

词汇视觉复杂性和词频对 不同难度汉语搜索阅读的影响^{*}

张丽华¹ 王晓彤^{1,2} 隋雪^{**1} 毕一飞³

(¹ 辽宁师范大学心理学院, 大连, 116029) (² 沈阳师范大学教育科学学院, 沈阳, 110034)

(³ 英斯顿大学语言中心及莱顿脑与认知研究所, 英斯顿, 2300RA)

摘要 采用眼动记录法, 控制词汇视觉复杂性和词频变量, 考察词汇视觉特征和语言学特征对汉语搜索阅读的影响。让被试完成简单和复杂搜索任务, 结果发现在首次注视时间、凝视时间和跳读率上, 复杂性变量主效应显著; 词频变量主效应不显著。结果表明: 不同任务难度条件下, 词汇视觉复杂性影响汉语搜索阅读, 词频不影响汉语搜索阅读。汉语搜索阅读对文本的加工可能没有达到词汇语言学水平, 而是通过视觉匹配完成搜索阅读。

关键词 词频 词汇视觉复杂性 搜索阅读 搜索难度

1 引言

阅读是个体获得知识和间接经验的有效途径(白学军等, 2019), 阅读过程受阅读目的影响。以理解为目的的阅读需要对阅读材料深加工; 而以搜索为目的的阅读只需对阅读材料进行浅加工。以往理解阅读研究中, 主要考察词汇的视觉特征(词长、词汇视觉复杂性等)和语言学特征(词频、预测性和具体性等)对理解阅读的影响(Reichle & Drieghe, 2013; Yan, Tian, Bai, & Rayner, 2006)。词汇视觉复杂性是典型的视觉特征, 是指词汇在视觉上的复杂程度(郭志英, 谭珂, 宋星, 彭国慧, 白学军, 2018)。在英文中主要指词长, 在中文中主要指笔画数。词频是指词汇在特定语言环境中出现的频率。那么, 词汇视觉复杂性和词频在理解阅读中的作用如何呢?

识别低视觉复杂性词比识别高视觉复杂性词更容易。在英文中, 单词越短, 其被注视的时间越短, 且更容易被跳读(Rayner, 2009)。在中文中, 笔画数

少的双字词比笔画数多的双字词更容易识别(彭聆龄, 王春茂, 1997; Yan et al., 2012; Yang & McConkie, 1999)。词汇视觉复杂性影响中文、英文的理解阅读。除了词汇视觉复杂性, 词频也是影响阅读的重要因素。识别高频词比识别低频词更容易, 高频词被注视的时间短, 而且更容易被跳读。且中文、英文理解阅读中都发现了词频效应(Reichle & Drieghe, 2013; Reingold, Reichle, Glaholt, & Sheridan, 2012; Yan, Tian, Bai, & Rayner, 2006)。Liversedge等(2014)研究发现, 在跳读率上, 词频和词汇视觉复杂性的主效应显著, 但交互作用不显著。在注视时间上, 词频和词汇视觉复杂性的主效应不显著, 但交互作用显著。他们认为, 词频和词汇视觉复杂性各自影响被试阅读时的眼跳位置, 但共同影响阅读时的注视时间。Zang等(2018)的研究也得到了类似的结果。

搜索阅读的研究成果相对较少, 且中、英文的研究程度也不同。那么, 影响理解阅读的词汇视觉复杂性和词频是否也影响中文搜索阅读呢? Rayner和Fischer(1996)考察了词频在英文搜索阅读中的

^{*} 本研究得到教育部人文社会科学规划基金项目(19YJA190005)、辽宁省教育科学“十三五”规划2018年度课题(LG18CB405)、辽宁省教育厅高水平创新团队国外培养项目(2018LNGXGJWP-YB015)、辽宁省教育厅一般科研项目(L201683659)和辽宁省教育科学“十三五”规划年度课题(JG16CB341)的资助。

^{**} 通讯作者: 隋雪。Suixue88@163.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20200406

