

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：阅读伴随词汇学习的词切分：首、尾词素位置概率的不同作用

作者：梁菲菲 冯琳琳 刘瑛 李馨 白学军

第一轮

审稿人 1 意见：

本论文通过两个实验探讨重复学习新词时词素位置概率信息对词加工和词切分的变化模式，研究问题来自前人研究两个不一致的结果，企图通过新的实验和数据理清词素位置概率信息的作用。鉴于中文句子阅读中词识别和词切分的持续争论，该论文研究了一个比较重要的问题，研究结果也具有较大的启发意义。但是该文的理论引用和思考缺乏深度，也没有全面引用不同的观点，在接收之前需要解决这些重要问题。

意见 1：本论文中较多使用词切分这一概念，少数地方使用词识别这一概念。虽然前人研究中，有些研究者认为这两者同时进行，同时结束，但是这只是一种可能性。尤其该论文既然认为词素位置概率为词切分提供了重要的线索，那么也可能存在另一个可能性，词切分和词识别也不一定同时结束，中文读者有可能基于词素位置概率进行快速词切分。虽然不一定 100% 精准，但是也可以为词识别提供极大的帮助。毕竟，即使基于交互激活模型的假设，词切分和词识别同步进行，这种方式也不能 100% 保证切分的准确性。建议作者思考这些关系，深入挖掘本研究的真正价值。最起码需要交代这两者的关系，不能混为一谈。

回应：感谢审稿专家提出需要进一步考虑词切分和词识别的关系。的确，该问题是理解中文阅读眼动控制的前提。基于中文阅读在文本呈现方式方面的特殊性（无清晰的视觉词切分线索，如词间空格），词切分和词识别的关系显得较为复杂，不过，我们相信对该问题的回答势必会随着中文阅读研究领域成果的积累而更加科学。目前的主流观点（如中文阅读眼动控制模型，见 Li & Pollatsek, 2020；中文 E-Z 阅读者模型，见 Yu et al., 2021）认为，中文阅读的词切分和词识别是统一的过程，完成词切分则意味着完成词识别；反过来，一个词被成功识别则意味着这个词被成功切分。Liang 等人（2023）在该观点的基础上提出，虽然中文阅读的词切分和词识别同时完成，但词切分本身可能也包括若干个子过程。例如，在对双字词进行切分时，首词素切分和尾词素切分发生的时程可能有先后之分，先是首词素的切分，可能在被直接注视前（副中央凹加工）就已完成；尾词素切分则更多地发生在中央凹加工。本研究将沿用目前的主流观点，将词切分和词识别看作同一个过程。为了简化，文中将用词切分这一术语。此观点已在前言第一段以脚注形式标注，详见第 1 页底部。

上述参考文献列表如下：

- Li, X. S., & Pollatsek, A. (2020). An integrated model of word processing and eye-movement control during Chinese reading. *Psychological Review*, 127(6), 1139–1162.
- Yu, L. L., Liu, Y. P., & Reichle, E. D. (2021). A corpus-based versus experimental examination of word- and character-frequency effects in Chinese reading: Theoretical implications for models of reading. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(8), 1612–1641.
- Liang, F. F., Gao, Q., Li, X., Wang, Y. S., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2023). The importance of the positional

probability of word final (but not word initial) characters for word segmentation and identification in children and adults' natural Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 49(1), 98–115.

意见 2: 在正文的第三段，作者介绍了 Liang 等人基于 Li 等人（2009）提出的词识别和词切分模型解释词素位置概率信息在中文阅读中的作用方式。这个地方存在较大的错误。交互激活原始模型和 Li 等人（2009）的修正模型均未考虑词素位置信息，更遑论词首和词尾可能不同的结果。我不清楚 Li 等人是否会介意该文作者和 Liang 的过段解读，这至少不是一种严谨的引用方式。虽然可能可以在交互激活模型中加入词素位置概率等信息，但是这种更改会导致交互激活模型更加复杂，一个增加太多假设的模型会影响该模型的泛化能力，导致缺乏生物可行性。这个地方需要认真对待，至少要引用准确，回归交互激活模型的真正定义。

回应: 非常感谢审稿专家指出的引用错误，现已纠正，修改为：“Liang 等人（2015, 2017）在 Li 等人（2009）关于中文词切分和词识别模型基本假设的基础上，尝试解释了词素位置概率信息在中文阅读中的可能作用方式。” 详见第 2 页第 2 段第 9-11 行。

意见 3: 作者在介绍词切分和词切分模型时存在重大遗漏。Yu, Liu 和 Reichle 三人在 2021 年已经将 E-Z Reader 模型成功引入中文句子阅读，在这个新模型中他们提出了一种基于字词的熟悉性计算进行词切分的机制，可以很好解决中文旁中央视野词切分和词识别及眼动控制的问题。这种基于字词的熟悉性计算进行词切分的机制与本文的思路非常一致。词素位置概率及频率等信息会影响词的熟悉性计算，并与其形成交互作用。Chinese EZ Reader 模型为中文词切分和词切分提出了一种全新的思路。虽然 Chinese EZ Reader 的完整模型还在审稿过程中，但是它的原型版本已经在 JEP: General 发表 (Yu, L., Liu, Y., & Reichle, E. D. (2021). A corpus-based versus experimental examination of word- and character-frequency effects in Chinese reading: Theoretical implications for models of reading. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(8), 1612–1641)。为了加深本论文的理论贡献，建议作者结合这些理论进行讨论。

