

# 视觉搜索中的记忆\*

王治国<sup>1,2</sup> 张侃\*\*<sup>1</sup><sup>(1)</sup>中国科学院心理研究所,脑与认知科学国家重点实验室,北京,100101) <sup>(2)</sup>中国科学院研究生院,北京,100039)

**摘 要** 多个认知模型认为记忆在视觉搜索中有重要作用。该理论观点得到了返回抑制、启动效应和知觉学习等领域研究的支持。部分研究者对视觉搜索中记忆表征的性质和容量也进行了探讨。

**关键词:** 视觉搜索 记忆 返回抑制 启动效应 知觉学习

从复杂环境中搜索目标刺激是一种重要的认知活动,对个体适应外部环境有重要意义。在实验室,研究者通常使用视觉搜索任务(visual search)对该注意现象进行研究。

## 1 视觉搜索

### 1.1 视觉搜索的任务范式

在典型的视觉搜索任务中,研究者在屏幕上呈现一定数量的刺激项,屏幕上可能既有目标项(target)又有干扰项(distractor),也可能只有干扰项。被试的任务是判断屏幕上是否有目标项(通常只有一个)并做出反应。

### 1.2 记忆参与视觉搜索的争论

对于视觉搜索的内在机制,多个理论<sup>[1-4]</sup>都认为记忆在视觉搜索中具有引导注意分配的功能。为了保证搜索的效率,被确认为干扰项的刺激不会被再次加工。Horowitz和Wolfe使用动态搜索任务对该观点提出了挑战<sup>[5]</sup>。在动态搜索任务中,刺激项的位置每隔111ms变化一次。如果记忆具有引导注意分配的功能,不断改变刺激项的位置就会干扰记忆表征,降低搜索效率。但实验结果发现动态搜索和静态搜索的搜索效率没有差异。该研究引发了“记忆是否参与视觉搜索”的争论。目前,“记忆参与视觉搜索”的观点得到了多方面证据的支持,逐渐被多数研究者接受。

## 2 记忆参与视觉搜索

支持“记忆参与视觉搜索”的实验证据主要来自返回抑制、启动效应和知觉学习方面的研究。Shore和Klein认为,这三方面的证据反映了记忆在视觉搜索中的三个时程水平<sup>[6]</sup>。第一个水平是避免对刺激项重复加工的倾向。第二个水平是先前trial对后续trial的启动作用,可以保持30秒左右。第三个水平是视觉搜索中的知觉学习,可以保持一年以上。

### 2.1 返回抑制

返回抑制(inhibition of return)是一种阻止注意返回到先前注意位置的倾向<sup>[7]</sup>,它可能是视觉搜索过程中避免对刺激项重复加工的内在机制<sup>[8]</sup>。Klein首先探讨了返回抑制在视觉搜索中的作用<sup>[9]</sup>。在他的实验中,视觉搜索任务后面紧跟着一个探测刺激。探测刺激可能出现在视觉搜索刺激项出现过的位置(on-探测刺激),也可能出现在视觉搜索刺激项没有出现过的位置(off-探测刺激)。结果发现,on-探测刺

激的反应时长于off-探测刺激。Muller和von Muhlenen<sup>[10]</sup>让视觉搜索刺激在探测刺激出现时仍然保留在屏幕上,并且让探测刺激出现的位置随机,结果也在视觉搜索中发现了返回抑制效应。

但是,返回抑制在视觉搜索中的作用机制目前还不清楚。在视觉搜索中,加工一个刺激项大约需要25-50ms,而返回抑制效应的出现通常需要200-300ms。当刺激项数量较少时,搜索任务完全可能在返回抑制发生前结束<sup>[11]</sup>。Muller和von Muhlenen就发现,视觉搜索的刺激项数量小于5时,返回抑制不会发生<sup>[10]</sup>。而且,虽然返回抑制效应能够发生于多个(4-6)先前注意过的刺激位置<sup>[11-13]</sup>,但是视觉搜索中刺激项的数量往往超出这个限度。

### 2.2 启动效应

启动效应的相关研究也为记忆参与视觉搜索提供了证据。Maljkovic和Nakayama的一系列研究<sup>[14-16]</sup>发现,在连续的trial中重复目标项和干扰项的特征或者位置会影响后续trial的搜索效率。这种启动效应能够持续5-8个trial,大约15-30秒。Maljkovic和Nakayama认为,该启动效应是内隐记忆的一种表现形式<sup>[16]</sup>。Meeter和Olivers<sup>[17]</sup>采用与Maljkovic和Nakayama(1994)相同的实验任务进行的研究也发现,在目标项颜色不变条件下,被试的反应时会缩短。这表明,视觉搜索中存在目标项颜色的启动效应。Kristjansson等的研究<sup>[18]</sup>则发现,当目标项的位置在连续的trial中重复时,被试的反应时也会缩短。这表明,视觉搜索中还存在目标项位置的启动效应。Kristjansson的另一项研究则发现启动效应能够同时发生于多个刺激特征维度(颜色、方向和空间频率)<sup>[19]</sup>。