作用, 结果发现, 被试对高、低频目标词的注视时间和跳读率差异均不显著, 没有发现词频效应。Rayner 和 Raney (1996) 的研究结果也证实了这一点。Reichle, Pollatsek 和 Rayner (2012) 使用 E-Z 读者模型的变式对搜索阅读进行了仿真模拟。他们发现, 仿真实验结果与实际实验结果非常相似, 在理解阅读中出现词频效应, 而在搜索阅读中没有出现。理解阅读中, 对由三个字母组成的单词识别所需的时间是 385ms, 而在搜索阅读中, 对同样的单词进行识别只用了 93ms。在搜索阅读中, 被试对词汇的注视时间太短, 没有加工到词汇深层的语义信息。Wang, Sui 和 White (2019) 采用了与 Rayner 和 Fischer (1996) 相同的实验范式, 考察词频在汉语搜索阅读中的作用。要求被试搜索句子, 并按键判断既定的搜索词“斑马”是否存在。结果发现, 搜索阅读中不存在显著的词频效应。

词汇视觉复杂性对中文搜索阅读的影响如何?

Yu, Zhang, Priest, Reichle 和 Sheridan (2018) 考察了搜索阅读中的笔画数效应, 在跳读率和注视时间指标上, 发现了显著的笔画数效应。这一发现说明词汇视觉复杂性影响汉语搜索阅读。Yu 等人的实验任务是要求被试搜索文本并按键判断搜索词在文本中出现的次数。而 Rayner 和 Fischer (1996) 实验要求被试搜索句子并按键判断搜索词是否存在。两个研究的任务难度不同, 判断有没有目标词, 相对简单, 而判断目标词在文本中出现的次数相对较难。已有研究发现, 任务难度会影响读者对文本的加工深度和理解程度 (Dampure, Benraiss, & Vibert, 2016), 也会影响读者对视觉和语言学水平信息的加工。White, Warrington, McGowan 和 Paterson (2015) 在研究发现, 浏览阅读中的词频效应小于理解阅读中的词频效应, 理解阅读中被试对词汇水平信息的加工程度更深。Schotter, Bicknell, Howard, Levy 和 Rayner (2014) 发现, 校对阅读中的词频效应大于理解阅读中的词频效应, 校对阅读中被试对词汇水平信息的加工程度更深。

基于以上研究, 本研究设计两个实验来考察词汇视觉复杂性和词频对不同难度搜索阅读的影响。本研究与 Wang 等人 (2019) 研究不同, 搜索词不再是单一词 (斑马), 而是在搜索每个句子前, 都设置了不同的搜索词, 并且所有的搜索词均为中等复杂性和中等频率的词, 两个实验中搜索词的笔画数、词频差异不显著 ($p > .05$)。其中, 搜索一个词为简单任务, 搜索两个词为复杂任务。搜索词汇数量增加,

记忆保持量增加, 导致搜索变得复杂 (Zoubrinetzky, Collet, Nguyen-Morel, Valdois, & Serniclaes, 2019)。另外, 本研究也想考察搜索任务难度改变, 词频、笔画数在搜索阅读中的作用是否会发生改变。实验 1 为简单搜索阅读, 只搜索一个词; 实验 2 为复杂搜索阅读, 搜索两个词。

本研究假设, 汉语搜索阅读中不存在词频效应, 但是存在词汇视觉复杂性效应, 词汇的视觉信息对汉语搜索阅读影响更大, 而词汇语言学信息对汉语搜索阅读影响较小。本研究控制了词汇视觉复杂性变量和词频变量, 考察词汇视觉特征和语言学特征对搜索阅读的影响。

2 实验 1 词汇视觉复杂性和词频对简单搜索阅读的影响

2.1 方法

2.1.1 被试

被试为 28 名在校大学生, 均为右利手, 年龄 $18 \pm .26$ 岁。被试的裸视或矫正视力正常, 母语均为汉语。每个被试都签了《知情同意书》。所有被试均不知实验目的, 实验结束后获得学分和适当报酬。

