

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：《先苦后乐：英语乐学者学业情绪的脑认知特点研究》

作者：刘潞潞；卢家楣；和美；周建设；肖晶；罗劲

第一轮

审稿人 1 意见：

送审论文运用功能性磁共振成像(fMRI)技术探索了对英语乐学的大学生在对中、英文材料的学习、记忆及成绩反馈过程中的情绪和脑活动特征。研究选题有重要理论及应用价值，论文写作逻辑清晰，文字流畅，研究发现比较明确\有趣。但论文尚存在以下问题，需要进一步修改：

意见 1：缺少研究结论部分，需要补充。

回应：非常感谢您的建议，在原稿中“研究结论”放在了讨论部分的倒数第二段，现将该部分移至“5 研究结论”。修改内容请见正文第 36 页，886-897 行。内容如下：

5 研究结论

本研究通过对在英语乐学分数上得分较高的被试在学习陌生的中文或英文材料(外国地名)时的脑激活状况的比较，发现对英语的乐学是一种“苦中作乐”。这表现在以下两个方面：首先，英语乐学被试在学英文时所体验到的积极情绪均明显低于学中文，脑成像的结果进一步显示：无论是在学习的准备阶段还是在实际的学习阶段，相对于中文而言，英文均伴随明显的岛叶的激活，鉴于以往关于学业焦虑情绪的脑成像研究也发现了这个区域的激活，我们推测这个区域的激活很可能反映了被试在学英文时体验到了令人不快的压力感并调动了认知努力。其次，当英语乐学被试得到正反馈(即得知自己的学习测验成绩高于大多数人)时，因学英文而得到的正反馈所导致的奖赏脑区明显对大于因学中文而得到的正反馈，这说明英文学习成功能带来更高的奖赏感。因此，对于英语乐学者，他们虽然在英语学习过程中体验到了更多的痛苦，但其成功也带来了更大的心理奖赏，这种“痛并快乐着”的特征说明了“乐学”具有“理智感”的特征，它并非一味地寻求和获得快乐，而是有苦有乐，先苦后乐。

意见 2：由于本研究没有厌学组，所以不知道本研究所发现的学习英文跟学习中文的差异在厌学者身上是否也会出现？这是本研究比较大的一个局限，需要在讨论中说明。

回应：感谢您的建议。本研究仅对比了英文乐学者在学习英、中文过程中的认知特点和神经机制，由于未能纳入英文厌学组作为对照，因此本研究所得结果不能推及英文厌学者在学习英、中文过程中的脑认知特点，也难以回答英文乐、厌学者的在认知特点和神经机制上存在的差异这一问题。本研究主要探索了积极学业情绪的认知神经机制，通过对比英文乐学者在乐学对象(英文)及非乐学对象(中文)的学习、测验及反馈过程，揭示具有乐学特征的个体对其乐学对象和非乐学对象的信息加工过程中的认知和情绪特征，发现乐学并不意味着仅仅是快乐和奖赏，而且意味着压力和努力。本研究仅选择乐学群体，是考虑到采用组内设计，在被试内通过中、英文条件的对比能够在控制个体脑活动差异的背景下更好地回答该问题。当然，如果研究纳入厌学组，能够同时探究具有厌学特征的个体在学习、测验过程中的认知特点和神经机制，而且通过将之与乐学个体进行对比，可以更加明确这两类群体对待学习的情绪性差异。未来研究可进一步纳入厌学组，深入探究厌学大学生在学习英、中文过

程中的认知特点及神经机制，并对比乐、厌学群体的情绪特点及神经机制的差异。

对此局限我们在讨论部分予以补充说明，请见正文第 36 页，881-885 行。具体内容如下：

本研究仅对比了英文乐学者在学习英、中文过程中的认知特点和神经机制，由于未能纳入英文厌学组作为对照，因此本研究所得结果不能推及英文厌学者在学习英、中文过程中的脑认知特点，也难以回答英文乐、厌学者的在认知特点和神经机制上存在的差异这一问题。未来研究可进一步纳入厌学组，深入探究厌学大学生在学习英、中文过程中的认知特点及神经机制，并对比乐、厌学群体的情绪特点及神经机制的差异。

意见 3：英语乐学者会不会也是中文乐学者，甚或一般意义上的热爱学习的人？作者对这个问题是如何考虑的？需要在讨论中进行说明。

回应：感谢您的建议，这确实是一个很重要的问题。事实上，我们在研究中搜集了几项与该问题相关的数据，分别为“对中文学习的态度”、“大学入学成绩排名”以及“学期成绩排名”。其结果确实在很大程度上与审稿人的推测相一致：“语文学科态度”一项平均评分为 4.12（在评分体系中，1 代表非常厌恶，2 代表比较厌恶，3 代表难以确定，4 代表比较喜欢，5 代表非常喜欢），“大学入学成绩”和“学期成绩排名”分别为 2 和 1.53（在评分体系中，1 代表前 20%，2 代表 20~40%，3 代表 40~60%，4 代表 60~80%，5 代表后 20%）。这说明本研究所选的被试，无论是在一般的学习考试成绩上还是在对语文学科的喜爱程度上都是比较高的。但是，将上述所得数据与《英语乐学问卷》总分以及英、中文记忆成绩做相关分析却发现：英文乐学总分与大学入学排名、学期排名均无显著相关，与被试对中文的态度也无显著相关（见表 1）。这能在一定意义上说明英文乐学具有特异性，一个高英语乐学得分的学生虽然同时很有可能对于语文方面的学习甚至是对一般意义上的所有科目的学习都比较喜欢或能取得较好的成绩，但其对英语学习所具有的兴趣、热情以及愿意为之付出的努力却是相对独立和独特的。可以设想这样的情况：一个乐于在课余时间致力于英语学习或通过看电影听广播提示英语听说能力的人很可能并不会在语文方面表现出同样的热情，事实上，这种热情很有可能像一般的兴趣爱好一样具有‘排他性’，即一旦喜欢上了这个就有可能同时降低对其事物的热情和投入程度）。因此，从这个角度考虑，将学习中文作为对照条件具有一定的合理性，它至少不会抵消被试对于英文的乐学特性。我们在修改稿中做了相应的修改。

表 1 相关分析表

	大学入学排名	学期排名	中文态度	英文乐学总分	英文记忆成绩	中文记忆成绩
大学入学排名	1					
学期排名	.245	1				
中文态度	-.617**	-.208	1			
英文乐学分数	.107	-.316	.110	1		
英文记忆成绩	.050	-.215	.159	-.019	1	
中文记忆成绩	.209	-.245	.158	.030	.823**	1

** . 在 .01 水平（双侧）上显著相关。

正文中的修改请见第 27 页，689-690 行和第 29 页，759-765 行。内容如下：

在核磁扫描前的准备阶段，首先采集被试的基本信息，其中包括对中文学习的态度、大学入学成绩排名、学期成绩排名，要求被试对这三个项目进行 5 点评分。

… …

将被试对中文学习的态度、大学入学成绩排名、学期成绩排名与《英语乐学问卷》总分、

被试的英、中文记忆成绩做相关分析。结果发现，虽然“语文学科态度”一项平均分为 4.12(在评分体系中，1 代表非常厌恶，2 代表比较厌恶，3 代表难以确定，4 代表比较喜欢，5 代表非常喜欢)，大学入学成绩、学期成绩排名平均分分别为 2 和 1.53（在评分体系中，1 代表前 20%，2 代表 20~40%，3 代表 40~60%，4 代表 60~80%，5 代表后 20%）。但英文乐学总分与大学入学排名、学期排名均无显著相关，与被试对中文的态度也没有显著相关。即，并非被试的英文乐学程度越高，其中文乐学程度及总体乐学程度也随之越高，两者没有必然联系。

意见 4: 研究结果部分阈限很松， $p = 0.005$ uncorrected 结果的可靠性需要进一步论证。

回应: 感谢您提出的意见。这项研究之所以采用以 $p < 0.005$ (ucr), $K_E > 30$ 为主的阈限水平是基于以下考虑:

首先，统计上存在两种不同类型的错误，即I型错误（“弃真”）和II型错误（“存伪”）。当采用严苛的阈限时，能够降低犯I型错误的概率，但与此同时也会提高犯II型错误的可能性；反之，采用较为宽松的阈限，虽能避免II型错误，但却会增加犯I型错误的概率。因此，如何寻求两者之间的动态平衡是一个值得考虑的问题。有研究显示：若采用 $p < 0.005$ (ucr) 且 $K_E > 10$ 的阈限标准有可能较好地平衡I型和II型错误 (Lieberman & Cunningham, 2009)。甚至，如采用 $p < 0.005$ (ucr) 且 $K_E > 20$ 的阈限水平，在某种情况下的其检验效果相当于采用 $p < 0.05$, FDR 校正的结果 (Lieberman & Cunningham, 2009) (我们的研究中，对于岛叶、中脑、杏仁核等脑区的激活，采用的是 $p < 0.005$ (ucr) 且 $K_E > 30$ 的阈限)。

其次，与认知控制和工作记忆等任务效应相对较强的认知过程相比，参与复杂社会认知加工和情绪唤起过程的脑区（如腹内侧 PFC，杏仁核，颞极等）其任务相关的脑内激活效应往往较弱，且由于其所处部位成像效果相对较差的原因，如采用十分严格的校正，很可能忽略真实存在的效应 (Lieberman & Cunningham, 2009)，因此，在社会认知神经科学以及相关领域的以往研究报告中使用 $p < 0.005$ (ucr) 阈限的情况是存在的（如 Eisenberger, Lieberman, & Williams, 2003; Lederbogen et al., 2011; Li et al., 2008; McClure et al., 2004; Takahashi et al., 2004 等）。

第三，在本研究中我们对一些特别感兴趣的脑区，如黑质，采用了显然低于通用标准的 $p < 0.05$ (ucr) 的阈限值，之所以这样做是出于检验既有实验效应的考虑，因为根据以往的研究，我们已经知道包括黑质在内的多巴胺投射区域会在个体得到强化或反馈时增强（如 Holroyd & Coles, 2002; Zald et al., 2004 等），因此，我们有较为充分的理由预期奖赏区会在特定情况下（比如获得记忆成绩反馈时）激活，为了检验这种无论是出于理论推想还是根据以往类似情况下的实验研究结果都很有可能发生的情况，我们采用了 $p < 0.05$ (ucr) 这一明显低于通用标准的阈值，其目的不是完全开放式的探索性发现，而是检验既有研究假设。

第四，通过与行为学数据（如，英语乐学问卷总分，英文记忆成绩）建立关联，我们证实了在实验中所获得的关键脑区（如岛叶、中脑、黑质）的激活情况与个体的行为学分数之间存在显著相关，这能够在一定意义上说明这些脑激活并不是因为减低阈限而随机获得的，它们具有明确的心理学意义。

第五，在修改稿中，我们接受审稿人的建议尝试采用 $p < 0.05$, AlphaSim 方法对结果进行校正，结果发现，一些关键脑区，如英文学习线索减中文学习线索下的脑岛（见图 3B）、英文正反馈减中文正反馈下的中脑脑区（见图 5C）、英文负反馈减中文负反馈下的脑岛（图 6B）均有显著激活。这说明本研究的主要结果部分能够经得起校正检验。

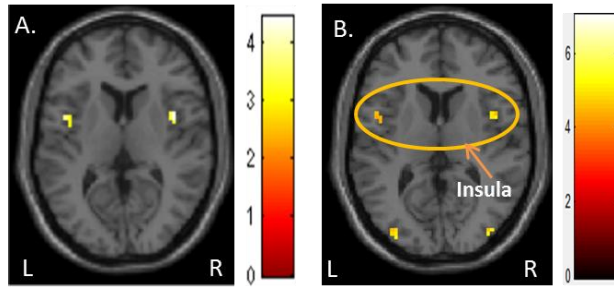


图3 学习阶段英文线索>中文线索脑岛激活 (图 A. $p < 0.005$, uncorrected; 图 B. 单体素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 10 , AlphaSim correction)

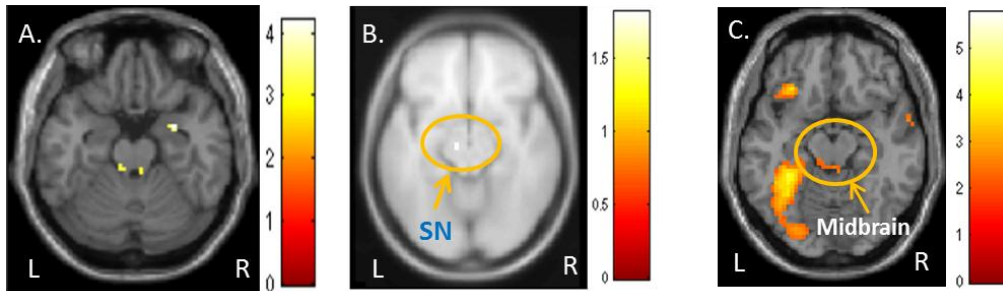


图5 再认阶段英文正反馈>中文正反馈条件的激活图

图A.杏仁核、中脑激活(以杏仁核、中脑的并集为mask, $p < 0.005$, uncorrected) 图B.黑质激活(以黑质为mask, $p < 0.05$, uncorrected) 图C.中脑激活(单体素 $p < 0.05$, cluster size ≥ 80 , AlphaSim correction)

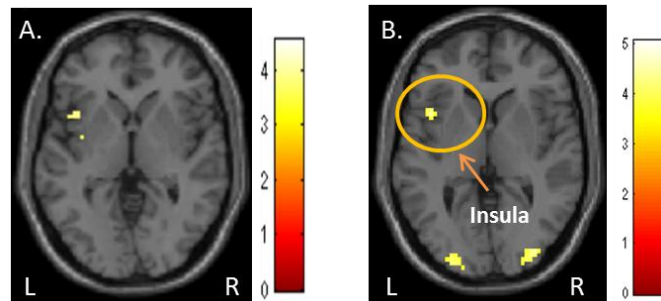


图6 再认阶段英文负反馈>中文负反馈条件下脑岛激活(图A. $p < 0.001$, uncorrected; 图B. 单体素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 14 , AlphaSim correction)

此外，这项实验采用了生僻、无意义的国外地名作为实验材料，这样做可以较好地控制以往经验在其中的影响，但其缺陷在于记忆材料过于枯燥，从而有可能导致在本实验中我们无法获得与学业情绪相关的较为强烈的情绪区和奖赏区的激活，尽管如此，就上述各个方面的综合考虑，仍有理由认为实验所获得的观测是可靠的，具有明确的科学意义。

意见 5：图 2 为上下排列，所以没有左图和右图；图 6，图中几个点都是脑岛吗？如果不是，请指出脑岛位置；图 3-6 请标注脑图的左右；请各自标注阈限，不要用下同。

回应：感谢您指出这个问题。图 2 已将“左图”和“右图”分别修改为“上图”和“下图”；图 6 的激活点都是脑岛；脑图 3-6 已标注左右；根据图 3-6 每个脑图的激活水平设置了相应的阈限并进行了标注。

修改的内容如下：

图 2 实验流程图

注：上图为学习阶段，下图为再认阶段

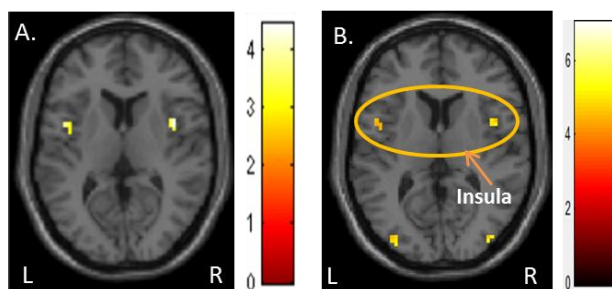


图 3 学习阶段英文线索>中文线索脑岛激活 (图 A. $p < 0.005$, uncorrected; 图 B. 单体素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 10 , AlphaSim correction)

