

工作记忆对基于规则和信息整合的类别学习的影响

路江虹

福建师范大学心理学院, 福建 福州

收稿日期: 2024年10月30日; 录用日期: 2024年12月17日; 发布日期: 2024年12月26日

摘要

在适应生活的过程中, 类别学习是个体获得关于世界知识和理解的重要组成部分。工作记忆在众多认知处理过程中扮演着核心角色, 尤其在类别学习中发挥着关键影响。本研究先后介绍了言语和视觉空间工作记忆对基于多重系统理论模型类别学习的影响。多重系统理论模型中基于规则和信息整合的类别学习分别具有外显性和内隐性, 因此, 文章分别梳理了两种工作记忆负荷对外显和内隐学习系统的影响。同时, 文章指出了当前工作记忆任务对类别学习的影响缺少研究神经机制的问题, 并提出了言语和视觉空间工作记忆任务对两种类别结构影响的多通道效应。

关键词

类别学习, 言语工作记忆, 视空工作记忆

The Impact of Working Memory on Category Learning Based on Rules and Information Integration

Jianghong Lu

School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

Received: Oct. 30th, 2024; accepted: Dec. 17th, 2024; published: Dec. 26th, 2024

Abstract

In adapting to life, category learning is an important part of an individual's acquisition of knowledge and understanding about the world. Working memory plays a central role in numerous cognitive processing, and in particular, exerts a key influence in category learning. This study successively

describes the effects of verbal and visuospatial working memory on category learning based on multiple systems theory models. The rule-based and information integration-based category learning in the multiple systems theory model are epiphenomenal and implicit, respectively; therefore, this paper sorted out the effects of the two working memory loads on the epiphenomenal and implicit learning systems, respectively. At the same time, this paper points out the lack of research on the neural mechanisms underlying the effects of current working memory tasks on category learning, and proposes a multichannel effect of verbal and visuospatial working memory tasks on the effects of the two category structures.

Keywords

Category Learning, Verbal Working Memory, Visuospatial Working Memory

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在日常生活学习过程中,类别学习是指将事物划分为不同类别的过程,这一过程与人类的学习生活息息相关[1]。例如,通过对蘑菇进行分类,人们可以区分出可食用蘑菇和毒蘑菇。通过学习动物学家们对益虫和害虫的专业分类,人们可以更好地进行农业生产。人们将垃圾按照一定的标准分成不同的类别,以便于垃圾的回收利用和处理。因此,类别学习的研究成果具有重要的现实意义。

类别学习是一个持续的分类实践过程,它使个体学会识别并把刺激物分配到相应的类别中。类别学习的理论框架众多,从结构的角度进行分类,可以区分为单一结构和多种结构的类别学习理论。原型和样例理论是具有代表性的单一理论,多重系统理论则具有多维结构。

原型理论指出,类别学习的核心在于掌握每个类别的典型代表,即原型。在面对新样本时,人们会根据哪个类别的原型与新样本最为接近,来决定将其归入哪个类别[2]。根据样例理论,类别学习的核心在于掌握类别内各个具体实例的特征[3]。面对一个新的样例时,人们往往会基于与该样本相似度更高的已有类别,将其归入相应的类别中。

多重系统理论(a multiple-systems theory in category learning)由 Ashby 等人提出,缩写为 COVIS,该系统假设存在两个相互独立的分类系统,一个是个体在进行分类时可以用言语来描述具体分类规则是什么,也就是分类具有外显性类别结构:基于规则(rule-based,简称 RB),另一个是个体在分类时,无法用确定的言语来描述分类规则,也就是,个体无法概括出清晰的分类规则,这类结构具有内隐性:信息整合(information-integration,简称 II)。因为前者是外显性的,所以个体在完成分类任务时需要工作记忆和执行注意的参与,多激活尾状核;而后者是内隐性的,所以个体在分类时难以用言语描述分类规则,不需要认知加工资源和言语系统的参与,主要激活前扣带回和前额叶皮质[4]-[6]。因此,工作记忆对知觉类别学习将产生不同的影响,具体表现为只影响基于规则的,外显的,需要认知加工资源参与的类别学习。

