

非人灵长类的抑制控制能力*

张 真 苏彦捷

(北京大学心理学系, 北京 100871)

摘 要 抑制控制能力是指个体为实现特定目标对干扰性优势反应进行抑制的能力,是一种高级认知能力。该文综述了对非人灵长类抑制控制能力的研究,从抑制控制能力的行为表现,生理机制及其发生、发展几个方面进行了阐述,提供了一个从演化的角度理解人类的抑制控制能力的视角。

关键词 抑制控制,非人灵长类,持续性错误,前额皮层。

分类号 B843

1 前言

自然界中,非人灵长类动物为了更好地适应生存,表现出对一定反应抑制的能力。比如说,当天敌出现时,雌性绿脸长尾猴在非亲属出现的情境下会抑制警报叫声,而亲属出现时,则会发出这种叫声^[1]。恒河猴在交配竞争激烈的情况下,会抑制交配叫声^[2]。Wrangham^[3]观察到黑猩猩在日常取食过程中,会检查果实的成熟度和丰富度,但并不一定马上摘取,只是在一段时间后,当果实更加丰富和成熟时才返回采食。这些观察表明,某些非人灵长类物种可以在一定的情境下抑制特定的行为反应^[3]。这说明和人类相似,非人灵长类中也存在抑制控制能力,即个体为实现特定目标对干扰性优势反应进行抑制的能力。这是一种高级认知能力,抑制干扰性优势反应,压抑冲动行为,可以使个体获得更大的收益。

由于非人灵长类和人类在遗传基因上的类似,它们表现出的这种抑制控制能力引起了研究者的兴趣。那么,在实验室研究中,这种抑制控制能力的体现如何,对应什么样的生理基础?和人类有何异同?其中又揭示了怎样的个体发展,种系发生特点?对这些问题,本文综述如下。

2 非人灵长类抑制控制能力的行为表现

在实验室研究中,非人灵长类表现出一定的自我控制(self-control)能力,延迟满足是明显的例证。Tobin等人^[4]的研究中,食蟹猴(*Macaca fascicularis*)会选择需要等待的,多的食物,而不是可以立即获得的,少的食物。这和人类成人在自我控制实验中的行为选择类似^[5]。Beran等人^[6]采用类似Mischei(1974)的范式对3只黑猩猩进行了延迟满足的实验,结

收稿日期:2004-08-30

* 国家自然科学基金资助项目(30170131, 30370201)

通讯作者:苏彦捷, E-mail: yjsu@sunrise.pku.edu.cn

果表明 3 只被试能延迟等待 180s 以得到偏爱的食物。在以累积呈现强化物的方式考察 4 只黑猩猩和 1 只黄猩猩延迟满足的研究中, Beran^[7]发现 5 只大猿在大多数试次中, 都能等待 20 块巧克力放完之后再取食。

此外, 非人灵长类个体在一些认知实验中也表现出抑制控制能力。黄猩猩 (*Pongo pygmaeus*) 在反转强化联结任务 (reverse-reward contingency task) 的标准范式中 (即选择两份食物中少的一份, 可以得到多的那份, 反之亦然), 可以自发的提取反应规则, 在 80% 的试次中做出最优反应, 选择少的葡萄以得到多的葡萄^[8]。Silberberg 和 Fujita^[9], Anderson 等人^[10,11], 分别研究了日本猕猴 (Japanese monkey) 和松鼠猴 (Squirrel monkey) 在反转强化实验中表现出的自我控制能力。虽然在标准反转强化条件下, 所有被试都不能抑制选择较多食物的冲动, 但是在多或无强化联结 (large-or-none reward contingency) 条件下 (即如果选择数量多的食物, 将什么都得不到; 只有选择数量少的食物, 才会得到较多的食物), 日本猕猴 (Japanese monkey) 和松鼠猴 (Squirrel monkey) 都能学会选择少的食物以得到另一份多的食物, 表现出一定的抑制控制能力。Boysen 等^[12, 13]的反转强化实验中, 虽然当两边直接呈现数量不等的糖果时, 黑猩猩不能学会选择少的糖果以获得多的糖果, 而一旦改成一边呈现糖果, 一边呈现代表糖果数量的数字卡片时, 黑猩猩能够选择少的数量 (或相应的数字卡片) 以获得另一份多的强化。