回应: 特别感谢审稿专家提出的新解释，这将大大提升本研究的理论价值。我们在引言和讨论中均已加入中文 E-Z 阅读者模型的讨论和对本研究问题的启示，详见第 4 页第 2 段第 4-9 行和第 18 页第 2 段第 1-7 行。

意见 4: 实验二的材料可能存在问题。在这个实验中，新词的首词素为同一汉字，但是它的词尾概率在 50% 左右。难道不是要求词首汉字的词首概率控制在 50% 吗？它在词尾的概率 50% 左右有什么用？

回应: 非常抱歉在第一稿中对实验材料的重要信息没有描述清晰，给审稿专家造成理解上的困扰。一个汉字用在双字词词首的概率与词尾的概率之和是 100%。第二个实验对尾词素位置概率进行了操纵，因此报告了首词素用在词尾的概率（50%），如果同时报告首词素用在词首和词尾的概率，更有助于理解。已将相关内容修改为：“新词的首词素为同一汉字，用在词首、词尾的概率均在 50% 左右。” 详见第 10 页 3.1.3 实验材料第 5-6 行。

意见 5: 本论文写作存在少量不清的地方。比如摘要第一句话“探讨重复学习新词时首、尾词素位置概率信息作用的变化模式”。对什么的作用的变化模式？这些重要信息不能省略。

回应: 摘要第一句话已修改为“探讨重复学习新词时首、尾词素位置概率信息作用于词切分的变化模式。” 详见摘要首句。

审稿人 2 意见：本研究结合中文阅读的眼动模型讨论首尾词素位置概率的词切分作用，采用阅读伴随词汇学习范式检验先前研究的矛盾结果，具有一定创新性和很好的理论价值。文章的引言和结果部分写得很清楚，但在研究方法和讨论部分需要进一步澄清。以下意见供参考：

意见 1：目前本文最关键的一个问题在于没有很清晰地解释出“首词素的作用时程更长，更稳定”这一结论的依据。（1）在实验二讨论的最后一段，作者提出“首词素位置概率与学习次数的交互作用表现在回视路径时间和总注视次数两个词汇加工晚期的眼动指标上，表明在词汇加工的相对早期阶段，首词素位置概率信息作用于新词学习的全程”。根据前半句无法推论出后半句。据我理解，支持“首词素位置概率信息作用于新词学习的全程”的结果应该是实验 1 凝视时间的主效应显著，凝视时间和学习次数交互作用不显著。（2）作者提出“在新词学习的后几次，首词素位置概率信息的词切分作用依然存在，而尾词素位置概率信息的词切分作用消失”。根据图 1 和图 3 的数据趋势，我反而觉得尾词素在更多学习时间出现稳定的效应，而首词素的效应局限在第一次学习时。

回应：非常感谢审稿专家提出的建议，我们从如下两方面进行了修改：

第一，在文中详细阐述了“首词素位置概率信息作用于新词学习全程”的推论过程，将相关内容修改为：“在实验 1 中，首词素位置概率与学习次数的交互作用表现在回视路径时间和总注视次数两个词汇加工晚期的眼动指标，并未表现在凝视时间这个反映词汇加工相对早期的眼动指标。上述结果表明在词汇加工的相对早期阶段，首词素位置概率信息作用贯穿于新词学习的全程（从第 1 次至第 6 次阅读），并未表现出首词素位置概率加工的“熟悉性效应”；而在词汇加工的相对晚期阶段，首词素位置概率信息的作用随着新词学习次数的递增而逐步减小，最后消失，表现出相应的“熟悉性效应。”详见第 14 页第 4 段第 2-7 行。

第二，依据审稿专家提出的关于首词素和尾词素位置概率效应随新词学习次数的变化模式，我们做了补充统计。第一稿中将新词学习次数作为连续变量纳入模型，在与首、尾词素位置概率信息发生交互作用后，依据二者的交互作用图进行了解释。依据审稿专家建议，我们以反映词汇整体加工的总注视时间作为因变量，分别对新词第四、五、六次的首、尾词素位置概率效应进行分析，结果如表 1、表 2 所示。在第四次学习中，首、尾词素位置概率效应均存在 ($|t|s > 2.46$)；在第五、六次学习中，首词素位置概率效应依然存在 ($|t|s > 2.15$)，而尾词素位置概率效应则消失 ($|t|s < 0.85$)。由此可知，第四至六次学习的统计结果与本文所陈述的观点（在新词学习的后几次，首词素位置概率信息的词切分作用依然存在，而尾词素位置概率信息的词切分作用消失）相符。

