

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：记忆快速巩固：基于图式的学习与重复再激活

作者：周帆 田昊月 姜英杰

第一轮

审稿人 1 意见：

本文较为详细地综述了记忆巩固的相关文献，并提出了基于图式的学习和记忆重复再激活两种记忆巩固的分类形式。有一些问题如下：

意见 1：文章中强调“记忆快速巩固”，同时主要关注“系统巩固”，这个说法容易和一些文献中的快速巩固（主要发生在海马及相关结构）和慢速巩固（主要发生在皮层及其他结构）相冲突。

回应：感谢审稿人指出了可能的混淆，对此，我们对引言第一段最后一句进行了修改。在介绍记忆巩固分为快速的“突触/细胞巩固”和缓慢的“系统巩固”之后，指出：“本文探讨记忆的快速巩固，但这里主要是指快速的‘系统巩固’”。这样能更好地衔接下一段关于“系统巩固”慢与快的阐述，也进一步规避了将“记忆快速巩固”理解为“突触/细胞巩固”的风险。

意见 2：本文提出了基于图式的学习和记忆重复再激活两种分类，这两种模式在很多层面有类似或者不同的特点。比如睡眠、提取和图式有很大关联，而同属于重复再激活的睡眠和提取之间又有很大差别。图式偏重于编码，睡眠是一种状态，提取又是另一个阶段。其他的记忆巩固分类方式都有较为明确的依据，比如基于层次和阶段（海马和皮层，突触和系统），基于内容（情景记忆和语义记忆），基于时间（短时和长时），基于意识状态（睡眠和清醒）等等。文中分类的依据是什么？

回应：本文先梳理了记忆巩固速度变快的四种情况：先前经验、特殊编码方式、睡眠、提取。在文章中，先前经验主要是指先前的学习，即测验之前进行的相似训练；睡眠并不是指整个睡眠状态，而是指一次睡眠当中特定的脑活动，即 4.2 部分详细介绍的睡眠过程中的“记忆回放”。因此，加上特殊编码和提取，这四种情况涉及的都是加工过程对记忆巩固速度的影响。如审稿人所指出的，文中使用睡眠作为小标题，容易被当做睡眠状态，因而在修改稿中 3.3 小标题被修改为“睡眠过程”以避免歧义，同时增强与同级标题之间的一致性。另外，在下一部分承上启下的段落中也对 4 种情形进行了简单的总结。

之后本文总结提出了两种快速巩固的机制，即基于图式的学习和重复再激活，并重点分析阐述了对这一观点的支撑：其一是各种情况之间的内部关联，先前经验和特殊编码方式都与图式有关，而睡眠和提取都涉及到记忆重复激活；其二是与已有记忆巩固理论的关联，在已有记忆巩固的框架中，图式和重复再激活都具有加速记忆巩固的潜在可能性。

意见 3：文中并未明确该分类方式本质神经机制的不同。两种模式似乎都可以解释为已有激活模式的利用以及 Hebb 学习法则：基于图式的学习是新刺激引起已有图式结构（已有激活结构）的激活；重复再激活是之前激活的结构再次激活（睡眠和提取都提到有利于与已有经验或概念的融合）。本质上都是已有神经网络结构的重复激活，从而巩固记忆。

回应：确实如审稿人所思考的，本文总结的两种快速巩固机制在神经元、突触甚至分子水平

可能形成统一解释（见 Hebscher et al., 2019 的理论猜想）。这恰好也暗示了这两种机制的合理性。但继续深入展开这一部分则会发现缺少实证研究支撑，更多是理论猜想，因此本文对记忆快速巩固的分析主要聚焦在目前已经取得一定成果的代表水平。

意见 4: 图式的神经基础是什么？图式发生在哪里？什么程度的知识结构可以称为图式？不光新刺激的加入会影响已有图式，“提取已经巩固的记忆还会使该记忆变得不稳定”，也就是提取也会影响已有图式，那么图式到底是什么？

回应: 我们十分理解审稿人的疑问。图式这一概念在记忆巩固、语义记忆、情境记忆等相近领域被广泛使用。从不同角度出发它具有不同的含义：从神经基础上看，van Kesteren 等人（2012）认为图式是皮层上一组相互之间紧密相连的激活网络；从行为上看，图式是从多个相似经历中抽象出来的知识(Sekeres et al., 2018)。而随着各领域的深入发展，从动态的视角来看，图式与语义知识、记忆巩固等概念也逐渐重叠，如 Renoult 等人（2019）在 *Trends in Cognitive Sciences* 上的综述所说：“In recent years, systems consolidation has become increasingly intertwined with the construct of memory ‘semanticization’ and schematization, processes by which semantic knowledge and schemas emerge from episodic memory or assimilate aspects of it.”本文聚焦记忆巩固这一动态过程，并介绍了记忆巩固的转变观点，“图式”因此具有相对丰富的含义，但并未超出上述定义。

