

# 阅读中词汇视觉编码老龄化的原因: 基于消失文本 实验的证据<sup>\*</sup>

苏永强 付福音 刘志方 陈朝阳

(宁波大学心理学系, 宁波 315211)

**摘 要:** 研究采用消失文本范式、操控双词消失的延迟时间, 考察中文读者编码两个相邻词汇(词 $n$ 与词 $n+1$ )视觉信息的老龄化问题。结果发现, 从40 ms延迟时间至160 ms延迟时间的所有消失条件均不影响青年人的句子总阅读时间, 这意味着青年人能够并行、快速地同时编码词 $n$ 与词 $n+1$ 的视觉信息; 而所有消失条件都影响老年人的句子阅读时间, 40 ms延迟时间消失条件对总阅读时间的影响程度甚于其他较长延迟时间的消失文本条件, 80 ms、120 ms和160 ms延迟时间消失条件对总阅读时间的影响程度完全相同。由这些结果可以确定, 中文阅读中词汇视觉编码的老龄化同时受视觉与认知因素衰退的影响。

**关键词:** 中文阅读; 词汇编码; 老龄化; 眼动

**分类号:** G442

## 1 引言

随着年龄的增长, 老年人各项基本感觉功能和认知功能都在衰退(Liu & Li, 2003; 申继亮, 王大华, 彭华茂, 唐丹, 2003; 李德明, 刘昌, 陈天勇, 李贵芸, 2003)。而阅读作为日常生活中重要的认知技能也势必受到上述基本能力衰退的影响。以往研究表明, 老年人的阅读速度确实低于青年人(Stine-Morrow, Miller, & Hertzog, 2006), 老年人注视词汇的时间更长, 回视概率更高, 说明老年人识别词汇的加工效率较低(Kliegl, Grabner, Rolfs, & Engbert, 2004; Kemper, Crow & Kemtes, 2004; Laubrock, Kliegl, & Engbert, 2006)。鉴于识别词汇是阅读理解的必要认知(Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006; Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006), 因而考察阅读情境中词汇识别的老龄化问题, 有利于澄清阅读能力老龄化的具体原因和机制。Rayner等人(2006, 2009, 2010)认为, 视觉功能与认知功能的衰退共同导致词汇识别的老龄化现象。学术界较多地单从视觉功能衰退角度, 或者单从认知功能衰退角度考察阅读中词汇识别的老龄化现象, 而结合两方面因素考察阅读中词汇识别老龄化的研究, 目前尚不多见。

视觉信息是保证阅读中词汇识别的先决因素,

老年人若不能有效地获取词汇的视觉信息, 其词汇识别和阅读理解过程势必将会受到影响, 而证据表明, 相对于青年读者, 老年人的视觉功能有大幅衰退(Owsley, 2011; Paterson, McGowan, & Jordan, 2013)。词汇识别层面上认知功能衰退的相关证据显示, 英语老年读者不能及时将注意资源转移至预视词汇, 从而导致词汇识别效率的衰退(Rayner, Reichle, Stroud, Williams, & Pollatsek, 2006; Rayner, Castelano, & Yang, 2009; Rayner, Castelano, & Yang, 2010); 德语老年人则是并行识别多个词汇的效率下降而导致阅读衰退(Laubrock et al., 2006; Laubrock, Kliegl, & Engbert, 2006; Risse & Kliegl, 2011)。国内学者也发现中国老年人阅读中的字词识别效率低于青年人(Wang et al., 2016; Zang et al., 2016)。梳理这些文献不难发现, 以往这些研究多是从单一角度考察阅读中词汇识别老龄化问题。而综合考察视觉与认知因素如何共同导致词汇识别老龄化的研究尚比较少见。

考察视觉编码过程的年龄差异能够同时评估视觉衰退与认知衰退所导致的老龄化程度。这是因为阅读中由于每个注视点上所获的视觉信息完全不同, 读者必须将视觉信息转换成稳定的编码才能保证词汇识别和阅读理解的正常进行, 在此过程中同

<sup>\*</sup> 基金项目: 教育部人文社会科学研究青年项目成果(15YJC190014); 省教育科学规划课题(2015SCG103); 宁波大学人文社会科学培育项目研究成果。

通讯作者: 刘志方, E-mail: lzhf2008@163.com

时需要视觉信息与注意资源参与( Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006; Reichle, Liversedge, Pollatsek, & Rayner, 2009)。针对此问题,拼音文字阅读研究领域仅有一项研究考察英语读者编码注视词汇(词 $n$ )视觉信息的老龄化现象,结果发现在编码注视词汇视觉信息所需时间问题上,英语老年人与青年人之间没有显著差别(Rayner, Yang, Castelano, & Liversedge, 2010);而中文老年人编码注视词汇所需的时间却多于青年人(吴捷,刘志方,胡晏雯, 2009; 刘志方,翁世华,张锋, 2014)。两类书面语言的特点可能是导致上述差异的原因。拼音文字读者还可以通过语音中介激活语义信息(Zhou & Marslen-Wilson, 2000; Perfetti, Liu, & Tan, 2005),故在视觉编码过程上较难发现老龄化趋势容易理解。但目前为止,尚无研究探讨中文词汇视觉编码较容易受到老龄化影响的原因。