工作记忆(working memory,简称 WM)是指个体完成任务时,用于临时保持和处理信息的容量有限的系统[7]。Baddeley 提出了包含三个部分的工作记忆系统:中央执行功能、语音回路和视觉空间模板。在这个系统中,占据核心功能的是中央执行系统,它作为核心的作用是统筹调动工作记忆系统中各个子系统的工作,管理编码与提取的策略,操纵注意力资源,以及从长期记忆中调取信息。语音回路则专门处理以声音为基础的信息存储与控制,它能够通过默读来重新激活逐渐消失的语音表示,并将书面文字转

化为语音形式。视觉空间模板负责的是视觉和空间的信息。2000年, Baddeley 在三个部分的基础上又加入了情景缓冲器, 情景缓冲器是一个有限容量的存储空间, 能够使用多种编码方式来保存信息, 它作为一个桥梁, 能使语音回路和视觉空间模板与长时记忆建立联系[8]。

在类别学习中, 工作记忆可以分为需要假设检验和认知资源的言语工作记忆任务和需要进行视空分类的视空工作记忆任务[9] [10]。众多研究通过调整工作记忆任务的类型, 分析了这些任务对两种类别结构的影响, 并探讨了隐性与显性类别学习在认知处理层面的机制[9] [11] [12]。根据当前的研究结果, 两种工作记忆任务对两种类别学习的影响是有区别的, 确定的是两种工作记忆任务对具有外显性的需要认知资源参与的基于规则的类别学习会产生负面影响, 而两种工作记忆任务对具有内隐性不需要认知资源参与的信息整合的类别学习的影响尚未有定论。一方面有研究指出, 言语工作记忆任务只对分类时可以用言语描述分类规则的基于规则的类别学习产生影响, 使其分类成绩降低, 而不影响另一种类别学习的成绩[13]。另一方面, 也有研究发现工作记忆任务在使 RB 类别学习成绩降低的同时提高了 II 类别学习的成绩[14]。两种不同的研究结果说明了工作记忆对于不同类别结构学习的影响可能比先前理解的更为复杂, 需要进一步的研究来深入探讨其作用机制。

综上所述, 本研究将结合前人对两种工作记忆任务影响 RB 和 II 类别学习的研究, 探讨言语和视觉空间工作记忆任务如何影响类别学习, 在此基础上提出未来研究需要深入探讨的问题。

2. 言语工作记忆对基于规则和信息整合的类别学习的影响

在 Maddox 等(2004)探讨言语工作记忆对 RB 和 II 类别学习影响的研究中, 研究对分类学习进行了不同的反馈, 分为即时反馈和延迟 2.5 秒反馈[13]。研究结果表明, 不同的反馈类型对不同类别学习产生了不同的影响。研究结果表明, 言语工作记忆任务使 RB 的类别学习成绩降低而不影响 II 类别学习。其中, 即时反馈处理时间条件导致基于规则的任务的性能相对于延迟反馈处理时间条件下降了 8%, 这是因为 RB 类别学习需要工作记忆和认知资源参与而 II 类别学习不需要, 因此言语工作记忆任务对两种类别学习的成绩影响是不同的。Kalra 等人(2019)运用阅读广度测验也表明了工作记忆影响基于规则的类别学习, 而不对信息整合的类别学习产生影响[15]。

Zeithamova 和 Maddox (2006)运用数字 Stroop 任务研究工作记忆对基于规则和信息整合的类别学习的影响, 实验的结果与前人一致[16]。但有人指出, 在上述实验中, 基于规则和信息整合的类别学习的分类维度不同, 个体在进行 RB 类别学习时, 只需根据频率这一单一维度进行分类, 而 II 类别学习不仅频率发生变化, 方向也发生变化, 学习者需同时关注两个维度的变化, 因此信息整合的类别学习分类难度更大, 难度在工作记忆任务对类别学习影响中的作用仍需探讨。

