

# 先苦后乐：英语乐学大学生在英语学习时 情绪反应的脑认知特点\*

刘潞潞<sup>1</sup> 卢家楣<sup>2</sup> 和美<sup>3</sup> 周建设<sup>4</sup> 肖晶<sup>1</sup> 罗劲<sup>1,4</sup>

(<sup>1</sup>首都师范大学心理学院, 北京市“学习与认知”重点实验室, 北京 100048) (<sup>2</sup>上海师范大学教育学院, 上海 200234)

(<sup>3</sup>中国人民大学劳动人事学院, 北京 100872) (<sup>4</sup>首都师范大学北京成像技术高精尖创新中心, 北京 100048)

**摘要** 运用功能性磁共振成像(fMRI)技术探索了乐学英语的大学生在对中、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。结果发现, 被试学习英文较之学习中文积极情绪更少且伴随更强的前部脑岛的激活; 但当他们获得关于英文成绩的正反馈时, 中脑奖赏区的激活却明显高于获得中文成绩正反馈时的情形, 且中脑激活与英语乐学呈正相关。这说明乐学是“苦中作乐”, 人们虽在学习时并未体验到更多快乐, 但其成功却带来了更大的心理奖赏。

**关键词** 乐学情感; 积极学业情绪; 英语; fMRI; 脑岛; 中脑

**分类号** B849: G44; B845

## 1 引言

乐学情感, 简称乐学感或乐学, 是个体乐于学习的情感, 属于理智情感大类中的一种, 具有内隐和相对稳定的特点(卢家楣, 2009; 卢家楣等, 2017)。像其他情感一样, 乐学情感虽是内隐的, 但会在个体具体情境中, 即学习活动中以情绪的形式表现出来, 并为个体所体验到(卢家楣, 1986)。因此, 具有乐学情感的个体在学习活动中, 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(Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002a)。这种情绪表现也就类似于西方学者提出的学业情绪(academic emotion)。学业情绪的研究至今已有十几年的历史, 研究者探索了学业情绪的结构及测量方法(Pekrun et al., 2002a; 董妍, 俞国良, 2007), 影响因素(Pekrun et al., 2002a; Perry, Hladkyj, Pekrun, & Pelletier, 2001;

Pekrun, Elliot, & Maier, 2006; Goetz, Preckel, Pekrun, & Hall, 2007; Frenzel, Pekrun, & Goetz, 2007; Goetz, Pekrun, Hall, & Haag, 2006), 领域特异性(Goetz, Frenzel, Pekrun, & Hall, 2006; Goetz, Frenzel, Pekrun, Hall, & Lüdtke, 2007)以及年龄特征(俞国良, 董妍, 2006; 马惠霞, 聂胜昀, 苏世将, 2010; 赵淑媛, 蔡太生, 陈志坚, 2012; 杨宪华, 徐淑燕, 2014)。

但长期以来, 此类研究存在两方面的不足。首先, 是有关研究多致力于对特定的负性情绪(如考试焦虑)的探讨, 而对正性情绪如高兴、自豪、希望的研究相对比较少(Pekrun, Goetz, Titz, & Perry, 2002b)。正性情绪是学习动机的基本构成要素, 它与学生学业成绩密切相关(Goetz, Frenzel, Hall, & Pekrun, 2008)且能影响其后的学习行为(俞国良, 董妍, 2007), 而只有当学生的学业情绪为正性时, 其自我调节能力才能成为有效地转化为促进学业成就的因素(Villavicencio & Bernardo, 2013)。理论

收稿日期: 2016-11-28

\* 北京市教委市属高校创新能力提升计划项目(TJSH20161002801)、教育部哲学社会科学重大课题攻关项目(13JZD048)、北京成像技术高精尖创新中心(BAICIT-2016018)资助。

卢家楣和刘潞潞为共同第一作者。

通讯作者: 罗劲, E-mail: luoj@psych.ac.cn; 肖晶, E-mail: xiaojingcnu@163.com

上, 正性情绪对认知的作用及其机制近年来得到了较多的研究和论证, 如 Fredrickson 提出的正性情绪的扩展和建设假说认为, 正性情绪能够促使个体突破思维限制发现更多可能性, 扩展注意范围, 增强认知灵活性, 从而使问题解决的效率更高。正性情绪还有利于增进个人资源(身体资源、智力资源、人际资源、心理资源)(Fredrickson & Branigan, 2001; Fredrickson, 2001; Fredrickson & Branigan, 2005)。因此, 研究正性学业情绪对于促进学生的学习具有重要的意义。

其次, 是以往此类研究多采用行为和问卷的方法, 而缺乏对脑认知过程深入探索。相比于与学业相关的其他认知过程, 此类情绪是具有内隐的相对稳定的乐学情感的情境性表现, 因此, 如能借助于认知神经科学手段直接探测脑内情绪区和奖赏区的变化, 无疑将有助于我们加深对于乐学情感的心理特征的认识和理解。例如, 一项关于数学焦虑的认知神经科学研究表明, 当具有数学焦虑的人在得知自己将被要求完成数学任务时, 与疼痛和厌恶感觉相关的后部脑岛就会激活, 而该脑区在实际解决数学问题的过程中却反而并未呈现激活, 这说明数学焦虑实际上发生于人们对于数学任务的想象和心理准备状态, 而并非实际的思考和问题解决过程(Lyons & Beilock, 2012)。但遗憾的是, 人们却并不清楚这种正性情绪的脑认知特点, 这影响了我们对乐学情感及其在解题过程中表现出的正性情绪的心理学原理的认识, 也影响对乐学情感的培养和促进。

鉴此, 在本项研究中, 我们选取了对英语学习怀有乐学情感的大学生被试, 采用功能性磁共振成像(fMRI)技术研究他们的乐学情感在具体的英语学习时的情绪反应和脑认知特点。为了能在语义和熟悉性上对实验材料进行控制, 实验编制了外国地名要求被试进行记忆和测验, 并以同样的汉语文字材料(即用汉字拼写地名和国名的词对)作为参照条件, 研究和比较了英语乐学被试在针对英文(或中文)材料的学习准备阶段(即告知被试其将学习中文或英文的提示线索)、学习阶段(即被试实际学习系列呈现的中文或者英文材料)、记忆测验准备阶段(即告知被试即将对其进行中文或英文的记忆测验的提示线索)、实际的记忆测验实施阶段以及获得积极或消极的学习成绩反馈阶段的脑活动, 以揭示正性情绪的心理与脑认知特点。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。特别地, 我们拟重点探讨与正性乐学情绪和奖赏有关的脑区(如杏仁核以及黑质纹状体通路和中脑皮层边缘系统通路等脑内多巴胺通路)在英语的学习过程中的激活情况以研究和探测英语乐学者在学习和记忆英文过程中的心理奖赏特点。

## 2 研究方法

### 2.1 被试

19 名来自北京各高校的具有较高英语乐学分数的大学生(9 男 10 女)参加本实验(该被试群体是从总数为 70 人的大学生中根据其英语乐学得分选取的高分被试, 详情见后), 平均年龄 23 岁( $SD = 2.79$ ), 排除英语、地理等可能对地名材料比较熟悉的相关专业。所选被试均为右利手, 视力或矫正视力正常, 无精神障碍和神经系统疾病。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。另外, 被试如果在 6 个头动参数(包括 3 个方向的平动和 3 个方向的转动)的一个方向上超过 2 mm 或 2 degrees 即被排除。