探讨阅读中词汇视觉编码的老龄化问题不能回避中文书面文字的语言特殊性特点。中文文字识别过程涉及较多视觉性加工可能是导致阅读中词汇视觉编码较容易受到老龄化影响的重要原因。比如,证据显示在双字词视觉信息呈现 200 ms 后,中文读者方能完成对该词的词形加工,研究者由此推测,中文是种更加彻底的视觉性文字(张学新等, 2012)。而来自阅读方面的证据则直接证实,中文阅读知觉广度除了反映注意特性外(闫国利,张巧明,白学军, 2013),还受汉字大小的影响,单个汉字增大会导致阅读知觉广度变小(Yan, Zhou, Shu, & Kliegl, 2015)。而拼音文字阅读的知觉广度则主要反映注意特点,与视觉因素无关(Rayner, 1998)。结合上述中文语言特殊性特点,不难推断中文阅读中的词汇视觉编码的老龄化特点应该同时受到视觉功能衰退和认知功能衰退两方面因素的影响,但目前为止尚无研究检验这种可能,本研究拟探讨这个问题。

鉴于证据显示,中文读者以并行方式编码阅读知觉广度内多个词汇的视觉信息(刘志方,张智君,赵亚军, 2011; 刘志方,张智君,刘炜, 2015),老年人的阅读知觉广度能够覆盖词 $n$ 与词 $n+1$ 两个词汇(王丽红等, 2010),本研究操控双词消失(词 $n$ 与词 $n+1$ 一起消失)的延迟时间,考察各消失条件影响青年与老年人阅读的组间差异,以探讨中文词汇视觉编码老龄化的影响因素问题。研究基于以下假设:假设 1,老龄化影响中文阅读中词汇视觉编码,那么应该看到消失条件对老年人阅读效率(总阅读时间)的影响程度甚于其对青年人阅读效率的影响程度。假设 2,若视觉

功能衰退是导致视觉编码老龄化的唯一原因,那么所有影响老年人阅读的消失条件都应该在相同程度上影响老年人阅读效率。假设 3,若注意/认知功能衰退是导致视觉编码老龄化的唯一原因,无论中文老年人以何种方式(并行还是串行)编码其阅读知觉广度内词汇的视觉信息,各个消失条件对其阅读的影响都应该随着延迟时间的增加而逐渐减弱。

## 2 方法

### 2.1 被试

15 名(9 名男性,6 名女性)青年被试和 15 名老年被试(9 名男性,6 名女性)参与本实验,青年被试的平均年龄为 20.7 岁,老年被试的平均年龄为 67.8 岁。所有被试的视力或矫正视力正常,且无组间差异 $t=0.676$ , $p>0.05$ 。青年组被试为某大学本科在校学生,老年组被试基本上为某大学退休行政或者教辅人员,两组被试在受教育年限上没有显著差异 $t=1.267$ , $p>0.05$ 。所有被试均未参加过类似实验。实验结束后可获得一定的报酬。

### 2.2 实验材料

实验的正式材料为 80 个句子。每个句子都是由 7 或 8 个双字词组成。请 10 名大学生和 10 老年人(老年人均是某大学退休行政或者教辅人员)针对这些实验句子的通顺性和难易程度进行评定(都采用 7 点评定)。青年人评定实验句子的平均通顺性为 6.29(值越高,越通顺),老年人评定的实验句子的平均通顺性为 6.28,实验句子的通顺性评价无组间差异 $t=0.337$ , $p>0.05$ 。青年人评定实验句子的平均难易程度为 1.65(分值越低,越简单),老年人评定实验句子的平均难易程度为 1.61,实验句子难度的评价无组间差异 $t=0.851$ , $p>0.05$ 。另外 15 位未参加本实验的非中文系本科生以及 10 名某大学退休行政或者教辅人员的老年人对材料句子中词之间的边界进行划分,以词边界划分出来的正确的词数除以该句子中总的词数来计算词划分的一致性(举例见图 1),结果发现青年组词划分的正确率达到 95.0%,老年组词划分的正确率为 94.8%,实验句子词切分划分的正确率无组间差异 $t=0.682$ , $p>0.05$ 。

垃圾/通道/需要/及时/清理。	[100%正确的切分方式]
垃圾/通/道/需要/及时/清理。	[80%正确的切分方式]
垃圾/通道需要/及时/清理。	[60%正确的切分方式]
垃圾/通/道需要/及时/清理。	[60%正确的切分方式]

