

嗅出新颖性？气味对创造性观点评价的影响^{*}

邢梁玉^{1,2} 于婷婷¹ 乔熙诺¹ 郝宁^{**1,3}

(¹华东师范大学心理与认知科学学院, 上海市心理健康与危机干预重点实验室, 上海, 200062)

(²新加坡国立大学心理学院, 新加坡, 117570)

(³合肥师范学院, 青少年心理健康与危机智能干预安徽省哲学社会科学重点实验室, 合肥, 230601)

摘要 嗅觉与情绪、认知等心理活动密切相关。研究采用事件相关电位技术, 探索气味影响创造性观点评价的效应及神经关联。要求个体在三种气味(薰衣草、迷迭香、无味空气)条件下对一系列创造性观点的新颖性进行评价。行为结果显示, 迷迭香显著提高个体对低新颖度观点的主观新颖性评分, 但气味并非通过情绪中介来影响观点评价。脑电结果显示, 在空气和薰衣草条件下, 高新颖度观点引发最大的 N400 振幅; 在迷迭香条件下, 中新颖度观点引发最大的 N400 效应。迷迭香和空气条件下的晚期正成分振幅在额叶和顶叶区存在显著差异。上述结果表明, 在创造性观点评价时, 迷迭香能够调节大脑对新颖信息的认知加工活动, 从而提高个体对低创造性观点的新颖性评价。

关键词 气味 创造性观点评价 新颖性 N400 LPC

1 引言

嗅觉是人类与环境进行沟通的关键途径之一, 在人类生活中扮演着重要角色, 如帮助个体识别环境中的潜在危险, 解读人际交互中蕴含的社会信息等 (Kutlu et al., 2008; Touhara & Vosshall, 2009)。已有研究探索了气味对情绪 (Herz, 2009)、记忆 (Larsson & Willander, 2009) 及决策 (Baron, 1983) 的影响, 但少有研究关注其对创造性思维的作用。创造性思维是涉及一系列复杂认知加工过程的高级认知活动 (Guilford, 1967)。根据生成-探索模型 (geneplore model), 创造性认知活动可分为生成和探索两个阶段 (Finke & Slayton, 1988)。生成阶段产生诸多新颖的观点或想法, 探索阶段对这些观点

进行评价, 确定其价值, 并从中选择一个或多个最优方案 (Patterson, 2004)。

气味会影响创造性观点生成。Gonçalves 等人 (2017) 的研究发现, 超过 90% 的被试喜欢在有气味的环境中写作, 且在气味条件下有 72.7% 的被试认为自己的写作更具创造性, 这一比例显著高于其他条件下被试自认为更有创造性的比例 (中性环境为 50%, 声音环境为 54.8%, 气味 + 声音环境为 63.6%)。另一项研究发现, 当要求个体提出改进电动牙刷的新颖想法时, 释放与牙刷相关的新鲜薄荷气味能促进创造性想法的产生 (Busca et al., 2021)。然而, 目前仅有一项研究考察了气味对创造性观点评价的影响。Ritter 等人 (2012) 比较了经历不同睡眠环境后被试完成创造性评价任务的表现,

* 本研究得到中央高校基本科研业务费专项资金资助项目的资助。

** 通讯作者: 郝宁, E-mail: nhao@psy.ecnu.edu.cn

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20250203

发现相较于无气味睡眠，在有气味条件下经过一夜睡眠后，被试成功筛选出最具创造性的观点的比例更高。该研究初步揭示了气味对创造性观点评价的作用，但并未考察清醒状态下吸入特定气味对创造性观点评价的影响。此外，该研究的行为指标相对单一，缺乏对效应背后心理和神经机制的深入探索。清醒状态下吸入特定的气味是否对创造性观点评价产生影响？气味是如何影响创造性观点评价的？这些问题有待进一步探究。

一项元分析研究表明，气味对人类的情绪、认知、行为和生理活动有广泛的影响（Herz, 2009）。从心理角度来看，气味可能通过调节情绪影响创造性观点评价，或者直接作用于与创造性观点评价有关的认知过程。首先，嗅觉和情绪加工的神经基础高度重叠（周雯, 冯果, 2012）。杏仁核、海马、眶额皮层和脑岛不仅是处理嗅觉信息的关键区域（Neville & Haberly, 2004），也是情绪加工的重要区域（Dolan, 2002）。大量研究支持了气味在调节情绪和情感方面的作用（Ballanger et al., 2019; Burnett et al., 2004; Campenni et al., 2004; Vernet-Maury et al., 1999）。同时，情绪对创造性思维有显著影响（Ivcevic & Hoffmann, 2019）。例如，趋近性的情绪比回避性的情绪更能促进创造性观点生成的流畅性和独创性（De Dreu et al., 2008）。与经历过愤怒和快乐（趋近性情绪）的个体相比，经历过恐惧（回避性情绪）的个体对创造性观点的新颖性水平评分更低（Lee et al., 2017）。因此，情绪有可能作为气味影响创造性观点评价的中间途径。这一假设在气味对一般认知任务表现的影响研究中得到了部分支持。例如，Baron的一系列研究表明，正性气味和其他能够提升积极情绪的刺激（如接受礼物）均能改善认知任务表现（Baron & Bronfen, 1994; Baron & Kalsher, 1998; Baron & Thomley, 1994）。从脑功能角度来看，嗅觉和情绪重叠的脑区同样具备认知功能。Cahill 等人（1995）指出，嗅觉传出神经与情绪和记忆加工系统之间存在直接联系。例如，杏仁核负责情感表达与记忆，只有两个突触将其与嗅觉神经分开。海马体参与工作记忆信息的筛选和传递，只有三个突触将其与嗅神经分隔（Eichenbaum, 2001）。已有研究发现气味可以直接作用于认知活动，例如薄荷气

味会提高个体完成警觉性任务的表现（Warm et al., 1991），使个体在高难度任务中注意力更加集中（Ho & Spence, 2005）。创造性思维与注意（Razumnikova, 2009; Wang et al., 2021）、记忆（Orwig et al., 2024; Rominger et al., 2022）等认知过程密切相关，故而气味在作用于情绪路径之外，也可能直接作用于创造性观点评价的相关认知活动。

从神经生理学角度来看，气味本质上是具有特定化学结构的物质，其化学成分可以直接作用于中枢神经、自主神经以及内分泌系统（Herz, 2009）。电生理学研究表明，各种气味会影响自发的大脑活动和认知功能（Sowndhararajan et al., 2015）。例如，即使气味浓度低于被试的觉察水平，气味组和无气味组个体的大脑 Alpha 波活动仍存在显著差异（Lorig et al., 1991）。此外，吸入气味会改变个体的生理指标（Angelucci et al., 2014），如心率（Campenni et al., 2004）、血浆中的生物标志物含量（Moss & Oliver, 2012）及脑源性神经营养因子的水平等（Achour et al., 2022）。创造性思维与中枢神经系统、自主神经系统以及内分泌系统之间存在复杂的相互作用，且中枢神经系统在其中具有核心地位（Dietrich, 2004; Dietrich & Kanso, 2010）。由此可推测，气味对创造性观点评价的影响，可能部分源于气味对中枢神经系统的直接效应。

综上，鉴于嗅觉与情绪的紧密联系以及情绪被广泛认为是创造性表现的重要预测因子之一（Ashby et al., 1999; George & Brief, 1996; Mumford, 2003），本研究将重点探讨情绪在气味影响创造性观点评价中的作用。此外，脑电信号被视为气味作用神经反应的直接体现（Diego et al., 1998; Iijima et al., 2007; Lorig et al., 1988），是测量中枢神经系统反应的有效指标（Sowndhararajan & Kim, 2016）。本研究将采用高时间分辨率的事件相关电位（event-related potentials, ERPs）技术揭示气味影响创造性观点评价的神经关联（neural correlates）。

在众多天然芳香物质中，薰衣草和迷迭香因其悠久的历史而备受关注（Valnet, 1990）。大量实证研究揭示了二者的心理和生理效应：薰衣草是放松类气味的代表，迷迭香则是警觉类气味的典型（Atsumi & Tonosaki, 2007; Diego et al., 1998;

Filipstsova et al., 2018; Moss et al., 2003)。选择这两种气味作为气味条件,可以基于既有的丰富研究成果为本研究的发现提供有说服力的解释。薰衣草能提升幸福感(Vernet-Maury et al., 1999),降低心率和皮肤电阻,对情绪有积极调节作用(Campenni et al., 2004)。迷迭香能改善情绪状态、减轻疲劳并增强认知功能(Araki et al., 2020)。虽然这两种气味在情绪效价上均是正性的,但在唤醒度上存在显著差异。迷迭香具有提升唤醒度的效果(Dalton et al., 2008)。研究表明,个体吸入迷迭香后的警觉性显著高于吸入薰衣草或空气后(Moss et al., 2003)。此外,一项 EEG 研究发现,薰衣草通过提升 Beta 波功率引发嗜睡,而迷迭香则通过降低额叶的 Alpha 和 Beta 波功率增强警觉(Diego et al., 1998)。情绪是创造性观点评价的影响因素,处于积极情绪状态的个体对创造性观点的评分显著高于其在消极或中性情绪下的评分(Mastria et al., 2019)。个体的唤醒和激活水平与复杂思维能力呈倒 U 型关系,即中等唤醒水平更有利于促进创造性思维,包括建立远距离概念间的联系或发掘创造性观点的价值等(Carnevale & Probst, 1998)。综上,尽管薰衣草和迷迭香都可能通过改变积极情绪来影响创造性观点评价,但由于唤醒度水平的差异,二者对创造性观点评价的具体效应或机制可能会有所不同。