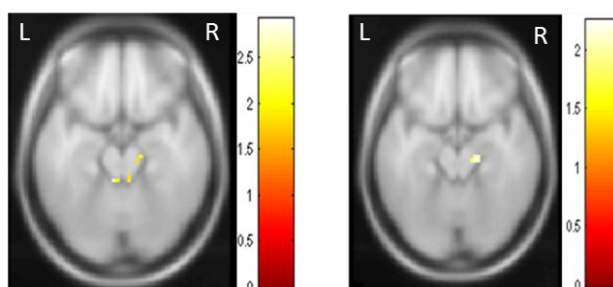


图4 再认阶段英文线索>中文线索下中脑(左)、黑质(右)激活($p < 0.05$, uncorrected)

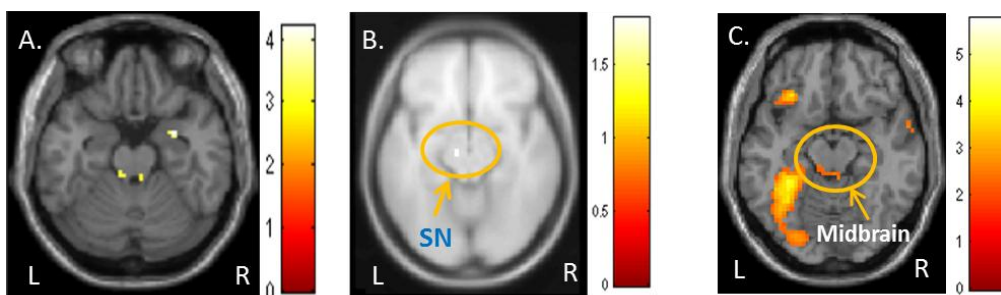


图5 再认阶段英文正反馈>中文正反馈条件的激活图

图A.杏仁核、中脑激活(以杏仁核、中脑的并集为mask, $p < 0.005$, uncorrected) 图B.黑质激活(以黑质为mask, $p < 0.05$, uncorrected) 图C.中脑激活(单体素 $p < 0.05$, cluster size ≥ 80 , AlphaSim correction)

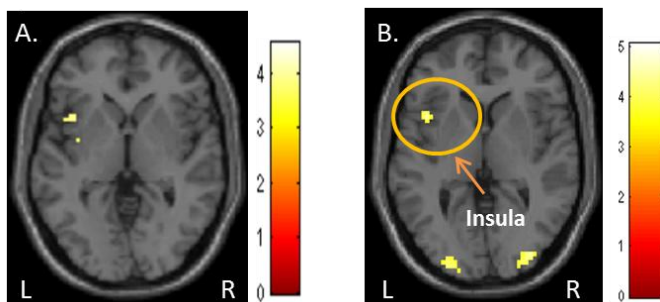


图6 再认阶段英文负反馈>中文负反馈条件下脑岛激活(图A. $p < 0.001$, uncorrected; 图B. 单体素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 14 , AlphaSim correction)

意见 6: 更多细节问题见对文本的批注。

回应: 正文批注中您提到的问题已进行点对点的答复。为方便阅读,文中每处批注及对应的修改单列如下:

意见 7: 题目不准确,建议改为“先苦后乐:英语乐学者学习英文与学习中文的脑认知特点比较研究”。

回应: 感谢您的建议。改为“先苦后乐:英语乐学者学习英文与学习中文的脑认知特点比较研究”确实比“先苦后乐:英语乐学者学业情绪的脑认知特点研究”能更好地概括本研究内容,但可能会在一定程度上不能凸显“学业情绪”这个研究主题,本实验主要目的之一想要探究学业情绪的认知神经特点,结合引言的叙述,我们认为可能使用原标题更能突出研究主题。

意见 8: 乐学组 vs 厌学组,乐学者学习英文 vs 学习中文回答的是不同的问题,所以不能说后者更加敏感。由于本研究没有厌学组,所以不知道本研究所发现的学习英文跟学习中文的差异在厌学者身上是否也会出现?

回应: 感谢您提出的意见。这两个问题确实不属于同一范畴,我们已删除引起误解的句子。正文修改请见第 25 页,637-640 行。具体修改如下:

尽管在这项研究中我们没有采用其他组别的被试(如厌学组别)与乐学被试进行对照,但通过学习中、英文材料相互对比的方式不但能够在一定意义上揭示英语乐学者的脑认知特点,而且对于脑功能成像实验而言,组内设计可以更好地排除不同个体在脑活动上可能存在的差异的干扰。

您提出的第二个问题同意见 2),对该问题的回答请参见本修改说明的第 3-4 页,98-115 行。

意见 9: 根据你前面对抑郁量表的介绍,50 分/总分 80 分=0.625,已经处于中度抑郁的范围啦,所以抑郁<50 作为标准是否合适?

回应: 感谢您指出该处的问题。十分抱歉,是我们语言描述导致的误解。被试筛选抑郁程度是按照抑郁严重指数来划分的,筛选标准为严重指数<0.5(抑郁严重指数(SDS 得分/总分 80),参见心理卫生评定量表手册)。正文修改请见第 27 页,686-687 行。内容如下:

筛选标准如下:取英语乐学分数范围(12~60 分)的前 27%,即乐学总分 ≥ 47.04 ,且学业倦怠总分<55,焦虑标准分<50、抑郁严重指数<0.5 的人作为乐学被试。

意见 10: 为什么只在前两个阶段让被试作情绪评定,反而在情绪理应变化最大的反馈阶段不让被试作情绪评定呢?

回应: 感谢您提出的意见。之所以未对反馈阶段做情绪评定,是考虑到反馈可能引起明显的情绪变化,而如果此时就令被试对自己的情绪状态进行评价,有可能引发其采取某些情绪调控策略(尤其是在负反馈的情况下),从而使被试对于其后出现反馈项目的情绪反应不那么纯粹和自然;另外一个考虑是,每完成一个再认 block 之后就已经要求被试做过一次情绪判断了,如果在延时极短的简单反馈之后马上要求其再做一次情绪评价,就显得过于频繁并可能会造成不必要的困扰。

意见 11: 核磁实验有没有经过人体安全与伦理委员会的批准?

回应: 核磁实验已通过学校伦理委员会的批准,且在扫描前被试均在知情同意书上签字

确认。具体描述请见“2 研究方法”中的“2.1 被试”部分（第 26 页，649-650 行）。

核磁扫描在清华大学生物医学影像研究中心进行，实验已通过相关伦理委员会的批准，且实验之前所有被试均签署知情同意书。

意见 12：被试排除的头动标准是什么？

回应：本研究被试排除的头动标准为：6 个头动参数（三个方向的平动和三个方向的转动）在一个方向上超过 2mm 或 2degrees。对于头动标准及被试排除的描述请见“2 研究方法”中的“2.1 被试”部分（第 26 页，650-652 行）。

另外，被试如果在 6 个头动参数（包括三个方向的平动和三个方向的转动）的一个方向上超过 2mm 或 2degreesd 即被排除。

意见 13：这个阈限能经得起 Alphasim 校正或者其他 cluster-level $p < 0.05$ 的校正吗？

回应：非常感谢您的建议。采用 $p < 0.05$, AlphaSim 校正后，本研究所关注的关键脑区如英语学习线索减中文学习线索下的脑岛（图 3B）、英文正反馈减中文正反馈下的中脑（图 5C）、英文负反馈减中文负反馈下的脑岛（图 6B）均有显著激活。校正后相关结果增加在了正文的激活脑图中(如下)：