2.1.2 材料与设计

实验材料的编制: (1) 选词。参考《现代汉语频率词典》筛选出 60 个高频且复杂词, 所有词汇均为名词。(2) 编写句子。根据所选取的 60 个高频复杂词, 编写 60 个句子。句子的字数在 16~21 字之间。根据已经编写完成的 60 个句子框架结构, 另外挑选合适的低频复杂词、高频简单词以及低频简单词各 60 个, 组成了框架结构相同, 但目标词不同的实验句。(3) 句子通顺性评定。由不参加正式实验的 24 名大学生, 采用 5 点评分 (1 代表句子“非常不通顺” 5 代表句子“非常通顺”), 对句子通顺性进行测评, 测评结果 ($M = 4.03$, $SD = 0.27$) 符合要求。(4) 词汇预测性评定。由不参加正式实验的 12 名大学生评估目标词的被预测性。预测性评定结果 ($M = 0.15\%$, $SD = 1.1\%$) 符合要求。

筛选出符合实验要求的 44 个目标句框架, 176 个目标词。高频目标词的词频 ($M = 155.9$, $SD = 117.9$) 与低频目标词的词频 ($M = 5.8$, $SD = 3.7$) 差异显著 ($t(174) = 11.9$, $p < .001$)。高复杂词 ($M = 22.1$, $SD = 2.5$) 与低复杂词 ($M = 10.3$, $SD = 1.8$) 之间的复杂性差异显著 ($t(174) = 35.3$, $p < .05$)。四种条件的词频和复杂度 (笔画数) 描述统计结果见表 1。

表 1 四种条件目标词词频和笔画数的统计值

条件	词频(百万分之一)	笔画数
高频-多笔画	150.6(128.9)	21.6(2.6)
高频-少笔画	161.2(107.2)	10.8(1.8)
低频-多笔画	5.5(3.9)	22.5(2.4)
低频-少笔画	6.0(3.4)	10.1(1.8)

注: 括号内是标准差

另外选定 36 个搜索词, 搜索词均为名词, 词频介于高频词与低频词的词频之间, 复杂性介于多笔画数与少笔画数之间。编写 36 个含有搜索词的句子作为填充句, 句子长度为 16~21 个字, 与实验句的句子长度相匹配。为了排除搜索词的位置效应, 36 个填充句中, 其中 1/3 的搜索词位于句首, 1/3 的搜索词位于句子中间, 还有 1/3 的搜索词位于句尾。44 个实验句均不包含搜索词, 以此确保被试对实验句进行完整的搜索。实验材料举例见表 2。

本实验采用 2(词频: 高频、低频) × 2(词汇视觉复杂性: 多笔画数、少笔画数) 被试内实验设计。将所有的实验材料进行拉丁方排列, 分配到 4 种条件下。每个实验序列共包含 15 个练习句、44 个实验句和 36 个填充句。

2.1.3 实验仪器

使用 SR Research 公司的软件 Experiment Builder 编写实验程序。采用 EyeLink 1000 眼动仪记录被试右眼的眼动数据, 采样频率为 1000 Hz。句子呈现在 19 英寸的 DELL 显示器上, 显示器的刷新率为 75 Hz, 分辨率为 1024 × 768。实验材料的字体为宋体, 并且在显示器上以灰底黑字的方式呈现, 每屏一个句子。被试眼睛与屏幕的之间的距离为 70cm, 每个汉字的视角约为 0.8 度。

2.1.4 程序

每个被试的实验都是单独进行, 实验环境安静且无外界干扰。正式实验开始前, 要求被试阅读指导语并为其进行水平三点校准。正式实验时, 每个句子呈现前都会为被试进行漂移校准, 且每阅读完三个句子, 进行一次水平三点校准。实验首先会呈现一个搜索词, 随后呈现一个句子, 要求被试搜索句子并按键判断句子中是否存在搜索词。完成整个实验大约需要 15~20 分钟。

