

# 颜色凸显条件下基于工作记忆内容的视觉注意<sup>\*</sup>

张明<sup>1</sup> 王爱君<sup>2</sup> 李毕琴<sup>3</sup> 张阳<sup>\*\*1</sup>

(<sup>1</sup> 苏州大学教育学院心理学系, 苏州 215123) (<sup>2</sup> 东北师范大学心理学院, 长春 130024)

(<sup>3</sup> 江西师范大学心理学院, 南昌 330027)

**摘要** 采用工作记忆任务与视觉搜索任务相结合的双任务范式, 考察了工作记忆内容对视觉注意的引导作用。实验1通过操纵背景颜色与记忆项目颜色的关系凸显记忆项目, 匹配条件中部分分心物与工作记忆内容相同, 不匹配条件中分心物与搜索目标均与工作记忆内容不同, 结果发现匹配分心物会捕获注意。实验2通过操纵背景颜色与搜索目标颜色的关系凸显目标项目, 结果发现, 通过背景颜色凸显搜索目标的情况下, 匹配分心物仍然能够捕获注意, 这说明了与工作记忆内容匹配的刺激能够有效地引导视觉注意。

**关键词** 工作记忆 注意捕获 背景颜色

## 1 前言

工作记忆和选择性注意是在知觉、思维和行为间的动态交互作用中两个重要认知系统。工作记忆是在执行任务过程中用于信息暂时存储和加工的资源有限系统, 选择性注意是对外界丰富的信息进行筛选以确保有限的认知资源得以高效运行的认知系统(张明, 张阳, 2007)。许多研究发现, 两者之间存在交互作用, 工作记忆的内容会影响视觉注意的导向, 即视觉注意优先选择工作记忆中暂时存储的空间或物体(Downing, 2000; Kumar, Soto, & Humphreys, 2009; Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006; Pan & Soto, 2010; Soto et al., 2010; Soto et al., 2005; Soto et al., 2011)。Downing (2000) 的研究发现, 被试对呈现在记忆匹配项所在空间位置目标的反应时要明显快于对呈现在非记忆匹配项所在空间位置目标的反应时, 表明了与工作记忆内容匹配的刺激捕获了视觉注意。

但是, 以往研究对“工作记忆内容是否能够自动地引导视觉注意?”的问题还存在一些争议。一些观点认为, 工作记忆内容能捕获注意(Carlisle & Woodman, 2011b; Downing, 2000; Kumar, Soto, & Humphreys, 2009)。Soto等(2005)要求被试在保持一个记忆项目的同时完成一项搜索任务。匹配目标条件下, 记忆项目特征与搜索目标相同; 匹配分心物条件下, 记忆项目特征与分心物相同; 控制条件

下, 搜索目标和分心物均与记忆项目不同。结果发现匹配目标条件下搜索反应快于控制条件, 而匹配分心物条件下搜索反应慢于控制条件, 即与工作记忆内容匹配的内容捕获了注意。另一些观点则认为, 工作记忆内容对注意的导向作用是灵活可控的, 与工作记忆匹配的刺激并非总能捕获注意(Downing & Dodds, 2004; Han & Kim, 2009; Sawaki & Luck, 2011; Woodman & Luck, 2007)。Woodman和Luck(2007)的研究同样采用双任务实验范式, 但他们在实验指导语中明确告知被试记忆项目永远与搜索目标不同, 在这种情况下被试没有理由在搜索任务中主动注意与工作记忆内容有关的项目。结果发现, 与控制条件相比, 当搜索序列中出现匹配分心物时搜索速度更快, 即搜索过程中匹配分心物不但没有捕获注意, 反而被抑制了。

对于这些矛盾的结果, 研究者们探索了诸多因素的作用。从外部因素上来看, 任务类型是一个重要的因素(Peters et al., 2008)。Olivers(2009)发现, 当搜索目标固定时, 匹配分心物能够捕获注意; 当搜索目标在试次间不断变化时, 匹配分心物无法捕获注意。也有研究者考察刺激类型的影响, Zhang等(2010)指出当搜索项目为复杂客体时, 与任务无关的项目不会捕获注意; 而当搜索项目为简单客体时, 匹配分心物将捕获注意。此外, 刺激强度、知觉负载、匹配分心物数量等外部因素也被认为是导致现有矛盾结果的原因(Han & Kim, 2009; Oli-