意见 5: 文中没有提到主动和被动在两种记忆巩固机制中的作用。

回应: Hebscher 等人（2019）将本文中介绍的特殊编码方式，即“快速映射”和“一体化”描述为主动发现。主动性是这两种编码方式的一个共同点，但是基于以下原因，本文并未探讨主动和被动对记忆巩固速度的影响：其一，Hebscher 等人（2019）也承认，主动性在快速皮层学习中的作用目前知之甚少，这主要是由于已有的记忆巩固理论和研究较少关注这一因素，因此也难以与已有理论相衔接；其二，编码过程中的主动性通常意味着提取和利用个体已有知识，因此可以用图式来解释其对记忆巩固速度的影响，也能更好地与已有理论和研究相衔接。

意见 6: 这种分类方式在解释文章中提出的一些问题方面相比其他理论或者分类有什么优势？对于解释文中提出的问题有什么优势？比如短时和长时的记忆巩固，海马受损病人的不同记忆损伤，记忆巩固的应用等。

回应: 对记忆快速巩固的情况进行分类并不是本文的目的，本文分析这些情形之间的关联是为了总结记忆快速巩固的机制，即记忆巩固如何加速。因此挖掘不同情形中的共同要素时，主要出发点是需要这一要素在已有记忆巩固框架中能够影响记忆巩固的速度。于是本文论述的重点是：1，指出不同记忆快速巩固情形中具有的共同要素，即基于图式的学习和重复再激活；2，阐述基于图式的学习和重复再激活如何加速记忆的巩固。据我们所知，并不存在相并列的其它机制解释，所以无需做对比分析。

意见 7: 缩写应详细注明，如 DRM 范式。

回应: 感谢审稿人指出这一细节，修改稿中已经进行了相应补充。

.....
审稿人 2 意见:

该综述系统梳理了基于图式与重复再激活的记忆快速巩固研究证据，并指出了多个有意义的未来研究方向。但仍存在以下可修改提升的空间：

意见 1: 虽然该综述系统梳理了记忆快速巩固的相关研究证据,但较少提出自己独特的理论观点。

回应: 本文对记忆快速记忆巩固的相关文献进行了据我们所知最为全面的梳理,在此基础上,我们提出了两种记忆快速巩固的机制,这是本文最主要的观点创新。这一创新较为简单明了,但需要组织和引用大量文献来加以论证。对文献的组织方式和引用方式是体现我们思考和创新的主体部分,但在用颜色标识本文独特观点时,我们相对保守,在大段的分析当中区分了自己的观点和文献中的观点,只有重点地标出了自己的独特观点。

意见 2: 对于某些研究或某些研究范式介绍过于简单、抽象,不便于其他非领域专家的理解;例如“与直接的外显编码不同,快速映射需要被试通过推测来进行学习。如给被试呈现两只昆虫的图片,一只熟悉的蚰蚰,另一只是未见过的昆虫 XX,然后问被试:XX 的触须是向上的吗?由于蟋蟀是熟悉的,因而被试能够通过排除法推测出 XX 是图中新昆虫的名字。”部分过于晦涩难懂。

回应: 感谢审稿人指出本文对研究范式介绍的不足,修改稿更详细准确地重新对快速映射范式进行了描述:给被试呈现一张图片,图中有两只昆虫,一只被试熟悉的蚰蚰,另一只则是被试不认识的昆虫,两只昆虫的一个共同特点是都有触须。相应地,图片下方则是需要回答的问题:XX 的触须是向上的吗?其中 XX 是作者设计的假词,由于蚰蚰是熟悉的,因而被试能够通过排除法习得另一种昆虫的名字 XX。

意见 3: 对于某些理论的介绍可以采用图式的方式,方便读者理解,比如众多研究会采用图式的方式解释“标准巩固理论”模型。

回应: 本文涉及的理论数量较多,涵盖的领域较广,这可能是读者产生认知负荷的重要原因。但重点的理论或者模型并不复杂,所以未采用图式的方式来呈现。

意见 4: 写作方面存在一定的小问题,例如“(Trace Transformation Theory, TTT, Winocur & Moscovitch, 2011)、索引(Indexing, Teyler & DiScenna, 1986)”,当英文名称和参考文献出现在同一括号内时,两者之间应使用分号,而非逗号分隔。

