

Gender Difference in Color Vision—A Visual Evoked Potential Study

视觉诱发电位在色彩查找任务中的性别差异

柯竞怡 2013201408

1. BACKGROUND

近些年颜色视觉中的性别差异吸引了大量研究者的注意。我们的视觉系统通过比较光线的光子被不同类别的视网膜视锥细胞吸收的相对比率加工颜色。大约8%的男性表现出色彩感知的遗传性缺陷，但最近人们还意识到，拥有正常色觉的男性之间也存在可以测量的色彩感知差异。对这种色彩知觉方面的性别差异的解释主要有两种。一种解释认为，女性拥有更复杂的词汇，她们更擅于用不同的词汇形容她们所看见的颜色。另一种观点认为女性相较于男性拥有更丰富的色彩体验，也就是说，她们可以感知到更丰富的颜色，并且她们能更有效地辨别颜色。

许多研究发现，不同的颜色属性对应着男性与女性在色彩感知的不同表现。亮度方面，有研究表明男性在觉察色彩的亮度方面更有优势，而他们不太重视红绿色轴上的颜色辨别 (Red-Green axis) (Israel, James, Olga, & Alla, 2012; Jameson, Highnote, & Wasserman, 2001)。也有一些研究者持不同看法。在一项对男女司机的研究中，女性司机比男性司机在夜间具有更好的视觉功能，但是这种功能更多与色彩对比度有关 (Brabyn, Schneck, Lott, & Haegerstrom-Portnoy, 2005)。虽然男女在颜色亮度知觉方面的差异还存在争议，但是，学者们普遍认为亮度分量能较好地解释色觉的性别差异 (Sorokowski, Sorokowska, & Witzel, 2014)。除此之外，颜色的色调与饱和度也和色彩知觉的性别差异有关。女性具有更强的色彩命名能力，而且在 Stroop 任务中，她们的反应速度往往更快 (Golden, 1974)。相较于男性，女性对偏红的颜色更为敏感 (Sorokowski et al., 2014)。而且，女性在绿-黄区域对颜色饱和度的知觉也比男性更敏感 (Murray, Parry, Mckeefry, & Athanasios, 2012)。因此，男女对亮度、色调及饱和度的感知可能是不同的。

对颜色不同属性知觉的性别差异可能与色彩加工机制有关。双阶段理论被许多学者用于解释低水平的颜色视觉加工机制。在第一阶段，三种视锥细胞（对应短 S、中 M、长 L 波光）被进入眼睛的不同波长光线激活。在第二阶段，这些激活的视锥细胞在视网膜胶质细胞的协助之下产生三维颜色对比空间 (color-opponent space)。色彩亮度是此空间之中的一个维度，被 M 和 L 视锥的激活综合所决定。双阶段机制代表了颜色加工从视网膜胶质细胞 (retinal ganglion cells) 起始，通过外侧膝状体，到达初级视皮层的过程。视觉刺激的不同属性可能由不同组神经元加工处理 (Rentzeperis, Nikolaev, Kiper, & Van, 2014)，对色彩不同属性的加工可能也是相互独立的。而且，视觉颜色信号的加工整合可能在皮层发生 (Israel et al., 2012)。虽然双阶段加工理论解释了低水平的颜色辨别能力，它不能够体现高级层面的知觉加工过程。而高级层面的颜色知觉机制还有待进一步研究 (Witzel & Gegenfurtner, 2013)。

色彩处理的认知策略可能具有性别差异 (Shen, 2005)。以往研究表明，男性与女性在加工色彩的反应时方面还存在不同。一般情况下，男性需要花更长的时间来对彩色字符作出反应。视觉诱发电位 (VEP) 是事件相关电位 (ERP) 的一种，许多研究已将 VEP 用于视觉信息加工机制的研究 (Ohan, Shipp, Hales, Stobbs, & Fleming, 2008)。VEP 是一种客观的、非侵入性的技术，可用来记录视网膜上的锥体活性及从视网膜起始到初级视觉皮层终止的脑电波。在 VEP 中，P300 的振幅会被特定物体的出现所影响，且它可用于测量注意力分配，以及分辨目标物