<sup>\*</sup> 本研究得到高等学校博士学科点专项科研基金博导类资助课题(20110043110012)、中央高校基本科研业务费专项资金(12SSXT162)和国家自然科学基金项目(31371025、31300833)的资助。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者: 张阳。E-mail: zhangyang\_873@gmail.com

vers, 2009)。而胡艳梅等(2013)从内部影响因素的角度出发发现,当被试的抑制动机水平很低时,匹配分心物会捕获注意;而当被试的抑制动机水平足够高时,匹配分心物会被抑制。

与工作记忆内容匹配的刺激是否捕获注意或被抑制将受到诸多因素制约,从刺激属性来说,刺激的凸显性是影响视觉搜索的一个重要因素,其中颜色凸显是在与视觉搜索任务有关的视觉显示中,采用颜色突出显示多个项目中的若干个项目。本研究从刺激颜色凸显角度出发,实验1通过操纵背景与记忆项目的颜色来实现对匹配分心物的凸显,目的是考察当被试存在抑制匹配分心物动机时,具有凸显匹配分心物的背景颜色是否能改变抑制过程,重新捕获视觉注意。为了更进一步地考察与工作记忆内容匹配分心物对视觉注意引导的自动性,实验2在明确告知被试与工作记忆内容匹配分心物不会成为目标的同时,操作搜索序列中背景颜色与搜索目标的关系来凸显搜索目标色。在这种情况下,如果匹配分心物仍能捕获视觉注意,那将证实与工作记忆内容匹配分心物对视觉注意引导的自动性,自上而下的抑制动机与自下而上的搜索目标凸显都将无法成功抑制与工作记忆内容匹配的分心物。

## 2 实验1

### 2.1 方法

**被试** 选取在校大学生21人,年龄在19-24岁( $M=21.5$ ,  $SD=1.8$ )。被试均为右利手,视力或者矫正视力正常,完成实验后获得相应报酬。

**仪器与材料** 主机型号 DELL OPTIPLEX 755,显示器 iiyama MA203DT Vision Master Pro 513,屏幕分辨率为  $1024 \times 768$  像素,刷新率为 100Hz。实验在灰色背景和微亮的环境下进行,被试眼睛距离屏幕中心 80cm。记忆项目和记忆探测项目都是一个彩色的实心正方形,视角为  $0.5^\circ$  (见图1)。图形的备选颜色包括红色、绿色、蓝色、青色、品红色和黄色(RGB值分别为 255/0/0; 0/255/0; 0/0/255; 0/255/255; 207/0/112; 255/255/0),6种颜色之间两两互补,其中红色与青色互为补色,绿色与黄色互为补色,蓝色与品红色互为补色。搜索序列由有开口方向的彩色方块组成,包括5个分心物和1个搜索目标。搜索目标的开口向上或者向下,分心物的开口向左或向右。搜索目标的颜色与某两个分心物的颜色相同,剩余3个分心物的颜色相同。所有搜索项

目距离屏幕中央至少  $1^\circ$ ,且两两之间的距离至少  $1^\circ$ 。背景颜色是从6种颜色中随机选取,其颜色与记忆项目颜色互为补色。为防止视觉后效,采用带有颜色的小正方形随机分布构成了后掩蔽。

**实验设计与程序** 实验采用单因素双水平的被试内设计。自变量为记忆项目是否匹配分心物(匹配条件、不匹配条件),匹配条件被定义为视觉搜索序列中与记忆项目在颜色上匹配的分心物。匹配试验中,有3个分心物的颜色与记忆项目的颜色相同;其余分心物颜色不同于记忆项目。不匹配条件为分心物和搜索目标均与记忆项目不同。实验中为了消除被试主动注意与记忆匹配项的动机,明确告知被试与记忆项目匹配的项目将永远不会是搜索目标,可以对其进行忽略。因变量为搜索目标的反应时、搜索目标的准确率、记忆探测项目的准确率。