### 2.3 知觉学习

视觉搜索任务中刺激项特征和位置的启动效应表明,被试在视觉搜索中(内隐地)保持了先前trial的记忆痕迹。如果对这些记忆痕迹进行长时间的强化(练习),能否将其转入长时记忆呢?知觉学习研究表明,经过长时间练习,被试能够获得与实验任务和实验刺激(目标项和干扰项)相关的记忆,并且保持较长的时间。

Ahissar和Hochstein让被试搜索与其他线段方向不同的线段。结果发现,100个trial以后,被试的搜索绩效显著提高<sup>[20]</sup>。Sigman和Gilbert的研究发现,经过5000-7000个trial的练习,被试的搜索绩效提高了5倍,而且学习效果在一

\* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(30670701)。

\*\* 通讯作者:张侃,男。E-mail: zhangk @psych. ac. cn

个月后没有明显下降<sup>[21]</sup>。Sireteanu 和 Rettenbach 的一系列实验也发现,视觉搜索中的知觉学习在几百个 trial 内就能完成,学习效果能够在搜索任务之间迁移,也能够刺激位置之间迁移<sup>[22]</sup>。Chun 和 Jiang 则发现,重复干扰项的位置(120 - 720 个 trial)能提高目标项的搜索速度<sup>[23]</sup>。他们认为,被试在记忆中保持了先前 trial 中干扰项的位置信息。

#### 2.4 其他证据

Horowitz 和 Wolfe 使用动态搜索任务发现,视觉搜索中没有记忆参与<sup>[5]</sup>,Kristjansson 对该研究结论提出了质疑<sup>[24]</sup>。Kristjansson 对动态搜索任务做了简单的改动,刺激项的位置每隔 111ms 变化一次,但是刺激项移动到其他刺激项的位置,而不是新位置。结果发现,动态搜索的搜索效率显著低于静态搜索,这表明被试在记忆中保持了先前加工过的刺激项的位置信息。

采用眼动技术进行的相关研究也表明记忆参与视觉搜索。Peterson 等人研究发现,被试重新注视先前加工过的刺激项的概率为 5.7%,而且大部分集中在目标项上(2%)<sup>[25]</sup>。他们认为,在视觉搜索过程中,被试不仅在记忆中保持了先前加工过的刺激项,而且在记忆中保持了哪些刺激项没有被充分加工的信息。

### 3 视觉搜索中记忆表征的性质

视觉搜索中记忆表征的性质是刺激项的位置还是刺激项的特征?

#### 3.1 刺激项位置

Beck 等人采用眼动技术进行的研究发现,改变刺激项的特征不会影响搜索效率,但是改变刺激项的位置则会降低搜索效率<sup>[26]</sup>。Woodman 等人采用双任务范式进行的研究也发现,在工作记忆中保持刺激项的特征(四个)并不会损害搜索效率<sup>[27]</sup>。但是要求被试完成搜索任务的同时进行另一项空间工作记忆任务则会严重影响搜索效率<sup>[28]</sup>。Chun 和 Jiang 的研究发现,在连续的 trial 中,被试关于干扰项位置的记忆能提高后续 trial 的搜索效率<sup>[23]</sup>。Kristjansson 的研究也发现,在单个 trial 中,关于先前加工过的刺激项的位置的记忆参与了视觉搜索<sup>[24]</sup>。这些研究结果表明,视觉搜索中记忆表征与刺激项的位置有关,与刺激项的特征无关。

#### 3.2 刺激项特征

Williams 等人在视觉搜索任务完成十分钟后对被试进行记忆测验,要求被试判断刺激项是否在视觉搜索任务中出现过。结果发现,目标项的正确再认率为 85%左右,干扰项正确再认率为 60%左右,都显著高于机率水平<sup>[29]</sup>。Castelhano 和 Henderson 使用实物图片进行的研究<sup>[30]</sup>也得出类似的结果(正确再认率为 60 - 75%)。Muller 和 von Muhlenen 对返回抑制进行的研究发现,视觉搜索中的返回抑制效应取决于刺激项本身,与刺激项的位置无关<sup>[10]</sup>。Takeda 和 Yagi<sup>[31]</sup>, Klein 和 MacInnes<sup>[32]</sup>也得到了类似的结论。这表明,视觉搜索过程中被试记住了刺激项的特征。

