体现词频效应则意味着对文字预视加工不能达到词汇水平, 但词频效应确实影响注视时间, 表明词频对眼动过程的影响主要发生在注视加工中, 对特定文字的识别只有注视阶段时才达到词汇水平。结合以往研究可以推测, 中文词汇加工存在汉字加工阶段。E-Z 读者模型和 SWIFT 模型所提及的词汇加工的两个阶段本质上都是词汇水平的加工阶段, 因而不能直接解释中文词汇的加工过程。

6.2 词频、预测性对词汇加工的影响及其对词切分的启示

前三项实验发现, 剥夺预视的掩蔽条件、提示词 $n+1$ 右侧边界的掩蔽条件和非提示词 $n+1$ 右侧边界的掩蔽条件都没有改变词频效应, 说明词频主要影响注视时的加工过程(文字加工的较晚阶段)。读者在对句子理解的基础上预测目标词汇, 显然主观预测从早期就开始影响词汇加工进程, 若预测性影响整个词汇加工过程(早期加工和晚期加工)的话,

那么剥夺预视的掩蔽条件和提示词 $n+1$ 右侧边界的掩蔽条件都不应该影响预测性效应, 而实验 4 的结果显示, 剥夺预视消除词汇的预测性效应, 提示词 $n+1$ 右侧边界在减少预测性效应这说明只有在正常或者接近正常的阅读中(至少能够保证能对词 $n+1$ 进行预视加工), 词汇的预测性才能影响早期文字预视加工过程。

不过, 在拼音文字阅读研究领域内, 基于 ERP 的实验发现, 词频影响 P200 的波幅, 而预测性则只影响 N400 的波幅, 这表明词频对词汇加工的影响发生在较早阶段, 而预测性影响词汇的晚期加工(Dambacher, Kliegl, Hofmann, & Jacobs, 2006)。在这个方面, 拼音文字与中文不同的可能原因有三点: (1)中文词汇加工前存在明显的汉字加工阶段, 且每个汉字都有较强的独立性含义(申薇, 李兴珊, 2012; Li et al., 2009, 2011), 汉字加工在时间进程上推迟了词汇加工, 因而词频影响文字加工的稍晚阶段可以理解。(2)针对阅读中词汇加工过程的 ERP 实验并不能保证正常的预视加工, 其实验结果并不能揭示对词汇的预视加工过程, 因而并不能排除预测性同样影响早期词汇加工进程的可能。(3)中文阅读中存在的词切分现象也可能是导致两者不同的可能性原因。

鉴于中文特殊的书写方式, 读者必须通过识别或者在某种程度上识别相应词汇才能实现切分词汇的效果。自上而下加工与自下而上加工广泛存在于人类各项认知过程当中, 词频和预测性是影响词汇加工过程的两项基本且相对独立的因素(Reichle et al., 2006; Schotter et al., 2014; Engbert et al., 2002, 2005; Kliegl et al., 2006, 2007; Kliegl, 2007; Schad & Engbert, 2012)。词频效应反映自下而上的文字识别过程; 预测性效应反映在句子理解基础上的主观预测对词汇加工的影响, 因而该效应反映自上而下的词汇加工过程(Dambacher et al., 2006)。研究考察中文读者基于自下而上加工切分词 $n+1$ 和基于自上而下加工切分词 $n+1$ 的可能性。如果读者通过自下而上加工切分词 $n+1$, 这意味着对之的预视加工必须能够达到或者接近达到词汇水平, 但前三项实验结果并不支持这个预测。如果读者基于预期自上而下地切分词 $n+1$, 那么剥夺预视或者提示词 $n+1$ 右侧边界都将改变预测性效应; 实验 4 发现, 剥夺预视完全消除预测性效应, 提示词 $n+1$ 右侧边界则减少预测性效应, 显然支持前提假设。由此可见, 中文读者能够基于文本理解, 通过预期预视切分词 $n+1$ 。