实验程序如图1所示。首先屏幕中央呈现 500 ms 的“+”作为注视点,随后屏幕中将出现两个黑色数字(随机选自10以下的阿拉伯数字,每个数字的视角为  $1.70^\circ \times 0.85^\circ$ ,其中心点分别向左和向右偏离屏幕中心  $0.65^\circ$ ),呈现时间为 1000 ms。要求被试在整个试次中以每秒 3~4 个数字的速度连续不断地出声复述它们(发声抑制任务,可以强迫被试进行视觉编码,从而排除语音编码干扰)。数字消失后间隔 1500 ms 在注意点上方将出现记忆项目,持续时间为 500ms,被试需要记住。500 ms 的空屏后出现持续时间为 3000ms 的搜索序列。被试的任务是又快又准确地找到搜索目标,并判断目标刺激的开口方向是向上还是向下(向上按“A”键,向下按“Z”键)。500 ms 空屏后,屏幕出现记忆探测项目,与记忆项目的颜色相同按“1”键,不同则按“2”键。整个实验中,匹配条件和不匹配条件各占一半。为防止被试存在视觉后效,500 ms 空屏后呈现后掩蔽,时间为 500 ms。正式实验分为三组,每组各有 48 试次,正式实验之前被试先练习 16 个试次。

### 2.2 结果与讨论

表1呈现了匹配和不匹配条件下搜索目标的平均反应时和准确率以及记忆任务的准确率。对准确率进行配对样本  $t$  检验发现,搜索任务的准确率在匹配条件和不匹配条件下无显著差异,  $t(20) = .09$ ,  $p = .93$ ,  $d = .03$ ;而记忆任务的准确率在匹配条件和不匹配条件下达到了统计上的显著性,  $t(20) = 3.92$ ,  $p = .001$ ,  $d = 1.24$ 。表现为匹配条件下的准确率(92%)高于不匹配条件下的准确率(89%)。

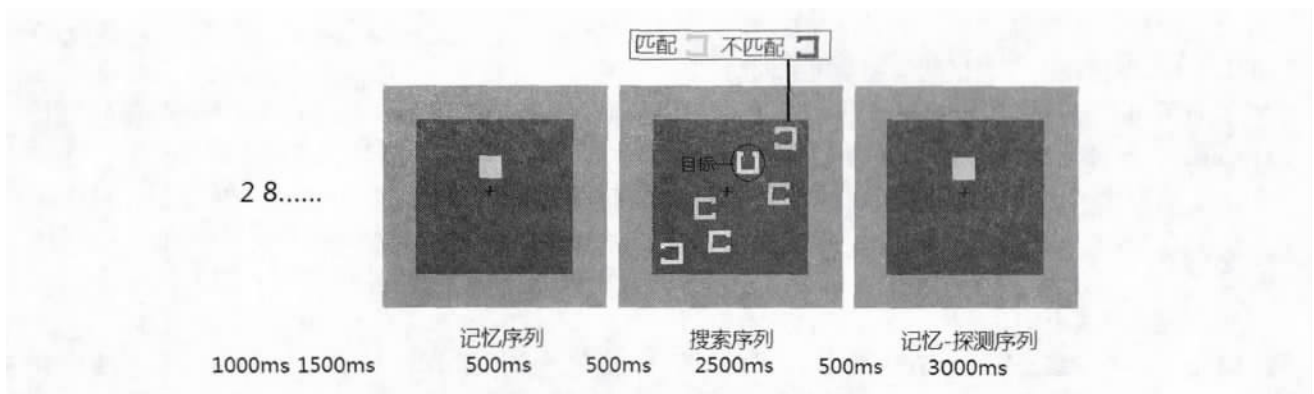


图1 实验1 流程图

表1 实验1 两种处理条件下搜索任务与记忆任务的反应时和准确率

不同条件	搜索反应时( ms)	搜索准确率( %)	记忆准确率( %)
匹配条件	1172 ± 173	98 ± 2	92 ± 5
不匹配条件	1115 ± 159	98 ± 2	89 ± 5

剔除被试的极端反应数值后,仅对搜索任务与记忆任务都正确反应的试次进行分析。对搜索任务中两种条件下的反应时进行配对样本  $t$  检验发现,匹配条件和不匹配条件下差异显著  $t(20) = 4.98$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.57$ 。也就是说在搜索目标过程中,匹配条件下的反应(1172 ms)显著的慢于不匹配条件下的反应(1115 ms)。