为了避免类别学习难度对学习结果产生影响, Grimm 和 Maddox (2013)通过两个实验, 改变任务开始时可用的信息来检查工作记忆负荷对基于规则和信息整合分类学习的影响, 研究相关维度和无关维度对类别学习的影响[14]。研究者认为这实际上是研究言语工作记忆的负荷水平对类别学习的影响。结果发现, 基于规则的类别学习任务将受益于对相关维度的关注, 而信息整合的类别学习任务将受益于对无关维度的关注。研究者认为, 这种差异可能是由于任务难度的差异引起的。难度越大的任务越有利于信息整合的类别学习。在先前研究的基础上, 也就是增加与任务无关的工作记忆负荷会损害基于规则的类别学习, 研究进一步证明, 关注相关维度提高了学习后期的基于规则的类别学习成绩, 而关注不相关维度提高了学习早期的信息整合的类别学习任务成绩。

在类别学习任务中, 不同的任务具有不同的性质, 例如天气预测任务(FB-WPT)具有内隐性, 而配对联想测验(PA-WPT)是外显性类别学习任务。Li 等人(2016)通过研究比较了训练时间和言语工作记忆对 FB-WPT 和 PA-WPT 中言语学习系统而非非言语学习系统的影响[17]。实验结果表明, 同时进行的工作

记忆任务损害了 PA 任务条件下类别学习的准确性和类别知识的获得,而对 FB-WPT 任务的最终准确性没有影响,也就是只影响陈述性学习系统。研究者认为,两个任务的最终反应之间的明显分离表明 FB-WPT 是由非陈述性或程序性学习系统介导的。此项研究继续表明了言语工作记忆任务会削弱基于规则的外显的类别学习。

但也有研究结果与此不同。Miles 等人(2014)运用 Stroop 任务,发现两个工作记忆任务都干扰了 RB 类别学习过程中适当的策略使用和分类表现,而持续增加执行功能的负担也会干扰学习者寻找和应用适当的信息整合的策略能力[18]。也就是说,对于 RB 类别学习,执行功能的暂时干扰可能导致参与者难以选择性地关注诊断维度,从而导致适当策略使用的减少,影响基于规则的类别学习成绩。而在持续性工作记忆任务条件下,研究者通过建模结果显示,一部分参与者在需要整合双维度进行分类的信息整合任务中,一直使用单维分类策略,因此,他们可能一直在使用语言系统学习信息整合分类。对于这部分参与者来说,工作记忆任务可能会干扰语言系统的使用,导致信息整合分类性能下降,从而也影响 II 类别学习的成绩。

Kalish, Newell 和 Dunn (2017)的研究发现,工作记忆容量高的参与者在内隐的类别学习任务中往往更准确,但在外显任务中的准确性并不低[19]。由此可见,言语工作记忆对基于规则和信息整合的类别学习影响会因为不同因素产生不同的影响。

3. 视空工作记忆对基于规则和信息整合的类别学习的影响

视空工作记忆是指人脑短暂存储和操纵视觉空间信息的能力,它是工作记忆模型中的一个重要成分,负责加工视觉与空间信息。有研究证明了不同类别学习任务的表现会因不同的工作记忆任务而受损[20]-[22]。

双言语和双视觉工作记忆任务降低了外显类别学习任务的成绩,如 RB 类别学习任务的表现[16]。Zeithamova 和 Maddox (2007)研究了视觉空间工作记忆在 RB 类别学习和 II 类别学习中的作用[10]。研究者用视觉空间任务代替了言语工作记忆任务,结果发现视觉空间任务与言语工作任务一致,也会干扰基于规则的类别学习。但不同的是,Miles 和 Minda (2011)研究同时呈现的视觉工作记忆和视觉加工任务对 RB 和 II 类别学习的影响[9]。研究结果表明,两种任务都影响 II 类别学习。也就是说,额外的视觉处理或视觉记忆任务会削弱信息整合任务的表现,但不会削弱基于规则的类别学习任务的表现。研究者认为,信息整合任务表现不佳是由于视觉处理任务耗尽了视觉处理资源,说明了视觉工作记忆中的视觉加工影响信息整合的类别学习。