体与标准物体的能力。另一个 VEP 成分, N400, 反映背景信息的组合, 通常与非预期情况下视觉或听觉范式中的语义加工有关。一些研究初步探讨了 VEP 中的性别差异, 但是这方面的结果还存在争议。有研究者发现, 男性表现出更低振幅的 VEP 成分, 而女性则表现出更短的 VEP 潜伏期。但是也有研究者在女性身上发现更高振幅的和更短潜伏期的 VEP 成分(Ohran et al., 2008)。但是, 颜色加工脑机制的研究还比较缺乏, 颜色编码过程中的性别差异还有待进一步讨论。

另外, 色彩感知的性别差异在不同文化中具有普遍性(Sorokowski et al., 2014)。这种普遍性可能与生物因素有关。从进化角度而言, 根据狩猎采集理论(hunter-gatherer theory), 女性的大脑应该专门应用于采集有关的任务, 而颜色感知与辨别是完成采集任务的重要能力之一。另一方面, 为了适应她们的照顾者角色, 她们需要区分细微的皮肤颜色变化来感知情绪状态和社会性信号(emotional states and social-sexual signals)。因此, 她们可能在进化过程中形成了更敏感的色彩感知能力。除了进化因素, 在大多数文化中女性被期望对颜色有更好的理解。因此, 社会化过程在色彩感知的性别差异方面也有重要作用。

基于以上研究, 我们推测男性与女性在色彩查找与辨别任务中可能存在差异。一方面, 颜色不同属性可能影响男女在色彩查找任务中的效率。由于女性从事“采摘任务”的需要, 她们可能在色彩任务中具有更好的表现。另一方面, 由于“狩猎采集理论”在颜色视觉方面的生理机制还有待研究, 我们拟用事件相关电位(ERP)来探索色彩查找任务中的生理机制。

2. AIMS AND HYPOTHESIS

本实验主要关注视觉搜索任务中的性别差异以及该情境下视觉诱发电位(VEP)的性别效应, 从而探讨男性与女性在视觉颜色信息加工方面的差异。在之前的研究中, 对于无色彩物体识别的反应时在 VEP 早期和晚期成分中并无显著性别差异(Ohran et al., 2008)。因而, 本实验中视觉搜索任务的反应时差异主要由色彩属性引起。我们将控制颜色的不同属性, 并比较男女对颜色不同属性的反应差别。

根据之前的研究, 我们提出以下假设: 1) 男性在辨别色彩的亮度方面更有优势, 因此他们在辨别不同亮度颜色的任务中反应时更短, 准确率更高, VEP (尤其是 P300 成分) 波幅较小。2) 女性更擅长辨别色调, 因而她们在辨别不同色调的任务中反应时更短, 准确率更高, VEP 波幅更小。

3. RESEARCH DESIGN AND METHODOLOGY

本实验采用视觉诱发电位测量男女对彩色视觉信息的加工差异。此次实验将招募 18-25 岁的男女被试各 15 名。实验前, 被试将接受视力检查, 并去除所有颜色知觉方面有基因缺陷的被试。

实验材料方面, 我们将采用三种视觉刺激情境(Thompson, Bichot, & Sato, 2005): 1) 不同亮度的灰白格子 2) 不同色调但相同亮度的长波和中波颜色刺激(红和绿) 3) 不同色调但相同亮度的短波和中波刺激(蓝和黄)(Kim, Banaschewski, & Tannock, 2015)。每种刺激情境包含两种刺激物: 标准刺激物和相关刺激物。每个刺激物由 4*4 个色块构成, 每个色块为矩形且色块之间保持一定间距(如图一、图二)。标准刺激物(Standard stimuli)包含的所有色块的颜色相同, 即在第一种刺激情境下, 所有格子均为深灰色; 在第二种刺激情境中, 所有格子均为绿色; 在第三种刺激情境中, 所有格子均为黄色。相关刺激(Relevant stimuli)中, 有 1 个色块的颜色与其它 15 个色块不同, 此色块在三种刺激情境中的颜色分别为亮度较高的灰色、红色和蓝色。相关刺激中的不同颜色的色块会