实验1 结果发现被试在匹配条件下的反应时显著的慢于不匹配条件下的反应时。我们可以推测,背景颜色与记忆项目颜色的关系有效地凸显了记忆项目,颜色凸显不仅增强了自上而下的工作记忆内容的表征,更克服了抑制动机,使得与工作记忆内容匹配分心物重新捕获注意。实验1 中,在诱发被试的抑制动机的前提下增强了来自自上而下的工作记忆表征。由于对匹配分心物的抑制是一个需要付出巨大认知努力的过程,所以通过操作分心物的凸显性可能会使实验混淆了自上而下的工作记忆表征。一方面可能是由于工作记忆中的内容能够引导注意外,还有可能是因为当前的分心物具有较高的凸显性。因此,为了排除分心物具有较高凸显性而捕获注意这种解释,进一步验证匹配分心物捕获视觉注意的有效性,实验2 中,背景颜色不再凸显记忆项目,而是凸显搜索目标以增强搜索序列中搜索目标的凸显性。在指导语不变的情况下,一方面被试存在抑制动机,另一方面来自自下而上的目标凸显性,此时,被试将主动抑制匹配分心物,优先搜索目标,实验预期匹配条件下的反应时快于不匹配条件下的反应时。然而如果匹配分心物捕获注意能力非常有效且自动化,那么匹配条件下的反应时将慢于不匹

配条件下的反应时。

### 3 实验2

#### 3.1 方法

被试 选取在校大学生21人,年龄在18-25岁( $M = 21.6$ ,  $SD = 1.9$ ),被试均为右利手,视力或者矫正视力正常,完成实验后获得相应报酬。

仪器与材料 除了背景颜色与搜索目标颜色互为补色外,其它条件与实验1 相同。

实验设计与程序 实验设计与程序和实验1 基本相同,唯一不同的是背景颜色与搜索目标颜色互为补色。

#### 3.2 结果与讨论

表2 显示了实验2 中各条件下被试搜索任务的平均反应时和准确率及记忆任务的准确率。对准确率进行配对样本  $t$  检验发现,搜索任务的准确率在匹配条件和不匹配条件下无显著差异  $t(20) = .12$ ,  $p = .90$ ,  $d = .04$ ;而记忆任务的准确率两者差异显著  $t(20) = 4.59$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.45$ 。匹配条件下的准确率(91%)高于不匹配条件下的准确率(86%)。

表2 实验2 两种条件下搜索任务与记忆任务的反应时和准确率

不同条件	搜索反应时( ms)	搜索准确率( %)	记忆准确率( %)
匹配条件	1099 ± 193	99 ± 2	91 ± 5
不匹配条件	1050 ± 178	99 ± 2	86 ± 5

剔除标准与实验1 相同。对搜索任务反应时进行配对样本  $t$  检验发现,匹配条件和不匹配条件下达到统计上的显著性  $t(20) = 3.05$ ,  $p < .01$ ,  $d = .96$ 。表现为在被试搜索目标的时候,对于匹配条件下的反应时(1099 ms)显著的慢于不匹配条件下的反应时(1050 ms)。

实验2 发现了与实验1 类似的结果,在视觉搜索的过程中,匹配条件下的反应时显著的慢于不匹

配条件下的反应时,验证了第二个假设,即在视觉搜索的过程中,即使在诱发被试的抑制动机的同时,增大来自自下而上的目标凸显的情况下,与工作记忆内容匹配的分心物仍然表现出对视觉选择性注意具有较强的导向作用。

#### 4 总讨论

本研究通过两个实验证明了工作记忆内容能够有效地捕获视觉注意。实验1在被试明知工作记忆内容永远不可能成为搜索目标的前提下凸显匹配分心物,增强了与工作记忆内容匹配分心物的表征,这种情况下被试的抑制动机将呈现减弱趋势,从而难以抑制匹配分心物,因此会阻碍搜索任务的进行,表现为匹配试验搜索反应时更慢。为了更进一步的验证与工作记忆内容匹配的刺激能有效地捕获视觉注意,在实验2中,在诱发被试对匹配分心物抑制动机的同时凸显了搜索序列中的搜索目标,使得来自自上而下的目标凸显性增强。一方面被试存在抑制匹配分心物的动机,另一方面目标项目具有凸显性,这种情况下被试便没有理由去注意与工作记忆内容匹配的分心物,从而会优化视觉搜索效率。但结果相反,与工作记忆内容匹配的分心物仍能有效地捕获注意。