从这些研究中, 可以清楚地看出, 非人灵长类个体在一些实验情境中, 可以抑制食物引起的诱因冲动, 使用正确的规则, 以获得更多的食物强化。

不过, 正如我们所看到的, 在上述的一些任务操作中, 某些非人灵长类物种 (个体) 会表现出抑制功能障碍, 不能抑制优势反应, 而重复去做不符合当前规则的行为, 比如说在反转强化实验中, 总是选择多的食物。我们称这种错误反应为持续性错误 (perseverative errors)。这种持续性错误和人类执行功能障碍时表现出的持续性错误相似, 会影响到个体的认知操作, 通过对非人灵长类持续性错误的分析, 可以加深我们对其抑制控制能力的理解。

Hauser^[14]把持续性错误分为两种类型, 一种是情感性持续 (affective perseveration)。另一种是范式性持续 (paradigmatic perseveration)。

所谓情感性持续, 是指由于不能抑制占据优势的情绪 (emotions) 或者动机驱动 (motivational drives) 而反复做出的不符合当前规则的行为^[14]。在延迟满足的研究中, 个体如果选择当下获得食物, 或是中断延迟等待过程, 就是因为不能抑制马上得到食物的冲动。

Hauser 等^[15]的研究中, 棉头狨猴 (cotton-top tamarin) 在方法-结果 (means-end) 问题解决任务中就表现出了情感性持续问题。任务中, 呈现给被试两绉布条, 被试可以通过拖拽布条 (means) 获得其上远端的食物块 (end)。(如图 1) 在 'On' 的条件下, 食物或者在整块的布条上, 或者在布条之外; 另一种 'Connected' 条件下, 2、3 块布条之间或者相连或者隔断。两种条件下, 被试的反应均好于机遇水平, 表明它们理解了方法 - 结果任务。而当研究者增大其中的一块食物以改变其诱因强度时, 棉头狨猴的操作降到机遇水平之下。也就是说即使是在 'off' 和 'disconnected' 的条件下, 被试也总是拖拽和大的食物块相联系的布条。在这

里，棉头狨猴表现出的这种持续性错误说明它们难以抑制得到更大食物的冲动，这种诱因动机因素直接影响到任务操作，妨碍它们对已经习得的规则的使用。类似地，Boysen 等^[12, 16]的研究中，当糖果直接呈现时，两只黑猩猩都没有习得“选择你不想要的食物量”的规则，而当用数字卡片代替食物时，符号表征克服了多的糖果的“内在动机特性”(intrinsic incentive properties)，因此被试学会做出最优反应。

可见，情感性持续会影响非人灵长类的认知操作，它或者使个体已经习得的规则不能得以表现，或是妨碍个体对规则的掌握。

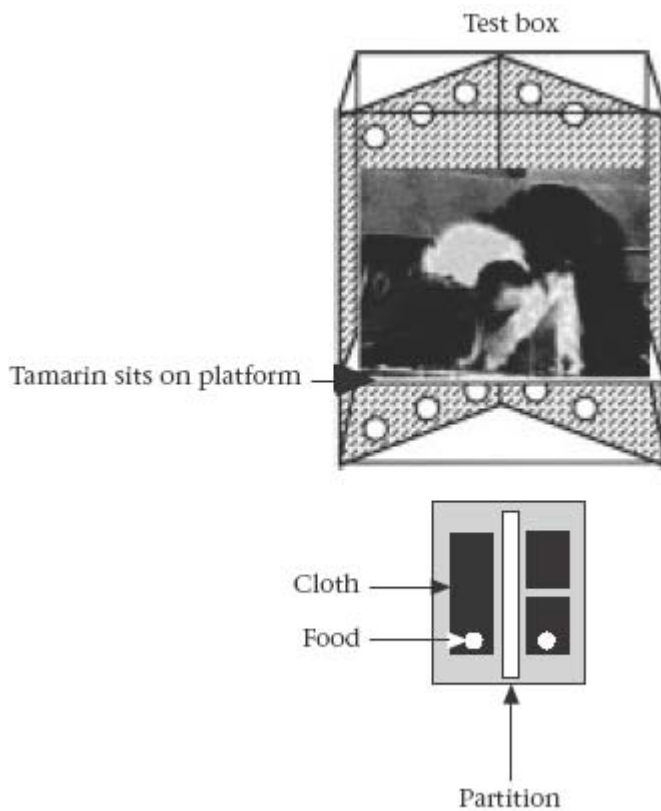


图 1 棉头狨猴的方法-结果问题解决任务 (引自 Hauser 等^[15])