6.3 对现有模型的启示

研究基于成熟理论模型对词汇加工过程的描述, 通过考察剥夺预视条件和提示边界线索条件对词频和预测性效应的影响, 探讨中文阅读中的词汇预视加工程度、加工阶段和词切分问题。实验结果、结论对拼音文字阅读的眼动控制模型(E-Z 读者模型、SWIFT 模型)有多项重要启示: 首先, E-Z 读者模型和 SWIFT 模型都没有明确预视加工和注视加工中的词汇加工过程分别能够达到何种阶段的问题, 而当前针对中文的研究表明, 中文读者对汉字的预视加工达不到词汇水平, 因而有必要考察拼音文字词汇的预视加工程度问题。其次, E-Z 读者模型和 SWIFT 模型虽然都认定词汇的词频属性和预测性属性以不同的路径影响词汇加工过程, 但它们都认为词频和预测性对词汇加工的两个阶段都有影响作用, 针对中文阅读的研究显示, 词频主要影响注视时的加工过程(文字加工的较晚阶段), 而预测性则主要影响预视时的加工过程(文字加工的较早阶段), 中文词的词频和预测性影响不同词汇加工阶段, 这显然与上述理论模型假设不一致。最后, E-Z 读者模型和 SWIFT 模型都将词汇加工区分成两个子阶段; 然而, 根据本研究可以推测, 中文词汇加工中还包含汉字加工阶段, 可见词汇加工的两阶段假设并不完全适用于解释中文词汇加工过程。

在充分考虑汉字加工的基础上, 李兴珊等人(2011)提出的词切分模型认为词切分与词汇加工密切相关, 词汇加工建立在汉字加工的基础之上, 汉字加工与词汇加工之间存在交互激活, 这个词切分模型被后续研究不断地验证和修正(Liu & Li, 2014; Li & Shen, 2013; Ma et al., 2014; Gu & Li, 2015)。同样, 本研究对此模型亦是既有支持, 也有启发: 首先、本研究发现对中文词预视加工达不到词汇水平, 这与该模型强调汉字加工阶段的观点一致。其次、本研究显示中文读者通过词汇预期(自上而下加工)切分词 $n+1$, 可见“词切分与词汇加工相关”。再次、鉴于词 $n+1$ 上汉字的预视加工达不到词汇水平(前三项实验结论), 提示词 $n+1$ 右侧边界减少预测性效应, 意味着词汇预期能够影响汉字加工; 剥夺预视加工完全消除预测效应则意味着对词汇预期加工与对词 $n+1$ 上汉字的预视加工间存在交互作用; 可见对于特定中文词汇而言, 词汇加工与汉字加工之间并非单向联系, 它们之间确实存在交互影响过程。最后, 本研究显示词频和预测性对词汇加工过程的影响作用发生在不同阶段(词频主要影响较晚