本研究发现工作记忆内容对视觉注意存在引导性,即使在凸显搜索目标的情况下,这种捕获作用仍然存在。该发现从刺激凸显性的角度入手,对已有研究的争议进行了考察,为工作记忆内容能够捕获视觉注意这一观点提供了新的证据。实验1结果表明保持在工作记忆中的内容能够自动地引导视觉注意选择视觉搜索场景中与之匹配的物体(Pan & Soto, 2010; Soto et al., 2005)。由此我们认为,当记忆匹配项作为干扰刺激出现在视场中时,由于记忆匹配项与视觉搜索任务的目标模板不匹配,而是与保持在工作记忆中的其他无关记忆表征相匹配,这种情况下主动注意作为干扰刺激的记忆匹配项将会不利于完成搜索任务,所以被试将不会有明显的动机去主动选择记忆匹配项。当明确告知工作记忆内容永远不同于搜索目标时,被试可以通过抑制匹配分心物来促进搜索任务表现。Woodman 和 Luck (2007)指出,当被试明确知道工作记忆内容永远不可能与搜索目标相同时,工作记忆内容将被当做“抑制的刺激”模板。此时,所有与工作记忆内容在客体或特征上匹配的刺激都是需要抑制的(Carlisle et al., 2011a)。但由于该刺激与工作记忆内容匹配,

表现出了相对于其它刺激而言仍然具有“独特性”,所以会以自下而上的方式捕获注意,只是这种自下而上的捕获是基于自上而下的工作记忆基础之上的(张明,王爱君,2012)。实验2操纵背景颜色与目标颜色的关系凸显目标项。一方面被试本身的任务就是寻找目标,也即被试有明显的动机去注意目标,另一方面目标项得到了凸显,所以被试更为可能的是去主动抑制与工作记忆内容匹配的分心物,从而优化视觉搜索的效率,在结果上应表现为匹配条件与不匹配条件下的反应时无差异或者匹配条件下的反应时快于不匹配条件。但是结果却表明,即使保持在工作记忆的内容与当前的任务无关,并且视觉搜索目标是一个具有显著特征的突显刺激,与不匹配条件相比,匹配条件仍然能够捕获注意,从而使得对目标的搜索反应变慢。

#### 5 结论

(1) 当凸显工作记忆内容时,与工作记忆内容匹配的分心物仍能够捕获视觉注意;

(2) 在搜索序列中搜索目标具有凸显性的情况下,与工作记忆内容匹配的分心物仍然能够有效地捕获视觉注意。

#### 参考文献

- 胡艳梅,张明,徐展,李毕琴.(2013).客体工作记忆对注意的导向作用:抑制动机的影响.《心理学报》,45(2),127-138.
- 张明,张阳.(2007).工作记忆与选择性注意的交互关系.《心理科学进展》,15(1),8-15.
- 张明,王爱君.(2012).视觉搜索中基于工作记忆内容的注意捕获与抑制.《心理科学进展》,20(12),1899-1907.
- Carlisle, N. B., Arita, J. T., Pardo, D., & Woodman, G. F. (2011a). Attentional templates in visual working memory. *The Journal of Neuroscience*, 31(25), 9315-9322.
- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011b). Automatic and strategic effects in the guidance of attention by working memory representations. *Acta Psychologica*, 137(2), 217-225.
- Downing, P. E. (2000). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychological Science*, 11(6), 467-473.
- Downing, P. E., & Dodds, C. M. (2004). Competition in visual working memory for control of search. *Visual Cognition*, 11(6), 689-703.
- Han, S. W., & Kim, M. S. (2009). Do the contents of working memory capture attention—yes, but cognitive control matters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1292-1302.
- Kumar, S., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Electrophysiological evidence for attentional guidance by the contents of working memory. *European Journal of Neuroscience*, 30(2), 307-317.
- Olivers, C. N. L. (2009). What drives memory-driven attentional