在神经生理层面,ERPs 的 N400 和晚期正成分(late positive complex, LPC)可能有助于揭示不同气味影响创造性观点评价的特异性模式。Rutter 等人(2012)认为个体对新颖信息的评价是一种被动的概念扩展活动,而经典的 ERP 成分 -N400 与概念扩展紧密相关。N400 是一个中央-顶区分布的负向波,通常在刺激呈现后 300~600ms 出现,在大约 400ms 时达到峰值。一般认为, N400 是从记忆中提取概念性知识难易程度的指标(Kutas & Federmeier, 2000),其振幅受到多种因素的调节,如语义不一致性(Kutas & Hillyard, 1980)、对先前语境或常识的违反程度(Hagoort et al., 2004)、语义整合难度(Kutas & van Petten, 1994)等。与单纯字面意义的加工相比,无意义短语和新奇隐喻会诱发更强烈的 N400 效应(Rutter et al., 2012)。这可能表明

N400 振幅同时反映了个体在不相关概念间建立连接所需的认知努力。此外,个体在处理新颖隐喻时的 N400 振幅显著高于处理普通语义信息(信息之间只存在字面上的语义联系)或传统隐喻时的 N400 振幅(Arzouan et al., 2007)。一方面,这可能是因为在加工创造性信息时,需要调动更多认知资源在新颖的远距离概念间建立联系(Abraham et al., 2021)。另一方面, N400 振幅的增加可能表明个体试图解决远距离概念之间存在的语义冲突(Jia et al., 2023)。基于上述结果, N400 可能对新颖信息具有高灵敏性,使其成为反映创造性观点评价过程的有效神经指标之一。晚期正成分(late positive complex, LPC)也是创造性认知活动的一个指标,其在刺激呈现后的较晚时间窗内出现,通常表现为额叶和顶叶区域的正向振幅变化(Rataj et al., 2018)。LPC 反映了包括语义整合、语义推理和解释加工在内的一系列高级概念加工过程(Pijnacker et al., 2011; Rataj et al., 2018)。在创造力研究中, LPC 的变化敏感地反映了个体在从超出常规的信息中提取意义的认知努力(Hagoort, 2003; Osterhout & Holcomb, 1993)以及对远距离概念进行语义整合时的认知过程(Tang et al., 2022)。例如, Bauer 和 Jackson(2015)通过先后呈现两类事实信息,诱发被试对上下文语义进行整合。结果发现,个体在整合一般语义信息时引发的 LPC 振幅显著小于在整合新颖事实时所引发的 LPC 振幅。此外,在评价新颖且实用的观点时, LPC 振幅显著高于评价普通且常见观点时的 LPC 振幅(Tang et al., 2022)。Abraham 等人(2021)则比较了 N400(350~500ms 平均振幅)和 LPC(500~900ms 平均振幅)在语义加工任务中的细微差别,他们指出 N400 对短语的新颖性具有高敏感性,而 LPC 与短语的适宜性联系更密切。

本研究旨在探索气味对创造性观点评价的影响及效应背后的认知神经机制。通过释放高唤醒(迷迭香)气味、低唤醒(薰衣草)气味、无气味空气来操纵气味类型,要求被试在不同气味环境中完成创造性观点评价任务,借助 ERPs 技术比较不同气味条件下个体在创造性观点评价中的神经活动模式。本研究假设:(1)薰衣草和迷迭香均可通过提升情绪愉悦度进而作用于创造性观点评价;(2)迷迭香

具有高唤醒特性，可能导致个体高估观点的新颖性；

(3) 评价高新颖度观点时会伴随更显著的 N400 和 LPC 效应；(4) 在迷迭香条件下评价观点新颖性会引发更大的 N400 和 LPC 振幅。

2 方法

2.1 被试

根据 G*Power 3.1 样本量预估结果（设置为中等效应量 $f = .25$ 、检验效能 Power $(1 - \beta) = .95$ ），实验需要最小样本量为 54 人，平均每组 18 人。本研究共招募 91 名大学生（54 名女性），年龄为 21.33 ± 2.26 岁。被试均为右利手，视力正常或矫正后正常，没有精神障碍或嗅觉障碍（如鼻炎或感冒等影响正常嗅觉功能的疾病）。被试被随机分配到三个组别之一：空气组（30 人）、迷迭香组（31 人）和薰衣草组（30 人）。各组的性别分布均衡。卡方检验显示，组间性别比例无显著差异（ $\chi^2 = 1.44, df = 2, p > .05$ ）。实验持续约 35 分钟，被试在完成实验后获得 30 元人民币作为报酬。本研究获得华东师范大学人类受试者保护委员会的批准（HR2-0173-2023）。

2.2 实验设计

本研究采用 3（气味：空气、迷迭香、薰衣草） \times 3（观点新颖度：低、中、高）的混合实验设计。气味为被试间变量，观点新颖度为被试内变量，因变量为观点的新颖性主观评分和 N400、LPC 平均振幅。

2.3 实验材料

本实验要求被试对创造性观点进行评价，因此需预先选择创造性问题及其多样化的答案（观点）。从以往研究（Gao et al., 2022; Lu et al., 2019; Lu & Hao, 2019）所采用的现实情景问题（realistic presented problems, RPP）题库中，选取 10 道题目。针对每个问题，根据观点的新颖程度预先选择 9 个不同观点，分别代表低、中、高新颖度（每个水平各 3 个观点）。对观点的新颖程度进行预实验检验，共有 38 名被试（未参与正式实验）对其进行评分（1 一点也不新颖~5 非常新颖）。结果表明，这些观点的新颖性评分存在显著差异， $F(2, 36) = 71.45, p < .001, \eta_p^2 = .66$ 。成对比较显示，高新颖度观点（ M

$= 3.85, SD = .52$ ）显著高于中新颖度观点（ $M = 2.93, SD = .62, p < .001$ ），中新颖度观点显著高于低新颖度观点（ $M = 2.33, SD = .92, p < .001$ ）。在正式实验中，题目呈现顺序随机，其对应的答案也随机呈现，被试对答案的新颖性进行评分。为了更精细地捕捉被试对各个观点的评价差异，正式实验采取 1 到 9 的评分范围（1 一点也不新颖~9 非常新颖）。

2.4 前测和后测问卷

Runco 构念行为量表（Runco Ideational Behavior Scale, RIBS）（Runco et al., 2001）。该量表用于测量个体的一般创造力水平，共有 19 道题目，采用 5 点评分（0 从不~4 总是如此）。本实验中该量表具有良好信度（Cronbach's $\alpha = .85$ ）。

主观情绪自评量表（Self-Assessment Manikin, SAM）（Bradley & Lang, 1994）。采用 SAM 的愉悦度和唤醒度子量表，被试通过 9 点评分来评估情绪状态，愉悦度从 1（很难过）到 9（很开心），唤醒度从 1（很平静）到 9（很激动）。

气味主观体验自评问题。要求被试闻到气味后，对其强度、愉悦度、熟悉度和刺激性这四维度进行评价，评分范围从 1（完全不强烈/不愉悦/不熟悉/不刺激）到 9（非常强烈/愉悦/熟悉/刺激）（Pellegrino et al., 2017）。

任务属性主观自评问题。要求被试在完成实验任务后，对任务的难度、有趣程度和完成任务时的疲劳程度进行评价，评分范围从 1（完全不难/非常无趣/一点也不疲劳）到 9（非常难/非常有趣/非常疲劳）。

2.5 气味和释放仪器

选用迷迭香和薰衣草气味，气味来源是德国 Oshadhi 公司生产的单方精油。采用意大利 CyNexo srl 公司生产的嗅觉仪器（Sniff-0 Portable Scent Controller Olfactometer）控制气味的释放，见图 1B。气味的释放方式为：将 5ml 单方精油放入嗅质瓶，用空气泵将新鲜空气引入嗅质瓶，通过导出管释放带有气味的气体。空气组的嗅质瓶中放 5ml 的纯净水。控制气压为 2bar（2 倍的标准大气压），在各组中等速释放气流。被试佩戴嗅觉仪器的导出设备，导管出口位于鼻下 5~10cm 的位置，以确保气味的有效传递。

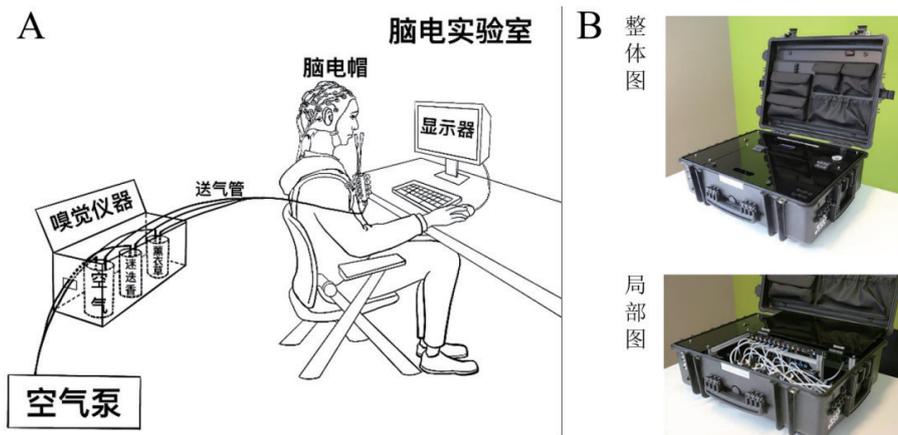


图1 实验场景及嗅觉仪器 Sniff-0 示意图

2.6 实验流程

被试佩戴嗅觉仪器输出设备和脑电帽进行实验,实验程序由 E-Prime 3.0 软件设计,通过分辨率 1920×1080 的 27 英寸 LCD 显示器呈现,图 1A 为实验场景示意图。