回应: 感谢审稿人指出这一问题,修改稿已经对全文进行了检查和更正。

意见 5: 文中出现部分写作或表达错误,例如“CT 认为记忆”。

回应: 感谢审稿人指出这一错误,修改稿中已经将“CT”更正为“SCT”。

意见 6: 在每个模块或段落结束后,添加总结段或总结句,方便读者总结整个模块或段落的核心思想。

回应: 感谢审稿人对文章可读性的建议。本文在一级标题 3,4,5 部分的开头都安排了承上启下的段落,对主要的梳理和论述部分做了简单的总结,但第 4 部分第一段对第 3 部分的总结不足,修改稿进行了调整:“上文描述了四种记忆快速巩固的情形,反映了不同认知过程或经验对记忆巩固速度的促进。这些促进记忆快速巩固的方式之间也存在关联”。

意见 7: 论文中出现过多的理论,可考虑使用表格的形式总结多个理论的核心观点、相似之处、差别之处等。

回应: 由于本文的目的并不是对比分析不同的理论,所提出的观点也并不与这些理论形成并列关系,所以总结性的表格虽然会增强文章的全面性,但可能会削弱和干扰读者对文章主线的理解,故未使用表格对多个理论进行总结。

第二轮

审稿人 1 意见：修改稿对一些意见进行了回复，但没有实质性的改动。仍有一些疑问如下：

意见 1：对于本文提出的基于图式的学习和记忆重复再激活两种机制，需要进一步明确分类依据，而不是对以往发现的快速巩固方式的简单的形式上的归类，以及阐明这种分类的意义。文中的讨论也并没有达到“机制”的层面。

回应：原稿中我们描述了两种不同的记忆巩固途径，但缺少对其本质差异的分析总结，即审稿人所说的分类依据。修改稿在 4.3 两种途径之间的关系部分对此进行了补充：“虽然两条途径都能促进记忆的快速巩固，但也存在显著差异：图式途径依赖已有知识结构，记忆巩固的结果是对已有知识结构的调整，使其能够整合吸纳新的输入；而重复再激活则无需这一前置条件，通过这一途径，个体能够获得独立的新知识。”

另外，经审稿人提醒，我们将“机制”改为“途径”，这一表述更加准确地描述了我们综述文献的相关总结发现。

意见 2：如果两种机制在神经层面上可能是一致的，为什么“也暗示了这两种机制的合理性”？

回应：对上一轮审稿意见，我们在解释为什么没有区分两种途径（机制）在神经机制上的差异时，回复到两种记忆快速巩固途径在神经元、突触层面可能达成统一，而本文更关注从行为到表征水平的过程。“也暗示了这两种机制的合理性”这一表述本意是从概率的角度来推测，如果两条途径能在后续殊途同归，那么在一定程度上，两者能够相互印证。然而这一表述具有模糊性，很抱歉对审稿人造成困扰。

在新的修改稿中，一方面，我们将“机制”改为“途径”，缩小了指称范围；另一方面，也加强了两种途径差异的讨论分析。

意见 3：既然提出基于图式的机制，必须明确这里的“图式”到底是指什么，不然两种机制可能是混淆的。比如，如果图式是由于以往经验形成的结构造成的特定激活模式，而重复再激活的巩固作用也是基于以往激活模式的重复。

回应：感谢审稿人强调这一点。为了使“图式”在本文中具有更加清晰的界定，修改稿检查了全文中对这一术语的使用。在 3.1 先前学习经验部分，“图式”的含义是认知神经科学对这一术语的操作定义。在 3.2 部分，我们将原先使用的“图式”替换为更直接的“已有知识”。然后在 4.1 部分总结基于图式的学习时，探讨了图式的定义，并将 3.1 和 3.2 部分的内容统一到本文所使用的“图式”定义中：“作为一个在心理学中被广泛使用的术语，图式缺少明确统一的定义，研究者更多是从功能上来对其进行描述，且其含义在不同时期、不同研究领域也存在差异。Head 和 Holmes(1911)最初提出的图式是一种能够帮助理解新信息的认知结构。之后 Bartlett(1932)将图式引入记忆领域，认为提取不只是复现先前经验，也会根据图式来重新建构。当 Piaget(1952)在发展心理学研究中使用这一术语时，其提出的同化(assimilation)和顺应(accommodation)则更强调图式的动态性和适应性。近年来，在考察已有知识对新的学习的影响时，特别是在认知神经科学当中，研究者常常宽泛地将图式解释为皮层上一组相互之间紧密相连的激活网络(Gilboa & Marlatte, 2017; van Kesteren et al., 2012)。这一定义包含了各种不同类型的先验知识，采用这一定义，前文中描述的先前学习经验和特殊编码方式对记忆巩固的促进则都与图式有关。”