表 1 第四至六次新词学习的首词素位置概率效应分析结果汇总

学习次数	变量	b	SE	t	95%CI
第四次	截距	5.70	0.04	158.22	[5.62, 5.77]
	首词素位置概率	-0.08	0.02	-3.13	[-0.13, -0.03]
第五次	截距	5.72	0.04	154.75	[5.64, 5.79]
	首词素位置概率	-0.08	0.04	-2.31	[-0.15, -0.01]
第六次	截距	5.70	0.04	156.37	[5.63, 5.78]
	首词素位置概率	-0.07	0.03	-2.15	[-0.14, -0.01]

表 2 第四至六次新词学习的尾词素位置概率效应分析结果汇总

	学习次数	变量	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	95%CI
总注视时间	第四次	截距	5.71	0.03	193.45	[5.65, 5.77]
		尾词素位置概率	-0.07	0.03	-2.46	[-0.12, -0.01]
	第五次	截距	5.70	0.03	183.90	[5.64, 5.76]
		尾词素位置概率	-0.01	0.03	-0.23	[-0.06, 0.05]
	第六次	截距	5.73	0.04	155.12	[5.66, 5.80]
		尾词素位置概率	-0.03	0.03	-0.85	[-0.09, 0.03]

意见 2: 如果将中文句子从右往左排列, 或者将中文句子以单词系列呈现的形式进行阅读, 作者将如何预期? 相关讨论可以明确首尾词素位置概率在(前视野)词切分中的特定作用, 以区别于其在非语境和非句子阅读情境下进行新词学习的作用。

回应: 审稿专家的这条建议非常有建设性, 厘清词素位置概率信息在不同情境(单词阅读、句子阅读)中的作用, 将有助于全面理解词素位置概率信息作为中文阅读重要的词切分线索, 如何作用于新词学习的认知加工机制。本研究团队针对该问题做了一些相关工作, 不过距离从本质上来回答该问题仍有很长的路要走。关于词素位置概率信息的加工发生在中央凹, 还是副中央凹, 研究者做了一些工作。例如, Yen 等人(2012)操纵尾词素的位置概率信息以及尾词素与后一汉字是否能组合成一个词, 梁菲菲等人(2022)则操纵首词素位置概率信息和预视类型, 两项研究均发现首、尾词素位置概率信息的加工发生在中央凹区域, 并没有涉及副中央凹的加工。曹海波等人(2023)采用词汇判断任务发现, 在低频词识别时, 首词素的位置概率信息起作用, 而尾词素的位置概率信息不起作用, 这与自然阅读的研究结果相一致。再次印证, 词素位置概率的加工可能只与中央凹加工有关。如果这个观点成立, 我们大胆作出预期, 词素位置概率信息在词汇识别和词汇学习中的作用方式可能只与词频有关, 在阅读和非阅读情境中可能不会存在加工方面的差异。由此预期, 在新词学习中, 如果中文句子从右往左排列, 或是在单词系列呈现范式下, 首、尾词素位置概率的作用方式可能与本研究结果无多大不同。当然这只是作者的推测, 后续研究有必要针对审稿专家的建设性意见, 设计严谨的实验, 检验这种可能性, 为从本质上厘清词素位置概率在中文阅读中的作用方式做贡献。

上述参考文献列表如下:

- 曹海波, 兰泽波, 高峰, 于海涛, 李鹏, 王敬欣. (2023). 词素位置概率在中文阅读中的作用: 词汇判断和眼动研究. *心理学报*, 55(2), 159-176.
- 梁菲菲, 向颖, 龙梦灵. (2022). 首词素位置概率信息未参与汉语阅读的词切分: 基于副中央凹加工的证据. *心理与行为研究*, 20(3), 318-324.
- Yen, M. -H., Radach, R., Tzeng, J. L., & Tsai, J. L. (2012). Usage of statistical cues for word boundary in reading Chinese sentences. *Reading and Writing*, 25(5), 1007-1029.

意见 3: 方法部分: (1) 建议“将假词嵌入 6 个强限制性语境”改为“将假词嵌入 6 个强限制性语境的句子”。(2) 作者为“保证被试在不同语义类别下阅读尾词素相同的一对词”, 将材料分为了 8 个 block。采用 2 个 block 就可以达到了这个目的, 为什么是 8 个? 每个被试只读 1 个 block 吗? 请将这一段的内容再澄清一下。(3) 参与评定的被试是否会将句子的可理解性和通顺程度混为一谈, 他们是如何做到阅读还有假词的句子还能将句子评出具有

很高通顺程度的。具体的指导语是怎样的？（4）结果部分的数据分析描述建议单列在方法。

回应：根据审稿专家建议，作出如下修改：

第一，已修改为“将假词嵌入 6 个强限制性语境的句子”，详见第 5 页最后一段第 1 行。

第二，采用 8 个 block 的原因如下：本实验为被试内设计，每个被试需要学习所有新词（32 个，16 对），共包括 16 个语义类别（32 组句子框架）。如果仅用 2 个 block 的话，可以实现一对目标词分属两个不同的语义类别（例如，“朴坛”设为语义类别 1，“朴吊”设为语义类别 2），但是不能保证一对目标词出现在同一组句子框架中，因此，无法排除句子框架不同对实验结果造成的影响。