被试先完成 RIBS。接着开启嗅觉仪器释放气味,被试进入 2 分钟的静息状态,随后完成前测 SAM 和气味主观体验自评问题。正式实验环节,要求被试对 10 道 RPP 题目的观点的新颖性进行评价。题目和对应的观点以随机顺序呈现。每道题目呈现 10 秒,随后自动跳转至答案界面,每个观点呈现 5 秒,之后跳转至评分界面。被试对每个观点的新颖性进行评分后,系统自动跳转至下一个观点。每道题目的 9 个观点评价完成后,自动跳转至下一题。各题目间有 1 分钟的休息间隔。观点评价任务结束后,被试完成后测 SAM 和任务属性主观自评问题。实验整体步骤和观点评价任务流程见图 2。

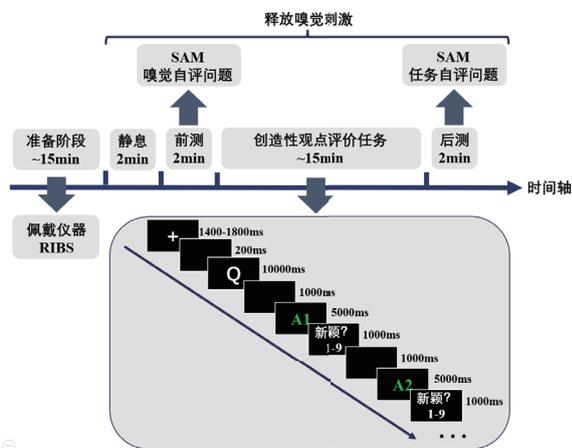


图2 实验流程和创造性观点评价任务示意图

注: Q 为 RPP 题目; A1 为 RPP 题目的第一个答案, A2 为 RPP 题目的第二个答案, 以此类推。

2.7 ERPs 数据采集及分析

采用 Compumedics 公司生产的 Neuroscan 系统收集脑电信号。被试佩戴 64 导电极帽,电极按国际 10/20 系统标准排列,同时记录垂直眼电(在右眼上方和下方放置电极)和水平眼电(在每只眼睛的外眼角放置电极)。数据记录时,中央电极 FCz 作为在线参考,所有电极阻抗保持在 10kΩ 以下。信号放大器的采样率设置为 1000Hz,脑电数据被同步存储在硬盘上,供后续分析。

使用 MATLAB 中的 EEGLAB 工具箱对脑电数据进行预处理。首先进行 0.01~40Hz 的带通滤波,接着将采样率从 1000Hz 降至 500Hz,再将全脑的平均脑电数据作为离线参考。随后,以刺激(创造性观点)呈现时刻为零点截取 ERPs 分析时间窗(-400ms, 2000ms),并进行基线校正(-400ms, 0)。通过主成分分析方法去除眼动、肌电等伪迹成分,设置阈值为 $[-70\mu\text{V}, 70\mu\text{V}]$ 剔除坏段。最后,根据实验条件分类,叠加相应的分段数据得到 ERPs 波形。由于数据质量问题,去除薰衣草组 1 名被试数据,最终保留被试为空气组 ($n = 30$)、迷迭香组 ($n = 31$) 和薰衣草组 ($n = 29$),各组被试的性别分布均衡,卡方检验显示组间性别比例无显著差异 ($\chi^2 = 1.22, df = 2, p > .05$)。不同被试组各条件下的有效试次数为:空气组(低: $M = 24.30, SD = 4.10$; 中: $M = 24.60, SD = 4.31$; 高: $M = 24.63, SD = 3.93$);迷迭香组(低: $M = 24.84, SD = 3.79$; 中: $M = 25.42, SD = 4.45$; 高: $M = 24.55, SD = 4.55$);薰衣草组(低: $M = 24.76, SD = 3.75$; 中: $M = 25.45, SD = 3.23$; 高: $M = 24.93, SD = 3.72$)。重复测量方差分析结果表

明，各气味条件 ($F(2, 87) = .18, p > .05$) 及观点新颖性条件下的有效试次数量均无显著差异 ($F(2, 87) = 1.78, p > .05$)，且两个变量间不存在显著交互作用 ($F(4, 174) = .44, p > .05$)。

N400 和 LPC 成分的时间窗分别为观点呈现后 350~500ms 和 500~900ms (赵庆柏等, 2017; Abraham et al., 2021; Rutter et al., 2012)。采用平均振幅法，对额叶 (F: F3、FZ、F4)、额中央 (FC: FC3、FCZ、FC4)、中央 (C: C3、CZ、C4)、中央-顶叶 (CP: CP3、CPZ、CP4) 和顶叶 (P: P3、PZ、P4) 五个脑区进行探索性分析。采用 SPSS 27.0 进行统计分析，对 N400 和 LPC 的平均振幅进行气味 (迷迭香、薰衣草、空气) × 观点新颖度 (低、中、高) × 脑区 (F、FC、C、CP、P) × 半球 (左半球、中央线、右半球) 的重复测量方差分析，其中气味为被试间变量，其他均为被试内变量。脑区和半球的变量基于对应区域多个电极点的平均值进行计算。对方差分析得到的 p 值执行 FDR 校正，以 $p < .05$ 为标准。经过 FDR 校正后，仍然显著的通道被选取进行事后检验，对事后检验的结果以 Bonferroni 方法进行校正。对于不满足球形假设的结果，采用 Greenhouse-Geisser 方法进行校正。同时，对事后比较的结果使用 Bonferroni 方法进行校正以确保统计结果的准确性。

3 结果

3.1 行为结果

采用 SPSS 27.0 对行为数据进行统计分析。以气味为被试间变量，对四个气味属性得分进行单因素方差分析。三种气味在气味强度 ($F(2, 88) = 18.33, p < .001, \eta_p^2 = .29$) 和气味刺激度 ($F(2, 89) = 10.86, p < .001, \eta_p^2 = .20$) 上存在显著差异。事后检验表明，在气味强度上，空气 ($M = 2.77, SD = 1.65$) 显著小于迷迭香 ($M = 5.10, SD = 1.58, p < .001$) 和薰衣草 ($M = 4.83, SD = 1.68, p < .001$)；气味刺激度上，空气 ($M = 1.73, SD = 1.98$) 显著小于迷迭香 ($M = 3.84, SD = 1.86, p < .001$) 和薰衣草 ($M = 3.83, SD = 2.21, p < .001$)。以气味为被试间变量，对年龄、RIBS 总分、前测 SAM、后测 SAM 和任务自评问题得分进行单因素方差分析，均不存在组间差异。结果如表 1 所示。

以气味 (被试间变量) 和观点新颖度 (被试内变量) 为自变量，以 RIBS, SAM 前后测以及任务自评问题得分作为协变量，以观点的新颖性评价得分为因变量，进行重复测量方差分析。气味的主效应不显著， $F(2, 80) = .45, p > .05$ 。观点新颖度的主效应显著， $F(2, 79) = 19.21, p < .001, \eta_p^2 = .19$ 。气味和观

表 1 不同气味条件下主观报告各指标的差异

	空气		迷迭香		薰衣草		气味主效应		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2
年龄	20.90	2.17	21.42	2.67	21.67	1.86	.90	.411	.02
RIBS	62.70	10.57	60.42	8.25	61.10	9.75	1.16	.320	.03
愉悦水平	5.97	1.33	5.90	1.56	5.50	1.33	.97	.384	.02
激活水平	4.37	1.79	5.06	1.46	4.07	1.60	3.06	.052	.07
后测愉悦	5.63	1.30	5.90	1.40	5.33	1.35	1.36	.262	.03
后测激活	4.80	1.96	5.42	1.26	4.77	1.55	1.60	.208	.04
任务难度	2.93	1.82	3.74	1.91	3.90	2.07	2.15	.122	.05
疲劳程度	4.93	2.03	4.84	1.70	4.80	2.14	.04	.964	.001
有趣程度	6.37	1.73	5.77	2.08	5.97	1.65	.83	.441	.02
气味愉悦度	4.87	1.59	4.55	2.14	4.00	1.95	1.58	.212	.04
气味强度***	2.77	1.65	5.10	1.58	4.83	1.68	18.33	< .001	.29
气味熟悉程度	4.50	2.16	5.48	1.82	4.57	2.30	2.10	.129	.05
气味刺激程度***	1.73	1.98	3.84	1.86	3.83	2.21	10.86	< .001	.20