2.2 结果与分析

首先, 正确率分析发现, 正确率为 98%。其次, 分析眼动数据, 删除兴趣区内眨眼、注视点持续时间

表 2 实验材料示例

句子类型	条件	实验材料
实验句	高频复杂	恶劣的气候导致今年的 粮食 产量下降。
	低频复杂	恶劣的气候导致今年的 青稞 产量下降。
	高频简单	恶劣的气候导致今年的 农业 产量下降。
	低频简单	恶劣的气候导致今年的 兰花 产量下降。
填充句	句首	全体 职工 必须知道两个策划中的所有细节。
	中间	把多余的钱存到 银行 里既保险又可获利。
	句尾	刘江的表哥是一位才华横溢的青年 作家 。

表 3 兴趣区内各项眼动指标的平均数(标准差)

条件	首次注视时间 (ms)	凝视时间 (ms)	跳读率 /%
高频复杂	225(38)	236(50)	.50 (.17)
高频简单	222(47)	225(50)	.57 (.18)
低频复杂	247(52)	257(68)	.47 (.16)
低频简单	221(54)	223(53)	.58 (.16)

表 4 实验 1 各项眼动指标统计结果

眼动指标	固定效应	β	SE	t
首次注视时间	视觉复杂性	-10.0	6.9	-1.45
	词频	6.2	6.9	0.9
	词频×视觉复杂性	-15.41	13.8	-1.11
	视觉复杂性	-14.7	7.5	-1.97*
凝视时间	词频	8.4	7.5	1.13
	词频×视觉复杂性	-19.68	14.89	-1.32
	视觉复杂性	.09	.03	3.28*
	词频	-.006	.03	-.24
跳读率	词频×视觉复杂性	.03	.05	.59

表 5 兴趣区内各项眼动指标的平均数 (标准差)

条件	首次注视时间 (ms)	凝视时间 (ms)	跳读率 /%
高频复杂	231(42)	233(41)	.4(.18)
高频简单	216(39)	223(43)	.51(.17)
低频复杂	232(42)	241(52)	.45(.21)
低频简单	208(35)	217(48)	.46(.17)

表 6 实验 2 各项眼动指标统计结果

眼动指标	固定效应	β	SE	t
首次注视时间	视觉复杂性	-13.3	5.5	-2.4*
	词频	-2.64	4.72	-.56
	词频×视觉复杂性	3.15	9.43	.33
凝视时间	视觉复杂性	-13.0	6.2	-2.1*
	词频	-.18	5.39	-.03
	词频×视觉复杂性	-.44	10.8	-.04
跳读率	视觉复杂性	.06	.03	2.15*
	词频	.05	.04	1.19
	词频×视觉复杂性	-.09	.05	-1.68

小于 80 ms 或大于 1200 ms 以及三个标准差之外的数据,被删除数据占总数据的 7.2%。

兴趣区内眼动指标有:跳读率 (skipping rate), 指在第一遍阅读中,兴趣区被跳读的比率;首次注视时间 (first fixation duration), 指首次进入兴趣区内的首个注视点的持续时间。凝视时间 (gaze duration), 指从对兴趣区首次注视开始到离开兴趣区之前的持续时间 (闫国利等, 2013)。对兴趣区内眼动数据进行统计, 描述性统计结果见表 3。

在 R 语言 (R Core Team, 2015) 环境下, 利用 lme4 数据包 (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015), 采用线性混合模型方法 (linear mixed-effects model) 对数据进行分析。

对于首次注视时间, 最终模型中词频和词汇视觉复杂性为固定变量, 被试和项目为随机变量。通过前期对数似然比的模型比较, 发现词频和视觉复杂性都没有主效应, 两者之间也没有显著交互作用, 为了最大化检测两者对首次注视时间的影响, 采用最大化随机效应结构进行拟合。对于目标词凝视时间, 最终模型中视觉复杂性为固定变量, 被试和项目为随机变量。对于目标词的跳读率, 最终模型中词汇视觉复杂性为固定变量, 词汇视觉复杂性对被试和项目的斜率为随机变量。使用似然比检验来确定模型中随机项。模型中固定变量以逐一分段的方式添加, 通过基于对数似然比的模型比较来评估它们对模型拟合的影响。各项指标的 β 值、 SE 值和 t 值结果见表 4。