范式性持续指个体如果不能抑制已有的特定概念或理论观点，就会在某一问题上反复做出错误行为。这种错误源于不完善的概念系统，在新的情境中，儿童和成人需要对知识进行重构，改变他们思考世界的方法和组织可用信息的方式，才能做出符合规则的行为。4岁以下的儿童不能通过心理理论任务，一种可能的解释就是由于执行系统障碍而产生的持续性错误。正如 Kuhn (1970) 指出的，范式的变化是缓慢的，代表着概念的革新。原有范式中的概念、观点往往不易改变，因此，当固着于老的，不合当前规则的理论时就会重复出错。像人类一样，非人灵长类也表现出范式性持续错误^[14]。

Hood^[17]设计实验考察人类儿童对客体在竖直管道中下落后位置的理解，客体在整个下落过程中是不可见的(如图 2)。结果表明，3岁以下的儿童总是在客体落点下方的盒子里找

寻物体。Hood 认为，儿童是以一种先天的关于重力的理论来解决这个问题，他们预期下落的物体应该落在释放点之下，正是这种理论导致了范式性持续。

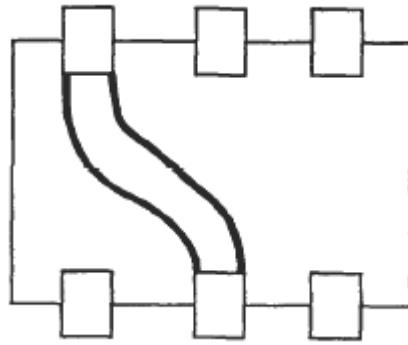


图 2 Hood 的实验示意图 (引自 Hood^[17])

Hood 等人^[18]用棉头绢猴重复了上面的实验，结果表明大多数被试都会在重力错误盒子中寻找客体。为了考察棉头绢猴的持续性错误是否由重力规则偏差造成，研究者使用原来的仪器进行了控制实验，把仪器从垂直位置改为平放 (如图 3)。这时，重力规则不起作用。结果，棉头绢猴很少出错，并且通过了泛化测验。这说明棉头绢猴所表现出的持续性错误就是由于不能抑制已有的范式化重力规则，是一种范式性持续错误。

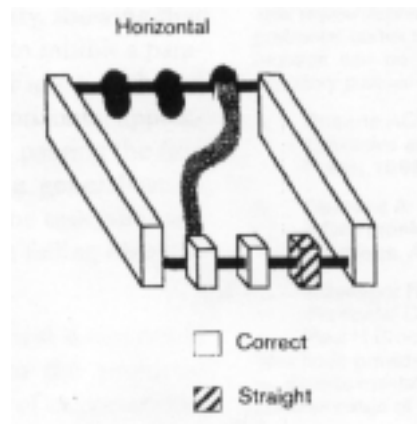


图 3 Hood 的实验示意图 (引自 Hood 等人^[18])

可见，范式性持续作为非人灵长类抑制功能障碍的另一种表现，同样影响到个体的认知操作。

在有些情况下，情感性持续和范式性持续并不是截然区分的。

Santos 等人^[19]用成年棉头绢猴做被试，采用 Diamond 的取物任务 (object retrieval task)，尝试说明两种持续性错误间的关系。在实验中，研究者在一边开口的有机玻璃盒子中放置食物，不同试次中，开口相对于被试的位置不同 (开口可以在被试的前/后/左/右)。(如图 4)

结果在 5 轮实验之后，被试的反应仍然处于机遇水平，难以抑制从正面直接取食的冲动。这可以看成是一种典型的情感性持续，但这也可能是源于概念性的因素，可能是一种范式性持续，即原有的径直取食规则妨碍了它们的操作，毕竟，有机玻璃并不存在于非人灵长类的生活中。当研究者将有机玻璃盒子换成不透明盒子时，被试的表现就好于机遇水平。这里，被试成绩的提高可能就是由于它们在不透明盒子的情况下，得以用另一种方式去思考、解决问题。随后，当又换成透明盒子，并放入更大的食物块时，并没有影响被试的操作。这说明被试此时理解了取物任务。那么，直接接受透明有机玻璃条件的被试，之所以表现出持续性错误，可能不仅仅是因为食物引起了冲动行为，当棉头绢猴有机会以另一种方式去认识取物问题（比如使用不透明的盒子）时，它们能够通过概念的改变而解决问题。