注：*， $p < .05$ ；**， $p < .01$ ；***， $p < .001$ 。

点新颖度的交互作用显著, $F(2, 79) = 4.38, p = .010, \eta_p^2 = .10$ 。固定气味, 进行简单效应分析。结果显示, 在空气条件下, 被试对低新颖度观点的评分 ($M = 2.57, SD = .18$) 显著低于中新颖度观点的评分 ($M = 4.43, SD = .16, p < .001$), 对中新颖度观点的评分显著低于高新颖度观点的评分 ($M = 7.09, SD = .18, p < .001$)。在迷迭香条件下, 被试对低新颖度观点的评分 ($M = 3.21, SD = .18$) 显著低于中新颖度观点的评分 ($M = 4.70, SD = .16, p < .001$), 对中新颖度观点的评分显著低于高新颖度观点的评分 ($M = 6.60, SD = .18, p < .001$)。在薰衣草条件下, 对低新颖度观点的评分 ($M = 2.68, SD = .18$), 显著低于中新颖度观点的评分 ($M = 4.22, SD = .16, p < .001$), 对中新颖度观点的评分显著低于高新颖度观点的评分 ($M = 6.82, SD = .18, p < .001$)。固定观点新颖度, 进行简单效应分析。结果显示, 对

于低新颖度观点, 迷迭香气味下的观点新颖性评分 ($M = 3.21, SD = .18$) 显著高于空气下的评分 ($M = 2.57, SD = .18, p < .05$), 但对高、中新颖度观点, 三种气味条件下的评分没有显著差异。结果如图3所示。

采用 SPSS 27.0 中 PROCESS 插件 (Hayes, 2018) 执行中介分析, 以气味为自变量, 情绪前测或后测评分作为中介变量, 观点新颖性评分作为因变量。结果显示整体中介效应不显著, $R^2 = .02, F(2, 88) = .83, p > .05$ 。

3.2 ERPs 结果

3.2.1 N400 和 LPC 波形图及地形图

以 FZ、CZ、PZ 电极点为例绘制 N400 和 LPC 的波形图, 以 350~500ms 为时间窗, 绘制间隔 75ms 的地形图, 三种气味下的大脑活动见图4、图5、图6所示。

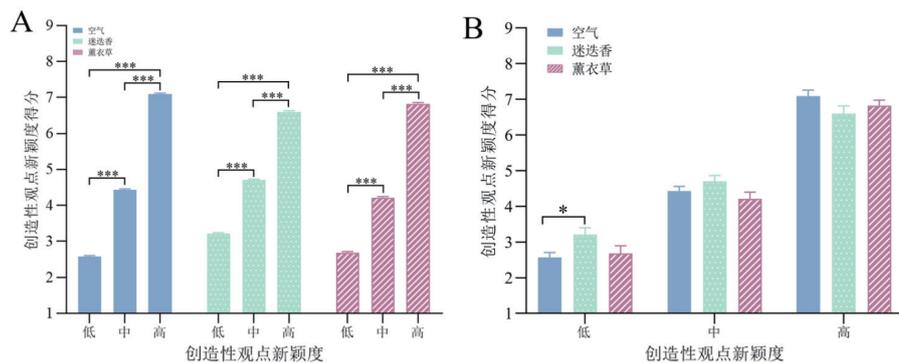


图3 不同气味条件下观点新颖性评分差异

注: (A) 固定气味类型, 简单效应分析结果; (B) 固定观点新颖度, 简单效应分析结果; * $p < .05$, *** $p < .001$ 误差线代表标准误。

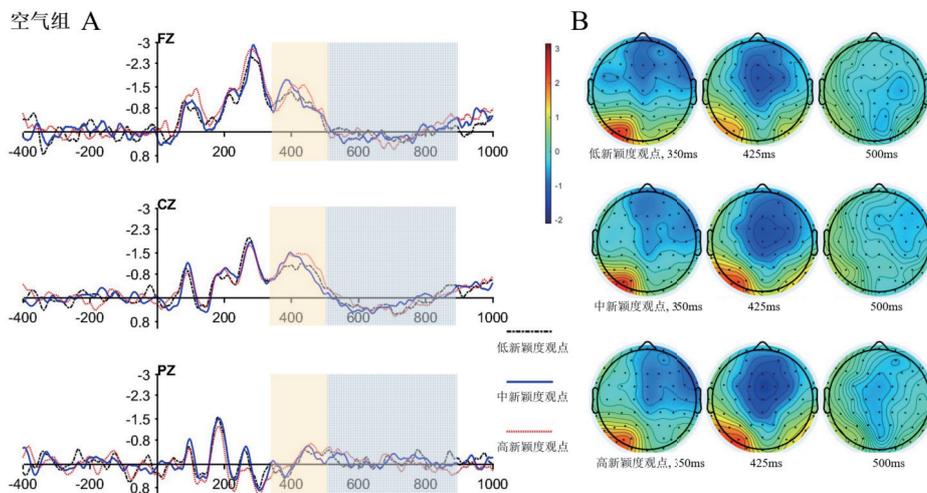


图4 空气组 N400 和 LPC 波形图及 350~500ms 地形图

注: (A) N400 和 LPC 在 FZ、CZ、PZ 电极点上波形图; (B) 评价低、中、高新颖度观点时 350ms~500ms 时间段, 以 75ms 为间隔的地形图。黄色矩形覆盖区域为 N400 时间窗, 蓝色矩形覆盖区域为 LPC 时间窗。

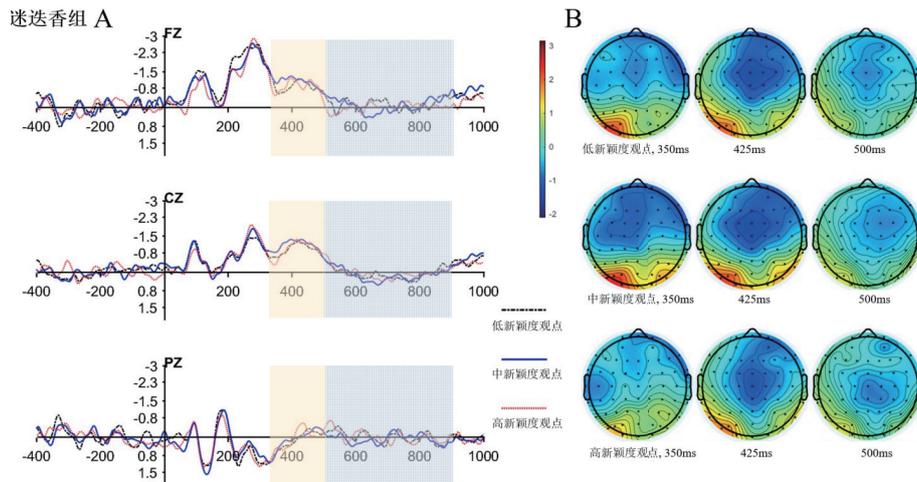


图5 迷迭香组 N400 和 LPC 波形图及 350~500ms 地形图

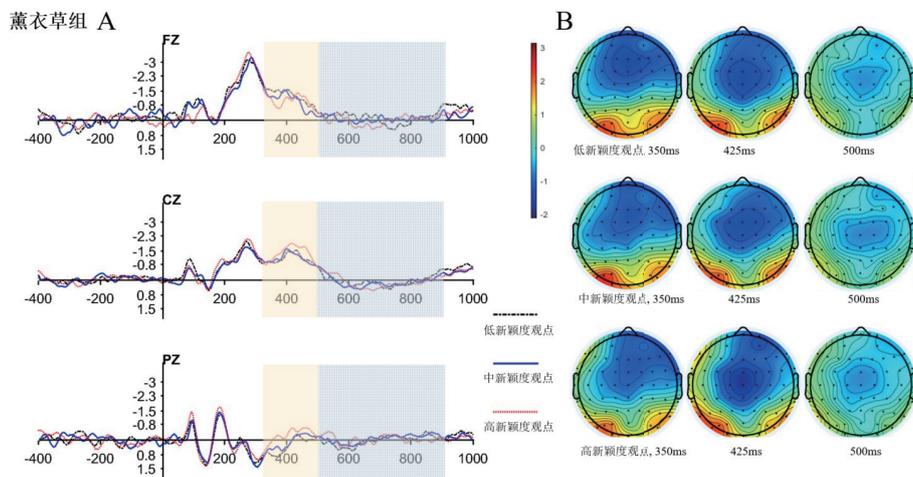


图6 薰衣草组 N400 和 LPC 波形图及 350~500ms 地形图

3.2.2 N400 分析结果

气味的主效应不显著, $F(2, 87) = .66, p > .05$ 。观点新颖度的主效应显著, $F(2, 86) = 4.83, p < .01, \eta_p^2 = .05$ 。多重比较显示, 低新颖度观点引起的 N400 平均振幅 ($M = -.41, SD = .03$) 显著小于高新颖度观点 ($M = -.48, SD = .03, p < .01$), 而中新颖度观点 ($M = -.46, SD = .03$) 和另两类观点无显著差异。

气味和观点新颖度的交互作用显著, $F(4, 174) = 3.93, p < .01, \eta_p^2 = .08$ 。简单效应分析表明, 在不同气味作用下, 不同观点新颖度之间唤起的 N400 差异模式出现显著差异。具体如下: 在空气条件下, 高新颖度观点引发的 N400 平均振幅 ($M = -.48, SD = .06$) 显著大于低新颖度观点 ($M = -.38, SD = .06, p < .05$); 迷迭香条件下, 中新颖度观点振幅 ($M = -.50, SD = .06$) 显著大于低新颖度观点 ($M = -.38,$

$SD = .06, p < .01$) 和高新颖度观点 ($M = -.39, SD = .06, p < .05$); 薰衣草条件下, 高新颖度观点振幅 ($M = -.57, SD = .06$) 显著大于低新颖度观点 ($M = -.47, SD = .06, p < .05$) 和中新颖度观点 ($M = -.46, SD = .06, p < .05$)。固定观点新颖度, 进行简单效应分析。结果显示, 在评价不同新颖度观点时, 不同气味条件引发的 N400 平均波幅无显著差异。见图 7 所示。