对于视觉搜索中记忆表征的性质,目前尚无一致结论。视觉搜索中记忆表征可能同时包括刺激项的位置和刺激项的特征,但是刺激项的特征依赖于刺激项的位置。Beck 等人在视觉搜索任务中插入记忆测验,以考查被试关于刺激项特征的记忆。结果发现,被试不仅在记忆中保持了刺激项的位置,刺激项的特征的正确再认率也高于机率水平(平均

66%)<sup>[33]</sup>。

### 4 视觉搜索中记忆的容量

目前,视觉搜索中记忆容量的限度是研究者争论的焦点问题。McCarley 等人采用眼动技术进行的研究发现,视觉搜索中记忆的容量有限,为先前加工过的 4 - 5 个刺激项<sup>[34]</sup>。Beck 等采用类似实验任务进行的研究发现,视觉搜索中记忆的容量大约为先前加工过的 6 - 10 个刺激项<sup>[26]</sup>。但是一些研究者认为视觉搜索中记忆的容量几乎是无限的。Peterson 等人认为视觉搜索中记忆的容量为 16 - 20 个刺激项<sup>[25]</sup>, Takeda 采用多目标搜索任务估计视觉搜索中记忆的容量为 19 - 21 个刺激项<sup>[35]</sup>。

研究者之间的争论可以与其采用的实验任务有密切关系。眼动技术考查的是视觉搜索中的外显记忆,而多目标搜索任务实际上考查的是视觉搜索中的内隐记忆。

### 5 小结和展望

多数研究者都承认记忆在视觉搜索中具有引导注意分配的作用。返回抑制、启动效应和知觉学习等方面的研究为记忆参与视觉搜索提供了有力的证据。同时,这些研究也表明视觉搜索中的记忆涉及多个层面。Shore 和 Klein 把视觉搜索中的记忆划分为三个时程水平:知觉学习、trial 间的启动效应和 trial 内的记忆<sup>[6]</sup>。这种分类方法对于深入探讨记忆在视觉搜索中的作用机制有重要价值。虽然记忆在视觉搜索中的作用得到了很多研究结果的支持,但是很多问题仍然没有解决。

第一,视觉搜索中的记忆表征的性质。视觉搜索中的记忆表征是刺激项的特征还是刺激项的位置?由于不同实验范式所考查的记忆表征水平不同,因此很难整合相关研究的结论。如何在视觉搜索任务中分离刺激项的位置和刺激项的特征是研究者面临的一个难题。

第二,视觉搜索中记忆的容量。视觉搜索中记忆的容量是有限的还是无限的?Horowitz 提出的变量记忆模型(variable memory model)认为,视觉搜索中记忆的容量取决于刺激的编码概率、回忆概率和目标刺激的识别概率<sup>[36]</sup>。该模型为探讨视觉搜索中记忆的容量提供了一个理论框架,同时也暗示,视觉搜索中记忆的容量受多方面因素影响。

第三,特征搜索中的记忆。特征搜索是否有记忆参与?多数研究者认为特征搜索(feature search)是平行加工,不涉及记忆。但是知觉学习方面的研究表明,训练能提高特征搜索的效率并能促进迁移。启动效应的相关研究也表明,多次经验能够促进颜色等特征的搜索效率。这些研究结果表明,特征搜索中可能有记忆的参与。

对于上述问题的探讨将加深我们对选择注意内在机制的理解。

### 6 参考文献

- 1 Wolfe, J. M. Moving toward solutions to some enduring controversies in visual search. *Trends in Cognitive Sciences*, 2003, 7(2): 70 - 76
- 2 Treisman, A., & Gelade, G. A feature - integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 1980, 12(1): 97 - 136
- 3 Duncan, J., & Humphreys, G. W. Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 1989, 96(3): 433 - 458