### 2.2 实验材料

本实验分为受试筛选和正式核磁实验两个部分。所采用的实验材料详述如下:

#### 2.2.1 受试筛选问卷

自编《英语乐学问卷》。问卷分为英语乐学和英语厌学两个维度, 其中乐学有 5 个条目, 厌学有 7 个条目, 共 12 个条目。乐学维度正向计分, 厌学维度反向计分, 两个维度的分数相加构成乐学问卷总分。题目样例如下: “我在课余会抽出一定时间学英语”(乐学), “只有为了应付考试我才会学英语”(厌学)。乐学和厌学分量表的内部一致性系数分别为 0.75 和 0.72。

《大学生学业倦怠问卷》(MBI-GS 修订版)(倪士光, 伍新春, 张步先, 2009)。问卷共 14 个题目, 包含情绪衰竭(4 个题目)、讥诮态度(4 个题目)、成就感低(6 个题目)三个分量表。采用 Likert 7 点计分, “1”代表“从来没有”, “7”代表“每天都有”。总量表的  $\alpha$  系数为 0.81, 三个分量表情绪衰竭、讥诮态度、成就感低的  $\alpha$  系数分别为 0.77, 0.77, 0.81。

《焦虑自评量表》(Self-Rating Anxiety Scale, SAS)。20 个题目, 4 级评分。计算标准分后, 标准分小于 50 分为无焦虑, 50~60 分为轻度焦虑, 60~70 分为中度焦虑, 70 分以上为重度焦虑。

《抑郁自评量表》(Self-Rating Depression Scale, SDS)。含 20 个题目, 4 级评分。计算抑郁严重指数 (SDS 得分/总分 80), 指数在 0.50 以下为无抑郁, 0.50~0.59 为轻微至轻度抑郁, 0.60~0.69 为中至重度抑郁, 0.70 以上为重度抑郁。

### 2.2.2 核磁实验材料

采用经典的“学习-再认”实验范式, 材料选用中、英文两种语言的世界地名, 词汇内容使用频次较低的城市及其对应的国家。例如, Conakry——Guinea、阿塔富——托克劳, 其中左侧词汇为城市, 右侧词汇为国家。所有材料均选自《世界地名翻译大辞典》(周定国主编, 2008 年 1 月出版), 英文词长度范围为 4~10 个字母, 中文词长度范围为 2~4 个汉字。

正式实验分为 4 个学习阶段和 4 个再认阶段, 两阶段交替呈现(见图 1)。每个学习-测验阶段包含 12 个小单元(trial) (中、英文各 6 个), 每个 trial 含有 3 个英文或者中文词对(但不会出现中、英文在一个 trial 中混搭的情况), 每个学习-测验阶段共呈现 36 个词对(中英各 18 个), 4 个学习阶段共呈现 144 个词对, 中英文各 72 对。再认阶段的材料的一部分与学习阶段相同, 如词对中出现的城市与上一学习阶段相同, 国家有 50% 与学习时完全对应(即正确配对), 另外 50% 的国家打乱了顺序, 与城市不是对应关系(即错误配对)。再认阶段的词汇数量及分布方式与学习阶段相同, 但项目的呈现顺序被再次随机化。在学习和再认阶段, 中/英文学习材料的 trial 随机交叉呈现, 最多连续出现 2 个相同语种的 trial。此外, 为避免熟悉性对学习效果的影响, 中英文各选用不同材料, 即一个特定地名词对如以中文形式呈现过, 则就不会再出现其英文形式, 中、英文材料的选定在不同被试之间进行均衡。

### 2.3 实验程序

使用自编《英语乐学问卷》、《大学生学业倦怠问卷》、《焦虑自评量表》(SAS)、《抑郁自评量表》

(SDS)筛选被试。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  $\geq 47.04$ , 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。只有所有问卷得分均符合标准才能参与正式核磁实验。

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 3 个项目进行 5 点评分。之后在主试讲完指导语之后针对核磁程序进行练习, 直到被试完全掌握实验要求和按键反应方式为止。核磁扫描流程共 8 个 run, 其中学习 run 4 个, 再认 run 4 个, 学习和再认 run 交替呈现。每个学习 run 呈现 8 min, 再认 run 呈现 7 min, 间隔休息 1 min, 实验总时长为 68 min (见图 1)。采用拉丁方对实验顺序进行了平衡, 以排除顺序效应。

学习和再认阶段一个 trial 的流程如图 2。在学习阶段, 屏幕首先会呈现学习线索(呈现时间为 5 s), 提示接下来将要学习的材料是英文还是中文, 然后, 依次呈现 3 个词对, 每个词对的呈现时间为 3 s, 随之 3~5 s 的 jitter, 在词对呈现时被试需要尽量记忆。词对呈现完之后会出现一个情绪评定界面, 需要被试对记忆过程中体验到的情绪进行 4 级评分(1 厌恶, 2 有点厌恶, 3 有点喜欢, 4 喜欢), 对应分别以左手中指、左手食指、右手食指、右手中指做反应。至此一个 trial 结束。在再认阶段, 也是先呈现再认线索(呈现时间为 5 s), 提示接下来测验的是中文还是英文, 接着在词对呈现时被试需要对依次呈现的 3 个词对进行“是”或“否”的判断。如果左侧词城市与右侧词国家与学习阶段的完全一样, 则按“3”(是), 否则按“4”(否)。每个词对呈现时间为 3 s。词对结束同样要求被试对再认过程中体验到的情绪做出 4 级评分。随后会出现反馈界面, 共有两种不同的反馈, 正反馈为: “恭喜! 您在本组的成绩超过了平均成绩, 您将获得额外奖励”, 负反馈为: “抱歉! 您在本组的成绩低于了平均成绩, 未获得额外奖励”, 两类反馈随机呈现, 正、负反馈的出现频次在中、英文两种条件下各占 50%。为防止被试对反馈生疑, 每个 run 4 种反馈类型的数量不