期文字加工,而预测性则主要影响较早期文字加工),鉴于该模型还没有涵盖词频和预测性如何影响词汇加工的机制,这显然有助于完善模型。

7 结论

中文读者对词 $n+1$ 的预视加工达不到词汇水平,读者较难通过字词识别切分词 $n+1$; 中文读者根据词汇预期加工切分词 $n+1$ 。

参 考 文 献

- Bai, X. J., Cao, Y. X., Gu, J. J., Guo, Z. Y., & Yan, G. L. (2011). Effects of predictability and space on Chinese reading: An eye movement study. *Journal of Psychological Science*, 36, 1282–1288.
- [白学军, 曹玉肖, 顾俊娟, 郭志英, 闫国利. (2011). 可预测性和空格对中文阅读影响的眼动研究. *心理科学*, 36, 1282–1288.]
- Bai, X. J., Liang, F. F., Blythe, H. I., Zang, C. L., Yan, G. L., & Liversedge, S. P. (2013). Interword spacing effects on the acquisition of new vocabulary for readers of Chinese as a second language. *Journal of Research in Reading*, 36, S4–S17.
- Bai, X. J., Meng, H. X., Wang, J. X., Tian, J., Zang, C. L., & Yan, G. L. (2011). The landing positions of dyslexic, age-matched and ability-matched children during reading spaced text. *Acta Psychologica Sinica*, 43, 851–862.
- [白学军, 孟红霞, 王敬欣, 田静, 臧传丽, 闫国利. (2011). 阅读障碍儿童与其年龄和能力匹配儿童阅读空格文本的注视位置效应. *心理学报*, 43, 851–862.]
- Bai, X. J., Yan, G. L., Liversedge, S. P., Zang, C. L., & Rayner, K. (2008). Reading spaced and unspaced Chinese text: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 1277–1287.
- Blythe, H. I., Liang, F. F., Zang, C. L., Wang, J. X., Yan, G. L., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2012). Inserting spaces into Chinese text helps readers to learn new words: An eye movement study. *Journal of Memory and Language*, 67, 241–254.
- Blythe, H. I., Liversedge, S. P., Joseph, H. S. S. L., White, S. J., & Rayner, K. (2009). Visual information capture during fixations in reading for children and adults. *Vision Research*, 49, 1593–1591.
- Dambacher, M., Kliegl, R., Hofmann, M., & Jacobs, A. M. (2006). Frequency and predictability effects on event related potentials during reading. *Brain Research*, 1084, 89–103.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42, 621–636.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112, 777–813.
- Gu, J. J., & Li, X. S. (2015). The effects of character transposition within and across words in Chinese reading. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 77, 272–281.
- Kliegl, R. (2007). Toward a perceptual span theory of distributed processing in reading: A reply to Rayner, Pollatsek, Drieghe, Slattery, and Reichle (2007). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 136, 530–537.
- Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., & Engbert, R. (2004). Length, frequency and predictability effects of words on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 262–284.
- Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 135, 12–35.
- Kliegl, R., Risse, S., & Laubrock, J. (2007). Preview benefit and parafoveal-on-foveal effects from word $n + 2$. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1250–1255.
- Li, X. S., Bicknell, K., Liu, P. P., Wei, W., & Rayner, K. (2014). Reading is fundamentally similar across disparate writing systems: A systematic characterization of how words and characters influence eye movements in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143, 895–913.
- Li, X. S., Gu, J. J., Liu, P. P., & Rayner, K. (2012). The advantage of word-based processing in Chinese reading: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39, 879–889.
- Li, X. S., Liu, P. P., & Ma, G. J. (2011). Advances in cognitive mechanisms of word segmentation during Chinese reading. *Advances in Psychological Science*, 19, 459–470.
- [李兴珊, 刘萍萍, 马国杰. (2011). 中文阅读中词切分的认知机理述评. *心理科学进展*, 19, 459–470.]
- Li, X. S., Liu, P. P., & Rayner, K. (2011). Eye movement guidance in Chinese reading: Is there a preferred viewing location?. *Vision Research*, 51, 1146–1156.
- Li, X. S., Rayner, K., & Cave, K. P. (2009). On the segmentation of Chinese words during reading. *Cognitive Psychology*, 58, 525–552.
- Li, X. S., & Shen, W. (2013). Joint effect of insertion of spaces and word length in saccade target selection in Chinese reading. *Journal of Research in Reading*, 36, S64–S77.
- Liu, P. P., & Li, X. S. (2014). Inserting spaces before and after words affects word processing differently in Chinese: Evidence from eye movements. *British Journal of Psychology*, 105, 57–68.
- Liu, Y. P., Reichle, E. D., & Li, X. S. (2015). Parafoveal processing affects outgoing saccade length during the reading of Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 41, 1229–1236.
- Liu, Z. F., Yan, G. L., Zhang, Z. J., Pan, Y., & Yang, G. F. (2013). Preview benefits and word segmentations when reading Chinese. *Acta Psychologica Sinica*, 45, 614–625.
- [刘志方, 闫国利, 张智君, 潘运, 桂杨芳. (2013). 中文阅读中的预视效应与词切分. *心理学报*, 45, 614–625.]
- Liu, Z. F., Zhang, Z. J., & Tian, X. (2012). The effects of font size and word frequency influence on eye movements during Chinese reading. *Chinese Journal of Ergonomics*, 18, 16–20.
- [刘志方, 张智君, 田迅. (2012). 字号和词频对汉语阅读眼动模式的影响. *人类工效学*, 18, 16–20.]
- Ma, G. J., Li, X. S., & Rayner, K. (2014). Word segmentation of overlapping ambiguous strings during Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40, 1046–1059.
- Morton, J. (1969). Interaction of information in word recognition. *Psychological Review*, 76, 165–178.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372–422.
- Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., & Reichle, E. D. (2004). The effects of frequency and predictability on eye fixations in reading: Implications for the E-Z Reader Model. *Journal*