Xing 和 Sun (2017)研究了视空工作记忆对基于规则和信息整合类别学习的影响[23]。研究中共进行了三个实验。研究者在实验 1 中采用顺序呈现双任务范式,研究视觉空间工作记忆任务对 RB 和 II 类别学习的影响。结果表明工作记忆只降低 RB 类别学习的成绩。实验 2 研究同时呈现的双任务范式,将分类任务整合到视觉空间工作记忆任务中。结果只有 II 类别学习的成绩受到影响。在最后一个实验中,研究者将视觉空间工作记忆整合到类别学习任务中。结果发现工作记忆同时影响了 RB 和 II 的类别学习成绩。研究者指出在 RB 类别学习中,工作记忆负荷是视觉空间工作记忆影响类别规则发现的主要机制;而在 II 类别学习中,视觉资源主要作用于类别表征。也就是说,在该研究的类别学习中,是视觉空间工作记忆的位置,而不是执行功能的强度影响了 RB 和 II 类别学习。

更大的视空工作记忆容量更能促进基于规则的类别学习[24][25]。而工作记忆资源较少,从外显学习系统到内隐学习系统的转换较差[26]。在 Wu 和 Fu (2021)的研究中,被试需完成分类任务和额外的言语、视空工作记忆任务(斯滕伯格记忆扫描任务)[27]。研究发现, RB 类别学习成绩的降低只受到了双重视觉工作记忆任务的影响,而 II 类别学习不受两种双重工作记忆任务的影响。结果表明,双重视觉处理任务只显著影响了 RB 类别学习。

综上所述,视空工作记忆对知觉类别学习的影响也尚未有一致的结论,任务的呈现方式、呈现位置、

视空工作记忆容量等因素都会对 RB 和 II 类别学习产生不同影响。未来研究将重点探究哪些因素在视空工作记忆任务对知觉类别学习影响中起协调作用。

4. 研究不足与展望

尽管目前工作记忆对类别学习的影响进行了许多研究,但仍有一些尚未得到解决的问题。

首先,关于工作记忆任务对类别学习影响的相关研究,以往研究多关注行为实验,较少的研究关注影响的神经机制。Rabi 等人(2018)用 ERP 技术考察证明了完成言语工作记忆任务在基于规则的类别学习中的削弱作用[28]。Helie 等人(2021)运用 fMRI 技术研究训练基于规则类别学习的方法,并探讨工作记忆在其中的作用[29]。因此,未来的研究可以利用高级神经影像技术,如 fMRI、EEG 和 MEG,深入研究工作记忆在基于规则和信息整合类别学习任务中的神经机制。这将有助于更好地理解大脑如何处理和维护这两种不同类型的信息。

此外,多通道信息对类别学习的影响有广泛的研究背景。已有研究证明,多通道信息能促进物体的识别[30],促进儿童附带类别学习[31]-[34],促进基于原型样例的未训练的刺激物的分类[35]。同时,言语工作记忆任务和视觉空间工作记忆任务对类别学习的影响是否也具有多通道效应?这种效应对两种类别学习具有积极还是消极的作用?并且这种效应在跨通道时是否具有一致性?如果存在这种多通道效应,这种效应是否也能迁移到未学习过的类别知识上,这些问题都需要进一步深入探讨。