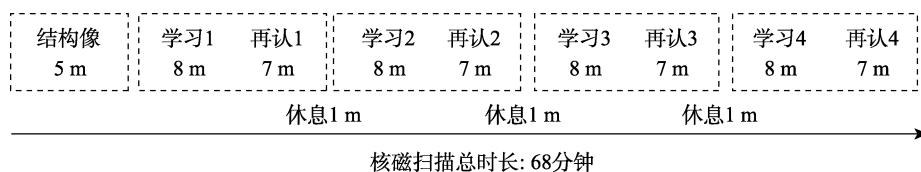


图 1 核磁扫描流程

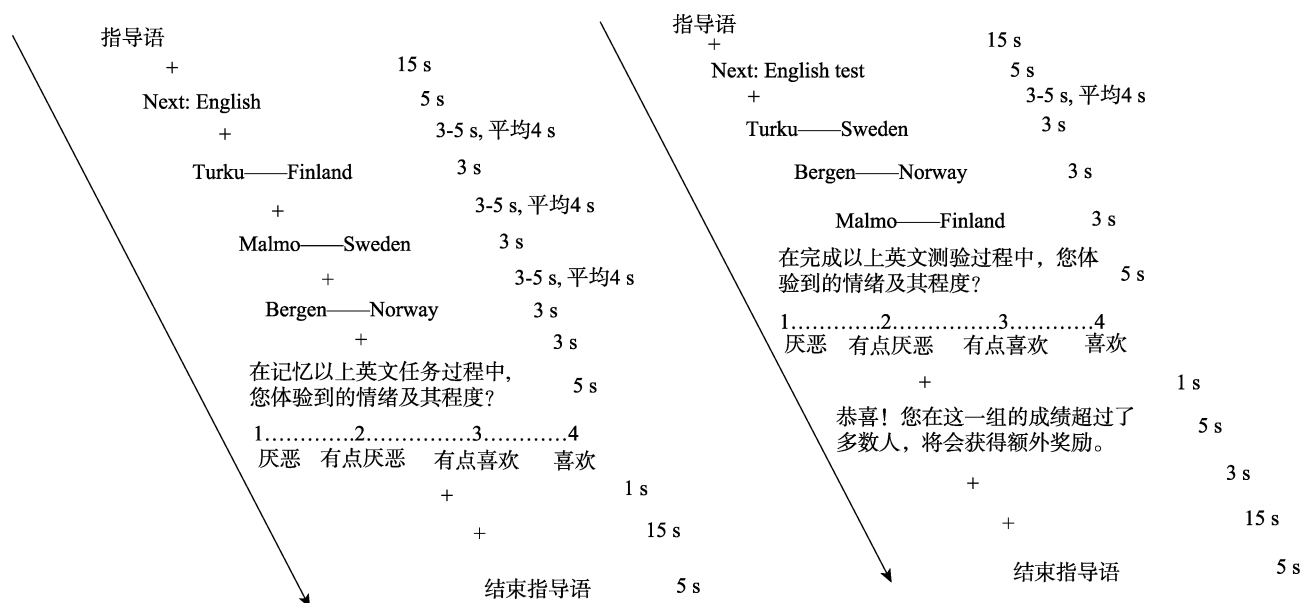


图 2 实验流程图

注: 左图为学习阶段, 右图为再认阶段

完全均等。

核磁共振扫描结束后, 询问被试是否质疑反馈的正确性, 如果猜到反馈是假的被试作废。最后主试支付报酬, 实验结束。

## 2.4 图像采集

利用清华大学生物医学影像研究中心的 Philips Achieva 3.0T TX 磁共振成像系统, 采用 32 通道线圈采集图像。全脑功能像由 T2\*加权单次激发梯度回波的 EPI 序列获得, 功能像相关参数如下: TR = 2000 ms, TE = 35 ms, FOV = 200 mm × 200 mm, FA = 90°, 64 × 64 matrix, 30 层, 层厚 4mm, voxel size = 2.5 mm × 2.5 mm × 4.0 mm。结构像扫描参数: TR = 7.65, TE = 3.72, Flip = 8°, 180 层, 层厚 2 mm, 层间距 1 mm, FOV=230 mm×230 mm, voxel size=0.96 mm×0.96 mm×1 mm。通过 E-prime 2.0 软件制作的程序实现 trial 的呈现与核磁共振扫描同步。

## 2.5 fMRI 数据处理及分析

实验所获取的图像数据采用加载于 MATLAB2014a 平台上的 SPM 8 软件包进行预处理及统计分析。对 19 名有效被试的 fMRI 数据分别进行时间校正、头动校正, 将校正后的图像空间标准化到标准的 MNI (Montreal Neurological Institute) 模板, 采用全宽半高值(FWHM)为 8 mm 的高斯核函数及 128 s 的高通滤波进行空间平滑。

对预处理后的数据采用一般线性模型进行参数估计, 包括个体水平分析和组分析。在个体水平分析中, 学习阶段定义了 6 个事件: (1)即将进入英

文材料学习 trial 的提示(简称英文学习提示) (每个英文 trial 包含 1 个该类项目/事件, 总项目数的理论值为 24); (2)即将进入中文材料学习单元的提示(简称中文学习提示) (每个中文 trial 包含 1 个该类项目/事件, 总项目数的理论值为 24); (3)实际学习记忆英文地名词对(简称英文学习) (每个英文 trial 包含 3 个该类项目/事件, 总项目数的理论值为 72); (4)实际学习记忆中文地名词对(简称中文学习) (每个中文 trial 包含 3 个该类项目/事件, 总项目数的理论值为 72); (5)学习英文材料之后的情绪评定(每个英文 trial 包含 1 个该类项目/事件, 总项目数的理论值为 24); (6)学习中文材料之后的情绪评定(每个中文 trial 包含 1 个该类项目/事件, 总项目数的理论值为 24)。

采用 SPM 统计软件中事件相关设计的建模方法, 将各个心理事件的起始时间定义为特定的刺激(如提示和地名词对)开始呈现的时间。其中纳入模型但未作进一步分析的事件为中/英文情绪评定及 6 个头动参数。再认阶段的各个认知信息加工事件的定义方法与学习阶段相类似, 也包括中、英文记忆测验提示各两个事件, 中、英文记忆测验各两个事件, 情绪评定等, 与学习阶段不同的是, 再认阶段还包括对于每个 trial 的记忆成绩的反馈, 包括中文正反馈、英文正反馈、中文负反馈、英文负反馈等几类。纳入模型但未作进一步分析的事件包含中/英文再认测验、中/英文情绪评定及 6 个头动数据。

在进行第二水平(second-level)的组分析时, 在个体水平分析获得的各种关键对比(如“英文学习提

示>中文学习提示”、“英文学习>中文学习”或“英文正反馈>中文正反馈”)的基础上建立随机效应模型。全脑分析的阈限为  $p < 0.005$  (uncorrected), 激活团簇体积(cluster size)大于或等于 30 个体素。此外, 使用 Rest 软件中的 AlphaSim 对结果进行了多重比较校正, 阈限设定为  $p < 0.05$  或  $p < 0.005$ 。

全脑分析结果显示: 一些与心理奖赏、情绪唤起以及心理厌恶相关的脑区如中脑及黑质(substantia nigra, SN)、杏仁核以及脑岛等在英文条件下的激活均要显著大于中文的相应条件。根据全脑分析结果, 我们选取中脑、黑质、脑岛为感兴趣区(regions of interest, ROI), 采用特定脑区(如中脑)的结构模板(WFU Pick Atlas Version 2.4)确定各个 ROI, 并利用 MarsBar 软件分别提取每一位被试的特定 ROI 在关键心理事件(如即将学习英文的提示)呈现后的 24 s 之内的时间信号变化值(每隔 2 s (即一个 TR)一个数值, 24 s 共 12 个数值), 取每位被试在特定事件(如英文学习提示)相对于其对照条件(如中文学习提示)在时间信号变化过程中的最大差值与行为反应(如记忆成绩和乐学分数)进行相关性计算。

### 3 结果

#### 3.1 行为结果

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( $M = 47.89$ ,  $SD = 7.75$ ),  $t(18) = -2.70$ ,  $p = 0.015$ 。

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。

#### 3.2 脑成像结果

##### 3.2.1 学习阶段激活脑区

学习阶段的英文线索相比于中文线索, 更多地激活了包括枕下回、枕中回、脑岛、中央前回等在内的脑区。而中文线索相比于英文线索, 更多地激活了舌回等脑区(表 1)。相比于中文线索, 学习阶段的英文线索更多地激活了双侧的前部脑岛, 激活图见图 3。