图 1 词边界划分的正确率计算举例

### 2.3 实验设计

实验采用 2(组间: 青年人 *vs* 老年人)  $\times$  5(呈现方式: 控制条件 *vs* 40 ms 延迟时间的消失文本 *vs* 80 ms 延迟时间的消失文本 *vs* 120 ms 延迟时间的消失文本 *vs* 160 ms 延迟时间的消失文本) 两因素混合设计。其中组别为被试间变量, 呈现方式为被试内变量。自变量“呈现方式”中的控制条件是指没有被消失文本范式技术处理过和呈现方式, 其中所有字词均正常呈现。呈现条件中还包含 4 项消失文本条件(举例见图 2), 各个消失文本条件的差异仅在于其延迟时间不同。在阅读过程中根据注视点所在位置标示词汇, 正在被注视的词汇被称为是“词 *n*”, 词 *n* 右侧第 1 个词汇被称为“词 *n* + 1”, 随着注视点移动, 词 *n* 和词 *n* + 1 所指的具体词汇都在不断变化。各消失文本条件的基本呈现模式是: 从被试注视词 *n* 开始在特定延迟时间(40/80/120/160 ms) 后词 *n* 与词 *n* + 1 一起消失(图 2 中环节(a)、环节(b)所示); 当注视点离开注视词汇时, 原来消失的词汇立刻重新出现, 根据新注视点位置继续确定新的词 *n*, 从注视开始延迟时间(40/80/120/160 ms) 后, 新的词 *n* 与词 *n* + 1 再次一并消失(图 2 中环节(c-d)和环节(f-g)所示); 对注视词汇(词 *n*) 的再注视不会导致消失词汇重现(图 2 中环节(e)所示)。

(a) 垃圾通道需要及时清理。	[注视开始]
* 需要及时清理。	[40/80/120/160ms后]
(c) 垃圾通道需要及时清理。	[注视开始]
* 垃圾通道 清理。	[40/80/120/160ms后]
(e) 垃圾通道 清理。	[再注视不会导致消失词汇重现]
(f) 垃圾通道需要及时清理。	[注视开始]
* 垃圾通道需要	[40/80/120/160ms后]

图 2 实验各消失文本条件举例 (“\*”代表注视点)

考虑到“与呈现刺激电脑屏幕的刷新率有关的系统延迟”相应字、词消失条件中的实际延迟时间多于电脑程序中所设置时间约 17 ms (呈现视觉刺激电脑的刷新频率为 60Hz), 因此各个消失文本实际延迟时间约为 57/97/137/177ms。实验句子与消失方式间平衡方法为: 首先, 将 80 个实验句子按照句子的顺序划分成 5 组, 每组中包含 16 个实验句子, 其中组 1: 1-16 句, 组 2: 17-32 句, 组 3: 33-48 句, 组 4: 49-64 句, 组 5: 65-80 句。然后, 在 5 组实验句子中按照拉丁方排序方式分布不同呈现条件, 这样共生成 5 个实验文件。每个实验文件中包括的句子完全相同。每个被

试完成其中一个文件内的实验, 每个实验文件上所收集的被试数量相同, 这样 5 个实验文件就可以在被试间平衡。每个实验文件中的 80 个句子随机呈现, 也即是每个被试参加实验时, 80 个实验句子(无论以何种方式呈现) 都是按照随机顺序呈现。

### 2.4 实验仪器

实验采用加拿大 SR 公司生产的 Eye Link 1000 桌面式眼动仪记录被试的眼动。该型眼动记录仪的采样频率为 1000 次/秒, 注视精度 0.15°, 空间分辨率小于 0.01°。呈现材料的电脑刷新频率为 60Hz。刺激在一个 19 英寸分辨率为 1024  $\times$  768 的 DELL 显示器上呈现。被试距离屏幕为 75cm, 在 2°视角内可以看到 3 个汉字, 一个汉字约为 28  $\times$  28 像素, 每个汉字呈 0.63°视角。

### 2.5 实验程序

对每个被试单独施测。被试进入实验室后, 坐在仪器前, 用头托固定头部。实验开始前呈现指导语, 在确保被试理解整个实验程序后对仪器进行校准, 校准结束后呈现练习句, 让被试熟悉实验过程。然后, 进行正式实验。练习和正式实验中呈现的句子都可以分为两种类型: 阅读句与问题句。实验中每个句子(包括阅读句和问题句) 都是逐个呈现, 在呈现每个句子之前, 屏幕出现一个黑色圆环, 要求被试眼睛盯住这个黑色圆环的同时按手柄上的方向键, 这样便会出现一个句子(句子的起始位置与黑色圆环基本一致, 每个句子的长度都不会超过整个屏幕的宽度)。句子出现后, 要求被试阅读理解这个句子, 随后通过按键结束本次屏幕(如果是阅读句的话, 要求被试仍然按手柄方向键结束, 问题句则按手柄的左键或者右键结束。问题句呈现时, 要求被试根据其前面一句的内容按键做出回答, 如果根据前一句话能够推测出问题句中的内容, 则该问题句为“对”, 被试按手柄右键, 否则的话则为“错”, 被试按手柄左键; 被试按键后问题句呈现结束, 开始呈现下一句话)。各种实验句子出现过程举例见图 3 所示。

练习和正式实验中的阅读句按照 5 种呈现方式其中的一种方式呈现(具体呈现方式见图 3 所示)。练习和正式实验中某些句子带有问题句, 问题句都紧随其阅读句出现, 问题句的呈现格式见下图 3 所示, 每个问题句均按照控制条件呈现, 也即是, 呈现问题句时屏幕没有任何变化, 练习句子中 10 个句子后带有问题, 正式实验中 27 个句子带有问题。为确保实验数据的有效性, 整个实验中主试实时监视眼动仪, 并在任何需要的时候重新校准。整个实验过