3.2.3 LPC 分析结果

气味的主效应不显著, $F(2, 87) = .44, p > .05$; 观点新颖度的主效应不显著, $F(2, 87) = .19, p > .05$; 气味和观点新颖度的交互作用不显著, $F(4, 174) = 1.17, p > .05$ 。

气味和脑区的交互作用显著, $F(8, 170) = 2.85, p < .05, \eta_p^2 = .06$ 。简单效应分析显示, 在额叶区, 空气条件 LPC 平均振幅 ($M = .05, SD = .05$) 和迷迭香条件 ($M = -.09, SD = .04$) 的差异边缘显著,

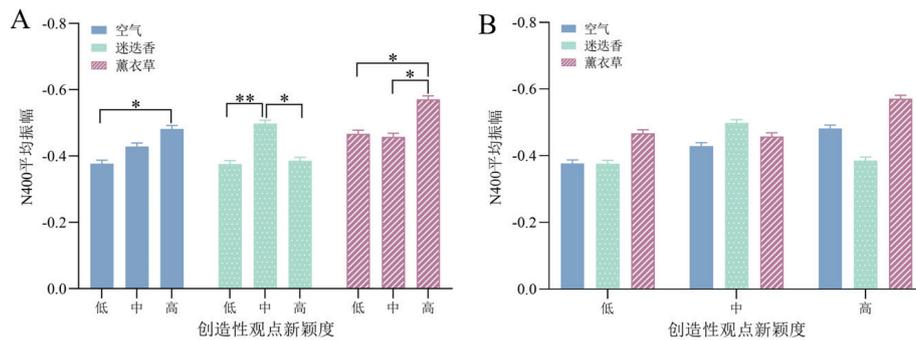


图7 N400 气味 × 观点新颖度的交互作用

注: (A) 固定气味类型, 简单效应分析结果; (B) 固定观点新颖度, 简单效应分析结果; *, $p < .05$, **, $p < .01$; 误差线代表标准误。

$p = .067$; 在顶叶区, 空气条件 ($M = -.09, SD = .04$) 和迷迭香条件 ($M = .04, SD = .04$) 有显著差异, $p < .05$ 。

3.3 行为指标和 N400、LPC 之间的相关

对行为指标和各脑区的 N400、LPC 平均振幅进行一系列皮尔逊相关分析。观点的新颖性评分和 N400 平均振幅在 CPZ 上显著负相关, $r = -.21, p < .05$; 在 PZ 上显著负相关, $r = -.31, p < .01$; 在 P4 上显著负相关, $r = -.26, p < .05$ 。

4 讨论

本研究使用 ERPs 技术, 探究薰衣草和迷迭香气味影响创造性观点评价的效应及神经关联。行为结果表明, 与空气相比, 迷迭香显著提高了个体对低新颖度观点的新颖性评价, 但其影响并非通过情绪途径产生。ERPs 结果表明, 个体在对较高新颖度观点进行评价时所引发的 N400 效应更强, 表明 N400 可能是反映观点新颖度的有效神经指标。但在较晚的时间窗内, 不同新颖度观点引发的 LPC 振幅未表现出显著差异。在迷迭香、薰衣草和空气条件下, N400 振幅受观点新颖度调节的模式有所不同。此外, 迷迭香和空气对创造性观点评价作用的差异还体现在晚期 LPC 振幅上。

吸入迷迭香气味的被试对低新颖度观点的新颖性评分更高, 这可能源于迷迭香的警觉性特征 (Diego et al., 1998)。Herz (2009) 提出, 迷迭香有令头脑清醒并促进记忆表现的作用。当个体对呈现的观点进行评价时, 迷迭香可能激活记忆并增强个体对当前信息与过往经验间连接的觉知, 从而对低创造性观点做出更为积极的主观评价。另一种可

能的解释是, 迷迭香并没有提高对观点新颖性的评价, 而是降低了个体的评判标准。过度的感官刺激会导致个体的认知资源被过度消耗 (Scheydt et al., 2017)。当个体的认知资源被过度占用时, 他们的评价标准可能会变得不那么严格 (Krämer, 2014)。迷迭香作为一种刺激性气味, 可能促使被试采用更宽松的评判标准, 从而避免对低创造性观点给予过低评分。另外, 从气味的化学结构看, 1,8-桉叶素是迷迭香中的活性物质。该物质能够穿过血脑屏障, 通过增加神经递质 (如乙酰胆碱) 的释放来提高神经元的活动水平 (Kennedy et al., 2011; Moss et al., 2003)。乙酰胆碱是一种在认知功能中起着重要作用的神经递质, 有利于增强注意力, 促进学习和记忆 (Hasselmo & Sarter, 2011)。因此, 迷迭香对创造性观点评价的影响, 可能源于其高唤醒特性及相关活性物质的作用。研究结果也揭示, 薰衣草气味并不影响个体对观点新颖性的评价。这可能是由于薰衣草具有放松和镇静效果 (Setzer, 2009)。虽然这有助于减轻压力和抑郁情绪 (Diego et al., 1998) 或是对抗焦虑 (Chioca et al., 2013), 但其未必对创造性观点评价有显著影响。实际上, 薰衣草气味甚至有可能损伤认知过程, 使个体的工作记忆表现下降, 增加个体在完成记忆和创造力任务时的反应时 (Moss et al., 2003)。

本研究试图从情绪路径解释迷迭香气味对创造性观点评价的积极作用, 但实验结果并未支持该假设。其一, 气味的积极影响通常依赖于其愉悦性。由于文化、经验、性别和性格等因素的差异, 同一气味引发的情绪反应可能在个体间存在显著差异 (Herz, 2009)。其二, 能够引起愉悦情绪体验的

香甜气味通常在中等浓度下最为有效（王娟等，2011）。本研究选用纯精油作为气味来源，虽然这在一定程度上避免了其他杂质的干扰，但这也可能导致精油挥发的气味浓度未达到最佳水平。鉴于以上原因，本研究未能在组别层面上观察到薰衣草和迷迭香对情绪的显著调节作用，因此情绪路径在本研究中未得到支持。需要指出的是，情绪中介并非稳定地出现在气味作用于认知评价的过程中。例如，Spangenberg 等人（1996）研究了环境气味如何影响商店和产品评估，结果显示气味对情绪没有显著影响。类似地，在研究气味对品牌评估和记忆的影响时，环境气味也未能显著调节被试的情绪和唤醒水平（Morrin & Ratneshwar, 2000）。研究者认为，气味对认知评价的影响可以在没有情绪变化的情况下直接发生（Chebat & Michon, 2003; Ellen & Bone, 1998）。本研究结果不支持情绪路径的假设，这一发现具有启示意义，即过度强调环境因素对情绪的影响，可能会导致忽略对环境因素直接作用于认知活动的深入研究。例如，有研究发现，背景音乐对认知反应和信息处理具有显著且直接的影响，而非通过情绪间接产生效应（Chebat et al., 2001）。气味作为嗅觉感官刺激，可能也会类似声音刺激一样直接影响认知活动。聚焦气味对认知的直接效应，有利于深入揭示气味在创造性观念评价过程中的独特作用。

从神经生理角度，我们观察到不同气味对创造性观点评价的神经活动的影响有显著差异。在 N400 时间窗内，观点新颖度对振幅的调节模式在各气味组中有所不同。具体而言，对于空气组，创造性观点引发的 N400 效应和前人研究一致，即随着观点新颖度的提高，N400 平均振幅变大。中等新颖度观点引发的 N400 处于中等水平，高新颖度观点引发的 N400 效应显著大于低新颖观点，该发现支持 N400 作为反映大脑处理新颖信息的有效生理指标。Luo 等人（2006）指出 N400 效应在大脑对新颖信息自动化加工中的作用，认为 N400 成分更多地反映了个体对新出现的思维冲突的探测和觉察，并不直接表明个体对刺激含义的正确理解。N400 振幅大小也反映个体在加工新颖信息时感受到的语义冲突水平以及个体在理解语义冲突时所付出的努

力程度（Kutas & Federmeier, 2000; Kutas & Hillyard, 1980）。在本研究中，高新颖度观点涉及更远的概念联结，进而导致更大的语义冲突。因此个体需要投入更多的认知努力以激活原有的概念网络。这一处理新颖信息的加工过程反映在 N400 平均振幅的变化上。需注意的是，行为指标的结果显示个体对不同新颖度观点的主观评价在各气味组之间保持一致。尽管气味对创造性观点评价的影响未直接反映在外显行为中，但神经活动的结果（即 N400 效应的差异）可能在一定程度上揭示了气味对观点评价过程的潜在影响。

在薰衣草条件下，高新颖度观点引发的 N400 振幅显著大于低新颖度和中等新颖度的观点。如前所述，薰衣草具有放松效果，实验中所使用的薰衣草精油的主要成分是芳樟醇和乙酸芳樟酯，其能够显著抑制中枢神经系统的活动（Diego et al., 1998; Sayorwan et al., 2012）。据此，薰衣草可能因其镇静效应导致个体的认知活动水平下降，使个体在加工创造性观点时较为“迟缓”，从而使得薰衣草组被试仅在处理高新颖度观点时才引发更强烈的 N400 效应。需指出，本实验未有直接证据支持上述推测，这需要未来研究更进一步探索。