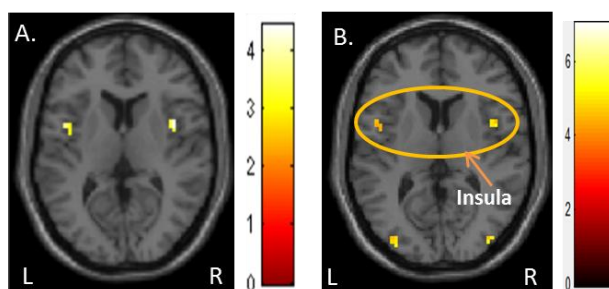


图 3 学习阶段英文线索>中文线索脑岛激活 (图 A. $p < 0.005$, uncorrected; 图 B. 单体素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 10 , AlphaSim correction)

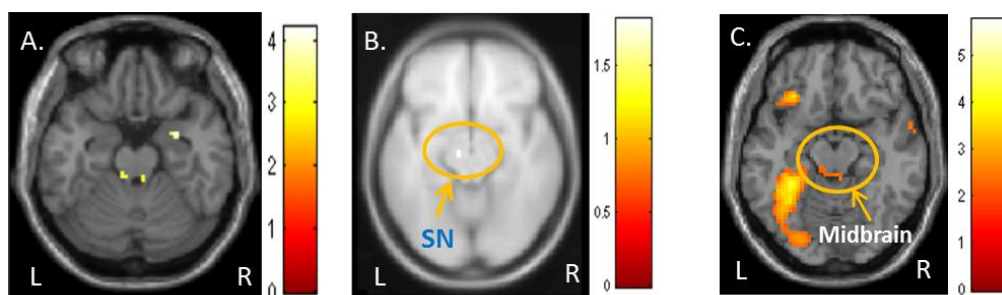


图 5 再认阶段英文正反馈>中文正反馈条件的激活图

图 A.杏仁核、中脑激活(以杏仁核、中脑的并集为 mask, $p < 0.005$, uncorrected) 图 B. 黑质激活(以黑质为 mask, $p < 0.05$, uncorrected) 图 C.中脑激活(单体素 $p < 0.05$, cluster size ≥ 80 , AlphaSim correction)

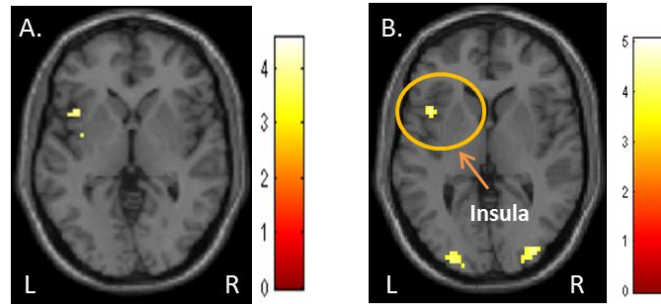


图 6 再认阶段英文负反馈>中文负反馈条件下脑岛激活(图 A. $p < 0.001$, uncorrected; 图 B. 单像素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 14 , AlphaSim correction)

意见 14: 不能根据全脑的激活来选定 ROI, 这有 double dipping 的风险, 应该根据已有文献来选择 ROI。

回应: 非常感谢您的提醒, 这确实是个很重要的问题。有关制定 ROI 可能存在的 double dipping 风险, 按照 Kriegeskorte 等人 (2009) 的观点, 如果使用同一批数据进行 ROI 制定和 ROI 分析即 double dipping, 将有可能扭曲描述性统计结果进而使统计推论变得不可靠。但同时文章也提到, 如果 ROI 分析结果独立于选定的标准, 比如采用结构 ROI, 那么可以使用所有数据进行分析, 不存在 double dipping 的风险。本研究 ROI 分析是利用中脑、黑质、脑岛的神经结构模版来界定 ROI 并提取相应的激活值, 因此应该不存在此问题。

意见 15: 请标注 t 检验的自由度。

回应: 非常感谢您的建议, t 检验的自由度已标注, 请见正文第 29 页, 751-758 行。正文修改内容如下:

对学习和再认两个阶段的情绪评定结果进行相关样本 T 检验, 结果如下: 同一阶段两种语言之间对比发现, 学习阶段英文情绪 ($M = 2.87$, $SD = 0.51$) 评价要比中文 ($M = 3.01$, $SD = 0.55$) 更消极, 达到边缘显著 ($t(18) = -2.05$, $p = 0.055$); 再认阶段英文情绪评价 ($M = 2.73$, $SD = 0.58$) 则显著低于中文 ($M = 2.84$, $SD = 0.57$, $t(18) = -2.84$, $p = 0.011$)。同一语言两阶段对比发现, 学习阶段的英文情绪评价 ($M = 2.87$, $SD = 0.51$) 要高于再认阶段 ($M = 2.73$, $SD = 0.58$, $t(18) = 2.21$, $p = 0.04$); 学习阶段的中文情绪评价 ($M = 3.01$, $SD = 0.55$) 也要显著高于再认阶段 ($M = 2.84$, $SD = 0.57$, $t(18) = 2.79$, $p = 0.01$)。对再认阶段的记忆成绩分析发现, 英文记忆成绩 ($M = 45$, $SD = 8.12$) 显著低于中文 ($M = 47.89$, $SD = 7.75$, $t(18) = -2.70$, $p = 0.015$)。

意见 16: 请把下表中的脑岛加粗表示。

回应: 根据您的建议对表 1 中的“insula”加粗表示。

表 1 学习阶段英文线索与中文线索呈现激活的脑区

脑区	半球	BA	MNI 坐标			t(19)	激活量
			X	Y	Z		
英文线索>中文线索							
Inferior Occipital Gyrus	Left	18	-27	-93	-12	7.03	127
Inferior Occipital Gyrus	Left	18	-33	-93	-3	6.68	
Middle Occipital Gyrus	Left	19	-33	-87	15	5.46	
Inferior Occipital Gyrus	Right	18	33	-93	-6	5.7	151
Middle Occipital Gyrus	Right	18	39	-87	6	5.18	
Declive	Right	*	36	-75	-15	3.03	
Insula	Right	13	45	3	12	4.69	33
Precentral Gyrus	Left	44	-48	6	9	3.88	53
Insula	Left	13	-45	-3	12	3.74	
中文线索>英文线索							
Lingual Gyrus	Right	18	15	-78	-6	5.84	720
Lingual Gyrus	Right	18	12	-87	3	5.61	
Declive	Left	*	-9	-84	-12	4.6	

意见 17: 下表 (表 3) 中并未发现, 英文线索比中文线索有更多黑质及中脑的激活。

回应: 非常抱歉, 此处文字描述引起了误解。英文线索比中文线索激活的黑质和中脑在这里不是峰值点, 但激活团簇的范围延伸到了这些区域, 由于是本实验关注的重要脑区, 故在此处及图 4 中单独呈现。此处文字描述的修改请见正文第 31 页, 776-779 行。详文如下:

再认阶段的英文线索与中文线索相比, 更多地激活了舌回、枕中回、中央前回、楔前叶、颞中回、颞下回等脑区。而中文线索则比英文线索更多地激活了舌回、楔叶(表 3)。除表 3 所激活的峰值点外, 特别地, 英文回忆线索相对于中文线索的脑激活团簇的范围还延伸到了黑质及中脑等区域, 因为这些区域与学业情绪关系密切, 因此我们也将这个区域的激活通过 ROI 的方法加以展示(图 4)。

意见 18: 正激活容易引起歧义, 建议改为“英文正反馈比中文正反馈激活更强的区域... ..”。

回应: 感谢您的建议, 已做相应的改动, 请见正文第 32 页, 781 行。修改内容如下:

英文正反馈比中文正反馈激活更强的区域有楔前叶、梭状回、颞上回、颞中回、和枕下回。

意见 19: 图 5 的阈限很松, 只有 $p < 0.05$ uncorrected, 所以无法确认中脑、黑质和杏仁核在阈限为 $p < 0.005$ 甚至 $p < 0.001$ 的情况下是否激活。建议以三个区域的并集为 mask, 看英文正反馈与中文正反馈之间是否有显著差异。