为了不让同一被试在同一语义类别下阅读同一对新词（如“朴坛”和“朴吊”），同时为了保证同一对新词出现在同一组句子框架中，我们首先将四对目标词在四个语义类别间进行拉丁方平衡（见表 4 的 block1-4），同时保证每一对目标词均有机会出现在同一组句子框架中，由此形成 8 个 block（block1 和 block5 句子框架相同，目标词为同一对；block2 和 block6，block3 和 block7，block4 和 block8 的句子框架相同，目标词为同一对）。如表 4 所示，从横向来看，同一对词出现在同一句子框架中；从纵向来看，同一被试在不同语义类别下阅读同一对新词，实现了最初的设计目的。部分目标词以及相应的拉丁方设计见表 3 和表 4 所示。

表 3 部分目标词对示例

目标词对	高概率	低概率
1	朴坛 1	朴吊 2
2	波尹 3	波眠 4
3	易阿 5	易岛 6
4	敏巨 7	敏迹 8

表 4 部分实验材料拉丁方设计举例

语义类别	词素位置概率	block1	block2	block3	block4	词素位置概率	block5	block6	block7	block8
1	高	朴坛 1	波尹 3	易阿 5	敏巨 7	低	朴吊 2	波眠 4	易岛 6	敏迹 8
	低	波眠 4	易岛 6	敏迹 8	朴吊 2	高	波尹 3	易阿 5	敏巨 7	朴坛 1
2	高	波尹 3	易阿 5	敏巨 7	朴坛 1	低	波眠 4	易岛 6	敏迹 8	朴吊 2
	低	易岛 6	敏迹 8	朴吊 2	波眠 4	高	易阿 5	敏巨 7	朴坛 1	波尹 3
3	高	易阿 5	敏巨 7	朴坛 1	波尹 3	低	易岛 6	敏迹 8	朴吊 2	波眠 4
	低	敏迹 8	朴吊 2	波眠 4	易岛 6	高	敏巨 7	朴坛 1	波尹 3	易阿 5
4	高	敏巨 7	朴坛 1	波尹 3	易阿 5	低	敏迹 8	朴吊 2	波眠 4	易岛 6
	低	朴吊 2	波眠 4	易岛 6	敏迹 8	高	朴坛 1	波尹 3	易阿 5	敏巨 7

第三，非常抱歉第一稿没有将句子可理解性和通顺性的评定过程描述清晰。在对句子难度和通顺性评定时，分别选取两组不同的被试进行评定，一组被试评定句子的通顺性，一组被试评定句子的难度。为了避免新词的出现对句子的通顺性和难度造成干扰，采用 Liang 等人（2015, 2017, 2021）研究中的评定方法，用语义相近的真词代替假词，例如，在评定“为

女朋友挑选勾席要花费很多心思”时，用真词“戒指”代替新词“勾席”，句子变为“为女朋友挑选戒指要花费很多心思”。句子难度和通顺性评定的指导语如下所示：

句子难度评定指导语：“亲爱的同学：现在请你仔细阅读每一个句子，根据你的理解对每个句子难度进行判断，并在相应数字上面画○。如果遇到不认识的字用○圈出来”。

句子通顺性评定指导语：“亲爱的同学：现在请你仔细阅读每一个句子，对该句子的通顺性做一个主观判断。其中，1代表“非常不通顺”；2代表“不通顺”；3代表“一般”；4代表“通顺”；5代表“非常通顺”。在你所选等级的数字上画“○”即可”。

第四，已将结果部分的数据分析方法单列在方法部分，详见第7页2.1.6数据分析。

上述参考文献列表如下：

- Liang, F. F., Blythe, H. I., Bai, X. J., Yan, G. L., Li, X., & Zang, C. L., & Liversedge, S. P. (2017). The role of character positional frequency on Chinese word learning during natural reading. *PLoS one*, 12(11), e0187656.
- Liang, F. F., Blythe, H. I., Zang, C. L., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2015). Positional character frequency and word spacing facilitate the acquisition of novel words during Chinese children's reading. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(5), 594–608.
- Liang, F. F., Ma, J., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2021). Initial landing position effects on Chinese word learning in children and adults. *Journal of Memory and Language*, 116(1), 104183.
-

编委意见：我阅读了文章，针对文章提出以下问题和建议：

意见 1：前言：第一，采用假词操纵词素位置概率信息的理论意义是什么？第二，采取眼动技术的研究动机是什么？对解决已有争论的具体作用是什么？

回应：本研究采用假词操纵词素位置概率有如下两方面考虑：第一，在理论层面，回答词素位置概率如何作用于中文阅读的词汇习得，是全面理解中文阅读词切分机制的关键。这是由于在阅读中的词汇习得从本质上反映的是一个词由不认识到认识，由不熟悉再到熟悉的过程，也就是说词汇习得研究情境可以从词汇化的连续发展过程中考察词素位置概率的词切分作用。如果仅操纵词频，将其作为二分变量，我们只能了解到词素位置概率信息在读者认识的词汇加工（包括低频词和高频词）中所起的作用。因此，在词汇习得中考察词素位置概率的词切分作用有助于我们从词频连续变化的视角来理解该问题。