随机出现在 16 个色块中的任意一个。

本实验分成三个阶段，每个阶段对应一种刺激情境。被试被要求对相关刺激做出反应（按键），而忽略标准刺激。在每个阶段中，标准刺激和相关刺激将各随机出现 9 次，每次呈现 1s，两次呈现之间间隔 4s，且每次刺激呈现的位置都相同。同时，他们的反应时（从刺激呈现到做出反应之间的时间）、正确率及脑电图（EEG）将被记录。EEG 记录将从每个刺激呈现前的 100ms 开始，并在呈现后的 1900ms 结束(Ohran et al., 2008)。实验完成之后，视觉诱发电位（VEP）潜伏期和幅度将被分析，尤其是男女性的 P300 电位，它反映了视觉的辨别能力(Petrie, 2012)。

4. PREDICTIONS AND DISCUSSION

基于之前的研究，预计结果如下：1) 男性在辨别不同亮度颜色的任务中比女性反应时更短，准确率更高，VEP 潜伏期更短，波幅较小。2) 女性在辨别不同色调的任务中比男性反应时更短，准确率更高，VEP 潜伏期更短，波幅更小。反应时和潜伏期可用来比较对色彩属性的敏感性，而 VEP 振幅可能与认知资源的消耗有关，小波幅代表任务对个体来说更加容易(Kim et al., 2015)。前文提及男性在亮度辨别方面可能更占优势，一些研究也指出，他们对颜色的分类很大程度上受亮度的影响(Witzel & Gegenfurtner, 2013)。另一方面，女性在色调辨别方面可能更加敏感，一些研究也证实这一观点，他们发现女性比男性拥有更多的对颜色的内部表征(Nowaczyk, 1982)。

女性在感知色调方面表现出的优势可以用遗传因素解释。男性和女性具有不同的性染色体组成，而 X 染色体上的视蛋白基因具有两种类型。男女不同遗传组成造成基因表达差异，从而造成感光色素的差异，最终导致视网膜性能差异。有的研究者认为，女性拥有潜在的超级颜色视觉（super color vision），这是因为控制红色和绿色色素锥体的基因位于 X 染色体。由于女性有两条 X 染色体，这创造了一种可能，就是在一条 X 染色体所控制的一种红色类型视锥细胞激活的情况下，另一条 X 染色体上另一种红色视锥细胞的基因被激活。由此，不同视锥细胞的信号组合成更丰富的颜色体验。另外，有研究显示，女性拥有超过三类的视网膜感光色素(Bimler, Kirkland, & Jameson, 2004)。但是，虽然女性能够感知更多大波段范围的颜色，如果不考虑样本中带有视蛋白基因杂合体的女性，颜色知觉并不会显现性别差异(Jameson et al., 2001)。因而，遗传和生物因素在女性色调敏感性的形成中扮演了重要作用。

神经系统中的化学物质也可能对颜色信息加工造成影响。有研究指出，颜色视觉还可能被一些中枢神经系统的药物影响，如多巴胺。视网膜多巴胺假说认为，多巴胺缺乏可能导致对颜色知觉，特别是短波光线的知觉有负面影响(Kim et al., 2015)。另外，性固醇类激素水平也可能是导致性别差异的原因之一。大脑皮层中存在一些雄激素受体，激素可能影响特定脑区活动，例如视觉皮层的发展与雄激素有关(Israel et al., 2012)。因而，男女神经系统中的化学成分不同可能影响颜色视觉加工过程。

由于实验采用的是视觉搜索任务，该任务可能不仅涉及到颜色辨别能力，还涉及到颜色相关的注意分配。视觉搜索任务中主要有两种策略，一种是平行搜索，即由于一种或多种特征的缺乏使目标物体从背景中凸显出来。这种搜索被更短的反应时潜伏期代表，而序列搜索则对应着更长的潜伏期。P300 幅度的增强与相关刺激的出现有关，也就是 P300 与注意资源的分配和目标的显著性有关。由于女性更容易被一些无关刺激分散注意力，她们的反应时也可能因此受到影响。如