参考文献

- [1] Vincent, A.M., Russell, J.W., Low, P. and Feldman, E.L. (2004) Oxidative Stress in the Pathogenesis of Diabetic Neuropathy. *Endocrine Reviews*, **25**, 612-628. <https://doi.org/10.1210/er.2003-0019>
- [2] Coutinho, M.V.C., Couchman, J.J., Redford, J.S. and David Smith, J. (2010) Refining the Visual-Cortical Hypothesis in Category Learning. *Brain and Cognition*, **74**, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2010.07.001>
- [3] Kruschke, J.K. (1992) ALCOVE: An Exemplar-Based Connectionist Model of Category Learning. *Psychological Review*, **99**, 22-44. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.99.1.22>
- [4] Ashby, F.G. and Maddox, W.T. (2005) Human Category Learning. *Annual Review of Psychology*, **56**, 149-178. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070217>
- [5] Ashby, F.G., Alfonso-Reese, L.A., Turken, A.U. and Waldron, E.M. (1998) A Neuropsychological Theory of Multiple Systems in Category Learning. *Psychological Review*, **105**, 442-481. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.105.3.442>
- [6] Maddox, W.T., Ashby, F.G. and Bohil, C.J. (2003) Delayed Feedback Effects on Rule-Based and Information-Integration Category Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **29**, 650-662. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.4.650>
- [7] Baddeley, A. (1992) Working Memory. *Science*, **255**, 556-559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- [8] Baddeley, A. (2000) The Episodic Buffer: A New Component of Working Memory? *Trends in Cognitive Sciences*, **4**, 417-423. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01538-2)
- [9] Miles, S.J. and Minda, J.P. (2011) The Effects of Concurrent Verbal and Visual Tasks on Category Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **37**, 588-607. <https://doi.org/10.1037/a0022309>
- [10] Zeithamova, D. and Maddox, W.T. (2007) The Role of Visuospatial and Verbal Working Memory in Perceptual Category Learning. *Memory & Cognition*, **35**, 1380-1398. <https://doi.org/10.3758/bf03193609>
- [11] Foerde, K., Poldrack, R.A. and Knowlton, B.J. (2007) Secondary-Task Effects on Classification Learning. *Memory & Cognition*, **35**, 864-874. <https://doi.org/10.3758/bf03193461>
- [12] Rabi, R. and Minda, J.P. (2014) Rule-Based Category Learning in Children: The Role of Age and Executive Functioning. *PLOS ONE*, **9**, e85316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085316>
- [13] Maddox, W.T., Ashby, F.G., Ing, A.D. and Pickering, A.D. (2004) Disrupting Feedback Processing Interferes with Rule-Based but Not Information-Integration Category Learning. *Memory & Cognition*, **32**, 582-591. <https://doi.org/10.3758/bf03195849>
- [14] Grimm, L.R. and Maddox, W.T. (2013) Differential Impact of Relevant and Irrelevant Dimension Primes on Rule-Based and Information-Integration Category Learning. *Acta Psychologica*, **144**, 530-537.