对目标词首次注视时间分析发现, 词汇视觉复杂性和词频的主效应均不显著, 两者之间交互作用

也不显著。对目标词的凝视时间分析发现, 词汇视觉复杂性主效应显著 ($\beta = -14.7, SE = 7.5, t = -1.97$), 词频主效应不显著, 两者之间交互作用不显著。对目标词的跳读率分析发现, 词汇视觉复杂性主效应显著 ($\beta = .09, SE = .03, t = 3.28$), 词频主效应不显著, 两者之间交互作用不显著。

通过对各项眼动指标分析发现, 词汇视觉复杂性对目标词的注视时间和跳读率影响显著, 但词频对目标词的注视时间和跳读率的影响均不显著。任务难度会影响词频效应, 那么当任务难度增加时, 词频及词汇视觉复杂性在搜索阅读中的作用是否会发生改变呢?

3 实验 2 词汇视觉复杂性和词频对复杂搜索阅读的影响

3.1 方法

3.1.1 被试

被试为 28 名在校大学生且没有参加过实验 1, 其它条件同实验 1。

3.1.2 实验材料、实验设计和实验仪器

同实验 1。

3.1.3 实验程序

实验程序基本同实验 1, 不同的是, 实验首先会呈现两个搜索词, 随后呈现一个句子。要求被试搜索句子并按键判断句子中是否存在搜索词。两个搜索词有任意一个即可。

3.2 结果与分析

首先, 分析正确率, 发现正确率为 95%。其次,

分析眼动数据,删除兴趣内眨眼、注视点小于 80 ms 或大于 1200 ms 以及三个标准差之外的数据,占总数据的 7.6%。选取的眼动指标同实验 1。

对兴趣区内眼动指标数据进行统计,描述性统计结果见表 5。

数据分析与实验一相同,各项指标的 β 值, SE 值和 t 值报告结果见表 6。

对目标词首次注视时间分析发现,视觉复杂性的主效应显著 ($\beta = -13.3, SE = 5.5, t = -2.4$),词频的主效应均不显著,两者之间交互作用不显著。对目标词的凝视时间分析发现,词汇视觉复杂性主效应显著 ($\beta = -13.0, SE = 6.2, t = -2.1$),词频主效应不显著,两者之间交互作用不显著。对目标词的跳读率分析发现,视觉复杂性主效应显著 ($\beta = .06, SE = .03, t = 2.15$),词频主效应不显著,两者之间交互作用不显著。

通过对各项眼动指标分析发现,词频对目标词的注视时间和跳读率的影响仍不显著。结果表明,当任务难度增加,搜索两个词时,搜索阅读中仍没有发现词频效应。

4 综合讨论

本研究采用眼动记录法,控制词汇视觉复杂性和词频两个变量,考查词汇视觉特征和词汇语言学特征对汉语搜索阅读的影响。实验 1 发现,词汇视觉复杂性对目标词的注视时间和跳读率均产生显著的影响,但词频对目标词的注视时间和跳读率影响均不显著。说明搜索一个词汇任务的完成主要依靠词汇视觉信息,对高水平的语言学信息依赖程度较低,词频的作用没有在搜索阅读中体现出来。实验 2 是搜索两个词汇的搜索任务,结果发现,在注视时间和跳读率指标上都发现了显著的词汇视觉复杂性效应,但仍没有发现词频效应。这说明,即使任务难度略有增加,搜索词与阅读材料中词汇的匹配负荷加大,被试仍然依赖低水平的词汇视觉特征完成搜索阅读。

可见,词汇复杂度这种词汇视觉特征影响搜索阅读,而词频这种词汇语言学特征对搜索阅读影响不显著。说明在搜索阅读过程中,被试对阅读材料加工到视觉特征的层面就可以完成任务,对文本没有加工到语义层面。被试提取词汇的视觉属性信息,通过对词汇视觉信息(如词形、词长等)进行匹配就可以完成搜索阅读。这些发现与 Rayner 和 Fischer (1996) 以及 Rayner 和 Raney (1996) 对拼音文字搜索

