

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：认知地图及其内在机制

作者：吴文雅，王亮

第一轮

审稿人 1 意见：

这篇论文较为系统地回顾了认知地图的相关理论、典型属性和相关脑区，并在此基础上提出了未来研究的关注点包括认知地图的层级变化、空间维度和范围的扩展、认知地图假说的局限性。总体来说，涉及的内容较为丰富和全面，且国内没有类似的综述论文，具有较大的发表价值。但是，目前这个版本也存在局部逻辑不清晰、各部分关系需要进一步联系整合，开篇和结尾需要进一步打磨等问题。具体意见如下：

回应：

非常感谢您对本文内容给予的认可和肯定！同时也非常感谢您在耐心审阅之后，不仅指出了本文存在的不足，还明确提供了有建设性的修改思路 and 方向！希望修改后的论文能够很好地解决您关注的问题。

意见 1：

本论文的开篇就开始评述认知地图的各种理论，且在评述中涉及了相关神经基础（但又没有足够清晰地介绍神经基础）和典型属性（但是零散地分布于各处），随后才又另辟两个章节专门介绍认知地图的典型属性和相关脑区，读起来有破碎重复混淆的感觉。从逻辑上来说，可能更好的方式是先向读者介绍认知地图的典型属性和相关脑区，之后再介绍各个理论的解释和争论，之后再从理论出发来讲未来的研究方向。此外，各部分论述内容之间的统一性还需提高。比如，（1）作为本论文突出贡献的层级性问题，在述评前人理论时一点都没有提到（即 2 认知地图的存在形式），是前人在建构理论时压根忽视了这个问题吗？那发现空间表征存在层级性的前人研究，都没有从认知地图的角度来解释吗？（2）关于认知地图的选择性、扭曲性、冗余性，对其的论述也仅局限于 3.1，在论文的其他部分均未提及，这不禁让读者困惑这些内容难道没有理论价值吗？没有生理基础吗？不值得未来研究吗？

回应：

非常感谢您的宝贵意见和建议！您的**意见 1 第一部分**指出，本文在组织认知地图的典型属性、相关脑区以及存在形式上的理论争议这三部分内容时存在逻辑不够清晰、不同模块内容部分重复的问题。一方面，对于理论争议部分与神经机制模块的内容不完全独立的问题，是因为认知地图存在形式的理论假设在一定程度上是基于神经生理学证据的发现而提出的，例如在实验研究发现了海马位置细胞和内嗅网格细胞这两种对欧式度量结构敏感的细胞之后，O'Keefe 和 Nadel（1978）才提出了欧式地图假设；而对位置细胞功能并不局限于欧式空间表征的观点则促使 Eichenbaum 等人提出记忆空间理论（1999）以及后续研究者进一步提出拓扑图假设。另一方面，对于理论争议部分与典型属性模块的内容不完全独立的问题，是因为认知地图存在形式的不同理论假设在一定程度上都有其合理性，能反映出行为或神经现象所揭示的认知地图的某些属性，但也都会存在局限，以类似于“盲人摸象”的方式从各自的角度对认知地图进行解释。因此，认知地图的理论争议、典型属性和相关脑区这三部分内容关联较为紧密，很难泾渭分明地完全独立。

但是正如您指出的，本文开篇就开始评述认知地图的理论争议，这不可避免地涉及后面典型属性和相关脑区这两个模块的内容，但却不够充分和清晰。您给出的建议是先介绍认知地图的典型属性和相关脑区，之后再介绍各个理论的解释和争论，由此引出未来的研究方向，这个建议对于进一步理清本文的逻辑、避免表述上的重复破碎有很大价值。因此，在修改稿中，我们参考您的建议，对三部分内容进行了重新组织，首先基于行为现象和功能考虑归纳认知地图的典型属性，随后介绍认知地图相关的脑区，最后基于以上两部分梳理认知地图现有的理论争议，最后在研究展望部分提出以上三部分之间的关联（“5.1 认知地图的层级性变化”）以及其他有价值的未来研究方向。