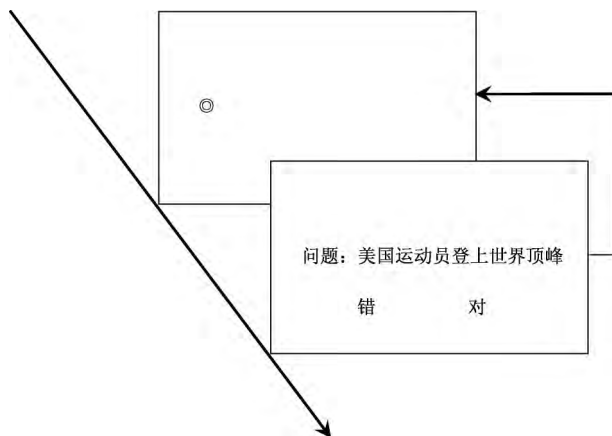


图3 实验材料句子出现过程举例(以问题句为例)

程持续大约 25 分钟。

### 3 结果

正式分析数据之前,删除实验过程中出现意外的项目(比如,阅读某句子时被试咳嗽、和被试连续按键导致句子被跳过的情况),其中任一数据在 3 个标准差之外的项目的数据全部被删除,形成结果之前,总计有 3.8% 的原始数据被剔除。问题句的目的在于检验被试是否认真阅读实验句子,被试对 27 个问题句反应的正确率均超过 90%,呈现方式变量与组别变量均不影响问题正确率( $F_s < 1.6, p_s > 0.2$ ),这说明被试仔细阅读且完全理解了句子,且非正常呈现没有影响被试理解句子。阅读问题句时的眼动数据并没在数据分析之列。主要采用 4 项因变量指标说明研究问题:1 总阅读时间,句子呈现开始至被试按键结束的时间;2 平均凝视时间,第一遍阅读中读者对所有词汇的凝视时间的平均值;3 跳读概率,第一遍阅读中被跳读词汇的数量除以句子中的词汇总数量;4 回视概率,阅读中被回视的词汇的数量除以句子中的词汇总数量。严格上讲,句子总阅读时间是词汇识别与理解过程所需时间的总和,但本研究中采用极为简单的句子作为实验材料,且词汇识别层面以上高级认知是较为抽象的信息加工过程,故可以不受视觉呈现的影响;与此同时鉴于消失条件下,句子中所有词汇都被消失文本呈现技术所处理,而成功识别句子所有词汇才能保障阅读完成,因此句子总阅读时间应该是衡量词汇视觉编码特点的指标(Blythe, Liversedge, Joseph, White, & Rayner, 2009; Blythe, Häikiö, Bertam, Liversedge, & Hyönä, 2011)。在消失条件下句子总阅读时间越多表明词汇视觉编码受到影响的程度越大;消失条件中词汇的平均凝视时间、跳读概率和回视概率也反映词汇视觉编码过程,平均凝视时间

和回视概率越高,以及跳读概率越少说明词汇视觉编码受到影响的程度越大。考虑到读者会采用权衡注视点数量和注视持续时间的眼动策略阅读消失文本(Liversedge et al., 2004; 刘志方等, 2011, 2014, 2015),这种策略会导致眼动指标反映研究问题时不够敏感。基于上述考虑,我们在参照总阅读时间的前提下,将 3 类基于词兴趣区的眼动指标(平均凝视时间、跳读概率和回视概率)作为辅助性证据说明研究问题。各指标均值和标准差见表 1。

采用 lme 4 包构建线性混合模型在 R 中分析各项指标(Baayen, Davidson, & Bates, 2008; Bates, Maechler, & Bolker, 2011; Barr, Levy, Scheepers, & Tily, 2013)。鉴于 Kolmogorov-Smirnov 样本检验显示,句子总阅读时间和平均凝视时间不符合正态分布假设( $p_s < 0.05$ ),在 R 中构建模型分析这两项数据之前,将它们进行对数转换,转化后的数据均符合正态分布( $p_s > 0.05$ )。跳读概率和回视概率都是指各个兴趣区被跳读和回视的情况,因而这两个因变量均被作为二分变量在 R 中处理。在 R 所构建的模型中同时包含被试误差与项目误差项。根据研究目的确定数据分析原则:首先,根据总阅读时间在不同呈现方式上的变化趋势,分别确定青年人与老年人编码两个词汇视觉信息的所需时间问题。即,分别对比老年与青年人各消失条件与控制条件间的差异,特定延迟时间下总阅读时间若与控制条件没有显著差异,则说明该组被试能够在这个延迟时间内完成视觉编码过程。然后,进一步澄清与控制条件有所差异的各个消失文本条件之间的差异模式。最后,根据上述两项步骤再次分析词汇兴趣区眼动数据。两组被试在不同呈现条件下总阅读时间的均值和标准误差见图 4,词汇兴趣区眼动数据的均值和标准差见表 1。