阅读的研究发现基本一致,体现了搜索阅读在不同语言间的共性 (Liversedge et al., 2016)。

有关词汇加工过程中的眼动机制问题,E-Z 读者模型认为,词汇加工是串行的,注意首先集中在当前词汇上,当前词汇被加工完成后,才把注意转移到下一个词汇。对当前词的加工分为两个阶段,熟悉性验证阶段和词汇通达阶段。熟悉性验证阶段和词汇通达阶段所需的时间都受词频影响,词频越低,两个阶段所需时间越长 (Rayner, Ashby, Pollatsek, & Reichle, 2004; Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006; Schotter, Reichle, & Rayner, 2014)。但是,SWIFT 模型则认为,词汇的加工是并行的,除了当前注视的词被加工外,当前词的前一个词和后两个词也同时被加工;每个词都有一个激活水平,词频会影响词汇的激活水平,词频越低,词的激活程度越高,对之加工所需的时间越长 (Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002; Nuthmann, Smith, Engbert, & Henderson, 2010; Schad & Engbert, 2012)。两个模型都认为,词频是决定理解阅读时何时移动眼睛以及眼睛移到何处的基本因素。本研究在分析空间维度指标(跳读率)和时间维度指标(注视时间)时,均没有发现显著的词频效应,却发现了显著的视觉复杂性效应。说明搜索阅读时,词汇是否被注视及被注视时间都受到词汇复杂性的影响,但并没有受到词频的影响。说明两个模型并不完全适用于解释搜索阅读时的眼动行为。未来的研究应完善现有的眼动模型,以解释搜索阅读过程中的眼动行为。

以往研究考察中文理解阅读中的基本眼动行为特征时发现,读者进行理解阅读时的平均注视时间是 225~250 ms;平均向前眼跳距离是 2.6 个字符 (Just & Carpenter, 1987; Sun & Feng, 1999);字跳读率为 40~60% (Liversedge et al., 2014),词的跳读率为 30% (Sun & Feng, 1999)。本研究分析汉语搜索阅读中的基本眼动行为时发现,被试的平均注视时间是 217ms,短于理解阅读;向前眼跳距离约是 3.3 个字符,大于理解阅读;词的跳读率是 48%,高于理解阅读。理解阅读平均注视时间比搜索阅读长,说明理解阅读要提取更多信息,来完成理解任务,搜索阅读短时间提取的信息就可以完成任务,确定是否遇到搜索目标。搜索阅读眼跳距离、跳读率都比理解阅读大,说明搜索阅读消耗的心理资源少,每次注视广度较大,副中央预视提取了被跳读的文本信息,提高了搜索阅读的效率。搜索阅读时,读者的注视

时间短,读者从副中央中提取的信息可能非常有限,也许仅仅是字形信息,也正常的完成了搜索任务。

搜索阅读是常见的阅读方式(Zhou, Mo, Zhang, & Ding, 2017),对搜索阅读的基本特点及潜在加工机制的研究具有非常重要的意义。但关于汉语搜索阅读还有许多值得研究的问题。比如除了视觉复杂性这一视觉信息外,还有词边界信息(空格),又是如何影响汉语搜索阅读呢?搜索阅读时,除了中央凹提取信息外,还依靠副中央凹提取信息,那么副中央凹在搜索阅读中的作用如何评估呢?搜索阅读时的知觉广度是多少呢?另外,本研究重点考察了词频和词汇视觉复杂性对汉语搜索阅读的影响,为了减少其他因素的干扰,对搜索词的类型进行了平衡,搜索词的词频介于高频与低频之间,复杂性介于多笔画数与少笔画数之间。当读者搜索不同类型的搜索词(高、低频或高、低复杂性)时,搜索过程如何呢?