- of *Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 720–732.
- Rayner, K., Binder, K. S., Ashby, J., & Pollatsek, A. (2001). Eye movement control in reading: Word predictability has little influence on initial landing positions in words. *Vision Research*, 41, 943–954.
- Rayner, K., & Duffy, S. A. (1986). Lexical complexity and fixation time in reading: Effects of word frequency, verb complexity, and lexical ambiguity. *Memory and Cognition*, 14, 191–201.
- Rayner, K., Li, X. S., Juhasz, B. J., & Yan, G. L. (2005). The effect of word predictability on the eye movements of Chinese readers. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12, 1089–1093.
- Rayner, K., Liversedge, S. P., White, S. J., & Vergilino-Perez, D. (2003). Reading disappearing text: Cognitive control of eye movements. *Psychological Science*, 14, 385–388.
- Rayner, K., & Well, A. D. (1996). Effects of contextual constraint on eye movements in reading: A further examination. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3, 504–509.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E-Z Reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. *Cognitive Systems Research*, 7, 4–22.
- Reilly, R., & Radach, R. (2012). The dynamics of reading in non-Roman writing systems: A Reading and Writing Special Issue. *Reading and Writing*, 25, 935–950.
- Richter, E. M., Engbert, R., & Kliegl, R. (2006). Current advances in SWIFT. *Cognitive Systems Research*, 7, 23–33.
- Schad, D. J., & Engbert, R. (2012). The zoom lens of attention: Simulating shuffled versus normal text reading using the SWIFT model. *Visual Cognition*, 20, 391–421.
- Schotter, E. R., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2014). Rethinking parafoveal processing in reading: Serial attention models can explain semantic preview benefit and N+2 preview effects. *Visual Cognition*, 22, 309–333.
- Shen, D. L., Bai, X. J., Zang, C. L., Yan, G. L., Feng, B. C., & Fan, X. H. (2010). Effect of word segmentation on beginners' reading: Evidence from eye movements. *Acta Psychologica Sinica*, 42, 159–172.
- [沈德立, 白学军, 臧传丽, 闫国利, 冯本才, 范晓红. (2010). 词切分对初学者句子阅读影响的眼动研究. *心理学报*, 42, 159–172.]
- Shen, D. L., Liversedge, S. P., Tian, J., Zang, C. L., Cui, L., Bai, X. J., ... Rayner, K. (2012). Eye movements of second language learners when reading spaced and unspaced Chinese text. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18, 192–202.
- Shen, W., & Li, X. S. (2012). The uniqueness of word superiority effect in Chinese reading. *Chinese Science Bulletin*, 57, 3414–3420.
- [申薇, 李兴珊. (2012). 中文阅读中词优效应的特异性. *科学通报*, 57, 3414–3420.]
- Shu, H., Zhou, W., Yan, M., & Kliegl, R. (2011). Font size modulates saccade-target selection in Chinese reading. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 73, 482–490.
- White, S. J. (2008). Eye movement control during reading: Effects of word frequency and orthographic familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 205–223.
- Yan, G. L., Tian, H. J., Bai, X. J., & Rayner, K. (2006). The effect of word and character frequency on the eye movements of Chinese readers. *British Journal of Psychology*, 97, 259–268.
- Yan, M., Kliegl, R., Richter, E. M., Nuthmann, A., & Shu, H. (2010). Flexible saccade-target selection in Chinese reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63, 705–725.
- Yan, M., Zhou, W., Shu, H., & Kliegl, R. (2015). Perceptual span depends on font size during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41, 209–219.
- Zhang, Z. J., Liu, Z. F., Zhao, Y. J., & Ji, J. (2012). The locations of word segmentation in Chinese reading: Research based on the eye-movement-contingent display technique. *Acta Psychologica Sinica*, 44, 51–62.
- [张智君, 刘志方, 赵亚军, 季靖. (2012). 汉语阅读过程中词切分的位置: 一项基于眼动随动显示技术的研究. *心理学报*, 44, 51–62.]