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	
<b>Insula</b>	Right	13	45	3	12	4.69	33
Precentral Gyrus	Left	44	-48	6	9	3.88	53
<b>Insula</b>	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	

注:  $p < 0.005$  未校正, 且激活团块大于 30 个体素。

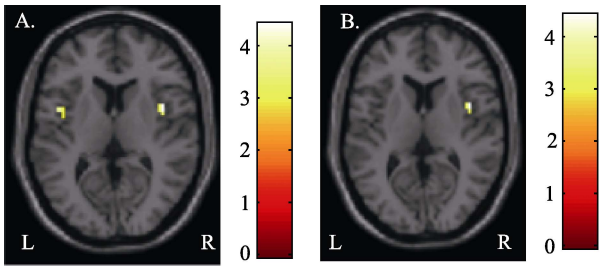


图 3 学习阶段英文线索>中文线索脑岛激活

注：图 A.  $p < 0.005$ , uncorrected; 图 B. 单体素  $p < 0.005$ , cluster size  $\geq 10$ , AlphaSim correction。彩图见电子版，下同

学习和记忆英文相比于中文，更多地激活了枕中回、顶下小叶、顶上小叶、海马、中央前回、楔前叶等脑区。而学习记忆中文比学习记忆英文更多地激活了颞中回、颞上回、舌回、梭状回、楔前叶、

扣带回、额中回等脑区(表 2)。

3.2.2 再认阶段激活脑区

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)。

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。中脑、黑质和杏仁核虽不是峰值点坐标，但在该条件下均有激活(图 5)。中文正反馈比英文正反馈激活更强

表 2 学习阶段英文记忆与中文记忆过程激活的脑区

脑区	半球	BA	MNI 坐标			t(19)	激活量
			x	y	z		
记忆英文>记忆中文							
Precentral Gyrus	Left	6	-57	3	30	6.25	115
Middle Occipital Gyrus	Left	19	-33	-84	18	6.17	239
Precuneus	Left	7	-21	-60	39	4.3	
Superior Parietal Lobule	Left	7	-24	-63	51	3.82	
Inferior Parietal Lobule	Left	40	-63	-27	36	5.4	272
Inferior Parietal Lobule	Left	40	-42	-42	45	4.4	
Inferior Parietal Lobule	Left	40	-54	-39	51	3.99	
Precentral Gyrus	Right	6	48	0	30	5.03	65
Hippocampus	Left	*	-33	-45	6	4.93	34
Superior Parietal Lobule	Right	7	27	-72	54	3.81	163
Precuneus	Right	7	30	-66	36	3.34	
Superior Parietal Lobule	Right	7	33	-57	48	3.14	
记忆中文>记忆英文							
Middle Temporal Gyrus	Left	22	-63	-42	6	8.3	1460
Superior Temporal Gyrus	Left	22	-54	6	-9	7.22	
Superior Temporal Gyrus	Left	22	-60	-3	-6	6.83	
Superior Temporal Gyrus	Right	22	54	12	-12	6.97	462
Superior Temporal Gyrus	Right	22	63	3	-9	5.69	
Superior Temporal Gyrus	Right	41	48	-36	6	4.42	
Culmen	Left	*	-42	-48	-21	6.76	201
Declive	Left	*	-21	-84	-15	6.08	1655
Lingual Gyrus	Right	17	18	-96	0	5.99	
Lingual Gyrus	Left	17	-15	-96	6	5.63	
Fusiform Gyrus	Right	20	42	-45	-21	4.91	66
Precuneus	Left	7	-6	-54	48	4.61	131
Cingulate Gyrus	Right	31	15	-39	42	3.36	
Middle Frontal Gyrus	Left	6	-39	12	54	3.94	67
Middle Frontal Gyrus	Left	6	-39	21	45	3.5	

注： $p < 0.005$  未校正，且激活团块大于 30 个体素。



表 3 再认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			<i>t</i> (19)	激活量
			x	y	z		
英文线索>中文线索							
Lingual Gyrus	Right	18	27	−75	−9	6.57	1030
Lingual Gyrus	Right	18	18	−90	−6	6.21	
Lingual Gyrus	Right	17	24	−93	6	6.16	
Precuneus	Left	19	−27	−69	36	5.71	520
Middle Occipital Gyrus	Left	19	−33	−81	18	5.66	
Lingual Gyrus	Left	17	−15	−99	0	5.41	
Precentral Gyrus	Left	6	−48	−6	39	4.05	41
Middle Occipital Gyrus	Left	37	−48	−69	−3	3.97	
Middle Temporal Gyrus	Left	37	−42	−63	0	3.65	
Inferior Temporal Gyrus	Left	20	−54	−57	−12	3.6	
中文线索>英文线索							
Lingual Gyrus	Right	*	9	−81	3	5.8	291
Cuneus	Right	17	3	−90	15	5.56	
Lingual Gyrus	Left	18	−9	−81	−3	4.19	

注： $p < 0.005$  未校正，且激活团块大于 30 个体素。

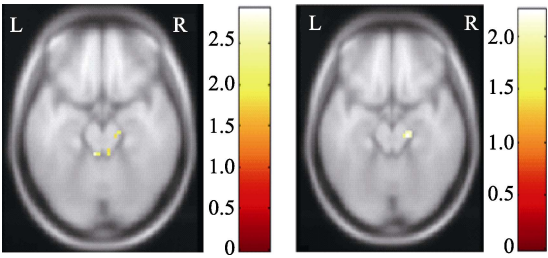


图 4 再认阶段英文线索>中文线索下中脑(左)、黑质(右)激活( $p < 0.05$ , uncorrected)

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无显著激活脑区(表 5)。

3.2.3 ROI 及相关分析结果

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-Sidak 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)。

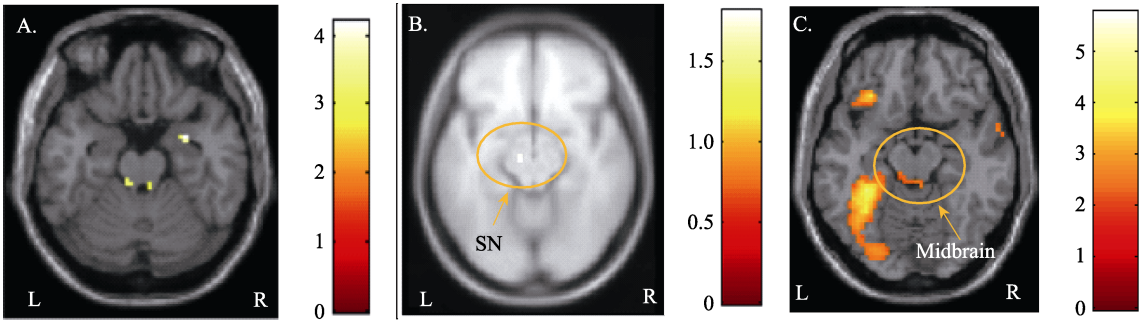


图 5 再认阶段英文正反馈>中文正反馈条件的激活图

注：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  $\geq 80$ , AlphaSim correction)