5 结论

基于本研究的结果,词汇视觉复杂性影响汉语搜索阅读,词频对汉语搜索阅读影响不显著。汉语搜索阅读过程中,对文本的加工可能没有达到词汇语言学水平,被试通过视觉匹配策略完成搜索阅读。

参考文献

- 白学军,马杰,李馨,连坤予,谭珂,杨宇,梁菲菲.(2019).发展性阅读障碍儿童的新词习得及其改善.《心理学报》,51(4),471-483.
- 郭志英,谭珂,宋星,彭国慧,白学军.(2018).视觉复杂性和字间距调节汉语发展性阅读障碍儿童的视觉拥挤效应:来自眼动的证据.《心理与行为研究》,16(5),603-611.
- 彭聃龄,王春茂.(1997).汉字加工的基本单元:来自笔画数效应和部件数效应的证据.《心理学报》,29(1),9-17.
- 闫国利,熊建萍,臧传丽,余莉莉,崔磊,白学军.(2013).阅读研究中的主要眼动指标评述.《心理科学进展》,21(4),589-605.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.
- Dampure, J., Benraiss, A., & Vibert, N. (2016). Task-dependent modulation of word processing mechanisms during modified visual search tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(6), 1145-1163.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42(5), 621-636.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1987). Speed reading. In Just, M. A., & Carpenter, P. A. (Eds.), *the psychology of reading and language processing* (pp. 425-452). Newton, MA: Allyn and Bacon.
- Liversedge, S. P., Drieghe, D., Li, X., Yan, G. L., Bai, X. J., & Hyönä, J. (2016). Universality in eye movements and reading: A trilingual investigation. *Cognition*, 147, 1-2.
- Liversedge, S. P., Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., & Drieghe, D. (2014). The effect of visual complexity and word frequency on eye movements during Chinese reading. *Visual Cognition*, 22(3-4), 441-457.
- Nuthmann, A., Smith, T. J., Engbert, R., & Henderson, J. M. (2010). Crisp: A computational model of fixation durations in scene viewing. *Psychological Review*, 117(2), 382-405.
- R Core Team. (2015). *R: A language and environment for statistical computing* (pp. 12-21). Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rayner, K. (2009). The 35th Sir Frederick Bartlett lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506.
- 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(4), 720-732.
- Rayner, K., & Fischer, M. H. (1996). Mindless reading revisited: Eye movements during reading and scanning are different. *Perception and Psychophysics*, 58(5), 734-747.
- Rayner, K., & Raney, G. E. (1996). Eye movement control in reading and visual search: Effects of word frequency. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3(2), 245-248.
- Reichle, E. D., & Drieghe, D. (2013). Using E-Z Reader to examine word skipping during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(4), 1311-132.
- 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(1), 4-22.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2012). Using E-Z Reader to simulate eye movements in nonreading tasks: A unified framework for understanding the eye-mind link. *Psychological Review*, 119(1), 155-185.
- Reingold, E. M., Reichle, E. D., Glaholt, M. G., & Sheridan, H. (2012). Direct lexical control of eye movements in reading: Evidence from a survival analysis of fixation durations. *Cognitive Psychology*, 65(2), 177-206.
- Schad, D. J., & Engbert, R. (2012). The zoom lens of attention: Simulating shuffled versus normal text reading using the SWIFT model. *Visual Cognition*, 20(4-5), 391-421.
- Schotter, E. R., Bicknell, K., Howard, I., Levy, R., & Rayner, K. (2014). Task effects reveal cognitive flexibility responding to frequency and predictability: Evidence from eye movements in reading and proofreading. *Cognition*, 131(1), 1-27.
- 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(3-4), 309-333.
- Sun, F., & Feng, D. (1999). Eye movements in reading Chinese and English text. In J. Wang, A. W. Inhoff, & H. C. Chen, (Eds.), *Reading Chinese script: A cognitive analysis* (pp. 189-204). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Wang, X. T., Sui, X., & White, S. J. (2019). Searching for a word in Chinese text: Insights from eye movement behaviour. *Journal of Cognitive Psychology*, 31(2), 145-156.
- White, S. J., Warrington, K. L., McGowan, V. A., & Paterson, K. B. (2015). Eye movements during reading and topic scanning: Effects of word frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(1), 233-248.