您的**意见 1 第二部分**指出，各部分内容之间的统一性有待提高。

意见 1 第二部分的第（1）点指出，本文在述评认知地图存在形式相关理论时没有提到层级性相关的前人理论，事实上并非是前人在建构理论时忽视了层级性，早期有研究者根据空间表征的相关行为现象提出了层级性理论（hierarchical theories），认为一个环境的不同区域会被存储在树状结构的不同分支，以层级的方式表征信息（McNamara, 1986）。由于层级性理论提出的年代很久远，并且在近年来的认知地图相关文献中未被关注，所以在论文写作中我们就没有把该理论作为一个独立的小节展开，而是把该理论的核心内容（即层级性）放在认知地图的基本属性中加以介绍。这样组织可能会让读者误以为认知地图的层级性并没有理论价值，因此我们依据您的建议，在理论争议部分最后增添了一个小节“4.5 层级性理

论”进行补充。近来大多研究关注的欧式地图和拓扑图在前人研究中被描述为非层级的认知地图,并且这两种表征的近期研究也几乎没有考虑层级性在二者构建过程中可能发生的变化或产生的影响。但如本文展望部分提出的推测,层级性与空间尺度密切相关,因此欧式地图和拓扑图可能也是具有层级性的,并且这种层级性会在认知地图建立的过程中逐渐发生变化。

意见 1 第二部分的第 (2) 点指出,对于认知地图典型属性(选择性、扭曲性、冗余性)的论述局限于 3.1,没有充分展现它们理论价值、生理基础和未来研究方向。这些典型属性是从行为表现和功能视角对认知地图的特征给出的描述,选择性和扭曲性主要是从行为和建模研究中归纳得到,对于二者的神经机制研究尚不太丰富。我们通过进一步检索文献发现,内嗅皮层网格细胞所提供的几何标度变形可能是认知地图扭曲性的主要原因(Bellmund, et al., 2020)。而认知地图的选择性可能与海马和眶额叶的交互有关,在近期的一项 fMRI 结合建模的研究中,海马可以同时构建空间位置地图和预测性关系地图(相当于本文中的拓扑图),但会根据任务需求而选择性强化表征其中一种,而弱化另外一种,这个过程会受到眶额叶的指导(Garvert, Saanum, Schulz, Schuck, & Doeller, 2023)。但也有研究发现海马和眶额叶在认知地图的选择上可能存在的是平行运作甚至竞争的关系,而不是上述的前馈关系(Zong, et al., 2023),未来还需要进一步探索二者在实现认知地图选择性中的功能角色及两个脑区彼此间的关系。

此外,冗余性是与灵活性伴随的,同时存储多种形式的认知地图以待调用,保证了在面临任务变化时行为的灵活性,这个思想是由 Yousif (2022) 从理论和辩证的角度提出的,直接探究冗余性神经机制的研究目前仍存在空白,可能是受到既有实验范式的约束,因此有待未来研究重点关注这个问题。

由上可知,认知地图的这些典型属性是从零碎的行为、建模以及部分电生理研究中归纳得到,目前尚缺乏完善而有针对性的理论建构,这也是未来研究的重要方向。在修改过程中,我们补充了上述这些遗漏的内容,在神经机制模块的论述中增添了这些基本属性中已被证实的生理基础,同时也在最后结语部分指出综合考虑认知地图的典型属性并基于此进行理论建构的必要性。

意见 2:

引言第一段,提及了常见的外部表征以及长期依赖于导航软件可能会导致空间记忆和导航能力的退化。这些内容和本文论述的主旨关系不大,且有误导读者认为本论文讨论的

是外部和内部表征关系的问题。这个开篇可以考虑修改得更加切合主题且更吸引广泛的读者群体。

回应：

非常感谢您的宝贵意见和建议！本文论述的主旨是空间知识的内部表征（也称“认知地图”），引言第一段中提及外部表征的主要目的是将其与内部表征进行区分，突出强调二者之间的差别以免读者混淆常见的平面地图或导航软件（如高德地图）与本文关注的认知地图。此外提及长期依赖于外部表征可能会导致空间记忆和导航能力的退化，目的在于凸显认知地图的重要性和研究价值。虽然有上述考虑，但在写作过程中可能没有很好地分清主次，所以在一定程度上可能会引起读者对本文讨论的内容产生错误预期。