表 4 再认阶段英文正反馈与中文正反馈激活的脑区

脑区	半球	BA	MNI 坐标			<i>t</i> (19)	激活量
			x	y	z		
英文正反馈>中文正反馈							
Precuneus	Left	7	0	-51	60	5.75	137
Fusiform Gyrus	Left	37	-33	-39	-15	4.5	120
Fusiform Gyrus	Left	37	-39	-60	-12	3.67	
Superior Temporal Gyrus	Left	22	-39	-54	24	3.84	30
Middle Temporal Gyrus	Left	39	-42	-54	12	2.96	
Fusiform Gyrus	Left	19	-36	-75	-9	3.16	35
Fusiform Gyrus	Left	19	-30	-87	-9	3.16	
Inferior Occipital Gyrus	Left	19	-45	-81	-3	3.05	
中文正反馈>英文正反馈							
Middle Frontal Gyrus	Left	10	-27	63	3	3.92	41
Middle Frontal Gyrus	Left	10	-36	54	6	3.9	

注:  $p < 0.005$  未校正, 且激活团块大于或等于 30 个体素。

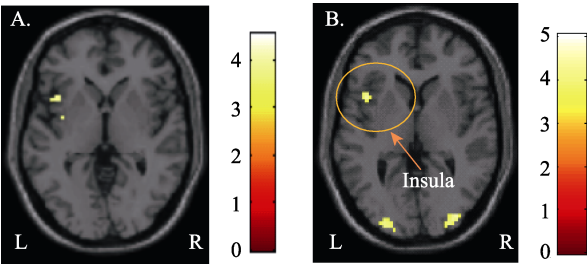


图 6 再认阶段英文负反馈>中文负反馈条件下脑岛激活  
注: 图 A.  $p < 0.001$ , uncorrected; 图 B. 单体素  $p < 0.005$ , cluster size  $\geq 14$ , AlphaSim correction

4 讨论

本实验对英语持有积极学业情绪的个体在中英文学习、测验和反馈阶段的情绪和脑活动特点进行了研究。行为结果表明, 无论是在学习还是在测

验阶段, 被试在学习英文单元后的情绪评价都低于中文, 且英文的记忆成绩也显著低于中文, 这可能与中英文材料的学习记忆难度有关, 本实验所使用的是较为陌生且语义较不丰富的地名材料, 学习和记忆英文较之中文更加困难, 而这种难度上的差别会在一定程度上影响到被试在学习中的情绪体验和实际的记忆成绩。

在学习阶段, 当遇到英文学习线索提示时被试表现出了更强烈的双侧前脑岛的激活, 这可能与他们所体验到的因面临困难的学习任务而引起的压力以及对认知努力的积极调动有关。脑岛是表征情绪体验的重要脑区, 它与边缘系统如杏仁核、内嗅皮层及颞极存在紧密连接(Fudge, Breitbart, Danish, & Pannoni, 2005; Höistad & Barbas, 2008; Mesulam

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	
Middle Occipital Gyrus	Right	18	36	-87	3	4.46	
Inferior Occipital Gyrus	Right	17	18	-96	-3	4.39	156
<b>Insula</b>	Left	13	-42	12	3	4.32	
Claustrum	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。



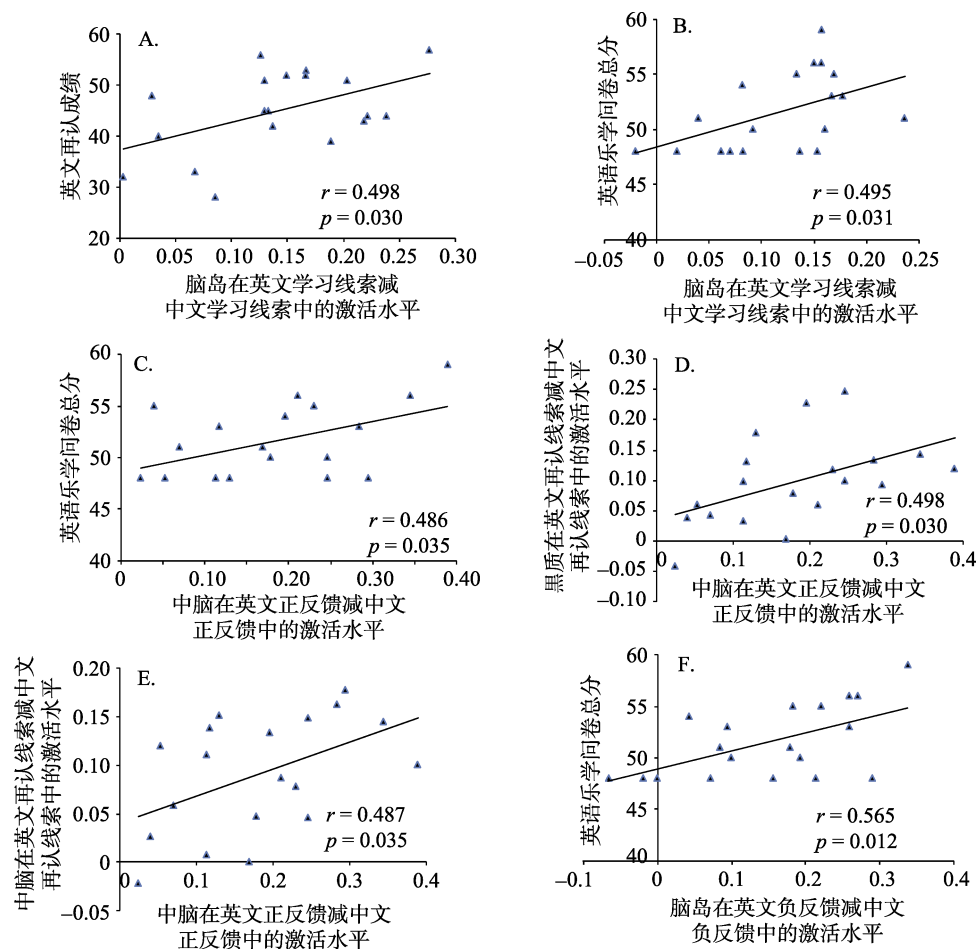


图 7 相关散点图

& Mufson, 1985; Stefanacci & Amaral, 2002), 并可在多种情绪诱发任务和线索类型下被激活(Kober et al., 2008; Singer et al., 2004; Wager & Barrett, 2004; Wicker et al., 2003)。特别地, 研究表明: 脑岛与厌恶刺激识别密切相关(Hennenlotter et al., 2004; Jabbi, Swart, & Keysers, 2007; Phillips et al., 1997), 脑岛毁伤的病人有可能失去识别厌恶刺激的能力 (Calder, Keane, Manes, Antoun, & Young, 2000), 而元分析研究也表明, 厌恶刺激一致地激活了额下回和脑岛, 因此脑岛是脑内表征厌恶情绪体验的关键脑区之一(Vytal & Hamann, 2010)。Lyons 和 Beilock (2012)研究了具有数学焦虑的人在预期将要数学任务及实际执行任务过程中的脑区激活, 结果发现, 数学任务线索的出现引起了背侧后脑岛(dorso-posterior insula)的激活, 但在实际做数学任务的过程中该区域并未激活。背侧后脑岛是反映疼痛感的重要区域(MacDonald & Leary, 2005), 在数学任务提示阶段激活了后部脑岛, 这说明数学焦虑者在期待令其感到焦虑的任务出现