- <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.09.005>
- [15] Kalra, P.B., Gabrieli, J.D.E. and Finn, A.S. (2019) Evidence of Stable Individual Differences in Implicit Learning. *Cognition*, **190**, 199-211. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.05.007>
 - [16] Zeithamova, D. and Maddox, W.T. (2006) Dual-Task Interference in Perceptual Category Learning. *Memory & Cognition*, **34**, 387-398. <https://doi.org/10.3758/bf03193416>
 - [17] Li, K., Fu, Q., Sun, X., Zhou, X. and Fu, X. (2016) Paired-associate and Feedback-Based Weather Prediction Tasks Support Multiple Category Learning Systems. *Frontiers in Psychology*, **7**, Article 1017. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01017>
 - [18] Miles, S.J., Matsuki, K. and Minda, J.P. (2014) Continuous Executive Function Disruption Interferes with Application of an Information Integration Categorization Strategy. *Attention, Perception, & Psychophysics*, **76**, 1318-1334. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0657-8>
 - [19] Kalish, M.L., Newell, B.R. and Dunn, J.C. (2017) More Is Generally Better: Higher Working Memory Capacity Does Not Impair Perceptual Category Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **43**, 503-514. <https://doi.org/10.1037/xlm0000323>
 - [20] Hassin, R.R. (2013) Yes It Can: On the Functional Abilities of the Human Unconscious. *Perspectives on Psychological Science*, **8**, 195-207. <https://doi.org/10.1177/1745691612460684>
 - [21] Soto, D. and Silvanto, J. (2014) Reappraising the Relationship between Working Memory and Conscious Awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, **18**, 520-525. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.06.005>
 - [22] Velichkovsky, B.B. (2017) Consciousness and Working Memory: Current Trends and Research Perspectives. *Consciousness and Cognition*, **55**, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.07.005>
 - [23] Xing, Q. and Sun, H. (2017) Differential Impact of Visuospatial Working Memory on Rule-Based and Information-Integration Category Learning. *Frontiers in Psychology*, **8**, Article 530. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00530>
 - [24] Lloyd, K., Sanborn, A., Leslie, D. and Lewandowsky, S. (2019) Why Higher Working Memory Capacity May Help You Learn: Sampling, Search, and Degrees of Approximation. *Cognitive Science*, **43**, e12805. <https://doi.org/10.1111/cogs.12805>
 - [25] Roark, C.L. and Chandrasekaran, B. (2023) Stable, Flexible, Common, and Distinct Behaviors Support Rule-Based and Information-Integration Category Learning. *npj Science of Learning*, **8**, Article No. 14. <https://doi.org/10.1038/s41539-023-00163-0>
 - [26] Roark, C.L. and Holt, L.L. (2019) Auditory Information-Integration Category Learning in Young Children and Adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, **188**, Article 104673. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104673>
 - [27] Wu, J. and Fu, Q. (2021) The Role of Working Memory and Visual Processing in Prototype Category Learning. *Consciousness and Cognition*, **94**, Article 103176. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2021.103176>
 - [28] Rabi, R., Joanisse, M.F., Zhu, T. and Minda, J.P. (2018) Cognitive Changes in Conjunctive Rule-Based Category Learning: An ERP Approach. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, **18**, 1034-1048. <https://doi.org/10.3758/s13415-018-0620-6>
 - [29] Hélie, S., Shamloo, F., Zhang, H. and Ell, S.W. (2021) The Impact of Training Methodology and Representation on Rule-Based Categorization: An fMRI Study. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, **21**, 717-735. <https://doi.org/10.3758/s13415-021-00882-0>
 - [30] Molholm, S., Ritter, W., Murray, M.M., Javitt, D.C., Schroeder, C.E. and Foxe, J.J. (2002) Multisensory Auditory-Visual Interactions during Early Sensory Processing in Humans: A High-Density Electrical Mapping Study. *Cognitive Brain Research*, **14**, 115-128. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(02\)00066-6](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(02)00066-6)
 - [31] Broadbent, H., Osborne, T., Mareschal, D. and Kirkham, N. (2020) Are Two Cues Always Better than One? The Role of Multiple Intra-Sensory Cues Compared to Multi-Cross-Sensory Cues in Children's Incidental Category Learning. *Cognition*, **199**, Article 104202. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104202>
 - [32] Broadbent, H.J., Osborne, T., Mareschal, D. and Kirkham, N.Z. (2018) Withstanding the Test of Time: Multisensory Cues Improve the Delayed Retention of Incidental Learning. *Developmental Science*, **22**, e12726. <https://doi.org/10.1111/desc.12726>
 - [33] Broadbent, H.J., White, H., Mareschal, D. and Kirkham, N.Z. (2017) Incidental Learning in a Multisensory Environment across Childhood. *Developmental Science*, **21**, e12554. <https://doi.org/10.1111/desc.12554>
 - [34] Kirkham, N.Z., Rea, M., Osborne, T., White, H. and Mareschal, D. (2019) Do Cues from Multiple Modalities Support Quicker Learning in Primary Schoolchildren? *Developmental Psychology*, **55**, 2048-2059. <https://doi.org/10.1037/dev0000778>
 - [35] Wu, J., Li, Q., Fu, Q., Rose, M. and Jing, L. (2021) Multisensory Information Facilitates the Categorization of Untrained Stimuli. *Multisensory Research*, **35**, 79-107. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10061>