回应: 非常感谢您提出的意见, 参照您的意见, 将中脑、黑质、杏仁核三个脑区的并集为 mask, 重新分析后发现, 在 $p < 0.005$ uncorrected 水平下英文正反馈比中文正反馈激活更强的区域有中脑、杏仁核 (如图 5A); 在 $p < 0.05$ uncorrected 水平下发现黑质在英文正反馈条件下比中文正反馈激活更多 (如图 5B)。

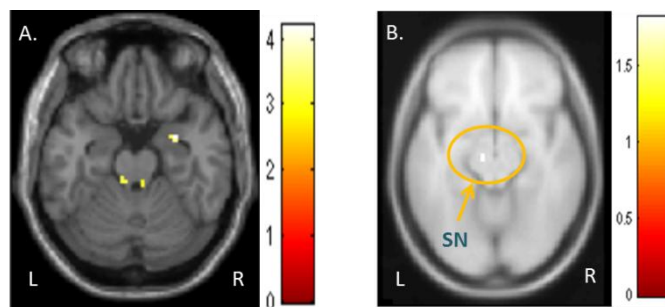


图 5 再认阶段英文正反馈>中文正反馈条件的激活图

A. 杏仁核、中脑激活(以杏仁核、中脑的并集为 mask, $p < 0.005$ uncorrected) ; B. 黑质激活(以黑质为 mask, $p < 0.05$ uncorrected)。

上述阈限较为宽松的检验是作为对前人已有的发现的验证而做出的。例如，黑质作为中脑多巴胺神经系统（即奖赏区）的重要组成部分，此前已有研究发现，该区域在强化学习过程中起重要作用。如动物研究发现，积极强化能够激活多巴胺神经系统，该区域的激活被认为是从奖赏中习得的重要标志(Schultz, 2002; Schultz, Dayan, & Montague, 1997; Wickens, 1997)。人类研究也发现积极和消极强化也伴随着多巴胺神经系统的活动(Holroyd & Coles, 2002; Zald et al., 2004)。如帕金森病人由于多巴胺水平较低，在需要从积极反馈中学习的认知任务上表现受损 (Frank, Seeberger, & O'reilly, 2004)。

黑质奖赏区虽在本研究中激活较弱，可能与本研究采用的实验材料有关：英文词对、中文词对均为生僻、无意义的国外地名（如，Cuenca——Ecuador；贝鲁——基里巴斯），对被试来讲难度都很大。黑质激活弱可能因为英文学习材料过于枯燥，即使获得正反馈对乐学个体而言得到的心理奖赏感也有限。如果换作其他有趣的学习材料（如英文电影等），奖赏区的激活度可能会发生改变，这将有待于后续的研究予以佐证。

此外，为防止犯II型错误，即忽视一些原本存在的效应，已往发表的文献也有报告以 $p < 0.05$ uncorrected 为阈限的结果 (Buckholtz et al., 2010; Ekstrom et al., 2008; Gündel et al., 2003; Hamilton et al., 2011; Smith et al., 2004)。综合上述分析，我们认为黑质激活区虽在本研究中激活较弱，但也是具有可信度的研究结果，应当加以报告。

意见 20: 负激活容易引起歧义, 建议改为“中文正反馈比英文正反馈激活更强的区域... ..”。

意见 21、22 同 20。

回应：感谢您的建议。根据您的建议已将此处“负激活”、“正激活”的表述进行了修改，请见正文第 32 页，782-785 行。具体改动如下：

中文正反馈比英文正反馈激活更强的脑区有额中回(表 4)。对负反馈分析，英文负反馈比中文负反馈激活更强的脑区包括枕下回、枕中回、舌回、脑岛、屏状核。其中，脑岛的激活见图 6。中文负反馈减英文负反馈下无显著激活脑区(表 5)。

意见 23: 请加粗表示。

回应：根据您的建议对表 5 中的“insula”加粗表示。

表 5 再认阶段英文负反馈与中文负反馈激活的脑区。

脑区	半球	BA	MNI 坐标			t(19)	激活量
			x	y	z		
英文负反馈>中文负反馈							
Inferior Occipital Gyrus	Left	18	-39	-87	-9	5.06	341
Declive	Left	*	-45	-63	-18	4.58	
Lingual Gyrus	Left	17	-21	-96	0	4.25	
Inferior Occipital Gyrus	Right	18	33	-93	-3	4.47	156
中文负反馈>英文负反馈							
Middle Occipital Gyrus	Right	18	36	-87	3	4.46	
Inferior Occipital Gyrus	Right	17	18	-96	-3	4.39	
Insula	Left	13	-42	12	3	4.32	89
Clastrum	Left	*	-36	-3	0	3.61	
中文负反馈>英文负反馈 无显著激活							

注： $p < 0.005$ 未校正，且激活团块大于 30 个体素。

意见 24: 请标注 r 的自由度。

回应: 参照您的意见, 标注了所有相关的自由度, 请见正文第 33 页, 788-795 行。修改内容如下:

采用以上分析方法, 将所选取的感兴趣区与《英文乐学问卷》总分计算皮尔逊相关, 采用 Dunn-Šidák 校正方法调整显著阈限 (调整后的显著阈限为 0.034), 得到的结果如下: 学习阶段英文线索减中文线索在脑岛的激活差异与英文记忆成绩呈正相关($r(17) = 0.50, p = 0.030$), 与问卷总分正相关($r(17) = 0.50, p = 0.031$) (图 7 中的 A、B)。英文正反馈减中文正反馈在中脑的激活差异与乐学问卷总分呈边缘正相关($r(17) = 0.49, p = 0.035$); 与测验阶段英文提示减中文提示中观察到的黑质激活水平正相关($r(17) = 0.50, p = 0.030$), 与中脑的激活水平呈边缘正相关($r(17) = 0.49, p = 0.035$) (图 7 中的 C、D、E)。英文负反馈减中文负反馈在脑岛的激活差异与乐学问卷总分正相关($r(17) = 0.57, p = 0.012$) (图 7 中的 F)。

意见 25: 如果对个条目进行计算, 会产生大量的相关计算, 容易带来多重比较校正的问题, 建议删除与各条目的相关。

回应: 感谢您的建议, 删除与乐学问卷各条目的相关后, 并且参照另一位审稿人的意见对所有相关进行了 Dunn-Šidák 校正, 校正后的 ROI 相关结果请见批注 18 的回答。

意见 26: 中文成绩还是英文成绩?

回应: 感谢您指出该处问题。这里指的是与英文记忆成绩有相关, 请见正文第 33 页, 789-790 行。修改如下:

学习阶段英文线索减中文线索在脑岛的激活差异与英文记忆成绩呈正相关($r(17) = 0.50, p = 0.030$),

意见 27: 建议从这里另起一段, 这一大段信息太多, 分成两段利于读者阅读。

回应: 感谢您的建议, 已划分为两个段落, 请见正文第 34-35 页, 843-845 行。修改如下:

... ..这说明如果一个个体越乐学, 则其在获得英文学习正反馈时所产生的心理奖赏感就会越强烈。

事实上, 乐学被试的这一特征不仅体现在获得好的记忆成绩反馈的阶段,

意见 28: 这句话不通。

回应: 抱歉, 这里是一处笔误, 修改请见正文第 36 页, 893-894 行。内容如下:

... ..因学英文而得到的正反馈所导致的奖赏脑区明显大于因学中文而得到的正反馈, 这说明英文学习成功能带来更高的奖赏感。

意见 29: 本研究的结论是什么? 缺乏结论部分。

回应: 已根据您的意见补充研究结论, 请见意见 1) 的回答。

意见 30: 数字与其对应的解释错位了。

回应: 谢谢。已对错位的格式进行更正。

	从来	每年	每月	每月	每周	每周	每天
	没有	几次	一次	几次	一次	几次	都有
1、学校功课把我的精神榨干了。	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	5 ^o	6 ^o	7 ^o
2、上一天课下来, 让我感到精疲力尽。	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	5 ^o	6 ^o	7 ^o

尽管存在以上问题，本研究仍不失为一篇不错的研究。

回应：感谢您对我们工作的肯定及对文章细致负责的审阅！

.....