- Yan, G. L., Bai, X. J., Zang, C. L., Bian, Q., Cui, L., Qi, W., Liversedge, S. P. (2012). Using stroke removal to investigate Chinese character identification during reading: Evidence from eye movements. *Reading and Writing*, 25(5), 951–979.
- 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(2), 259–268.
- Yang, H. M., & McConkie, G. W. (1999). Reading Chinese: Some basic eye-movement characteristics. In J. Wang, A. W. Inhoff, & H. C. Chen (Eds.), *Reading Chinese script: A cognitive analysis* (pp. 207–222). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Yu, L. L., Zhang, Q. M., Priest, C., Reichle, E. D., & Sheridan, H. (2018). Character-complexity effects in Chinese reading and visual search: A comparison and theoretical implications. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 71(1), 140–151.
- Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., Angele, B., & Liversedge, S. P. (2018). Skipping of the very-high-frequency structural particle de (的) in Chinese reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 17(1), 152–16.
- Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., Paterson, K. B., & Liversedge, S. P. (2016). Effects of word frequency and visual complexity on eye movements of young and older Chinese readers. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(7), 1409–1425.
- Zhou, W., Mo, F., Zhang, Y. H., & Ding, J. H. (2017). Semantic and syntactic associations during word search modulate the relationship between attention and subsequent memory. *The Journal of General Psychology*, 144(1), 69–88.
- Zoubrinetzky, R., Collet, G., Nguyen-Morel, M. A., Valdois, S., & Serniclaes, W. (2019). Remediation of allophonic perception and visual attention span in developmental dyslexia: A joint assay. *Frontiers in Psychology*, 10, 1502.

Effects of Word Visual Complexity and Word Frequency on Chinese Search Reading with Different Search Difficulty

Zhang Lihua¹, Wang Xiaotong^{1,2}, Sui Xue¹, Bi Yifei³

(¹ Department of Psychology, Liaoning Normal University, Dalian, 116029) (² Shenyang Normal University, Education School, Shenyang, 110000)

(³ Leiden University Center for Linguistics & Leiden Institute for Brain and Cognition, Leiden, 2300RA)

Abstract Considerable research has focused on understanding the mechanisms underlying reading for comprehension while relatively few studies have focused on how we seek and comprehend relevant information within text. Understanding the mechanisms that underlie search for specific information is especially important now that so much textual information is available, such that locating relevant information is vital to the everyday reading process. Previous work showed significant effects of word frequency and word visual complexity on eye movements during reading for comprehension, compared to high frequency (low complexity) word, participants made longer fixation duration on and were less likely to skip low frequency (high complexity) word, however very few studies have explored the role of word frequency and word visual complexity during target word search, especially in Chinese language. The present study used eye-tracking method to investigate the effects of word frequency and word visual complexity on eye movements during target word search in Chinese.

The design of the experiment was 2×2 (word visual complexity [high, low] \times word frequency [high, low]), within participants and items. In total there were 15 practice sentences, 44 experimental sentences, and 36 filler sentences. Filler items always included the search target word. The four conditions were manipulated within participants and items following a Latin square design. The order of the experimental and filler items was randomized for each participant. An SR Research Eyelink 1000 eye tracker was used to record eye movements with a sampling rate of 1000 Hz. Fifty-six participants were required to search the sentences while their eye movements were recorded.

In Experiment 1, participants were required to search one target word and judge whether the target word was present or absent. The results showed that there were no significant effects of word frequency on fixation duration and skipping rate. There were significant effects of visual complexity on skipping rate and fixation duration. Participants made longer fixation duration on complex words and were less likely to skip the complex words during search reading.

In Experiment 2, participants were required to search two target words and judge whether the target words were present or absent. The results showed there were no significant effects of word frequency on fixation duration and skipping rate. However, there were significant effects of visual complexity on skipping rate and fixation duration. Participants made longer fixation duration on complex words and were less likely to skip the complex words during search reading.

Taken together, the study found that word visual complexity affected search reading, whereas word frequency did not affect search reading. These findings indicate that eye movement behaviors during target word search in Chinese are largely driven by superficial processing of the text. Target word search in Chinese may be achieved by visual form match strategy.

Key words word frequency, visual complexity, searching reading, search difficulty