第二，从操作层面，本研究采用 Blythe 等人（2012）的操纵方法，用假词代替现实中的真词，有两方面优势：首先，Blythe 等人（2012）在研究中发现假词和真词在阅读中的学习效果相当，而用假词作为新词，可以保证每个被试对所有新词均无先验知识，以避免该额外变量对实验结果造成的污染。此外，本研究采用假词作为新词，还方便我们更好地操纵词素位置概率这一重要的自变量，将其操纵达到最大化，并控制汉字笔画数、字频等额外变量。因为在常用的 5000 多个汉字中，能够明确提供双字词词首、词尾或是单字词的比例在 20% 左右（Yen et al., 2009），如果再保证尾词素相同，操纵首词素的位置概率信息；或是保证首词素相同，操纵尾词素的位置概率信息，几乎不能实现。如果用假词作为新词，这一操纵将可实现。

采用眼动追踪技术考察词素位置概率信息在中文阅读伴随词汇习得中的作用，其研究动

机和具体作用表现在如下两方面：

第一，结合眼动追踪技术的优势（是一种自然的、几乎无干扰的实时追踪技术，能够实时反映读者在阅读中的认知加工过程，见 Li et al., 2022, 《*Nature Reviews Psychology*》）和阅读伴随词汇习得的主要特征（伴随性和渐进性），采用该技术能够在没有附加认知任务的情境下记录读者的词汇习得过程，并在数据分析层面，选取本实验感兴趣的区域（新词）作为分析单元，同时将学习次数作为连续变量纳入模型，从注视时间和注视位置两方面分析词素位置概率信息在阅读伴随词汇习得中的作用进程。采用传统的词汇学习实验范式（“学习-测试”），首先破坏了阅读中进行词汇习得的“伴随性”，其次，学习后的测试环节仅能反映最终的词汇学习效果，而无法提供过程性的评价，眼动追踪技术的优势在于记录被试阅读时的眼动轨迹，为词汇习得提供过程性的评价，为解释最终的结果性评价提供证据。

第二，本研究采用眼动追踪技术考察首、尾词素位置概率信息如何作用于阅读伴随词汇习得，旨在解释的理论问题可总结为：本研究的理论问题是基于曹海波等人（2023）和 Liang 等人（2023）对于首、尾词素位置概率信息在中文阅读中所起的作用不一致而提出。上述两篇研究均采用眼动追踪技术，在自然阅读中操纵词汇的词素位置概率，通过对反映词汇加工不同阶段的眼动指标进行分析，试图明确首、尾词素位置概率信息作用于词汇加工的哪个阶段。如果发生在相对早期阶段，则可以推断词素位置概率信息的加工和词汇通达相关；如果发生在相对晚期阶段，则和词汇语义整合相关；如果同时发生在早期和晚期阶段，那么，词素位置概率信息的加工则同时和词汇通达以及语义整合相关。基于此推断，本研究将采用眼动追踪技术，关注的其中一个理论问题为揭示首、尾词素位置概率作用于中文阅读伴随词汇的加工时程是否具有差异。本研究结果发现，首、尾词素位置概率效应均同时发生在词汇加工的早期眼动指标（凝视时间）和晚期眼动指标（回视路径时间和总注视时间），表明首、尾词素位置概率信息可能同时在词汇通达和语义整合阶段起作用。

上述参考文献列表如下：

- 曹海波, 兰泽波, 高峰, 于海涛, 李鹏, 王敬欣. (2023). 词素位置概率在中文阅读中的作用: 词汇判断和眼动研究. *心理学报*, 55(2), 159–176.
- 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 & Language*, 67(2), 241–254.
- Li, X. S., Huang, L. J. Q., Yao, P. P., & Hyönä J. (2022). Universal and specific reading mechanisms across different writing systems. *Nature Reviews Psychology*, 1, 133–144.
- Liang, F. F., Gao, Q., Li, X., Wang, Y. S., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2023). The importance of the positional probability of word final (but not word initial) characters for word segmentation and identification in children and adults' natural Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 49(1), 98–115.
- Yen, M. H., Radach, R., Tzeng, O. J. L., Hung, D. L., & Tsai, J. L. (2009). Early parafoveal processing in reading Chinese sentences. *Acta Psychologica*, 131(1), 24–33.