- capture? The effects of memory type , display type , and search type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* , 35 , 1275 – 1291.
- Olivers , C. N. L. , Meijer , F. , & Theeuwes , J. ( 2006 ) . Feature – based memory – driven attentional capture: Visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* , 32 , 1243 – 1265.
- Pan , Y. , & Soto , D. ( 2010 ) . The modulation of perceptual selection by working memory is dependent on the focus of spatial attention. *Vision Research* , 50( 15 ) , 1437 – 1444.
- Peters , J. , Goebel , R. , & Roelfsema , R. P. ( 2008 ) . Remembered but unused the accessory items in working memory that do not guide attention. *Journal of Cognitive Neuroscience* , 21( 6 ) , 1081 – 1091.
- Sawaki , R. , & Luck , S. J. ( 2011 ) . Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition* , 19( 7 ) , 956 – 972.
- Soto , D. , Heinke , D. , Humphreys , G. W. , & Blanco , M. J. ( 2005 ) . Early , involuntary top – down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* , 31( 2 ) , 248 – 261.
- Soto , D. , Mok , A. Y. F. , McRobbie , D. , Quest , R. , Waldman , A. , & Rotshtein , P. ( 2011 ) . Biasing visual selection: Functional neuroimaging of the interplay between spatial cueing and feature memory guidance. *Neuropsychologia* , 49( 6 ) , 1537 – 1543.
- Soto , D. , Wriglesworth , A. , Bahrami – Balani , A. , & Humphreys , G. W. ( 2010 ) . Working memory enhances visual perception: Evidence from signal detection analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* , 36( 2 ) , 441 – 456.
- Woodman , G. F. , & Luck , S. J. ( 2007 ) . Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* , 33( 2 ) , 363 – 377.
- Zhang , B. , Zhang , J. X. , Kong , L. Y. , Huang , S. , Yue , Z. Z. , & Wang , S. P. ( 2010 ) . Guidance of visual attention from working memory contents depends on stimulus attributes. *Neuroscience Letters* , 486 , 202 – 206.

## Content – based Working Memory – driven Visual Attention Under the Condition of Color Highlight

Zhang Ming<sup>1</sup> , Wang Aijun<sup>2</sup> , Li Biqin<sup>3</sup> , Zhang Yang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Department of Psychology , School of Education , Soochow University , Suzhou , 215123)

(<sup>2</sup> School of Psychology , Northeast Normal University , Changchun , 130024) (<sup>3</sup> School of Psychology , Jiangxi Normal University , Nanchang , 330027)

**Abstract** Working memory ( WM ) refers to a system that provides temporary storage and manipulation of the information necessary for completing the incoming cognitive tasks. Selective attention is a system that filters the abundant information to ensure the limited cognitive resources could be distributed efficiently to the goal relevant information. The plentiful stimuli contained in the scene exceed the processing capacity that visual system could provide. Therefore , only a few of them could be selected by selective attention for further processing. Working memory has been suggested to be crucial in resolving the competition among different stimuli in the visual field. Namely , the space or objects maintained in WM have the priority to be chosen by selective attention. In the present study , we combined the delayed match – to – sample WM task with the visual search task , manipulating the background color to highlight either the color of memory items or the color of search targets to determine whether it could influence the visual selective attention based on the content of WM or not.

The two experiments were both a two – levels single factor within – subject design. The factor was whether the memory items match the distractor ( match vs. mismatch ) or not. The background color of the memory items ( experiment 1 ) and search target ( experiment 2 ) were manipulated respectively to determine whether there was a automatic guidance on content – based WM – driven capture of visual attention under the condition of manipulating stimulus salience. The participants were instructed to memorize the color of the memory item for a change – detection test at the end of each trial. During the retention interval , they were required to search a target among five distractors as quickly and accurately as possible. The color of three distractors in the search array would match or mismatch the color of memory items. In experiment 1 , the color of the memory item and background color were complementary . In experiment 2 , the color of background and target color were complementary.

In experiment 1 , we found significantly short response time in the mismatched condition than that in the matched condition (  $p < .01$  ) . This result suggested that the memory – matching distractors had a privileged status to capture attention , even though such privileged status was not conducive to the processing of the target. The results of experiment 2 revealed much slower responses in the matched condition than in the mismatched condition (  $p < .05$  ) , suggesting the existence of the additional distractor effect caused by attention capture by the memory – matching distractors. In sum , the results of the two experiments demonstrated that the item that matched the content of WM could capture visual attention automatically.

**Key words** working memory , attention capture , background color