在迷迭香条件下，中等新颖度的观点引发了比低新颖度和高新颖度观点更大的 N400 效应，这表明迷迭香对创造性观点评价产生了与薰衣草、空气不同的独特影响。一方面，评价高新颖观点时未能引起显著的 N400 效应，这可能源于迷迭香对个体认知功能的提升作用（Hussain et al., 2022; Moss & Oliver, 2012; Moss et al., 2018; Riby et al., 2023）。迷迭香促使个体更有效地整合新信息，减少认知冲突或惊讶感，从而在面对高新颖度观点时表现出较小的 N400 效应。另一方面，对中新颖度观点时出现了最大的 N400 效应，这可能是由于评价过程受到创造性观点实用性维度的干扰。Rietzschel 等人（2010）指出，评价者很难将创造性观点或产物的新颖性和实用性完全独立开来，且往往认为两者是负相关的。在本研究中，低新颖度的观点由于过于常规，在迷迭香组中未能引发强烈的 N400 效应。然而，中等新颖度的观点兼具新颖性和适宜性。而迷迭香所带来的警觉性提升，可能令个体更容易被

观点的实用性所干扰。在这种情况下,个体需要整合更多维度的信息来进行判断,增加了认知负荷。最终,这种额外的认知努力使得个体在迷迭香条件下评价中新颖度观点时出现最大的 N400 效应。

本研究未观察到观点新颖度对 LPC 振幅的显著效应。有研究指出, N400 之后存在一个延续的晚期负向波,它与在较晚的时间窗口内激发的 LPC 相重叠,从而导致 LPC 对新颖刺激的反应减弱,甚至使 LPC 的波形偏负 (Rösler & Heil, 1991)。此外, LPC 通常被认为反映了个体在首次未能提取文本信息的异常含义后,尝试重新处理和整合语义的过程 (Osterhout & Nicol, 1999)。周晓林和叶铮 (2006) 提出, LPC 振幅的激活并不总是与语义加工相关,而是更多地出现在句法违规的条件下。鉴于本实验中向被试呈现的文字材料均为语法正确的陈述句,且仅在新颖程度上存在差异,可推测被试在首次理解句子时就已成功提取了语义信息。这种情况下,大脑可能不需要进行额外的语义重新加工或整合,因此本研究未观察到观点新颖度对 LPC 振幅有显著影响。然而,创造性观点引发的 LPC 振幅在特定脑区表现出空气与迷迭香组之间的差异。具体而言,额叶区在迷迭香条件下 LPC 振幅偏负,在空气条件下则表现为正;顶叶区在迷迭香条件下 LPC 振幅为正,而在空气条件下为负。以上 LPC 的差异仅体现在迷迭香和空气条件中,可能反映其受到 N400 遗留效应的影响。结合 N400 和 LPC 的发现,这可能意味着迷迭香对新颖信息认知加工的整个过程都产生了影响,而不仅限于初期的思维冲突阶段。

当前研究存在一些局限性。首先,本研究仅探讨了气味通过情绪途径对创造性观点评价的影响,未考察其他可能的心理机制。考虑到特定气味与注意、记忆等认知过程密切相关,未来研究需进一步探索这些认知因素在气味影响中的可能作用。其次,为了避免个体在评价内源性观点时出现主观偏好,本研究采用了外源性观点(他人观点)来诱发评价过程。未来研究可以比较气味对个体评价自我观点与他人观点的不同影响。再之,本研究中所使用的气味种类有限,且通过嗅觉仪器释放,而真实世界中的气味种类繁多且多以弥散性方式存在。未来研究可考虑在更接近现实的场景中进行实验,例如比

较图书馆与咖啡店等环境下气味对创造性观点评价的差异。此外,不同嗅觉敏感度的个体可能对相同气味产生不同的反应,未来研究可以通过嗅觉阈值测试来测量参与者的嗅觉敏感度,将其作为潜在的调节变量纳入分析,从而更精确地评估气味对创造性观点评价的影响。另一个需要进一步探讨的因素是创造性观点的不同表现形式(如语义型或图形型,科学型或艺术型等),这些形式可能会对研究结果产生不同的影响。最后,虽然本研究采用了具有高时间分辨率的 ERPs 技术,有效捕捉了与新颖观点评价相关的脑电活动,但 EEG 在空间分辨率上存在局限。未来研究可考虑运用脑磁图(MEG)或功能磁共振成像(fMRI)等技术,并结合不同的技术特点运用功能连接、计算建模或机器学习等研究方法和数据分析技术,以深入了解气味影响创造性观点评价的脑活动基础。

5 结论

气味影响个体对创造性观点的评价。迷迭香的作用可能在于提升个体唤醒水平,调节大脑处理新颖信息的认知活动,从而使个体能更敏锐地感知到观点的新颖性。

参考文献

- 王娟,沈树华,张积家.(2011). 大学生的气味词分类——基于语义相似性和知觉相似性的探讨. *心理学报*, 43(10), 1124-1137.
- 赵庆柏,柯妮,童彪,周冶金,周宗奎.(2017). 网络语言的创造性加工过程: 新颖 N400 与 LPC. *心理学报*, 49(2), 143-154.
- 周雯,冯果.(2012). 嗅觉及其与情绪系统的交互. *心理科学进展*, 20(1), 2-9.
- 周晓林,叶铮.(2006). 语言认知的脑基础. 见 罗跃嘉,姜扬,程康(编). *认知神经科学教程* (pp. 300-313). 北京大学出版社.
- Abraham, A., Rutter, B., & Hermann, C. (2021). Conceptual expansion via novel metaphor processing: An ERP replication and extension study examining individual differences in creativity. *Brain and Language*, 221, Article 105007.
- Achour, M., Salem, I. B., Ferdousi, F., Nouira, M., Fredj, M., B. Mtraoui, A., Isoda, H., & Saguem, S. (2022). Rosemary tea consumption alters peripheral anxiety and depression biomarkers: A pilot study in limited healthy volunteers. *Journal of the American Nutrition Association*, 41(3), 240-249.
- Angelucci, F. L., Silva, V. V., Dal Pizzol, C., Spir, L. G., Praes, C. E. O., & Maibach, H. (2014). Physiological effect of olfactory stimuli inhalation in humans: An overview. *International Journal of Cosmetic Science*, 36(2), 117-123.
- Araki, R., Sasaki, K., Onda, H., Nakamura, S., & Hashimoto, K. (2020). Effects of continuous intake of rosemary extracts on mental health in working generation