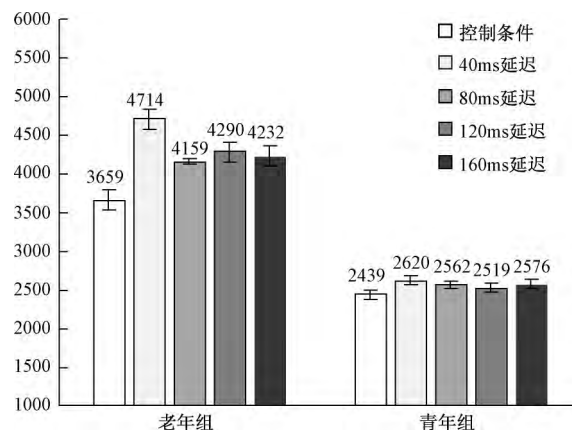


图4 老年与青年组各呈现条件下总阅读时间的均值与标准误差(注:时间单位为 ms)

青年人总阅读时间的 R 分析显示: 所有消失文本条件都与控制条件之间没有显著差异  $b_s < 0.040$ ,  $SE_s > 0.016$ ,  $t_s < 1.783$ ,  $p_s > 0.05$ 。老年人总阅读时间的 R 分析显示: 所有消失条件均显著高于控制条件  $b_s > 0.071$ ,  $SE_s < 0.016$ ,  $t_s > 4.620$ ,  $p_s < 0.05$ ; 40 ms 延迟消失条件显著高于其他消失条件  $b_s > 0.050$ ,  $SE_s < 0.012$ ,  $t_s > 3.60$ ,  $p_s < 0.05$ ; 80 至 160 ms 延迟消失条件之间差异都不显著  $|b_s| < 0.004$ ,  $SE_s > 0.013$ ,  $|t_s| < 0.27$ ,  $p_s > 0.05$ 。

表 1 老年与青年组各呈现条件下基于被试分析的词汇兴趣区眼动指标均值和标准差

		平均凝视时间 跳读概率(%) 回视概率(%)		
青年人	控制条件	270(39)	31.0(7.6)	21.5(10.9)
	40ms 延迟	311(49)	40.9(8.8)	22.5(9.1)
	80ms 延迟	301(57)	37.5(6.8)	21.7(8.7)
	120ms 延迟	305(50)	37.6(6.8)	20.4(7.2)
	160ms 延迟	306(48)	36.1(7.1)	20.7(7.2)
老年人	控制条件	323(103)	25.7(9.7)	31.2(16.2)
	40ms 延迟	323(73)	36.7(10.6)	48.3(17.8)
	80ms 延迟	337(84)	36.8(10.2)	43.6(15.8)
	120ms 延迟	340(83)	36.4(10.2)	41.3(14.9)
	160ms 延迟	355(98)	34.6(9.1)	39.9(16.1)

注: 时间单位为 ms, 括号内数据为标准差。

青年人平均凝视时间的 R 分析显示: 所有消失条件均显著高于控制条件  $b_s > 0.039$ ,  $SE_s < 0.013$ ,  $t_s > 3.367$ ,  $p_s < 0.05$ ; 各个消失条件之间差异不显著  $b_s < 0.013$ ,  $SE_s > 0.01$ ,  $t_s < 0.966$ ,  $p_s > 0.05$ 。老年人平均凝视时间的 R 分析显示: 40 ~ 120 ms 延迟消失文本和控制条件之间没有任何显著性差异  $b_s < 0.024$ ,  $SE_s > 0.014$ ,  $t_s < 1.597$ ,  $p_s > 0.05$ ; 只有 160 ms 延迟消失条件显著高于控制条件  $b = 0.041$ ,  $SE = 0.01$ ,  $t = 4.02$ ,  $p < 0.05$ 。

青年人跳读概率的 R 分析显示: 所有消失条件均显著高于控制条件  $b_s > 0.229$ ,  $SE_s < 0.069$ ,  $t_s > 3.331$ ,  $p_s < 0.05$ ; 40 ms 延迟消失条件显著大于其他消失条件  $b_s > 0.135$ ,  $SE_s < 0.067$ ,  $t_s > 2.045$ ,  $p_s < 0.05$ ; 其他消失条件之间差异均不显著  $|b_s| < 0.072$ ,  $SE_s > 0.066$ ,  $|t_s| < 1.082$ ,  $p_s > 0.05$ 。老年人跳读概率的 R 分析显示: 所有消失条件同样均显著高于控制条件  $b_s > 0.439$ ,  $SE_s < 0.072$ ,  $t_s > 6.138$ ,  $p_s < 0.05$ ; 所有消失条件之间差异不显著  $|b_s| < 0.09$ ,  $SE_s > 0.067$ ,  $|t_s| < 1.40$ ,  $p_s > 0.05$ 。

青年人回视概率的 R 分析显示: 所有消失条件与控制条件之间均无显著差异  $|b_s| < 0.08$ ,  $SE_s > 0.016$ ,  $|t_s| < 0.94$ ,  $p_s > 0.05$ 。老年人回视概率的 R 分析显示: 所有消失条件则都显著高于控制条件  $b_s$