何将色彩注意与色彩辨别分离，是今后可以继续探讨的话题。

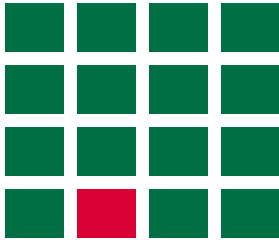
在现有研究基础上，更多颜色知觉方面性别差异的内在机制还有待研究者探索。首先，有研究发现颜色分辨和分类的敏感性是相对独立的，且颜色的辨别阈限具有个体差异(Witzel & Gegenfurtner, 2013)，其中的神经机制还有待研究。其次，在色彩词汇方面，研究发现女性拥有更丰富的词汇量来描述颜色刺激，而且对女孩而言，这种描述能力的获得相较于男孩发展得更早(Jameson et al., 2001)。据此，研究人员推断，与男性相比，女性对色彩词汇的获得更有天分。但是，色彩知觉、色彩概念和色彩命名能力之间的关系，以及语言发展对颜色知觉的作用还需要进一步讨论 (Witzel & Gegenfurtner, 2013)。最后，由于大脑半球不对称性与脑电差异之间的联系，我们还可评估颜色知觉任务中不同侧大脑电位变化中的性别差异，以探讨男女不同侧大脑的加工差异。

References

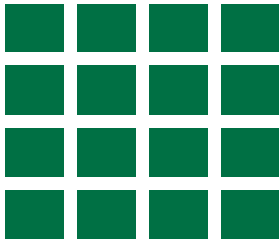
- Bimler, D. L., Kirkland, J., & Jameson, K. A. (2004). Quantifying variations in personal color spaces: Are there sex differences in color vision? *Color Research & Application*, 29(2), 128-134.
- Brabyn, J. A., Schneck, M. E., Lott, L. A., & Haegerstrom-Portnoy, G. (2005). Night driving self-restriction: vision function and gender differences. *Optometry and vision science*, 82(8), 755-764.
- Golden, C. J. (1974). Sex Differences in Performance on the Stroop Color and Word Test. *Perceptual & Motor Skills*(3), N/A.
- Israel, A., James, G., Olga, F., & Alla, C. (2012). Sex and vision II: color appearance of monochromatic lights. *Biology of Sex Differences*, 3(1), 68-75.
- Jameson, K. A., Highnote, S. M., & Wasserman, L. M. (2001). Richer color experience in observers with multiple photopigment opsin genes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(2), 244-261.
- Kim, S., Banaschewski, T., & Tannock, R. (2015). Color vision in attention-deficit/hyperactivity disorder: A pilot visual evoked potential study. *Journal of Optometry*, 8(2), 116-130. doi: 10.1016/j.optom.2014.10.002
- Murray, I. J., Parry, N. R. A., Mckeefry, D. J., & Athanasios, P. (2012). Sex-related differences in peripheral human color vision: A color matching study. *Journal of Vision*, 12(1), 83-91.
- Nowaczyk, R. H. (1982). Sex-Related Differences in the Color Lexicon. *Language & Speech*, 25, 257-265.
- Ohran, A. J., Shipp, D. N., Hales, K., Stobbs, S. H., & Fleming, D. E. (2008). Gender-selective effects of the P300 and N400 components of the visual evoked potential. *Vision Research*, 48(7), 917-925.
- Petrie, J. A. (2012). Visual Attention, Color Processing and Physiological Measure Differences in Males and Females with Substance Abuse and Opiate Addiction. *Dissertations & Theses - Gradworks*.
- Rentzperis, I., Nikolaev, A. R., Kiper, D. C., & Van, L. C. (2014). Distributed processing of color and form in the visual cortex. *Frontiers in Psychology*, 5, 932-932.
- Shen, X. (2005). SEX DIFFERENCES IN PERCEPTUAL PROCESSING: PERFORMANCE ON THE COLOR-KANJI STROOP TASK OF VISUAL STIMULI. *International Journal of Neuroscience*, 115(12), 1631-1641.
- Sorokowski, P., Sorokowska, A., & Witzel, C. (2014). Sex differences in color preferences transcend extreme differences in culture and ecology. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(5), 1195-1201.

Thompson, K. G., Bichot, N. P., & Sato, T. R. (2005). Frontal eye field activity before visual search errors reveals the integration of bottom-up and top-down salience. *Journal of Neurophysiology*, 93(1), 337--351.

Witzel, C., & Gegenfurtner, K. R. (2013). Categorical sensitivity to color differences. *Journal of Vision*, 13(7), 134-134.



图一 相关刺激 (Relevant stimulus)



图二 标准刺激 (Standard stimulus)