审稿人 2 意见：

该文章通过考察学生在英语和汉语材料学习与提取阶段的大脑活动情况对比，试图揭示奖赏系统与执行系统在不同语言材料记忆中的作用机制。虽然研究思路较为新颖，但在研究方法和讨论上存在一些较为明显的缺憾。

意见 1：激活都未进行校正。更为关键的是，在几个核心脑区如岛叶、黑质的激活体积非常小。在这种情况下，数据结果是否可靠是一个问题。

回应：感谢您提出的意见。在修改稿中，我们尝试采用 $p < 0.05$, AlphaSim 对结果进行校正，结果发现，一些关键脑区如英文学习线索减中文学习线索下的脑岛（图 3B）、英文正反馈减中文正反馈下的中脑脑区（图 5C）、英文负反馈减中文负反馈下的脑岛（图 6B）均有显著激活。

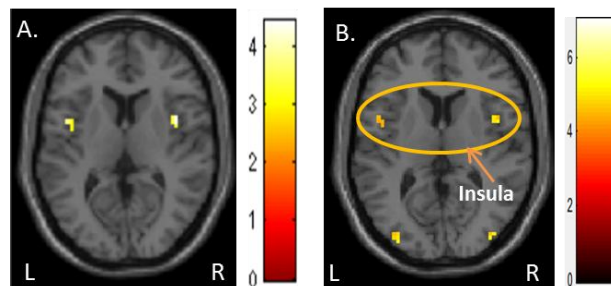


图 3 学习阶段英文线索>中文线索脑岛激活 (图 A. $p < 0.005$, uncorrected; 图 B. 单体素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 10 , AlphaSim correction)

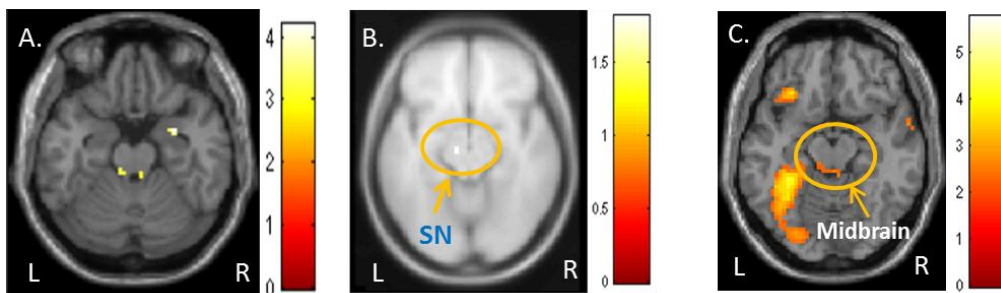


图 5 再认阶段英文正反馈>中文正反馈条件的激活图

图 A.杏仁核、中脑激活(以杏仁核、中脑的并集为 mask, $p < 0.005$, uncorrected) 图 B. 黑质激活(以黑质为 mask, $p < 0.05$, uncorrected) 图 C.中脑激活(单体素 $p < 0.05$, cluster size ≥ 80 , AlphaSim correction)

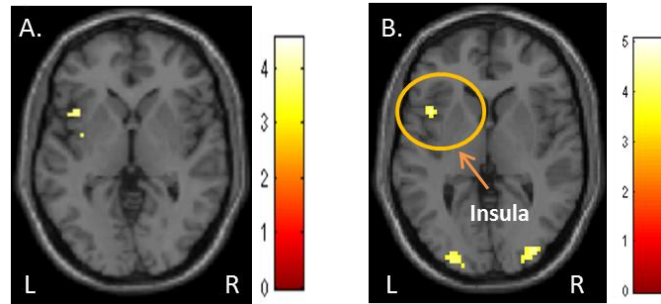


图 6 再认阶段英文负反馈>中文负反馈条件下脑岛激活(图 A. $p < 0.001$, uncorrected; 图 B. 单体素 $p < 0.005$, cluster size ≥ 14 , AlphaSim correction)

此外,这项研究之所以采用以 $p < 0.005$ (ucr), $K_E > 30$ 为主的阈限水平是基于以下考虑:首先,统计上存在两种不同类型的错误,即I型错误(“弃真”)和II型错误(“存伪”)。当采用严苛的阈限时,能够降低犯I型错误的概率,但与此同时也会提高犯II型错误的可能性;反之,采用较为宽松的阈限,虽能避免II型错误,但却会增加犯I型错误的概率。因此,如何寻求两者之间的动态平衡是一个值得考虑的问题。有研究显示:若采用 $p < 0.005$ (ucr) 且 $K_E > 10$ 的阈限标准有可能较好地平衡I型和II型错误(Lieberman & Cunningham, 2009)。甚至,如采用 $p < 0.005$ (ucr) 且 $K_E > 20$ 的阈限水平,在某种情况下的其检验效果相当于采用 $p < 0.05$, FDR 校正的结果(Lieberman & Cunningham, 2009)(我们的研究中,对于岛叶、中脑、杏仁核等脑区的激活,采用的是 $p < 0.005$ (ucr) 且 $K_E > 30$ 的阈限)。

其次,与认知控制和工作记忆等任务效应相对较强的认知过程相比,参与复杂社会认知加工和情绪唤起过程的脑区(如腹内侧 PFC, 杏仁核, 颞极等)其任务相关的脑内激活效应往往较弱,且由于其所处部位成像效果相对较差的原因,如采用十分严格的校正,很可能忽略真实存在的效应(Lieberman & Cunningham, 2009),因此,在社会认知神经科学以及相关领域的以往研究报告中使用 $p < 0.005$ (ucr) 阈限的情况是存在的(如 Eisenberger, Lieberman, & Williams, 2003; Lederbogen et al., 2011; Li et al., 2008; McClure et al., 2004; Takahashi et al., 2004 等)。

第三,在本研究中我们对一些特别感兴趣的脑区,如黑质,采用了显然低于通用标准的 $p < 0.05$ (ucr) 的阈限值,之所以这样做是出于检验既有实验效应的考虑,因为根据以往的研究,我们已经知道包括黑质在内的多巴胺投射区域会在个体得到强化或反馈时增强(如 Holroyd & Coles, 2002; Zald et al., 2004 等),因此,我们有较为充分的理由预期奖赏区会在特定情况下(比如获得记忆成绩反馈时)激活,为了检验这种无论是出于理论推想还是根据以往类似情况下的实验研究结果都很有可能发生的情况,我们采用了 $p < 0.05$ (ucr) 这一明显低于通用标准的阈限,其目的不是完全开放式的探索性发现,而是检验既有研究假设。

第四,通过与行为学数据(如,英语乐学问卷总分,英文记忆成绩)建立关联,我们证实了在实验中所获得的关键脑区(如岛叶、中脑、黑质)的激活情况与个体的行为学分数之间存在显著相关,这能够在一定意义上说明这些脑激活并不是因为减低阈限而随机获得的,它们具有明确的心理学意义。

这项实验采用了生僻、无意义的国外地名作为实验材料,这样做可以较好地控制以往经验在其中的影响,但其缺陷在于记忆材料过于枯燥,从而有可能导致在本实验中我们无法获得与学业情绪相关的较为强烈的情绪区和奖赏区的激活,尽管如此,就上述各个方面的综合考虑,仍有理由认为实验所获得的观测是可靠的,具有明确的科学意义。

意见 2: 在做相关分析时涉及到多个脑区,此时按照统计检验校正要求,也应该调整显著阈限的。

回应: 非常感谢您指出我们在统计方法上存在的该问题。参照此意见, 我们对 ROI 相关分析采用 Dunn-Šidák 法校正 (Abdi, 2007): 在进行多重比较时为了使族错误率 (Family-wise Error Rate, FWER) 即多重检验中犯I型错误的概率保持在较低水平如 5%, Dunn-Šidák 校正使用 $1-(1-\alpha)^{1/C}$ 公式调整两两比较的显著性水平。目前, 在已发表的脑成像研究中也有使用该方法校正多重比较的结果 (Bourguignon et al., 2011; Koch et al., 2015; Merlo et al., 2015)。