- 4 Wolfe, J. M. Guided Search 2.0: a revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1994, 1(2) : 202 - 238
- 5 Horowitz, T. S. , & Wolfe, J. M. Visual search has no memory. *Nature*, 1998, 394: 575 - 577
- 6 Shore, D. I. , & Klein, R. M. On the manifestations of memory in visual search. *Spatial Vision*, 2000, 14(1) : 59 - 75
- 7 Klein, R. M. Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, 2000, 4(4) : 138 - 147
- 8 Lupianez, J. , Klein, R. M. , & Bartolomeo, P. Inhibition of return: twenty years after. *Cognitive Neuropsychology*, 2006, 23(7) : 1003 - 1014
- 9 Klein, R. M. Inhibitory tagging system facilitates visual search. *Nature*, 1998, 334: 430 - 431
- 10 Muller, H. J. , & von Muhlenen, A. Probing distractor inhibition in visual search: inhibition of return. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2000, 26(5) : 1591 - 1605
- 11 Danziger, S. , Kingstone, A. , & Snyder, J. J. Inhibition of return to successively stimulated locations in a sequential visual search paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1998, 24(5) : 1467 - 1475
- 12 Dodd, M. D. , Castel, A. D. , & Pratt, J. Inhibition of return with rapid serial shifts of attention: Implications for memory and visual search. *Perception and Psychophysics*, 2003, 65(7) : 1126 - 1135
- 13 Snyder, J. J. , & Kingstone, A. Inhibition of return and visual search: how many separate loci are inhibited? *Perception & Psychophysics*, 2000, 62(3) : 452 - 458
- 14 Maljkovic, V. , & Nakayama, K. Priming of pop - out: I. role of features. *Memory and Cognition*, 1994, 22(6) : 657 - 672
- 15 Maljkovic, V. , & Nakayama, K. Priming of popout: II. role of position. *Perception & Psychophysics*, 1996, 58(7) : 977 - 991
- 16 Maljkovic, V. , & Nakayama, K. Priming of pop - out: III. a short - term implicit memory system beneficial for rapid target selection. *Visual Cognition*, 2000, 7(5) : 571 - 595
- 17 Meeter, M. & Olivers, C. N. L. Intertrial priming stemming from ambiguity: A new account of priming in visual search. *Visual Cognition*, 2006, 13(2) : 202 - 222
- 18 Kristjansson, A. , Vuilleumier, P. , Malhotra, P. , et al. Priming of color and position during visual search in unilateral spatial neglect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2005, 17(6) : 859 - 873
- 19 Kristjansson, A. Simultaneous priming along multiple feature dimensions in a visual search task. *Vision Research*, 2006, 46(16) : 2554 - 2570
- 20 Ahissar, M. , & Hochstein, S. Task difficult and the specificity of perceptual learning. *Nature*, 1997, 387: 401 - 406
- 21 Sigma, M. , & Gilbert, C. D. Learning to find a shape. *Nature Neuroscience*, 2000, 3(3) : 264 - 269
- 22 Sireteanu, R. , Rettenbach, R. Perceptual learning in visual search generalizes over tasks, locations, and eyes. *Vision Research*, 2002, 40(21) : 2925 - 2949
- 23 Chun, M. M. , & Jiang, Y. Contextual cueing: implicit learning and memory of visual context guides spatial attention. *Cognitive Psychology*, 1998, 36(1) : 28 - 71
- 24 Kristjansson, A. In search of remembrance: Evidence for memory in visual search. *Psychological Science*, 2000, 11(4) : 328 - 332
- 25 Peterson, M. S. , Kramer, A. F. , Wang, F. R. , et al. Visual search has memory. *Psychological Science*, 2001, 12(4) : 287 - 292
- 26 Beck, M. R. , Peterson, M. R. , & Vomela, M. Memory for where, but not what, is used during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2006, 32(2) : 235 - 250
- 27 Woodman, G. F. , & Luck, S. J. Visual search is slowed when visuospatial working memory is occupied. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004, 11(2) : 269 - 274
- 28 Woodman, G. F. , Vogel, E. K. , & Luck, S. J. Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, 2001, 12(3) : 219 - 224
- 29 Williams, C. C. , Henderson, J. M. , & Zacks, R. T. Incidental visual memory for targets and distractors in visual search. *Perception & Psychophysics*, 2005, 67(5) : 816 - 827
- 30 Castelano, M. S. , & Henderson, J. M. Incidental visual memory for objects in scenes. *Visual Cognition*, 2005, 12(6) : 1017 - 1040
- 31 Takeda, Y. , & Yagi, A. Inhibitory tagging in visual search can be found if search stimuli remain visible. *Perception & Psychophysics*, 2000, 62(5) : 452 - 458
- 32 Klein, R. M. , & MacInnes, W. J. Inhibition of return is a foraging facilitator in visual search. *Psychological science*, 1999, 10(4) : 346 - 352
- 33 Beck, M. R. , Peterson, M. S. , & Boot, W. R. , et al. Explicit memory for rejected distractors during visual search. *Visual Cognition*, 2006, 14(2) : 150 - 174
- 34 McCarley, J. S. , Wang, R. F. , & Kramer, A. F. , et al. How much memory does oculomotor search have? *Psychological Science*, 2003, 14(5) : 422 - 426
- 35 Takeda, Y. Search for multiple targets: Evidence for memory - based control of attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2004, 11(1) : 71 - 76
- 36 Horowitz, T. S. Revisiting the variable memory model of visual search. *Visual Cognition*, 2006, 14(4 - 8) : 668 - 684

## Memory in Visual Search

Wang Zhiguo<sup>1,2</sup>, Zhang Kan<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

(<sup>2</sup> Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039)

**Abstract :** Theories of visual hold that memory has a critical role in visual search. The involvement of memory in visual search has been supported by research evidence from inhibition of return, priming, and perceptual learning. The contents and capacity of memory involved in visual search have also been explored by some researchers.

**Key words :** visual search, memory, inhibition of return, priming, perceptual learning