$> 0.422$ ,  $SE_s < 0.072$ ,  $t_s > 5.93$ ,  $p_s < 0.05$ ; 40 ms 延迟消失条件显著大于其他消失条件  $b_s > 0.215$ ,  $SE_s < 0.069$ ,  $t_s > 3.16$ ,  $p_s < 0.05$ ; 80 ms 延迟消失条件显著大于 160 ms 延迟消失条件  $b = 0.165$ ,  $SE_s = 0.069$ ,  $t = 2.391$ ,  $p < 0.05$ ; 其他消失条件之间差异不显著  $|b_s| < 0.11$ ,  $SE_s > 0.068$ ,  $|t_s| < 1.501$ ,  $p_s > 0.05$ 。

## 4 讨论

参照以往研究可知, 句子总阅读时间是消失文本实验研究得出结论的主要参考因变量指标 (Blythe et al., 2009, 2011; 刘志方等 2011, 2014)。研究操控两个词汇(词  $n$  与  $n+1$ ) 消失的延迟时间, 通过确定消失条件影响青年和老年读者句子总阅读时间的程度差异, 以及不同延迟时间消失文本影响老年人总阅读时间的程度差异, 来考察读者编码词汇视觉信息是否受到老龄化的影响, 及其具体原因, 结果发现: (1) 所有消失条件都不影响青年读者的句子总阅读时间, 但却都影响老年读者的句子总阅读时间; (2) 所有消失条件都影响老年人的总阅读时间, 且并非所有消失条件都在相同程度上影响其总阅读时间。这些结果对于揭示中文阅读中词汇视觉编码的老龄化机制有重要理论意义。

结果(1)说明青年读者编码两个相邻词汇视觉信息所需时间明显少于老年读者; 中文阅读中词汇视觉编码过程受到老龄化的影响。词汇兴趣区眼动数据进一步揭示了“消失条件影响老年人, 而不影响青年人总阅读时间的具体成因”。消失条件导致青年人对词汇的凝视时间增多, 同时也导致其更多地跳读词汇, 消失条件对两项指标的影响受到延迟时间的调节作用, 双词消失导致青年人采用增加单次凝视的持续时间, 并以此保证被跳读词汇的识别加工过程。青年人对句子中所有词汇回视的概率不受消失条件的影响, 回视意味着词汇在第一遍阅读中并未被充分识别加工 (Rayner, 1998), 因而这个指标结果同样说明, 消失条件中青年人所采用的眼动策略能够保证所有词汇的视觉编码和识别加工的正常进行。然而, 对于老年人而言, 只有最长延迟时间(160 ms) 的消失条件导致平均凝视时间增加, 而跳读概率则不受延迟时间的调节, 所有消失条件都在相同程度上增加跳读概率, 而不同延迟时间的消失文本对回视概率的影响趋势与其句子总阅读时间的影响趋势完全相同, 由此可见, 消失文本导致老年人在第一遍阅读中不能有效地编码和识别

两个相邻词汇,继而迫使其通过回视予以弥补。

结果(2)说明视觉功能衰退与认知功能衰退都是导致中文词汇视觉编码易受老化影响的重要原因。就视觉功能衰退的作用而言,证据显示,老年人不容易获取细节信息,这势必影响中文词汇视觉编码过程(Paterson et al., 2013)。本研究发现,消失条件以不同方式影响青年和老年阅读中的眼动控制过程,也即是,消失条件导致青年人与老年人更多地跳读词汇,消失条件对青年人跳读概率的影响随着延迟时间的增加而减弱,但不同延迟时间的消失条件对老年人跳读概率的影响程度则完全一致,这说明老年人的副中央凹区域中的视觉功能有明显的衰退迹象。这是因为,视觉信息是眼跳选择目标的基本参考线索,眼跳计划不稳定阶段内眼跳目标消失会迫使读者取消指向该目标的眼跳(Becker & Jürgens, 1979; Reichle et al., 2003, 2006; Engbert et al., 2002, 2005),由此可以确定,青年人能够在各项消失条件中逐渐获取完整的词  $n+1$  视觉信息,从而保证消失条件对跳读概率的影响能够反映延迟时间的变化,而老年人则不能获得消失条件中词  $n+1$  完整的视觉信息,从而导致消失条件下跳读概率不受延迟时间的调节。由此可知,老年人视觉功能衰退是其阅读中视觉编码能力下降的重要原因。

获取足够的视觉信息是词汇视觉编码正常进行的先决条件,因而若各消失条件仅仅通过影响老年读者视觉信息获取过程,进而影响句子总阅读时间的话,那么各个消失条件应该在相同程度上影响老年读者的句子总阅读时间。然而,由表 1 数据以及统计结果可知,所有消失条件都影响老年人的总阅读时间,但并非所有消失条件都在相同程度上影响其总阅读时间,这排除单视觉因素影响词汇编码老化的可能。