意见 2：实验 1 首词素的字频尽管统计无显著差异，但也可能对结果产生影响，实验 2 的尾词素字频差异存在类似可能性，建议在数据分析时纳入考虑。

回应：非常感谢编委在数据分析方面提出的建设性意见。正如编委所提出的，虽然在两个实验条件中匹配了目标词首词素或是尾词素的字频，但是本质上字频也可能和词素位置概

率信息共同作用于词汇习得的词切分，这和 Yu 等人（2021）提出的基于字词熟悉性计算的词切分机制的观点相符合。遗憾的是，受限於新词学习时间不宜过长，新词数量不宜太多，研究设计不宜复杂，本研究没有直接操纵字频和词素位置概率。我们对现有的实验数据进行了事后分析，在两个实验中分别将首词素的字频（实验 1）和尾词素的字频（实验 2）作为连续变量纳入模型，结果分析见表 5 和表 6 所示。实验 1 分析结果显示，在首次注视时间、凝视时间、总注视时间和回视路径时间分析中，首词素字频与首词素位置概率信息、以及和学习次数均无交互作用（ $|t|s < 1.46$ ），表明首词素字频没有对首词素位置概率信息的词切分作用产生影响。实验 2 结果显示，在首次注视时间和凝视时间以及回视路径时间上，与实验 1 的结果类似，表明尾词素字频没有对尾词素位置概率信息的词切分作用产生影响。不过，在总注视时间这个眼动指标中，我们发现了尾词素字频和尾词素位置概率信息的二阶交互作用（ $t = 4.07$ ），以及和学习次数的三阶交互作用（ $|t| = 3.36$ ），表明尾词素的字频和尾词素的位置概率信息可能共同作用于新词学习的词切分。由于本研究并未直接操纵首、尾词素字频，只是将其进行了匹配，字频全距较小，数量有限，代表性有待考量，导致事后分析结果的有效性有待进一步检验。我们将在后续研究中，采用严格的实验设计，同时操纵字频和词素位置概率，厘清二者在词切分中的作用方式。再次感谢编委提出的建设性建议，后续研究必将深化我们对中文阅读词切分机制的认识。

表 5 首词素字频纳入分析后的模型统计结果

	变量	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	95%CI
首次注视时间	截距	5.48	0.02	265.00	[5.44, 5.52]
	首词素位置概率	-0.02	0.02	-1.18	[-0.06, 0.01]
	首词素字频	-0.00003	0.00005	0.73	[-0.0001, 0.0001]
	学习次数	-0.02	0.003	-6.72	[-0.03, -0.02]
	首词素位置概率×首词素字频	0.00002	0.0001	0.20	[-0.0002, 0.0002]
	首词素位置概率×学习次数	0.001	0.005	0.25	[-0.01, 0.01]
	首词素字频×学习次数	-0.00001	0.00001	-0.82	[-0.00003, 0.00001]
	首词素位置概率×首词素字频×学习次数	0.00001	0.00003	0.31	[-0.00004, 0.0001]
凝视时间	截距	5.69	0.03	196.46	[5.63, 5.75]
	首词素位置概率	-0.08	0.02	-3.18	[-0.12, -0.03]
	首词素字频	-0.00001	0.0001	-0.13	[-0.0001, 0.0001]
	学习次数	-0.05	0.01	-9.98	[-0.06, -0.04]
	首词素位置概率×首词素字频	0.0002	0.0001	1.23	[-0.0001, 0.0004]
	首词素位置概率×学习次数	0.01	0.01	1.96	[0.00002, 0.02]
	首词素字频×学习次数	0.000004	0.00002	0.25	[-0.00003, 0.00004]
	首词素位置概率×首词素字频×学习次数	-0.00003	0.00003	-0.91	[-0.0001, 0.00003]
总注视时间	截距	6.20	0.05	136.31	[6.12, 6.29]
	首词素位置概率	-0.15	0.03	-5.42	[-0.20, -0.09]
	首词素字频	0.0001	0.0001	0.77	[-0.0001, 0.0002]
	学习次数	-0.11	0.01	-12.54	[-0.12, -0.09]
	首词素位置概率×首词素字频	0.0001	0.0001	0.81	[-0.0002, 0.0004]
	首词素位置概率×学习次数	0.02	0.01	2.18	[0.002, 0.03]
	首词素字频×学习次数	0.00002	0.00002	0.88	[-0.00002, 0.0001]
	首词素位置概率×首词素字频×学习次数	-0.0001	0.00004	-1.46	[-0.0001, 0.00002]
回视路径时间	截距	6.04	0.04	136.09	[5.95, 6.13]
	首词素位置概率	-0.12	0.03	-3.84	[-0.19, -0.06]
	首词素字频	0.00003	0.0001	0.36	[-0.0001, 0.0002]
	学习次数	-0.09	0.01	-10.30	[-0.11, -0.07]
	首词素位置概率×首词素字频	0.0001	0.0002	0.43	[-0.0003, 0.0004]
	首词素位置概率×学习次数	0.02	0.01	2.27	[0.003, 0.04]
	首词素字频×学习次数	0.00001	0.00002	0.65	[-0.00003, 0.0001]
	首词素位置概率×首词素字频×学习次数	-0.00004	0.00004	-0.83	[-0.0001, 0.0001]