- healthy Japanese men: Post-hoc testing of a randomized controlled trial. *Nutrients*, 12(11), Article 3551.
- Arzouan, Y., Goldstein, A., & Faust, M. (2007). Brainwaves are stethoscopes: ERP correlates of novel metaphor comprehension. *Brain Research*, 1160, 69–81.
- Ashby, F. G., Isen, A. M., & Turken, A. U. (1999). A neuropsychological theory of positive affect and its influence on cognition. *Psychological Review*, 106(3), 529–550.
- Atsumi, T., & Tonosaki, K. (2007). Smelling lavender and rosemary increases free radical scavenging activity and decreases cortisol level in saliva. *Psychiatry Research*, 150(1), 89–96.
- Ballanger, B., Bath, K. G., & Mandairon, N. (2019). Odorants: A tool to provide nonpharmacological intervention to reduce anxiety during normal and pathological aging. *Neurobiology of Aging*, 82, 18–29.
- Baron, R. A. (1983). “Sweet smell of success” ? The impact of pleasant artificial scents on evaluations of job applicants. *Journal of Applied Psychology*, 68(4), 709–713.
- Baron, R. A., & Bronfen, M. I. (1994). A whiff of reality: Empirical evidence concerning the effects of pleasant fragrances on work-related behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, 24(13), 1179–1203.
- Baron, R. A., & Kalsher, M. J. (1998). Effects of a pleasant ambient fragrance on simulated driving performance: The sweet smell of... safety? *Environment and Behavior*, 30(4), 535–552.
- Baron, R. A., & Thomley, J. (1994). A whiff of reality: Positive affect as a potential mediator of the effects of pleasant fragrances on task performance and helping. *Environment and Behavior*, 26(6), 766–784.
- Bauer, P. J., & Jackson, F. L. (2015). Semantic elaboration: ERPs reveal rapid transition from novel to known. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(1), 271–282.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59.
- Burnett, K. M., Solterbeck, L. A., & Strapp, C. M. (2004). Scent and mood state following an anxiety-provoking task. *Psychological Reports*, 95(2), 707–722.
- Busca, L., Grobert, J., & Vellera, C. (2021). Effect of congruent scent diffusion on individual creative fluidity: Mental imagery instruction and iconic stimulus as possible moderators. *Creativity and Innovation Management*, 30(3), 511–522.
- Cahill, L., Babinsky, R., Markowitsch, H. J., & McGaugh, J. L. (1995). The amygdala and emotional memory. *Nature*, 377(6547), 295–296.
- Campenni, C. E., Crawley, E. J., & Meier, M. E. (2004). Role of suggestion in odor-induced mood change. *Psychological Reports*, 94(3), 1127–1136.
- Camevale, P. J., & Probst, T. M. (1998). Social values and social conflict in creative problem solving and categorization. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(5), 1300–1309.
- Chebat, J. C., Chebat, C. G., & Vaillant, D. (2001). Environmental background music and in-store selling. *Journal of Business Research*, 54(2), 115–123.
- Chebat, J. C., & Michon, R. (2003). Impact of ambient odors on mall shoppers' emotions, cognition, and spending: A test of competitive causal theories. *Journal of Business Research*, 56(7), 529–539.
- Chioca, L. R., Ferro, M. M., Baretta, I. P., Oliveira, S. M., Silva, C. R., Ferreira, J., Losso, E. M., & Andreatini, R. (2013). Anxiolytic-like effect of lavender essential oil inhalation in mice: Participation of serotonergic but not GABA_A/benzodiazepine neurotransmission. *Journal of Ethnopharmacology*, 147(2), 412–418.
- Dalton, P., Maute, C., Oshida, A., Hikichi, S., & Izumi, Y. (2008). The use of semantic differential scaling to define the multidimensional representation of odors. *Journal of Sensory Studies*, 23(4), 485–497.
- De Dreu, C. K. W., Baas, M., & Nijstad, B. A. (2008). Hedonic tone and activation level in the mood-creativity link: Toward a dual pathway to creativity model. *Journal of Personality and Social Psychology*, 94(5), 739–756.
- Diego, M. A., Jones, N. A., Field, T., Hernandez-Reif, M., Schanberg, S., Kuhn, C., & Galamaga, M. (1998). Aromatherapy positively affects mood, EEG patterns of alertness and math computations. *International Journal of Neuroscience*, 96(3–4), 217–224.
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11(6), 1011–1026.
- Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822–848.
- Dolan, R. J. (2002). Emotion, cognition, and behavior. *Science*, 298(5596), 1191–1194.
- Eichenbaum, H. (2001). The hippocampus and declarative memory: Cognitive mechanisms and neural codes. *Behavioural Brain Research*, 127(1–2), 199–207.
- Ellen, P. S., & Bone, P. F. (1998). Does it matter if it smells? Olfactory stimuli as advertising executional cues. *Journal of Advertising*, 27(4), 29–39.
- Filipstova, O. V., Gazzavi-Rogozina, L. V., Timoshyna, I. A., Naboka, O. I., Dyomina, Y. V., & Ochkur, A. V. (2018). The effect of the essential oils of lavender and rosemary on the human short-term memory. *Alexandria Journal of Medicine*, 54(1), 41–44.
- Finke, R. A., & Slayton, K. (1988). Explorations of creative visual synthesis in mental imagery. *Memory and Cognition*, 16(3), 252–257.
- Gao, Z. N., Cheng, L. L., Li, J. C., Chen, Q. L., & Hao, N. (2022). The dark side of creativity: Neural correlates of malevolent creative idea generation. *Neuropsychologia*, 167, Article 108164.
- George, J. M., & Brief, A. P. (1996). Motivational agendas in the workplace: The effects of feelings on focus of attention and work motivation. In B. M. Staw & L. L. Cummings (Eds.), *Research in organizational behavior: An annual series of analytical essays and critical reviews* (pp. 75–109). Elsevier Science.
- Gonçalves, F., Cabral, D., Campos, P., & Schöning, J. (2017). *I smell creativity: Exploring the effects of olfactory and auditory cues to support creative writing Tasks*. In Proceedings of the 16th IFIP TC 13 International Conference on Human-Computer Interaction, Cham.
- Guilford, J. P. (1967). Creativity: Yesterday, today and tomorrow. *The Journal of Creative Behavior*, 1(1), 3–14.
- Hagoort, P. (2003). How the brain solves the binding problem for language: A neurocomputational model of syntactic processing. *NeuroImage*, 20, S18–S29.
- Hagoort, P., Hald, L., Bastiaansen, M., & Petersson, K. M. (2004). Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science*, 304(5669), 438–441.

- Hasselmo, M. E., & Sarter, M. (2011). Modes and models of forebrain cholinergic neuromodulation of cognition. *Neuropsychopharmacology*, *36*(1), 52–73.
- Hayes, A. F. (2018). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach*. Guilford Press.
- Herz, R. S. (2009). Aromatherapy facts and fictions: A scientific analysis of olfactory effects on mood, physiology and behavior. *International Journal of Neuroscience*, *119*(2), 263–290.
- Ho, C., & Spence, C. (2005). Olfactory facilitation of dual-task performance. *Neuroscience Letters*, *389*(1), 35–40.
- Hussain, S. M., Syeda, A. F., Alshammari, M., Alnasser, S., Alenzi, N. D., Alanazi, S. T., & Nandakumar, K. (2022). Cognition enhancing effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in lab animal studies: A systematic review and meta-analysis. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, *55*, Article e11593.
- Iijima, M., Nio, E., Nashimoto, E., & Iwata, M. (2007). Effects of aroma on the autonomic nervous system and brain activity under stress conditions. *Autonomic Neuroscience*, *135*(1–2), 97–98.
- Ivcevic, Z., & Hoffmann, J. (2019). Emotions and creativity: From process to person and product. In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (pp. 273–295). Cambridge University Press.
- Jia, L. J., Tang, S., Song, Y., Ren, J. Y., Li, F. H., & Huang, F. R. (2023). Cognitive control in creative discovery: The gap between ideal and reality. *Biological Psychology*, *178*, Article 108522.
- Kennedy, D. O., Dodd, F. L., Robertson, B. C., Okello, E. J., Reay, J. L., Scholey, A. B., & Haskell, C. F. (2011). Monoterpenoid extract of sage (*Salvia lavandulaefolia*) with cholinesterase inhibiting properties improves cognitive performance and mood in healthy adults. *Journal of Psychopharmacology*, *25*(8), 1088–1100.
- Krämer, W. (2014). Thinking, fast and slow. *Statistical Papers*, *55*(3), 915.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(12), 463–470.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, *11*(2), 99–116.
- Kutas, M., & van Petten, C. K. (1994). Psycholinguistics electrified: Event-related brain potential investigations. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 83–143). San Diego: Academic Press.
- Kutlu, A. K., Yılmaz, E., & Çeçen, D. (2008). Effects of aroma inhalation on examination anxiety. *Teaching and Learning in Nursing*, *3*(4), 125–130.
- Larsson, M., & Willander, J. (2009). Autobiographical odor memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1170*(1), 318–323.
- Lee, Y. S., Chang, J. Y., & Choi, J. N. (2017). Why reject creative ideas? Fear as a driver of implicit bias against creativity. *Creativity Research Journal*, *29*(3), 225–235.
- Lorig, T. S., Huffman, E., DeMartino, A., & DeMarco, J. (1991). The effects of low concentration odors on EEG activity and behavior. *Journal of Psychophysiology*, *5*(1), 69–77.
- Lorig, T. S., Schwartz, G. E., Herman, K. B., & Lane, R. D. (1988). Brain and odor: IL EEG activity during nose and mouth breathing. *Psychobiology*, *16*(3), 285–287.
- Lu, K. L., & Hao, N. (2019). When do we fall in neural synchrony with others? *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *14*(3), 253–261.
- Lu, K. L., Qiao, X. N., & Hao, N. (2019). Praising or keeping silent on partner's ideas: Leading brainstorming in particular ways. *Neuropsychologia*, *124*, 19–30.
- Luo, J., Niki, K., & Knoblich, G. (2006). Perceptual contributions to problem solving: Chunk decomposition of Chinese characters. *Brain Research Bulletin*, *70*(4–6), 430–443.
- Mastria, S., Agnoli, S., & Corazza, G. E. (2019). How does emotion influence the creativity evaluation of exogenous alternative ideas? *PLoS ONE*, *14*(7), Article e0219298.
- Morrin, M., & Ratneshwar, S. (2000). The impact of ambient scent on evaluation, attention, and memory for familiar and unfamiliar brands. *Journal of Business Research*, *49*(2), 157–165.
- Moss, M., Cook, J., Wesnes, K., & Duckett, P. (2003). Aromas of rosemary and lavender essential oils differentially affect cognition and mood in healthy adults. *International Journal of Neuroscience*, *113*(1), 15–38.
- Moss, M., & Oliver, L. (2012). Plasma 1, 8-cineole correlates with cognitive performance following exposure to rosemary essential oil aroma. *Therapeutic Advances in Psychopharmacology*, *2*(3), 103–113.
- Moss, M., Smith, E., Milner, M., & McCready, J. (2018). Acute ingestion of rosemary water: Evidence of cognitive and cerebrovascular effects in healthy adults. *Journal of Psychopharmacology*, *32*(12), 1319–1329.
- Mumford, M. D. (2003). Where have we been, where are we going? Taking stock in creativity research. *Creativity Research Journal*, *15*(2–3), 107–120.
- Neville, K. R., & Haberly, L. B. (2004). Olfactory cortex. In G. M. Shepherd (Ed.), *The synaptic organization of the brain* (pp. 415–454). Oxford University Press.
- Orwig, W., Beaty, R. E., Benedek, M., & Schacter, D. L. (in press). Creative evaluation: The role of memory in novelty & effectiveness judgements. *Creativity Research Journal*.
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1993). Event-related potentials and syntactic anomaly: Evidence of anomaly detection during the perception of continuous speech. *Language and Cognitive Processes*, *8*(4), 413–437.
- Osterhout, L., & Nicol, J. (1999). On the distinctiveness, independence, and time course of the brain responses to syntactic and semantic anomalies. *Language and Cognitive Processes*, *14*(3), 283–317.
- Patterson, F. (2004). Personal initiative and innovation. In C. D. Spielberger (Ed.), *Encyclopedia of applied psychology* (pp. 843–855). Elsevier.
- Pellegrino, R., Sinding, C., de Wijk, R. A., & Hummel, T. (2017). Habituation and adaptation to odors in humans. *Physiology and Behavior*, *177*, 13–19.
- Pijnacker, J., Geurts, B., van Lambalgen, M., Buitelaar, J., & Hagoort, P. (2011). Reasoning with exceptions: An event-related brain potentials study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(2), 471–480.
- Rataj, K., Przekoracka-Krawczyk, A., & van der Lubbe, R. H. J. (2018). On understanding creative language: The late positive complex and novel metaphor comprehension. *Brain Research*, *1678*, 231–244.
- Razumnikova, O. M. (2009). Peculiarities of information selection in the process of