ROI 相关分析中涉及的相关变量为 8 个 (英文正反馈减中文正反馈中脑、英文正反馈减中文正反馈黑质、再认英文减中文线索黑质、再认英文减中文中脑、英文负反馈减中文负反馈脑岛、学习英文减中文线索脑岛、乐学总分、英文记忆成绩), 若以 0.05 为整体显著性水平, 则校正后的显著性水平为 $(1-0.05)^{1/28} = 0.034$ 。调整阈限之后的结果有两处结果由显著变为边缘显著。正文修改请见第 33 页, 788-795 行。具体内容如下:

采用以上分析方法, 将所选取的感兴趣区与《英文乐学问卷》总分计算皮尔逊相关, 采用 Dunn-Šidák 校正方法调整显著阈限 (调整后的显著阈限为 0.034), 得到的结果如下: 学习阶段英文线索减中文线索在脑岛的激活差异与英文记忆成绩呈正相关 ($r(17) = 0.50, p = 0.030$), 与问卷总分正相关 ($r(17) = 0.50, p = 0.031$) (图 7 中的 A、B)。英文正反馈减中文正反馈在中脑的激活差异与乐学问卷总分呈边缘正相关 ($r(17) = 0.49, p = 0.035$); 与测验阶段英文提示减中文提示中观察到的黑质激活水平正相关 ($r(17) = 0.50, p = 0.030$), 与中脑的激活水平呈边缘正相关 ($r(17) = 0.49, p = 0.035$) (图 7 中的 C、D、E)。英文负反馈减中文负反馈在脑岛的激活差异与乐学问卷总分正相关 ($r(17) = 0.57, p = 0.012$) (图 7 中的 F)。

意见 3: “相对于学习中文而言, 学习英文均伴随明显的岛叶的激活, 而这个区域的激活反映了被试在学英文时产生了与感知压力和调动努力相关的不愉快体验。”但是积极的情绪唤醒也是会激活岛叶的, 这里的推论显然属于不合理的反推 (reverse inference)。

回应: 感谢您提出的不合理反推的问题, 这促使我们对原有的预期和思维定势进行了反思。将学英文较之学中文时更强的脑岛激活与压力及消极情绪联系在一起, 首先是因为考虑到被试在学习阶段对于学英文的情绪评价 ($M = 2.87, SD = 0.51$) 要比学中文的情绪评价 ($M = 3.01, SD = 0.55$) 更差, 二者之间的差异达到边缘显著的水平 ($t(18) = -2.05, p = 0.055$); 第二是学习记忆英文的难度较之中文更大, 英文记忆成绩 ($M = 45, SD = 8.12$) 显著低于中文 ($M = 47.89, SD = 7.75, t(18) = -2.70, p = 0.015$); 最后, 学习阶段提示即将开展英文学习的线索提示减中文的线索提示在脑岛的激活差异与英文的记忆成绩呈正相关 ($r(17) = 0.50, p = 0.030$), 也与英语乐学问卷总分呈正相关 ($r(17) = 0.50, p = 0.031$)。因此, 我们做出了学习英文时所伴随的更加强烈的脑岛激活可能与被试在学英文时产生了与压力感知和认知努力调动相关的不愉快体验有关的推测。但严格地说来, 除非我们得到学英文较之学中文时的脑岛激活差异与学习时的负性情绪评价呈正相关的结果时, 上述推想才能得到直接的支持性证据。而在没有这样的直接证据的情况下, 关于学英文时脑岛激活的心理学意义的假设都是推测性的, 尽管已有一些与前述推测相一致的实验观察数据, 但理论上仍然无法排除其他的可能性。我们会注意在修改稿中明确这一问题, 并对其他类似的情形做出相应的表述上的调整。

意见 4: “当被试得到关于英文记忆成绩的负反馈时相比于得到中文负反馈更多地激活了双侧前脑岛(且该脑岛的激活水平与乐学特质与英文乐学问卷总分呈正显著相关), 这表明被试在英文成绩上获得负反馈令他们感到更加糟糕, ”这里的推论也是有问题。为什么脑岛的激活会与更糟糕有关呢? 既然脑岛激活水平越高, 乐学问卷总分也越高, 那么应当说负反馈在英文比中文得到的更强的激活促发被试更愿意去学习英文? 或者更关注英文学习? 而不是

感到更加糟糕？

回应：考虑到在测验过程中，被试对英文测验的情绪评价（ $M = 2.73$, $SD = 0.58$ ）显著地低于中文的情绪评价（ $M = 2.84$, $SD = 0.57$, $t(18) = -2.84$, $p = 0.011$ 。在评分体系中 2 代表“比较厌恶”，3 代表“比较喜欢”），且当被试得到关于英文记忆成绩的负反馈时相比于得到中文负反馈更多地激活了双侧前脑岛，因此我们推测这种激活与以往研究显示脑岛会在个体收到负反馈或厌恶刺激时被激活一样，可能代表一种负性的情绪唤起或厌恶感，至于该脑岛的激活水平为何会与乐学特质以及英文乐学问卷总分呈显著的正相关原因，可能与越是乐学的个体就会越在乎成绩的好坏，并对坏成绩越感厌恶或者是越倾向于做好心理准备以便更加努力地学习和记忆有关。

对以上修改请见正文第 35 页，861-864 行。修改的内容如下：

当被试得到关于英文记忆成绩的负反馈时相比于得到中文负反馈更多地激活了双侧前脑岛（且该脑岛的激活水平与乐学特质与英文乐学问卷总分呈正显著相关），这表明被试在英文成绩上获得负反馈可能令他们感到不满意并试图调动更多的认知努力应对接下来的英文测验，这显然与前述的难度差异解释不符。

意见 5：作者不经意地把岛叶激活与情绪对等起来，但情绪本身是很复杂的，其加工也可以分为多种性质，比如唤醒、调节，笼统地把岛叶激活强归结于“苦学”、“乐学”是不合适的。

回应：感谢审稿人的提醒，这使我们注意到研究者内心存在的“无意识推论”可能影响其对研究结果做出客观、中立的评价。就对于岛叶激活的心理学意义的理解而言，我们之所以将其与学习情绪相关联，主要是基于以往有大量有关厌恶信息加工的研究（也包括关于数学学业焦虑的研究）显示脑岛的激活与厌恶感的产生有关，且在本研究中我们也发现了在中、英文的学习、再认和反馈等各个阶段脑岛的激活与乐学品质以及记忆成绩有关，正是这样对以往研究结论的参照以及实际的研究观察引导我们将脑岛的激活与“乐学”联系在了一起。但是，这个结论肯定是不完美的。鉴于脑岛（后部）不但接受来自丘脑等区域的感知觉传入，而且脑岛（前部）还与额叶及扣带回等认知控制脑区有着广泛的联系，因此，在笼统的“苦学”和“乐学”与脑岛的激活相关联的背后，肯定还有复杂的意识唤醒、感知觉输入信息调制以及认知控制加工过程上的原因，这需要在未来的实验研究设计中加以仔细地分离和鉴别。但是，作为对于这个复杂的问题展开探究的第一步，将脑岛与乐学情绪相关联仍然不失为一个就目前所掌握的信息而言是适当的初步假设，它至少可以作为我们从认知神经科学角度对这个问题展开思考和探索的理论架构，这个架构可以为未来这个方面的研究提供理论假设或者甚至是反驳的靶子，但它有利于逐步将人们对于这个问题的认识和研究引向深入和全面。