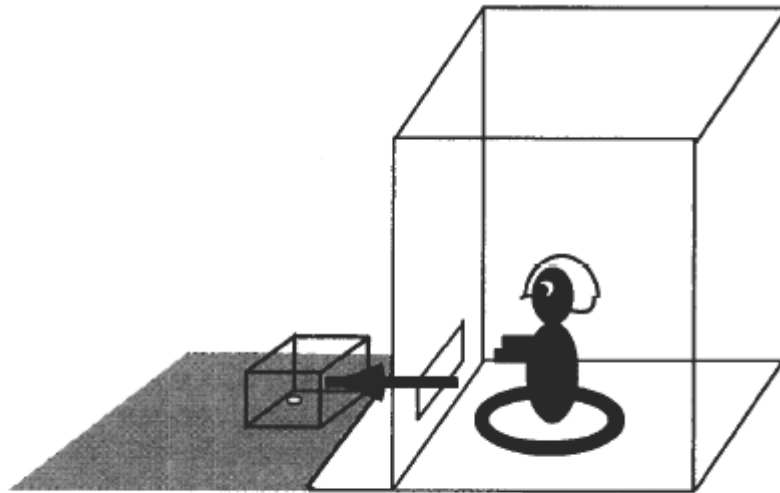


Figure 1. Diagram of the testing setup. Subjects sat inside the vortex box on a platform. Subjects could reach through slit in the center of the front panel.

图 4：引自 Santos 等人^[19]

通过对两种持续性错误的分析，可以看出，在某些情境下，非人灵长类之所以表现出抑制功能障碍，或者是由于不能控制优势性的情感、动机状态，或者是由于不能更新已有的知识状态，或者是两者的共存。这种抑制功能障碍直接影响到个体（物种）在任务操作中的表现。抑制控制能力强的个体（物种），更容易习得和执行当前适宜的行为规则，在任务操作中的成绩就越好，这可以看成是体现了一种一般的认知能力。那么，是什么样的生理机制决定了个体（物种）的抑制控制能力，以至于影响到一般的认知能力呢？

3 非人灵长类抑制控制能力的生理基础

对人类的研究表明，行为抑制的原初位置与额叶皮层或前额叶皮层有关^[20]。Bechara 等人的研究表明^[21]，双侧前额叶损伤的病人非常容易在卡片游戏（card game）中犯持续性错误。对于非人灵长类来说，前额叶对它们的抑制功能也起着核心作用^[14, 22]。Diamond（1990）

的研究表明,恒河猴幼猴和背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal)损伤的恒河猴成年个体都不能通过取物任务(object retrieval task),它们会径直去取放在有机玻璃盒子中的食物,即使这时盒子的正面没有开口^[14]。对老年恒河猴来说,它们在空间反转辨别任务和客体反转辨别任务中的表现和背外侧前额叶损伤的恒河猴、眶额皮层(orbital frontal)损伤的恒河猴的行为表现类似^[23]。老年恒河猴在CSST(Conceptual Set Shifting Task,类似于人类的WCST)任务中的表现和前额皮层(prefrontal cortex)损伤的个体类似^[24]。并且,老年恒河猴个体前额皮层白质的结构和面积发生了显著变化^[23, 24]。可见前额皮层在非人灵长类个体的抑制控制能力中起着核心作用。

进一步的研究揭示前额皮层的不同部位负责不同认知加工过程中的抑制控制。外侧前额叶(lateral prefrontal cortex)和高一级(higher-order)心理加工过程中的反应抑制有关。这种高级的心理过程涉及注意转换和决策的使用,比如说在WCST中,从注意刺激的一个纬度转换到注意刺激的另外一个纬度。外侧前额叶损伤的狨(marmoset monkeys)在类似WCST的任务中表现出困难,而眶额皮层(orbitofrontal cortex)损伤的狨则没有表现出这种困难。眶额皮层、内侧前额叶(medial prefrontal cortex)和低一级(lower-order)心理加工过程中的反应抑制有关。在低一级的心理加工过程中涉及到的是建立特定刺激(反应)和强化之间的联结,比如说客体辨别反转任务(即在已经习得对两个客体中的一个做出反应之后,要求抑制对该客体的反应,而转为对另一个客体反应以获得强化)。眶额皮层和内侧前额叶损伤的狨对先前受到强化的刺激持续做出反应^[22, 25]。可见,前额皮层的不同部位对应于不同类型的抑制控制能力。