除视觉因素外,注意资源也是编码词汇视觉信息的必要条件(Pollatsek et al., 2006; Reichle et al., 2009),根据以往研究结论(刘志方等, 2011, 2015)和本研究结果可以确定青年读者的注意资源并行分布在词  $n$  与词  $n+1$  上。鉴于没有研究直接考察老化是否影响注意资源分布模式,但老年人的注意资源若仍是并行地分布在两个词汇上,那么根据“认知因素是词汇视觉编码老化的唯一原因”的假设可以预测:消失条件对老年人句子总阅读时间的影响应该随着延迟时间的增加而减弱。相对于青年人,若老年人注意资源分布模式发生改变,老年人注意资源由词  $n$  逐渐转移至词  $n+1$ ,此时根

据“认知因素是词汇视觉编码老化的唯一原因”的假设仍可以预测:各消失条件对老年人句子总阅读时间的影响应该随着延迟时间的增加而减弱。同样,由表 1 数据以及统计结果可见,最短延迟时间(40 ms)的消失文本条件对老年人总阅读时间的影响程度最大,而 80 ~ 160 ms 延迟时间的 3 个消失条件在相同程度上影响老年人总阅读时间,这种差异模式则排除单认知因素影响词汇编码老化的可能。

由上述分析可知,视觉功能衰退与认知功能衰退都是导致中文词汇视觉编码老化的原因。从逻辑上讲,两种功能衰退以两种可能的方式共同导致词汇视觉编码过程的老龄化。可能一:两种衰退相互独立地、并列地导致词汇视觉编码的老龄化;可能二:视觉功能衰退影响了注意资源的分布、转移方式进而导致词汇视觉编码的老龄化。比如,视觉功能普遍降低导致老年人在编码注视词(词  $n$ )时需要更多注意资源,使得预视区域内的词汇视觉编码受到严重排挤,进而导致词汇视觉编码的老龄化。一般而言,读者主要在注视阶段完全识别词汇(Reichle et al., 2006; Engbert et al., 2005; Schotter et al., 2014; Schad & Engbert, 2012),而中文文字的视觉构成较为复杂,识别中文文字格外需要精细视觉信息,中文的这种特性也可能会导致老年人将更多的注意资源投放至注视词汇。不过,视觉功能衰退与注意功能衰退以何种模式共同导致中文词汇编码过程的老龄化?这个问题还需要后续大量的、系统的研究。

## 5 结论

本研究得到的结论如下:中文阅读中的词汇视觉编码过程存在老化现象,视觉功能衰退和认知功能衰退共同导致词汇视觉编码的老龄化。

### 参考文献:

- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390-412.
- Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language*, 68(3), 255-278.
- Bates, D., Maechler, M., & Bolker, B. (2011). LME4: Linear mixed-effects models using Eigen and R syntax. R Package Version 0.999375-39. Retrieved from <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>
- Becker, W., & Jürgens, R. (1979). An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli. *Vision Research*, 19(9), 967-983.

- Blythe, H. I., Häikiö, T., Bertam, R., Liversedge, S. P. & Hyönä, J. (2011). Reading disappearing text: Why do children reread words? *Vision Research*, 51(1), 84–92.
- 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(2), 1593–1591.
- 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.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112(4), 777–813.
- Kemper, S., Crow, A., & Kemtes, K. (2004). Eye-fixation patterns of high and low-span young and older adults: down the garden path and back. *Psychology and Aging* 19(1), 157–170.
- 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(1/2), 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(1), 12–35.
- Laubrock, J., Kliegl, R., & Engbert, R. (2006). SWIFT explorations of age differences in eye movements during reading. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(6), 872–884.
- Liu, C., & Li, D. (2003). The role of working memory and sensorimotor speed in adult age differences in mental subtraction. *Acta Psychologica Sinica*, 35(5), 617–627.
- Liu, P., Liu, D., Han, B., & Paterson, K. B. (2015). Aging and the optimal viewing position effect in Chinese. *Frontiers in Psychology*, 6: 1656, doi: 10.3389/fpsyg.2015.01656.
- Liversedge, S. P., Rayner, K., White, S. J., Vergilino-Perez, D., Findlay, J. M. & Kentridge, R. W. (2004). Eye movements when reading disappearing text: is there a gap effect in reading? *Vision Research*, 44(10), 1013–1024.
- Owsley, C. (2011). Aging and vision. *Vision Research*, 51(13), 1610–1622.
- Paterson, K. B., McGowan, V. A., & Jordan, T. R. (2013). Effects of adult aging on reading filtered text: evidence from eye movements. *PeerJ* 1: e63; DOI 10.7717/peerj.63
- Perfetti, C. A., Liu, Y., & Tan, L. H. (2005). The lexical constituency model: Some implications of research on Chinese for general theories of reading. *Psychological Review*, 112(1), 43–59.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Test of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye movement control. *Cognitive Psychology*, 52(1), 1–56.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422.
- Rayner, K., Castelano, M. S., & Yang, J. (2009). Eye movements and the perceptual span in older and younger readers. *Psychology and Aging*, 24(3), 755–760.
- Rayner, K., Castelano, M. S., & Yang, J. (2010). Preview benefit during eye fixations in reading for older and younger readers. *Psychology and Aging*, 25(3), 714–718.
- Rayner, K., Reichle, E. D., Stroud, M. J., Williams, C. C., & Pollatsek, A. (2006). The effects of word frequency, word predictability, and font difficulty on the eye movements of young and elderly readers. *Psychology and Aging*, 21(3), 448–465.
- Rayner, K., Yang, J., Castelano, M. S., & Liversedge, S. P. (2010). Eye movements of older and younger readers when reading disappearing text. *Psychology and Aging*, 26(1), 214–223.
- Reichle, E. D., Liversedge, S. P., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2009). Encoding multiple words simultaneously in reading is implausible. *Trend in Cognitive Sciences*, 13(3), 115–119.
- 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.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z reader model of eye-movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*, 26(4), 445–526.
- Risse, S., & Kliegl, R. (2011). Adult age differences in the perceptual span during reading. *Psychology and Aging*, 26(2), 451–460.
- 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., Reichle, E. D., & Rayner, R. (2014). Rethinking parafoveal processing in reading: Serial attention models can explain semantic preview benefit and N+2 preview effects. *Visual Cognition*, 20(4–5), 309–333.
- Stine-Morrow, E. A. L., Miller, L. M. S., & Herzog, C. (2006). Aging and self-regulated language processing. *Psychological Bulletin*, 132(4), 582–606.
- Wang, J., Li, L., Li, S., Xie, F., Chang, M., Paterson, K. B., White, S. J., & McGowan, V. A. (2016). Adult age differences in eye movements during reading: The evidence from Chinese. *Journals of Gerontology: Psychological Sciences*, 71: doi: 10.1093/geronb/gbw036.
- 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(1), 209–219.
- Zang, C., Zhang, M., Bai, X., Yan, G., 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.
- Zhang, X. X., Fang, Z., Du, Y. C., Kong, L. Y., Zhang, Q., & Xing, Q. (2012). The centro-parietal N200: An event-related potential component specific to Chinese visual word recognition. *Chinese Science Bulletin*, 57(13), 1516–1532.
- Zhou, X. L., & Marslen-Wilson, W. (2000). The relative time course of semantic and phonological activation in reading Chinese. *Journal of*

- Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1245–1265.
- 李德明, 刘昌, 陈天勇, 李贵芸. (2003). 加工速度和工作记忆在认知老化过程中的作用. *心理学报*, 35(4), 471–475.
- 刘志方, 翁世华, 张锋. (2014). 中文阅读中词汇视觉编码的年龄特征: 来自眼动方面的证据. *心理发展与教育*, 30(4), 411–419.
- 刘志方, 张智君, 刘炜. (2015). 阅读知觉广度内中文词汇的视觉信息提取: 眼动研究证据. *应用心理学*, 21(1), 317–324.
- 刘志方, 张智君, 赵亚军. (2011). 汉语阅读中眼跳目标选择单元以及词汇加工方式: 来自消失文本的实验证据. *心理学报*, 43(6), 608–618.
- 申继亮, 王大华, 彭华茂, 唐丹. (2003). 基本心理能力老化的中介变量. *心理学报*, 35(6), 802–809.
- 王丽红, 石风妍, 吴捷, 白学军. (2010). 老年人汉语阅读知觉广度的眼动变化. *中国老年学杂志*, 30(1), 240–243.
- 吴捷, 刘志方, 胡宴雯. (2009). 老年人阅读消失文本的眼动研究. *心理发展与教育*, 25(4), 63–67.
- 闫国利, 张巧明, 白学军. (2013). 中文阅读知觉广度的影响因素研究. *心理发展与教育*, 29(2), 121–130.
- 张学新, 方卓, 杜英春, 孔令跃, 张钦, 邢强. (2012). 顶中区 N200: 一个中文视觉词汇识别特有的脑电反应. *科学通报*, 57(5), 332–347.
- 张兰兰, 闫国利, 王丽红. (2011). 老年人汉语阅读中预视效益的眼动研究. *应用心理学*, 17(4), 318–324.

## Exploring the Reasons of Aging Effect on Encoding Multiple Words during Chinese Reading: Evidence from Disappearing Text

SU Yongqiang FU Fuyin LIU Zhifang CHEN Chaoyang

(Department of Psychology Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** The effect of aging on the process of word encoding for fixated words and words presented to the right of the fixation point during reading of sentences in Chinese was investigated with a disappearing text experiment. The results showed that 40 to 160 ms onset of disappearance manipulations, all of these did not cause disruptions to young adults, which suggested that young readers encode the word  $n$  and  $n + 1$  parallel, but these conditions made old readers spend more time reading a sentence compared to the normal display condition with the more immediate disappearing onset was more disruptive to text processing. Specifically, the 40 ms onset of disappearance manipulations disrupted reading time most seriously, but the 80 ms, 120 ms and 160 ms onset of disappearance manipulations disrupted reading time almost equally. The results of present experiment indicated a reliable aging effect on the process of multiple words visual encoding in the perceptual span when reading Chinese, and that sensory and cognitive factors are important contributors to these age-related differences.

**Key words:** Chinese reading; words encoding; aging; eye movements