感谢审稿人的意见，我们已在修改稿中指出了上述思路的合理性与局限性。

第二轮

审稿人 1 意见：

修改意见：我对修改稿满意，建议发表。

回应：感谢您的肯定和认可，谢谢！

审稿人 3 意见：

本研究通过对比英语乐学者在学习和提取英、汉语材料以及成绩反馈过程中产生的主观情绪变化和认知神经机制的活动特征，揭示了语言学习和奖赏系统在英语乐学者人群中的中英文差异。实验采用核磁共振技术对“学习-再认”范式中被试的脑活动进行了记录和分析。结果发现，学习英文词对的过程比学习中文词对的过程产生更多的负面情绪和更强的前部脑

岛活动。获得英文成绩正反馈激活中脑奖赏区的程度则高于获得中文成绩正反馈。作者认为该研究结果表明英语乐学者在学习英语时虽然产生较多负面情绪（相较于学习中文），但学习的成功可带来更大的心理奖赏。

本研究的课题有重要理论及应用价值。实验设计易于理解。实验结果较为有趣。论文写作清晰。然而实验方法和主要实验发现的解释尚存一定疑虑。建议修改后发表。

意见 1: 本实验采用的“学习-再认”范式和以低词频地名、国名所组成的实验材料为相对基础的语言学习任务，其认知过程本身更接近于对不同种类符号的机械性记忆，不涉及文化、价值、感情等高级语言信息。与此相对应的是，研究所关注的人群为“英语乐学者”。很难想象此处“乐学”的定义源于该人群对英语语言符号的机械性记忆所持有的特殊偏好。应该说绝大多数人对语言学习的兴趣来自于对该语言所承载的文化价值等高级语言信息。因此，本实验所采用的任务和材料对“乐学”这一关注人群的核心特质不具有很高的代表性。利用同样的实验过程检测英语厌学者所获得的结果有可能与英语乐学者接近，因为实验本身涉及到语言学习兴趣相关因素较少。

回应: 非常感谢您的意见。

提及学习，自古有“学海无涯苦作舟”的经典论述，学习过程除却一部分有趣的学习内容之外，也同时有很多枯燥、乏味的内容需要进行机械性记忆，对这类学习材料的研究本身也具有一定意义。虽然本研究使用的词汇配对材料属机械性记忆，但我们认为也能反映乐学的特征，因为该类材料具有英语的基本特点，乐学者学习这类材料的过程也能反映出乐学的特性。而且特别地，对于语言学习，机械性的无意义记忆也是非常必要的。比如英语学习过程中需机械性记忆的内容就占有很大比例，如无规律的单词、词根、词缀、语法、专有名词（包括本研究使用的地域名称）等。乐学者对于这类基础性学习材料的态度和情绪也能反应他们的乐学特性。

本研究中乐学者在学习过程中表现出“苦”，这主要是因为记忆地名没有意义且任务枯燥，这样的学习不能满足英语乐学者的学习需要，因而产生并非愉快、兴趣的情绪。而且由于同样是地名，对英语为二外的乐学大学生来说，毕竟没有中文熟悉，因此不愉快的情绪比记忆中文更差。这一事实，恰科学支撑了我们的理论：对乐学情感个体来说会在具体情境中以情绪形式表现出来：当学习满足其需要时会产生各种正性情绪体验，如高兴、自豪、希望等；当学习不满足其需要时则会引发各种负性情绪体验，如厌倦、焦虑、失望、气愤等。

机械性的记忆单词确实是一项枯燥的任务，不能很好地激发学习者的兴趣。在实验设计之初我们也考虑过使用俚语、歇后语或电影片段等作为实验材料，但是，考虑到但凡是有意义的学习材料，对于熟悉度这一变量就无法进行精确的控制，实验结果将会受到受试者自身英语水平的影响；其次，如果选用有意义材料比如电影片段，相应的控制条件则将采用对应的中文电影片段，但由于中文作为母语，被试必然对中文材料的熟悉度更高。本研究采用了生僻地名材料结果还发现英文材料学习难度要显著高于中文，如若采用有意义学习材料，这种难度的差异性将更加明显。

据此，我们认为使用生僻材料研究英语乐学者的乐学特性虽不是最理想的实验材料，但也能反映乐学者的基本特征。当然使用趣味性、有意义性的学习材料进一步研究是很有必要的。对此局限，我们已在原文讨论部分予以了说明（第 39 页，971-974 行）：

为了良好地控制实验条件，本实验采用了较为枯燥的地名词对作为学习材料，因为这个原因，乐学被试享受学习过程的认知特点也很有可能在这样的实验设置中不能被探测到，因此，未来的研究如欲澄清和确认这个问题，则应将学习材料本身的趣味性和意义性纳入探讨和系统的研究。

意见 2: 作者讨论且否定了乐学被试在得到中、英文正反馈时产生的神经活动差异是由两种语言任务间的难度差异所造成的这一可能性。作者的主要论点为, 如果此结果是由任务难度差异所产生的, 英文负反馈则不会产生比中文负反馈更多的不满情绪, 因为在较难的任务上失利是合理的事情。然而, 难度差异的解释仍然存在可能性和合理性。具体逻辑如下: 本实验中被试学习英文词对时付出的成本(如, 认知和情绪资源)较学习中文词对时高。这点可由被试的中、英文能力差异推断, 也可由被试学习两种语言时产生的主观情绪变化和神经机制活动特征佐证。因此, 英文反馈产生的情绪波动高于中文反馈可由被试对于两种语言任务所付出的成本差异解释。换言之, 学习英文对于被试来说是更具有风险性的行为。而高风险行为的成功与失败引起更大的情绪波动是可以被理解的。因此, 被试获得英文测验正反馈时感到更高的心理奖赏效应不一定由乐学特质所致。

回应: 感谢您指出本文的逻辑问题。从记忆结果及英文学习线索减中文线索下脑岛的激活情况来看, 英文学习的难度及所需付出的努力确实要高于中文学习, 所以从任务难度及付出成本的差异来解释逻辑上确实是合理的。即, 英文正反馈下奖赏区的激活也有可能是由于任务难度差异所致。但本研究的相关结果同时也表明, 被试获得英文正反馈时的奖赏感也有可能是由于乐学特征所致。相关结果显示, 英文正反馈减中文正反馈在中脑的激活差异与乐学问卷总分呈边缘正相关($r(17) = 0.49, p = 0.035$); 与测验阶段英文提示减中文提示中观察到的黑质激活水平正相关($r(17) = 0.50, p = 0.030$), 与中脑的激活水平呈边缘正相关($r(17) = 0.49, p = 0.035$)。另外换角度讲, 对于难度更高的英文任务, 英语乐学者仍然愿意接受挑战去学习, 并在获得正反馈后体验到更强烈的奖赏感, 我们认为这可能恰好反映了英语乐学者的乐学特征。

针对这一问题的论述, 我们在讨论部分做了相应的修改, 见正文第 38 页, 949-959 行。具体内容见下:

.....那么, 乐学被试在得到英文正反馈时奖赏区和情绪区的激活是否有可能是由中、英文两种任务在记忆难度上的差别所造成的呢? 即: 假设有难易不同的两个任务, 那么, 人们在那个较难的任务上获得成功之后其奖赏感可能会比较大, 这只是因为成功来之不易的缘故。本研究不能排除这一可能性, 但从相关结果看, 英文正反馈减中文正反馈激活了更多奖赏区, 即被试在获得英文正反馈时感到更加愉悦(且奖赏区的激活与乐学分数、测验阶段英文提示减中文提示中观察到的黑质、中脑的激活水平正相关); 而且当被试得到关于英文记忆成绩的负反馈时相比于得到中文负反馈更多地激活了双侧前脑岛(且该脑岛的激活水平与乐学特质即英文乐学问卷总分呈正显著相关), 这表明被试在英文成绩上获得负反馈可能令他们感到不满意并试图调动更多的认知努力应对接下来的英文测验。这些结果同时表明英文正反馈获得的奖赏感也可能是由于乐学特质所致。此外换角度讲, 对于难度更高的英文任务, 英语乐学者仍然愿意接受挑战去学习, 并在获得正反馈后体验到更强烈的奖赏感, 这恰好反映了英语乐学者的乐学特征。