此外，结合意见 6，我们进一步对认知地图相关中文文献进行检索，发现认知地图这个概念虽然诞生于心理学领域，但吸引了多个学科的研究兴趣，如行为地理学、地图学、机器人学等，因此认知地图的研究群体（和读者群体）可能是相当广泛的。然而目前国内认知地图相关的心理学研究相较于其他学科并没有占据“先行者优势”，间接表明未来国内心理学界加大对认知地图研究关注度的迫切性。

基于上述原因，我们对引言部分进行了修改和重新撰写，详见“1 引言”部分的红色字体。

意见 3：

论文的最后建议增加一个结语，目前是在研究展望部分戛然而止，读起来颇有一种被踩了急刹车的感觉。

回应：

非常感谢您的宝贵意见和建议！根据您的建议，为避免文章在提出展望后没有收尾就戛然而止，我们在研究展望部分最后增加了一个小节作为本论文的结语，较为凝练地总结了文章内容，方便读者进行简要回顾。详见“5.4 结语”红色字体。

意见 4：

建议在写作中，考虑读者群的知识背景基础，适度增加对某些概念的介绍说明。比如，第四页，“而网格细胞在动物处于平铺环境的等边三角形顶点处发放，并且表现出六周期的旋转对称性”，这个内容对于没有相关空间认知神经学知识的读者是很难理解的。相信作者并不希望自己的论文只有国内的小同行感兴趣。

回应：

非常感谢您的宝贵意见和建议！为便于读者理解，我们已经对网格细胞和位置细胞的概念附图进行直观解释。

意见 5:

一些关键的术语，建议在正文中增加其对应英文，如欧式地图、拓扑图等；而对于另外一些术语，尽管作者给出了其对应英文，但并不是在该术语第一次出现时就给出，如位置细胞、网格细胞等。

回应:

非常感谢您的宝贵意见和建议！由于“3 认知地图的神经机制”这部分在详细介绍每个相关脑区的所有小节之前有一个简要的概括，便于读者总览这部分的大致内容和结构，会涉及一些关键术语，但其实并不是这些术语的正式介绍，所以把关键术语在每小节正式介绍时视为首次出现，并给出对应英文，详见关键术语后小括号内的红色字体。

意见 6:

如果可能，参考文献中还是应该适当提及中文的相关研究，以便于读者了解国内的研究学者和研究现状。

回应:

非常感谢您的宝贵意见和建议！我们进一步对认知地图相关的中文研究进行了检索，主要有如下发现。首先，如意见 2 的回应中所述，认知地图虽然是心理学领域诞生的概念，但目前已经应用到其他很多学科，包括计算机科学与工程学、经济管理学、行为地理学等多个领域（何诗 & 阴劼, 2022; 阮晓钢, 柴洁, 武悦, 张晓平, & 黄静, 2021）。其次，认知心理学和认知神经科学领域已发表的中文研究目前确实很少，比较近期的一项研究综述关注压后皮质在空间导航中的作用（梁群君, 郑森宁, 李金惠, & 黄瑞旺, 2022），与本论文神经机制模块的第二部分相关，因此修改后在这部分有所提及（见“3.2 场景选择区域”红色字体）。也有研究者从神经环路的角度综述认知地图的构建（王琳 & 王亮, 2017），由于涉及多个脑区的协同作用，与本论文神经机制模块的第四部分相关，因此修改后在这部分有所提及（见“3.4 多脑区共同作用”红色字体）。此外还有曾发表在《心理科学进展》上的比较早期的研究综述，总结物体位置和空间关系的心理表征（赵民涛, 2006），不过由于年代久远，并未囊括近期的很多研究发现及反映研究动向。

参考文献:

- 何诗, 阴劼. (2022). 认知地图的地理学研究进展与展望. *地理科学进展*, 41(1), 73-85.
- 梁群君, 郑森宁, 李金惠, 黄瑞旺. (2022). 压后皮质在空间导航的作用: 认知地图与环境的映射. *心理科学*, 45(1), 2-8.
- 阮晓钢, 柴洁, 武悦, 张晓平, 黄静. (2021). 基于海马体位置细胞的认知地图构建与导航. *自动化学报*, 47(3), 666-677.
- 王琳, 王亮. (2017). 认知地图的神经环路基础. *生物化学与生物物理进展*, 44(3), 187-197.
- 赵民涛. (2006). 物体位置与空间关系的心理表征. *心理科学进展*, 14(3), 321-327.
- Bellmund, J. L., De Cothi, W., Ruiter, T. A., Nau, M., Barry, C., & Doeller, C. F. (2020). Deforming the metric of cognitive maps distorts memory. *Nature human behaviour*, 4(2), 177-188.
- Garvert, M. M., Saanum, T., Schulz, E., Schuck, N. W., & Doeller, C. F. (2023). Hippocampal spatio-predictive cognitive maps adaptively guide reward generalization. *Nature Neuroscience*, 1-12.
- McNamara, T. P. (1986). Mental representations of spatial relations. *Cognitive Psychology*, 18(1), 87-121.
doi:10.1016/0010-0285(86)90016-2
- Yousif, S. R. (2022). Redundancy and reducibility in the formats of spatial representations. *Perspectives on Psychological Science*, 17(6), 1778-1793.
- Zong, W., Zhou, J., Gardner, M. P., Costa, K. M., Zhang, Z., & Schoenbaum, G. (2023). Schema cell formation in orbitofrontal cortex is suppressed by hippocampal output. *bioRxiv*, 2023-05.
-

审稿人 2 意见:

在该综述研究中, 作者对认知地图相关概念和理论进行了梳理, 并对未来相关研究的推进思路提出了自己想法。认知地图是认知心理学研究中的重要主题, 该文对相关研究最新动态的梳理有助于读者迅速了解该领域的研究进展, 有发表的价值。

回应:

非常感谢您对本文选题和内容给予的认可和肯定! 同时也非常感谢您在耐心审阅之后, 提供了有建设性的修改意见! 希望修改后的论文能够很好地解决您关注的问题。

意见 1:

该文中配图较少, 可能对对于该主题不是十分了解的读者理解起来有一定困难。建议

作者考虑增加配图对相关概念进行直观的解释。例如，不同认知地图的存在形式就应当配图说明。

回应：

非常感谢您的宝贵意见和建议！为了更直观地解释概念以便读者理解，已经添加必要的配图辅助对相关概念进行解释。

意见 2：

最后，一个小问题，什么是‘显式的距离估计’？“显式”是翻译自 **explicit** 吗？我不能确定。

回应：

非常感谢您的宝贵意见和建议！“显式的距离估计”中的“显式/外显”确实是译自英文文献中的“explicit”这一单词，是相对于“隐式/内隐”（**implicit**）而言的，二者分别对应着测试认知地图的不同实验范式。“显式的距离估计”意思是让被试直接报告给定的两物体或位置间的距离（可能是欧氏距离或路径距离）（如 Peer, Nadar, & Epstein, 2023）；而“隐式的距离估计”任务一般会让被试直接报告距离，而是间接测量，例如同时呈现左中右三个物体，让被试判断左右两个物体哪一个距离中间物体更近，从而间接反映被试的空间表征或认知地图的准确性（如 Rmus, Ritz, Hunter, Bornstein, & Shenhav, 2022）。二者相比较而言，“内隐距离估计”任务更简单，在研究中应用也更广泛。为了避免误解，修改后已经在“显式”一词后附上对应英文。

参考文献：

Rmus, M., Ritz, H., Hunter, L. E., Bornstein, A. M., & Shenhav, A. (2022). Humans can navigate complex graph structures acquired during latent learning. *Cognition*, 225, 105103.

Peer, M., Nadar, C., & Epstein, R. A. (2023). The format of the cognitive map depends on the structure of the environment. *Psyarxiv*.

第二轮

审稿人 1 意见：

修改稿很好地回应了上一版的审稿意见，对认知地图的认知特点、生理机制、代表理论、未来研究方向进行了条理清晰的梳理，也强调了此领域对相关学科和应用的价值，祝贺作者

完成了一篇出色的论文!

编委 1 意见: 同意发表。

编委 2 意见: 同意发表。

主编意见: 同意发表。