时会产生心理厌恶。然而在本研究中, 我们发现即将学习英文的提示线索相对于中文激活了更多前部脑岛而非后部脑岛, 这一方面意味着由于材料的学习记忆英文材料难度较大的原因, 被试在学习的准备阶段体验到了更多的压力和负性情绪, 而另一方面也意味着被试可能正在准备和调动更多的认知资源以应付即将出现的艰苦学习。与 Lyons 和 Beilock (2012)关于数学焦虑的研究发现后部脑岛的激活不同, 我们关于乐学被试的研究发现了前部脑岛在学习准备阶段的激活。尽管脑岛是表征躯体感受和情绪体验的关键脑区, 但前部脑岛与后部脑岛也有着功能上的区分。一般认为, 后部岛表征那些更加基本、更加初级的情绪体验, 而前部脑岛则表征经过认知调制之后的次级的情绪体验(Craig, 2009), 它也参与对由环境刺激或心境诱发的情绪状态的调节(Dolan & Holbrook, 2001; Phillips, Drevets, Rauch, & Lane, 2003)。例如, 后部脑岛被动地表征痛苦情绪, 前部脑岛的激活则在一定程度上反映对痛苦情绪的控制和调节(Decety, 2011)。据

此可以推测, Lyons 和 Beilock (2012)所研究的数学焦虑被试在面临数学任务时所体验到的纯粹被动的痛苦,因而这种体验主要通过后部脑岛来表征,而本实验研究的是乐学被试,尽管他们也在面对枯燥而艰难的学习任务时体验到了压力和负面情绪,但这也同时转化成为了调节动力和其后的学习努力,这就导致了前部脑岛在学习记忆准备阶段的激活。与上述假设相一致,我们的研究结果表明对于英语乐学被试而言,英文线索(相对于中文线索)所引发的左侧前部脑岛的激活不但与乐学问卷的总分呈正相关,而且也与其后的记忆成绩呈正相关,这说明如果一个人的英语乐学倾向越强,则其在英语学习的准备阶段所体验到的学习压力就会越大,其调动的认知努力就会越多,而其后的学习记忆成绩也会越好。

与学习和记忆阶段不同,在再认阶段,当被试得到关于英文记忆成绩的正反馈时相比于得到中文正反馈更多地激活了中脑区域和杏仁核。前人研究表明:中脑的激活与期待令人愉悦的味道(D'Ardenne, McClure, Nystrom, & Cohen, 2008; O'Doherty, Deichmann, Critchley, & Dolan, 2002),获得金钱(Knutson, Taylor, Kaufman, Peterson, & Glover, 2005)及引发浪漫爱情的视觉刺激(Fisher, Aron, & Brown, 2005)有关;而杏仁核在奖赏加工中所发挥作用也被许多研究所证实(Baxter & Murray, 2002; Cador, Robbins, & Everitt, 1989; Everitt, Cador, & Robbins, 1989; Everitt et al., 1999; Murray, 2007; Ramirez & Savage, 2007),例如,实验发现潜在奖赏(McClure, Laibson, Loewenstein, & Cohen, 2004)甚至是潜在的毒品奖励(Zald, 2003)都有可能激活杏仁核。因此,可以认为被试在获得英文记忆成绩正反馈时中脑和杏仁核的激活反应了一种心理奖赏及相关情绪的产生和唤起。值得强调的一点是,上述中脑和杏仁核的激活是在严格控制了对照条件的情况下获得的,亦即:无论是英文条件还是中文条件,被试都获得了正反馈而且按照实验约定他们都将获得额外的被试费作为奖励,但当被试得知自己在英文记忆上获得好成绩时产生的奖赏感及相关的情绪唤起仍然更加强烈,这说明英语乐学被试对英语学习的成功更加看重。为了检验这种奖赏感究竟是否反应了乐学特质,我们进一步计算了上述中脑激活在激活程度上与乐学分数之间的相关性,发现二者之间存在显著的正相关,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,甚至在当被试看到即将进行英文测验的提示时,相对于看到中文提示,中脑黑质就会表现出更多的激活。前人研究发现,中脑多巴胺神经元的活动不但与奖赏获得有关,而且负责编码对奖赏的预期(Mirenowicz & Schultz, 1996; Montague, Dayan, & Sejnowski, 1996; Schultz, Dayan, & Montague, 1997; Schultz, 2002),因此,在被试看到即将进行英文测验的提示时就有包括黑质在内的中脑激活这一事实提示乐学被试甚至在实际得到有关英文学习的正反馈之前就产生了对于奖赏的预期,这从某种意义上反映了乐学被试不但具有“乐学”的特点,而且具有“乐考”的特点,即他们乐于考试并期待着好成绩。相关分析发现,被试在记忆测验提示阶段英文相对于中文条件的中脑及黑质的激活水平与其在获得正反馈时英文相对于中文条件的中脑激活呈正相关,这从一定意义上说明了对奖赏预期的脑活动与实际获得奖赏的脑活动之间存在关联,但我们没有在记忆测验提示阶段英文相对于中文条件的中脑及黑质的激活水平与被试的乐学分数之间发现明显的相关,这意味着这种对奖赏的预期与乐学特质之间的关联不如实际获得奖赏与乐学特质之间的关联那么密切。

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。

作为一项在严格控制的实验室条件下获得的认知神经科学发现,本实验对于教育实践也有一定的启示意义,它提示了积极学业情绪可能与人们的态度和价值观念有关,对于英语的喜爱和重视可以使同样的正反馈产生更大的心理奖赏效应,这说明了正或负反馈并不仅仅是一种客观事实,它也同时受到主观态度和价值取向的调节,乃是这种客观成绩与主观价值倾向之间的交互作用形成了在乐学被试特定学习环境下的心理强化体系。而从英语乐学被试在英文记忆测验提示阶段就表现出中脑奖赏区的激活这一事实来看,我们推测积极学业情绪可能与以往的成功经验有关,如果没有以往大量的成功学习经验,乐学被试不可能在英语记忆测验尚未实际实施之前就表现出对于奖赏的期待。但是,仅就本实验而言,我们也发现了一些令人感到隐忧的信息,即乐学被试并未在实际的英语学习过程中产生更加积极的情绪体验,他们的乐学特点似乎只表现在更能对好成绩产生积极的心理响应上,这种重视学习结果而非享受学习过程的心理与脑认知特点可能在一定程度上反映了我国目前应试教育模式下“好学生”的学习动机特点,但在得出这样的结论之时,我们也同样需要考虑到以下这个事实,即: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检测到,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。此外,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。

## 5 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:在学习的准备阶段,相对于中文而言,英文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准备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。