表 6 尾词素字频纳入分析后的模型统计结果

变量	<i>b</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>	95%CI	
截距	5.54	0.02	322.33	[5.50, 5.57]	
尾词素位置概率	-0.004	0.02	-0.22	[-0.04, 0.03]	
尾词素字频	-0.00001	0.00002	-0.40	[-0.00004, 0.00003]	
学习次数	-0.03	0.003	-10.03	[-0.04, -0.02]	
首次注视时间	尾词素位置概率×尾词素字频	-0.0001	0.00004	-1.42	[-0.0001, 0.00002]
	尾词素位置概率×学习次数	-0.0003	0.005	-0.07	[-0.01, 0.01]
	尾词素字频×学习次数	0.00001	0.000005	1.28	[-0.00003, 0.00002]
	尾词素位置概率×尾词素字频×学习次数	0.00001	0.00001	0.65	[-0.00001, 0.00003]
截距	5.79	0.03	225.61	[5.74, 5.84]	
尾词素位置概率	-0.09	0.02	-3.73	[-0.13, -0.04]	
尾词素字频	-0.0001	0.00003	-2.06	[-0.0001, -0.00002]	
学习次数	-0.07	0.005	-13.32	[-0.08, -0.06]	
凝视时间	尾词素位置概率×尾词素字频	0.000002	0.0001	0.03	[-0.0001, 0.0001]
	尾词素位置概率×学习次数	0.01	0.01	2.17	[0.001, 0.03]
	尾词素字频×学习次数	0.00001	0.00001	2.19	[0.000001, 0.00003]
	尾词素位置概率×尾词素字频×学习次数	-0.000003	0.00001	-0.24	[-0.00003, 0.00002]
截距	6.29	0.04	143.89	[6.20, 6.37]	
尾词素位置概率	-0.17	0.03	-6.44	[-0.22, -0.12]	
尾词素字频	0.0001	0.00003	3.58	[0.00005, 0.0002]	
学习次数	-0.12	0.01	-13.83	[-0.14, -0.11]	
总注视时间	尾词素位置概率×尾词素字频	0.0003	0.0001	4.07	[0.0001, 0.0004]
	尾词素位置概率×学习次数	0.03	0.01	4.43	[0.02, 0.04]
	尾词素字频×学习次数	-0.000004	0.00001	-0.51	[-0.00002, 0.00001]
	尾词素位置概率×尾词素字频×学习次数	-0.0001	0.00002	-3.36	[-0.0001, -0.00002]
截距	6.12	0.04	157.30	[6.05, 6.20]	
尾词素位置概率	-0.13	0.03	-4.20	[-0.19, -0.07]	
尾词素字频	0.00001	0.00003	0.22	[-0.0001, 0.0001]	
学习次数	-0.10	0.01	-12.82	[-0.12, -0.09]	
回视路径时间	尾词素位置概率×尾词素字频	0.00004	0.0001	0.58	[-0.0001, 0.0002]
	尾词素位置概率×学习次数	0.02	0.01	2.44	[0.004, 0.04]
	尾词素字频×学习次数	0.00001	0.00001	1.52	[-0.000004, 0.00003]
	尾词素位置概率×尾词素字频×学习次数	-0.00002	0.00002	-0.81	[-0.0001, 0.00002]

意见 3: 实验 1 和实验 2 中, 为什么阅读理解判断的正确率高于语义类别选择? 语义类别选择是在六个语境句呈现之后进行的, 其正确率应该高于阅读理解判断。是否实验条件的设置存在什么潜在的问题?

回应: 在阅读研究领域, 设置阅读理解判断题的目的在于提醒被试要认真阅读实验句子。因

此，题目相对简单，仅要求被试判断当前阅读的内容和前面阅读的句子所描述的内容是否一致，作简单的“是/否”判断。例如，实验句子为：“为女朋友挑选戒指要花费很多心思”，阅读理解判断题目可能为“为女朋友挑选戒指不需要花费太多心思”，答案是“否”。被试凭借记忆和对该句子语义的理解，就能轻松完成此类题目的回答。如果被试的阅读理解判断题目正确率较高，则说明该被试认真阅读了实验句子。如果被试的阅读理解判断题目正确率较低（例如低于 80%），则有理由相信这名被试没有认真参加实验，数据无效。

本研究所设置的语义类别选择题是在新词学习 6 次之后呈现，被试需要根据前面 6 个语境所提供的信息，推断新词的语义类别，并从四个选项中选出正确答案。新词学习领域的相关文献显示（Blythe et al., 2012; Bai et al., 2013; Liang et al., 2015, 2017, 2021），由于语义类别习得属于最为浅层的语义知识，习得速度相对较快，也较为容易。一般来说，语义类别判断题目的正确率也相对较高（高于 90%）。从本质上说，阅读理解判断题目的设置是为了检查被试是否认真参加实验，语义类别选择题的设置则是为了检验被试经过六次学习后，对新词语义类别的掌握程度。二者在设定目的和题目性质上没有可比性。

上述参考文献列表如下：

- 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*(S1), S4–S17.
- 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 & Language, 67*(2), 241–254.
- Liang, F. F., Blythe, H. I., Bai, X. J., Yan, G. L., Li, X., & Zang, C. L., & Liversedge, S. P. (2017). The role of character positional frequency on Chinese word learning during natural reading. *PloS one, 12*(11), e0187656.
- Liang, F. F., Blythe, H. I., Zang, C. L., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2015). Positional character frequency and word spacing facilitate the acquisition of novel words during Chinese children's reading. *Journal of Cognitive Psychology, 27*(5), 594–608.
- Liang, F. F., Ma, J., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2021). Initial landing position effects on Chinese word learning in children and adults. *Journal of Memory and Language, 116*(1), 104183.