另外，本文新增了对两种巩固途径差异的分析，可以避免审稿人所说的混淆。一种途径是对已有知识结构的调整，而另一条途径则是建立新的知识结构。

审稿人 2 意见:

作者对于上一轮的审稿意见已有部分较为合理的回复,但仍存在以下不足之处,使得本人难以直接推荐其发表。

作者在文中仅列出了几个能够影响记忆快速巩固的因素,包括睡眠、提取、一体化和快速映射。虽然这几个因素能够较为合理地纳入到作者提出的两种路径(图示和重复激活),但是还有很多因素是作者没有考虑到的。例如,注意、动机、间隔学习、自我参照、深层加工、生存加工等等。这些因素的影响也能够很好地被图示和重复激活所解释吗?这一点是需要加以说明的。

回应: 审稿人指出了记忆研究中影响记忆成绩的一些典型因素。这些因素主要影响记忆的编码阶段,因此在探讨巩固阶段时被我们所忽视。在修改稿中,我们将这些因素与与本文描述的影响记忆巩固速度的情形做出了区分:“另外,记忆巩固的前提是先得到编码,更好的编码通常伴随着更快更好的巩固(Herbert & Burt, 2004; Fitzroy et al., 2021)。因此,影响记忆编码的因素,如注意、加工深度等可以通过影响编码阶段来间接影响记忆巩固速度。而本文介绍的几种情形则是直接影响记忆巩固,图式和睡眠都会影响编码后巩固相关的脑活动(Cowan et al., 2020; Sommer, 2017),两种特殊编码方式以及提取虽然主要涉及在线加工,但其神经过程被认为与离线巩固相一致 (Antony et al., 2017; Merhav et al., 2015)。”

第三轮

审稿人 1 意见: 论文的修改更明确了作者想表达的内容。有以下建议:

意见 1: P20: “这一定义包含了各种不同类型的先验知识。。。”。这里的“定义”有歧义,是指前述的所有“图式”定义,还是指前一句在认知神经科学中的定义?

回应: 感谢审稿人指出文中这一表述问题,修改稿对这里进行了重写:“这种宽泛的定义将不同类型的先验知识都归为图式,表明这些知识可能以一种相似的方式影响新学习。根据这一定义,前文中描述的先前学习经验和特殊编码方式则都可以看作是基于图式的学习。”这样避免了歧义,也补充了引入的定义与前后文的衔接关系。

意见 2: 论文修改中引入的认知神经科学中对图式的定义过于宽泛,有研究认为只要有记忆,就会形成一组特定的激活网络。从这个意义上来说,重复再激活也是对之前形成的特定激活网络的再激活。但作者应该不想造成这样的混淆?

回应: 我们认同任何记忆都有一组特定的激活网络这一观点。不过图式与重复再激活涉及的激活网络具有不同的性质。图式涉及的激活网络各节点之间密切相连,常常共同激活。而重复再激活是对先前情景记忆的激活,在这一记忆痕迹巩固之前,其激活网络并不稳定。只有经过多次重复再激活,即记忆巩固之后,才具有与图式类似的激活网络。

为了使这里图式的定义更加清晰,减少混淆,修改稿对定义进行了补充:“研究者们通常将图式宽泛地解释为皮层上一组相互紧密联结而常常共同激活的神经网络”。

意见 3: P24: “重复再激活。。个体能够获得独立的新知识”,这句话说得过大。文中的重复再激活是从睡眠和提取等记忆快速巩固方式中总结的,如果通过睡眠和提取巩固的记忆都能获得独立的新知识,那就是所有知识都是新知识。

回应: 为了强调两条途径的差异,这里使用了过于泛化和绝对的表达。修改稿中修改为:“图式途径依赖已有知识结构,记忆巩固的结果是对已有知识结构的调整,使其能够整合吸纳新

的输入；而重复再激活则无需这一前置条件，记忆巩固的结果是形成一个专门容纳新输入的抽象表征。”这一表述保留了两条途径的差异，也避免了过度的泛化。

审稿人 2 意见：作者已经对审稿意见进行了较为完善的修改，暂无更多意见！

回应：感谢审稿人提供的意见，对改善本文的质量起到了重要作用！

第四轮

编委 1 意见：作者已经做较好的修改或回复，达到发表水平。

编委 2 意见：该稿件经过 3 轮修改，质量有了较大提高。结合两位审稿人的意见，同意发表。

主编意见：稿件经过多位专家的审阅，作者进行了认真的修改，达到发表水平，同意发表。