- creative thinking. *Psychology Journal of the Higher School of Economics*, 6, 134–161.
- Riby, L. M., Edwards, S., McDonald, H., & Moss, M. (2023). The impact of a rosemary containing drink on event-related potential neural markers of sustained attention. *PLoS ONE*, 18(6), Article e0286113.
- Rietzschel, E. F., Nijstad, B. A., & Stroebe, W. (2010). The selection of creative ideas after individual idea generation: Choosing between creativity and impact. *British Journal of Psychology*, 101(1), 47–68.
- Ritter, S. M., Strick, M., Bos, M. W., van Baaren, R. B., & Dijksterhuis, A. (2012). Good morning creativity: Task reactivation during sleep enhances beneficial effect of sleep on creative performance. *Journal of Sleep Research*, 21(6), 643–647.
- Rominger, C., Benedek, M., Lebeda, I., Perchtold-Stefan, C. M., Schwerdtfeger, A. R., Papousek, I., & Fink, A. (2022). Functional brain activation patterns of creative metacognitive monitoring. *Neuropsychologia*, 177, Article 108416.
- Rösler, F., & Heil, M. (1991). Toward a functional categorization of slow waves: Taking into account past and future events. *Psychophysiology*, 28(3), 344–358.
- Runco, M. A., Plucker, J. A., & Lim, W. (2001). Development and psychometric integrity of a measure of ideational behavior. *Creativity Research Journal*, 13(3–4), 393–400.
- Rutter, B., Kröger, S., Hill, H., Windmann, S., Hermann, C., & Abraham, A. (2012). Can clouds dance? Part 2: An ERP investigation of passive conceptual expansion. *Brain and Cognition*, 80(3), 301–310.
- Sayorwan, W., Siripornpanich, V., Piriyaunyaporn, T., Hongratanaworakit, T., Kotchabhakdi, N., & Ruangrunsi, N. (2012). The effects of lavender oil inhalation on emotional states, autonomic nervous system, and brain electrical activity. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 95(4), 598–606.
- Scheydt, S., Müller Staub, M., Frauenfelder, F., Nielsen, G. H., Behrens, J., & Needham, I. (2017). Sensory overload: A concept analysis. *International Journal of Mental Health Nursing*, 26(2), 110–120.
- Setzer, W. N. (2009). Essential oils and anxiolytic aromatherapy. *Natural Product Communications*, 4(9), 1305–1316.
- Sowndhararajan, K., Cho, H., Yu, B., & Kim, S. (2015). Effect of olfactory stimulation of isomeric aroma compounds, (+)-limonene and terpinolene on human electroencephalographic activity. *European Journal of Integrative Medicine*, 7(6), 561–566.
- Sowndhararajan, K., & Kim, S. (2016). Influence of fragrances on human psychophysiological activity: With special reference to human electroencephalographic response. *Scientia Pharmaceutica*, 84(4), 724–751.
- Spangenberg, E. R., Crowley, A. E., & Henderson, P. W. (1996). Improving the store environment: Do olfactory cues affect evaluations and behaviors? *Journal of Marketing*, 60(2), 67–80.
- Tang, S., Jia, L. J., Ren, J. Y., Li, F. H., Luo, J., & Huang, F. R. (2022). Reactive control in evaluating appropriately or inappropriately novel ideas: Evidence from electrophysiological measures. *Psychophysiology*, 59(7), Article e14010.
- Touhara, K., & Vosshall, L. B. (2009). Sensing odorants and pheromones with chemosensory receptors. *Annual Review of Physiology*, 71, 307–332.
- Valnet, J. (1990). *The practice of aromatherapy*. Rochester: Healing Arts Press.
- Vernet-Maury, E., Alaoui-Ismaili, O., Dittmar, A., Delhomme, G., & Chanel, J. (1999). Basic emotions induced by odorants: A new approach based on autonomic pattern results. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 75(2–3), 176–183.
- Wang, B. T., Zhou, H., Duan, H. J., Wang, X. W., Song, B. P., & Hu, W. P. (2021). Highly creative individuals process creative pictorial information more effectively: Evidence from an ERP Study. *Creativity Research Journal*, 33(2), 124–137.
- Warm, J. S., Dember, W. N., & Parasuraman, R. (1991). Effects of olfactory stimulation on performance and stress in a visual sustained attention task. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 42, 199–210.

Sniffing Out Originality? The Influence of Odors on the Evaluation of Creative Ideas

Xing Liangyu^{1,2}, Yu Tingting¹, Qiao Xinuo¹, Hao Ning^{1,3}

(¹Shanghai Key Laboratory of Mental Health and Psychological Crisis Intervention, School of Psychology and Cognitive Science, East China Normal University, Shanghai, 200062)(²Department of Psychology, National University of Singapore, Singapore, 117570)

(³Key Laboratory of Philosophy and Social Science of Anhui Province on Adolescent Mental Health and Crisis Intelligence Intervention, Hefei Normal University, Hefei, 230601)

Abstract Olfaction serves as a critical channel through which humans interact with their environment. Extensive research has explored the effects of odors on psychological phenomena, including emotion, memory, and decision-making. However, its impact on creative thinking, particularly during the evaluation phase, remains underexplored. The evaluation of creative ideas is a pivotal stage in creative thinking, and understanding the role of odors may provide insights into how environmental factors may enhance creativity. This study aims to fill this gap by using Event-Related Potentials (ERPs) to investigate how odors influence the evaluation of creative ideas and the associated neurophysiological mechanisms.

Among natural odors, lavender and rosemary have been extensively studied for their psychological and physiological effects. Lavender is widely recognized for its relaxing properties, while rosemary is known to enhance alertness. In this study, these two odors were selected as olfactory stimuli to examine their different effects on creativity evaluation. A 3 (odors: air, rosemary, lavender) × 3 (novelty of ideas: low novelty, medium novelty, high novelty) mixed design was conducted: odors served as a between-subjects variable, while novelty of ideas served as a within-subjects variable. Ninety-one participants were randomly assigned to one of three conditions: Air ($n=30$), Rosemary ($n=31$), and Lavender ($n=30$). Odors, derived from pure essential oils, were delivered via the Sniff-0 portable scent controller (CyNexo srl, Italy). Participants were asked to complete the Self-Assessment Manikin scale to measure the valence and arousal of their emotional states before and after the creative evaluation task. During the task, they rated the originality of ideas from three novelty levels (low, medium, and high). Brain activity was recorded using electroencephalography (EEG) during the evaluation process, and ERP data were analyzed to explore the neurophysiological correlates of odor-induced creativity modulation.

The behavioral results revealed a significant interaction between odors and novelty of ideas. Specifically, exposure to the rosemary scent significantly increased originality ratings for low-novelty ideas compared to the air condition. This effect is likely attributed to the alertness-inducing properties of rosemary. Mediation analysis revealed no evidence that emotional pathways mediated the effects of odors on creativity evaluation, suggesting that these effects are more directly related to cognitive processing rather than emotional changes.

The ERP results showed that odors significantly influenced brain activity during creative idea evaluation. In the N400 time window, novelty modulated amplitude patterns differently across odors conditions. In the air condition, highly novel ideas elicited larger N400 amplitudes compared to ideas with lower novelty, reinforcing the role of the N400 as a reliable neural marker for processing novel information. In the lavender condition, highly novel ideas induced significantly greater N400 amplitudes than medium- and low-novelty ideas. This effect may be attributed to the calming properties of lavender, which potentially “slowed” cognitive processing, leading to pronounced neural responses only for highly novel stimuli. A distinct pattern emerged in the rosemary condition, where medium-novelty ideas elicited the largest N400 amplitudes. This suggests that rosemary uniquely influenced the evaluation of novelty. Medium-novelty ideas, which are often perceived as both useful and original, may have prompted greater cognitive effort in participants who experienced heightened alertness from rosemary exposure. This increased attentional engagement could explain the amplified N400 responses observed for medium-novelty stimuli. For the late positive complex (LPC), differences emerged between the rosemary and air conditions in specific brain regions. In the frontal region, LPC amplitudes were more negative under rosemary condition and positive under air condition, whereas in the parietal region, LPC amplitudes were positive under rosemary condition and negative under air condition. These LPC variations, observed only between rosemary and air condition, may reflect lingering effects of N400 activity. Taken together, the N400 and LPC findings implicate that rosemary influenced cognitive processing throughout the evaluation process, extending beyond initial conflict detection.

Overall, odors influence how individuals evaluate creative ideas. The effects of rosemary appear to enhance arousal levels and regulate cognitive activity related to novelty processing, facilitating a sharper perception of originality. These findings have theoretical implications for understanding the mechanisms of creative evaluation and practical applications for using odors to enhance creative thinking. The study highlights the potential of sensory integration in creative practices and encourages further exploration of the complex interplay between sensory input and cognitive processes.

Key words odors, evaluation of creative ideas, originality, N400, LPC