意见 4：文中有时会出现中英混杂的情况，例如“block”，改成合适的中文表达。

回应：已将文中的“block”替换为“组块”，并将其它中英混杂的表达统一改为中文表达，详见第 6 页第 1 段第 3 行。

两位审稿专家认为该研究有一定理论意义，同意大修后再审。

第二轮

审稿人 1 意见：这一版本已较好回答上一轮提出的问题，建议发表。

回应：感谢专家在上一轮中的建设性修改建议，大大提升了本论文的理论贡献。

审稿人 2 意见：作者清楚地回答了我先前提出的问题。此外，是否考虑过采用非线性模型拟合学习次数的效应？

回应：感谢专家在研究方法部分给予的修改建议，特别感谢您在数据分析部分提出的用非线性混合模型拟合新词学习效应的建议。附带性词汇学习效应呈先快、后慢，最后趋于渐进线的趋势。严格来说，在数据分布上不完全符合线性分布，用非线性混合模型拟合学习效应可能更适用。然而，受限于数据分析方法的发展，目前关于附带性词汇学习的研究采用线性混合模型拟合学习效应（Joseph et al., 2014; Liang et al., 2021），再或者通过数据分布，人为地将学习次数分为学习早期、中期和晚期，以便更好地反映各视觉和语言因素在新词学习各个阶段中的作用（Blythe et al., 2012; Liang et al., 2015, 2017; Pagan et al., 2019）。研究结果也发现，前几次阅读在新词学习中的作用相对较大。

在专家提出该建议后，我们查阅相关文献，发现德国波茨坦大学（University of Potstam）的研究学者 Meixner 等人（2021, *Journal of Experimental Psychology: General*）用非线性混合模型（Nonlinear mixed models, NLMs）拟合了阅读知觉广度的发展。他们在模型中加入了渐近值（*asym*）和变化率（*lrc*）两个参数，结合阅读速度和这两个参数值共同评估阅读知觉广度的发展，取得了很好的效果。模型如下所示：

$$y_{ij} = (asym + b_{1ij})(1 - \exp(-\exp(lrc + b_{2ij})x_j)) + \varepsilon_{ij}$$

由于阅读速度和阅读窗口大小的关系，可类比于新词学习表现和学习次数之间的关系，我们推断用非线性混合模型模拟学习次数已成为了可能：渐近值可用来衡量一个新词的最终学习效果；变化率可以反映新词学习的速率。接下来，我们将采用非线性混合模型，再次分析我们之前关于新词学习所有实验数据，从更为细致的层面分析视觉因素和语言因素在新词学习中的作用。我们相信，数据分析方法的更新将有助于我们从本质上理解词汇习得的累积效应。再次感谢审稿专家在数据分析方面的建议，这必将助推新词学习研究领域的快速发展。

参考文献：

- 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(2), 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2012.05.004>.
- Joseph, H. S., Wonnacott, E., Forbes, P., & Nation, K. (2014). Becoming a written word: Eye movements reveal order of acquisition effects following incidental exposure to new words during silent reading. *Cognition*, 133(1), 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.06.015>.
- Liang, F. F., Blythe, H. I., Bai, X. J., Yan, G. L., Li, X., Zang, C. L., & Liversedge, S. P. (2017). The role of character positional frequency on Chinese word learning during natural reading. *PLoS One*, 12(11), e0187656. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.1000918>.
- Liang, F. F., Blythe, H. I., Zang, C. L., Bai, X. J., Yan, G. L., Li, X., & Liversedge, S. P. (2015). Positional character frequency and word spacing facilitate the acquisition of novel words during Chinese children's reading. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(5), 594–608.
- Liang, F. F., Ma, J., Bai, X. J., & Liversedge, S. P. (2021). Initial landing position effects on Chinese word learning in children and adults. *Journal of Memory and Language*, 116(4), 104183. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104183>

Meixner, J. M., Nixon, J. S., & Laubrock, J. (2021) The perceptual span is dynamically adjusted in response to foveal load by beginning readers. *Journal of Experimental psychology: General*, 151(6), 1219-1232. <https://doi.org/10.1037/xge0001140>

Pagan, A., & Nation, K. (2019). Learning words via reading: Contextual diversity, spacing, and retrieval effects in adults. *Cognitive Science*, 43, e12705. <https://doi.org/10.1111/cogs.12705>

第三轮

审稿人 2 意见：作者很好地回答了我提出的问题，推荐发表此文。

编委意见：经过两轮修改，文章的质量得到了较大的提升，两位审稿专家都对作者的回复和修改表示满意。我同意两位审稿专家的看法，建议接受发表。

主编意见：针对已有研究存在的矛盾结果，本论文通过两个平行实验，对重复学习新词时首、尾词素位置概率信息的不同作用进行了考察。本论文研究框架清晰，数据处理过程科学规范，获得的研究结论可信。