The effects of word frequency and word predictability in preview and their implications for word segmentation in Chinese reading: Evidence from eye movements

SU Heng¹; LIU Zhifang²; CAO Liren¹

(¹ Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

(² College of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract

Recent studies have revealed that Chinese words are associated with psychological realities that are important for text comprehension. However, given the lack of spaces between words in Chinese text, readers of Chinese have to segment text into words during reading. Previous studies focused on word segmentation have revealed that this ability to preview and process text develops at a very early stage. However, there was little research on what information or cues were used by readers of Chinese to segment text into words. The assumption was that if readers of Chinese parsed a string of characters into words using a character-to-word processing, preview processing would result in word frequency effects on eye movement data, and that if the readers ascertained word boundary by top-down processing, such as anticipation, preview processing would result in word predictability effects. Four experiments were conducted to check these two hypotheses.

In the first three experiments, we assumed that readers of Chinese parsed a string of characters into words

using a character-to-word style in preview processing. There were two treatments of Chinese sentences in these experiments; all these experiments had a control condition in which as the n th word was fixated, and no words were masked for baseline comparison. An abnormal display condition was manipulated in Experiment 1, wherein the n th word was fixated, but the words located to the right were all masked by a series of “※,” which deprived the reader of previewing processing. The abnormal display condition was manipulated in Experiment 2 by keeping the n th word fixated, and masking the words located to the right of the $n+1$ th word by a series of “※,” which provided a cue about the boundary of the $n+1$ th word. Given that the results from Experiment 2 cannot exclude the influence of exogenous attention, Experiment 3 was conducted. Experiment 3 adopted a similar treatment as Experiment 2, but two adjacent characters that did not belong to a word were masked together. In first three experiments, the word frequencies (high and low) of target words that were embedded in the frame sentences were also manipulated. In the last experiment (Experiment 4), there were three display manipulations: control condition, a condition in which readers were deprived of previewing processing, and a condition involving the provision of boundary information about the $n+1$ th word; the predictability of target words that were embedded in the frame sentences were also manipulated.

The results of Experiment 1 showed that although eye movement data was negatively affected by being deprived of previewing processing, this manipulation did not have any influence on word frequency effects and, therefore, there was no interaction effect between display condition and word frequency manipulations. The results of Experiment 2 showed that providing boundary information of the $n+1$ th word led to less gaze time on the target word, but here again, there was no interaction effect between the display condition and word frequency manipulations. The results of Experiment 3 showed that mask manipulation led to more gaze time on the target word than the control that excluded the influence of exogenous attention on the results of Experiment 2. It also showed that there was no interaction effect between display condition and word frequency manipulations. However, the results of Experiment 4 were interesting; there were some significant interaction effects between the display condition and word predictability manipulations. Specifically, we found that the manipulation in which readers are deprived of previewing processing eliminates predictability effects, and providing boundary information of the $n+1$ th word decreases the discrepancy between words of high predictability and words of low predictability.

The results of the first three experiments indicate that Chinese word processing in the preview cannot reach the desired vocabulary level, and that it must undergo character processing. Therefore, it was difficult for readers of Chinese to complete the segmentation of the $n+1$ th word through a bottom-up characters-to-word processing. The results of Experiment 4 show that deprivation of preview processing can eliminate predictability and providing boundary information of the $n+1$ th word can lessen predictability thereby indicating that top-bottom processing, such as anticipation, is an important reference cue to readers of Chinese to segment the $n+1$ th word.

Key words Chinese reading; word frequency effect; word predictability effect; word segmentation; eye movement