## 参 考 文 献

- Baxter, M. G., & Murray, E. A. (2002). The amygdala and reward. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 563–573.
- Cador, M., Robbins, T. W., & Everitt, B. J. (1989). Involvement of the amygdala in stimulus-reward associations: Interaction with the ventral striatum. *Neuroscience*, 30, 77–86.
- Calder, A. J., Keane, J., Manes, F., Antoun, N., & Young, A. W. (2000). Impaired recognition and experience of disgust following brain injury. *Nature Neuroscience*, 3, 1077–1078.
- Craig, A. D. (2009). How do you feel-now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 59–70.
- D'Ardenne, K., McClure, S. M., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2008). BOLD responses reflecting dopaminergic signals in the human ventral tegmental area. *Science*, 319, 1264–1267.
- Decety, J. (2011). Dissecting the neural mechanisms mediating empathy. *Emotion Review*, 3, 92–108.
- Dolan, K. A., & Holbrook, T. M. (2001). Knowing versus caring: The role of affect and cognition in political perceptions. *Political Psychology*, 22, 27–44.
- Dong, Y., & Yu, G. L. (2007). The development and application of an academic emotions questionnaire. *Acta Psychologica Sinica*, 39, 852–860.
- [董妍, 俞国良. (2007). 青少年学业情绪问卷的编制及应用. *心理学报*, 39, 852–860.]
- Everitt, B. J., Cador, M., & Robbins, T. W. (1989). Interactions between the amygdala and ventral striatum in stimulus-reward associations: Studies using a second-order schedule of sexual reinforcement. *Neuroscience*, 30, 63–75.
- Everitt, B. J., Parkinson, J. A., Olmstead, M. C., Arroyo, M., Robledo, P., & Robbins, T. W. (1999). Associative

- processes in addiction and reward the role of amygdala-ventral striatal subsystems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 877, 412–438.
- Fisher, H., Aron, A., & Brown, L. L. (2005). Romantic love: An fMRI study of a neural mechanism for mate choice. *The Journal of Comparative Neurology*, 493, 58–62.
- Fredrickson, B. L. (2001). The role of positive emotions in positive psychology: The broaden-and-build theory of positive emotions. *American Psychologist*, 56, 218–226.
- Fredrickson, B. L., & Branigan, C. (2001). Positive emotions. In T. J. Mayne & G. A. Bonanno (Eds.), *Emotions: Current issues and future directions* (pp. 123–151). New York: Guilford.
- Fredrickson, B. L., & Branigan, C. (2005). Positive emotions broaden the scope of attention and thought-action repertoires. *Cognition and Emotion*, 19, 313–332.
- Frenzel, A. C., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Girls and mathematics-A “hopeless” issue? A control-value approach to gender differences in emotions towards mathematics. *European Journal of Psychology of Education*, 22, 497–514.
- Fudge, J. L., Breitbart, M. A., Danish, M., & Pannoni, V. (2005). Insular and gustatory inputs to the caudal ventral striatum in primates. *The Journal of Comparative Neurology*, 490, 101–118.
- Goetz, T., Pekrun, R., Hall, N., & Haag, L. (2006). Academic emotions from a social-cognitive perspective: Antecedents and domain specificity of students' affect in the context of Latin instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 76, 289–308.
- Goetz, T., Frenzel, A. C., Hall, N. C., & Pekrun, R. (2008). Antecedents of academic emotions: Testing the internal/external frame of reference model for academic enjoyment. *Contemporary Educational Psychology*, 33, 9–33.
- Goetz, T., Frenzel, A. C., Pekrun, R., & Hall, N. C. (2006). The domain specificity of academic emotional experiences. *The Journal of Experimental Education*, 75, 5–29.
- Goetz, T., Frenzel, A. C., Pekrun, R., Hall, N. C., & Lüdtke, O. (2007). Between- and within-domain relations of students' academic emotions. *Journal of Educational Psychology*, 99, 715–733.
- Goetz, T., Preckel, F., Pekrun, R., & Hall, N. C. (2007). Emotional experiences during test taking: Does cognitive ability make a difference? *Learning and Individual Differences*, 17, 3–16.
- Hennenlotter, A., Schroeder, U., Erhard, P., Haslinger, B., Stahl, R., Weindl, A., ... Ceballos-Baumann, A. O. (2004). Neural correlates associated with impaired disgust processing in pre-symptomatic huntington's disease. *Brain*, 127, 1446–1453.
- Höstad, M., & Barbas, H. (2008). Sequence of information processing for emotions through pathways linking temporal and insular cortices with the amygdala. *NeuroImage*, 40, 1016–1033.
- Jabbi, M., Swart, M., & Keysers, C. (2007). Empathy for positive and negative emotions in the gustatory cortex. *NeuroImage*, 34, 1744–1753.
- Knutson, B., Taylor, J., Kaufman, M., Peterson, R., & Glover, G. (2005). Distributed neural representation of expected value. *The Journal of Neuroscience*, 25, 4806–4812.
- Kober, H., Barrett, L. F., Joseph, J., Bliss-Moreau, E., Lindquist, K., & Wager, T. D. (2008). Functional grouping and cortical-subcortical interactions in emotion: A meta-analysis of neuroimaging studies. *NeuroImage*, 42, 998–1031.
- Lu, J. M. (2009). On adolescent affective quality. *Educational Research*, (10), 30–36.
- [卢家楣. (2009). 论青少年情感素质. *教育研究*, (10), 30–36.]
- Lu, J. M., Liu, W., He, W., Wang, J. S., Chen, N. Q., & Xie, D. F. (2017). The status quo of China's contemporary college students' affective diathesis and its influencing factors. *Acta Psychologica Sinica*, 49, 1–16.
- [卢家楣, 刘伟, 贺雯, 王俊山, 陈念劬, 解登峰. (2017). 中国当代大学生情感素质的现状及其影响因素. *心理学报*, 49, 1–16.]
- [卢家楣. (1986). 对情感的分类体系的探讨. *心理科学通讯*, 9(4), 60–64, 59.]
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2012). When math hurts: Math anxiety predicts pain network activation in anticipation of doing math. *PLoS One*, 7, e48076.
- Ma, H. X., Nie, S. Y., & Su, S. J. (2010). College students' academic emotions in examination situation. *Studies of Psychology and Behavior*, 8, 201–207, 222.
- [马惠霞, 聂胜昀, 苏世将. (2010). 大学生考试情境下的学业情绪. *心理与行为研究*, 8, 201–207, 222.]
- MacDonald, G., & Leary, M. R. (2005). Why does social exclusion hurt? The relationship between social and physical pain. *Psychological Bulletin*, 131, 202–223.
- McClure, S. M., Laibson, D. I., Loewenstein, G., & Cohen, J. D. (2004). Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science*, 306, 503–507.
- Mesulam, M. M., & Mufson, E. J. (1985). The insula of Reil in man and monkey. In A. Peters & E. G. Jones (Eds.), *Association and auditory cortices* (pp. 179–226). New York, USA: Springer.
- Mirenowicz, J., & Schultz, W. (1996). Preferential activation of midbrain dopamine neurons by appetitive rather than aversive stimuli. *Nature*, 379, 449–451.
- Montague, P. R., Dayan, P., & Sejnowski, T. J. (1996). A framework for mesencephalic dopamine systems based on predictive Hebbian learning. *The Journal of Neuroscience*, 16, 1936–1947.
- Murray, E. A. (2007). The amygdala, reward and emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 489–497.
- Ni, S.G., Wu, X.C., Zhang, B.X. (2009). Reliability and validity of undergraduates academic burnout scale and its structure. *China Journal of Health Psychology*, 17(7), 827–830.
- [倪士光, 伍新春, 张步先. (2009). 大学生学业倦怠问卷的信效度验证及其结构. *中国健康心理学杂志*, 17(7), 827–830.]
- O'Doherty, J. P., Deichmann, R., Critchley, H. D., & Dolan, R. J. (2002). Neural responses during anticipation of a primary taste reward. *Neuron*, 33, 815–826.
- Pekrun, R., Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2006). Achievement goals and discrete achievement emotions: A theoretical model and prospective test. *Journal of Educational Psychology*, 98, 583–597.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002a).

- Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational Psychologist*, 37, 91–105.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002b). Positive emotions in education. In E. Frydenberg (Ed.), *Beyond coping: Meeting goals, visions, and Challenges* (pp. 149–174). Oxford, UK: Elsevier.
- Perry, R. P., Hladkyj, S., Pekrun, R. H., & Pelletier, S. T. (2001). Academic control and action control in the achievement of college students: A longitudinal field study. *Journal of Educational Psychology*, 93, 776–789.
- Phillips, M. L., Drevets, W. C., Rauch, S. L., & Lane, R. (2003). Neurobiology of emotion perception II: Implications for major psychiatric disorders. *Biological Psychiatry*, 54, 515–528.
- Phillips, M. L., Young, A. W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, A. J., ... David, A. S. (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, 389, 495–498.
- Ramirez, D. R., & Savage, L. M. (2007). Differential involvement of the basolateral amygdala, orbitofrontal cortex, and nucleus accumbens core in the acquisition and use of reward expectancies. *Behavioral Neuroscience*, 121, 896–906.
- Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science*, 275, 1593–1599.
- Schultz, W. (2002). Getting formal with dopamine and reward. *Neuron*, 36, 241–263.
- Singer, T., Seymour, B., O'doherty, J., Kaube, H., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science*, 303, 1157–1162.
- Stefanacci, L., & Amaral, D. G. (2002). Some observations on cortical inputs to the macaque monkey amygdala: An anterograde tracing study. *The Journal of Comparative Neurology*, 451, 301–323.
- Villavicencio, F. T., & Bernardo, A. B. I. (2013). Positive academic emotions moderate the relationship between self-regulation and academic achievement. *British Journal of Educational Psychology*, 83, 329–340.
- Vytal, K., & Hamann, S. (2010). Neuroimaging support for discrete neural correlates of basic emotions: A voxel-based meta-analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 2864–2885.
- Wager, T. D., & Barrett, L. F. (2004). From affect to control: Functional specialization of the insula in motivation and regulation. Published online at PsycExtra (<http://www.apa.org/pubs/databases/psycextra>)
- Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J. P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in my insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40, 655–664.
- Yang, X. H., & Xu, S. Y. (2014). A longitudinal study on poor students' academic emotions in English learning. *China Journal of Health Psychology*, 22, 764–766.
- [杨宪华, 徐淑燕. (2014). 英语学差生学业情绪变化发展的追踪. *中国健康心理学杂志*, 22, 764–766.]
- Yu, G. L., & Dong, Y. (2006). A research of academic emotions among adolescents with and without learning disabilities. *Psychological Science*, 29, 811–814.
- [俞国良, 董妍. (2006). 学习不良青少年与一般青少年学业情绪特点的比较研究. *心理科学*, 29, 811–814.]
- Yu, G. L., & Dong, Y. (2007). The effect of emotions on selective and sustained attention in adolescents with learning disabilities. *Acta Psychologica Sinica*, 39, 679–687.
- [俞国良, 董妍. (2007). 情绪对学习不良青少年选择性注意和持续性注意的影响. *心理学报*, 39, 679–687.]
- Zald, D. H. (2003). The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli. *Brain Research Reviews*, 41, 88–123.
- Zhao, S. Y., Cai, T. S., & Chen, Z. J. (2012). A research on achievement emotions of college students and its relationship to school-work achievement. *Chinese Journal of Clinical Psychology*, 20, 398–400.
- [赵淑媛, 蔡太生, 陈志坚. (2012). 大学生学业情绪及与学业成绩的关系. *中国临床心理学杂志*, 20, 398–400.]

## Bitterness followed by happiness: A fMRI study on English lovers

LIU Lulu<sup>1</sup>; LU Jiamei<sup>2</sup>; HE Mei<sup>3</sup>; ZHOU Jianshe<sup>4</sup>; XIAO Jing<sup>1</sup>; LUO Jing<sup>1,4</sup>

(<sup>1</sup> Beijing Key Laboratory of "Learning & Cognition"; College of Psychology, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

(<sup>2</sup> Education College, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

(<sup>3</sup> School of Labor and Human Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

(<sup>4</sup> Beijing Advanced Innovation Center for Imaging Technology, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

### Abstract

Academic emotions play important roles in academic motivation and achievement. However, most of the studies on academic emotions focused on negative ones such as test anxiety, the positive academic emotions such as pride, enjoyment, and hope are far less investigated, let alone the brain basis underlying them. In this study, we explored the neural correlates of positive academic emotions by functional magnetic resonance imaging (fMRI). College students who have high positive academic emotions for learning English (English

lovers) were selected as participants. They were required to remember and recognize English or Chinese materials while their brain activation were recorded. Through comparing the neural correlates involved in processing the Chinese and English materials in different stages, which critically included the learning and testing stages, the mental preparation stage before learning and testing, and the feedback of memory performance stage, we can identify the cognitive brain processes, especially the emotional and motivational ones, characterized English lovers.

English lovers were selected by English Happy-Learning Questionnaire (EHQ), together with Maslach Burnout Inventory-General Survey (MBI-GS), Self-Rating Anxiety Scale (SAS), and Self-Rating Depression Scale (SDS) to eliminate possible confounders. Nineteen college students (nine males and ten females) who meet the criterion of the study participated in this experiment. Unfamiliar city-state name pairs, which could be presented in English (e.g., Conakry-Guinea) or in Chinese (e.g., 阿塔富-托克劳), were used as materials. Participants were instructed to remember 144 city-state name pairs (72 for each language), and then they were given the memory (recognition) test. We focused not only on the brain activation involved in memorizing and recognizing English/Chinese materials, but also on those involved in the mental preparation for learning and testing, and that in getting positive or negative feedbacks in memory performance.

Our results revealed two major points:

(1) In the learning stage, more anterior insula activation were found when the “English lovers” were making mental preparation for learning English relative to Chinese, and this difference in insular activation were found to be positively correlated with the scores of EHQ and that of performance in memory test, implying “English lovers” took more pain and mobilized more cognitive effort in making preparation for learning English.

(2) In the retrieval and feedback stage, more activation in the regions for mental reward (midbrain and substantia nigra) and emotional arousal (amygdala) were found to be associated with the receiving of positive feedback for English than for Chinese, whereas more activation in the pain and disgust region (insula) were associated with the receiving of negative feedback for English than for Chinese, both kinds of brain activation differences were positively correlated with the scores of EHQ, implying the success or failure in learning English can have more emotional and motivational implications than its experimental equivalents in Chinese.

Taken together, the present study indicated that the emotional, motivational, and cognitive brain processes of the positive academic emotions for learning English mainly embodied in the stages for making mental preparation for learning or testing and for processing feedback on memory performance, but not in the actual learning and testing processes. To be fond of learning may not mean a kind of pure enjoyment, rather it is something that started with bitterness and ended with sweetness.

**Key words** academic feeling; positive academic emotions; English; fMRI; insula; midbrain