因此,对人类和非人灵长类来说,前额皮层的结构和功能直接影响到个体(物种)的抑制控制能力,并进一步体现为个体(物种)的一般认知能力。

4 非人灵长类抑制控制能力的个体发展

和人类相似,非人灵长类的抑制控制能力也是一个发展的过程,经历了从逐渐成熟再到衰退。

在取物任务中,恒河猴成年个体能学会确定开口,取出食物,而2~4个月的婴猴则不能学会。它们的反应模式和人类婴儿的表现很类似,7~9个月的人类婴儿在该任务中表现出持续性错误,而稍大一些的婴儿则可以正确的取出食物^[14]。

在空间和客体辨别反转学习中,恒河猴老年个体(20~28 years of age)和成年个体(6~11 years of age)在最初的学习中,表现没有差异,而在空间反转测验阶段,恒河猴老年个体的操作整体差于成年个体,并且,老年个体在空间辨别反转学习和客体辨别反转学习中都有更多的持续性错误^[23]。

在CSST任务中,老年恒河猴个体在任务的掌握和操作上都表现出困难,并且,有更多的持续性错误^[24]。

这其中,前额皮层的成熟、老化是一个重要原因。通过上面对抑制控制能力生理基础的介绍,我们可以看出,恒河猴幼猴和背外侧前额叶损伤的恒河猴成年个体在任务操作中的表

现类似,恒河猴老年个体在任务操作中的表现和背外侧前额叶损伤,以及眶额皮层损伤的成年个体的行为表现类似。另一方面,经验(尤其是任务相关的经验)也会影响到非人灵长类个体的抑制控制能力^[14],不过,这一方面的研究还进行的很少。

非人灵长类抑制控制能力个体发展过程中,一个重要的特点是明显、稳定的个体差异。在同一任务中,不同个体的抑制控制能力显著不同,并直接影响到操作成绩^[23, 26~28]。对同一个体来说,在不同的实验条件下^[28],不同时间进行的实验中^[27],其操作成绩具有一致性。该特点和人类非常相似。人类儿童4岁时,在延迟满足任务中等待的时间越长,长大后在认知和社会性方面会发展成更加出色的个体,会取得更高的学业成绩,能更好的应对挫折和压力^[29]。

对非人灵长类来说,抑制控制能力个体差异产生的一个可能原因是个体的社会等级,对群居的非人灵长类物种来说,社会等级低的个体更有可能表现出抑制控制能力^[26]。不过,研究者还应该进一步关注非人灵长类抑制控制能力个体差异产生的早期影响因素^[27]。

5 非人灵长类抑制控制能力的种系发生

对抑制控制能力的跨物种比较可以帮助我们勾画一幅关于这种能力演化过程的蓝图。已有的研究表明,沿着演化的阶梯,从新大陆猴到旧大陆猴,再到大猿,不同演化等级的物种在一些任务操作中的表现有所不同。比如,在食物数量反转强化联结任务中,当采用 large-or-none 强化程序时,旧大陆猴中的日本猕猴(Japanese monkey)能够学会选择两份葡萄干中数量少的一份,以获得另一份数量多的葡萄干^[9]。而新大陆猴中的松鼠猴^[26]和棉头狨猴^[28]在相同的实验条件下,则不能掌握这种反转强化规则。当在 large-or-none 条件下中加入纠正程序(correction procedure)时,松鼠猴掌握了反转强化规则^[26],棉头狨猴仍然没有掌握^[28]。不过,要想证明在对优势反应的抑制中,新大陆猴比旧大陆猴和大猿有更大的困难,还需要对更多的物种进行研究^[28]。类似地,在同一演化等级内部,抑制控制能力也存在种间差异。同样是在反转强化任务中,当食物直接呈现时,黄猩猩能够掌握操作规则^[8],而黑猩猩则不能^[12]。分析物种间差异的原因,可能有以下几种:

5.1 社群结构的影响

不同灵长类个体有不同的社群结构,有群居的,也有独居的,有一夫多妻、多夫多妻的,也有一夫一妻的,有的等级结构严格,有的等级结构松散,这些,都会影响到个体的生存压力,从而影响到它们的抑制控制能力。相对于黑猩猩来说,黄猩猩更容易掌握反转强化规则,这和它们相对独居的生活有关,这时,它们面临的食物竞争要小于黑猩猩,就更容易压制看到食物时的冲动^[8]。而对都是群居的物种而言,比较松鼠猴和棉头狨猴,前者有更大的种群结构,这时,有严格等级的大社群就要求个体必须在更高等级的个体前抑制对各种资源的享用,这促进了它们的抑制控制能力的发展^[27]。

5.2 生存环境的影响

Logue 在用演化理论解释自我控制能力时提出,在稳定的环境中,自我控制的倾向具有适应价值。如果个体在较长时间的等待后能获得更大的收益,将有利于个体的生存。在不稳

定的生活环境中,对延迟强化(比如尚未成熟的果实)的等待意义不大,因为个体最终可能不会获得延迟强化物,这时,个体更多的做出冲动行为^[30]。Tobin 等在解释长尾猕猴(longtailed macaques)在食物情境中表现出的自我控制能力时也提出,这可能是由于该物种生活在食物丰富且稳定的环境中^[4]。类似地,Anderson 等人认为松鼠猴在反转强化实验中表现出抑制控制的能力也可能出于同样的原因^[10]。

5.3 皮层面积和结构的不同

灵长类的种群大小和其新皮层的发展相关,种群越大,觅食越丰富的物种,大脑皮层越发达^[31]。大脑新皮层的发展影响到物种的抑制控制能力,皮层面积小的物种更容易受刺激的直接驱动^[27]。Tobin 指出^[4],在自我控制能力上的物种差异和发头系数(脑重和体重的比例)相关,同时,发头系数可以看成是一般认知能力的指标。

另外,Hauser^[14]指出,在演化过程中,前额皮层的结构和内部联结回路会发生改变,这使一些物种更容易去抑制优势反应。因此,不同物种由于前额皮层功能的差异而产生不同的持续性错误。前额皮层结构产生差异的临界点可能在新大陆猴和旧大陆猴之间。对更多物种的抑制控制能力进行比较研究,可以提供这方面的证据支持。

6 小结和展望

非人灵长类的抑制控制能力无论在行为表现还是在生理基础上,都和人类有很大的相似之处,有着类似的个体发展过程。可见,抑制控制能力可能是一种人类和非人灵长类共享的认知能力,是物种演化适应的结果。同时,它又是一种基本的认知能力,对非人灵长类来说,它和个体在其他任务操作中的表现相关^[14],对人类来说,早期的抑制控制能力水平和个体后来的其他认知能力相关^[27],因此,抑制控制能力在个体的认知能力中处于重要地位,从比较认知的角度研究它,可以加深我们对人类该能力的理解。

在今后的研究中,以下两个方面值得我们进一步探讨:

6.1 两种持续性错误的关系

情感性持续和范式性持续作为持续性错误的两种类型,既是个体抑制控制功能障碍时的行为表现,同时,也揭示了这种障碍产生的心理机制。深入研究两种持续性错误间的关系,能加深对抑制控制能力的理解。从行为层面上看,这两种类型的错误在个体发展过程中的表现是否相同?是否范式性持续比情感性持续更难克服,因此对个体的影响也更长久?从生理基础上看,这两种类型的错误发生时,对应的脑区在多大程度上是重叠的,又在多大程度上是独立的?对这些问题的探讨,有助于我们进一步理解人类自身的抑制控制能力。

6.2 抑制控制能力和其他认知能力间的关系

对人类来说,抑制控制能力是执行功能的核心成分,和执行功能其它成分(比如工作记忆,计划)紧密相联,共同影响着个体的高级认知能力。对于非人灵长类来说,虽然没有明确提出执行功能的概念,但对抑制控制,工作记忆,计划这些执行功能各成分都分别有独立的研究,不过却很少研究这几成分之间的关系。因此,在非人灵长类中研究抑制控制能力和其他认知能力的关系,不仅助于理解抑制控制能力在非人灵长类认知能力中起的作用,而且,

可以提供给我们一个理解非人灵长类其他认知能力的桥梁,比如仍然没有定论的心理理论能力。对人类来说,有心理理论的执行功能假说,那么,对抑制控制能力强的非人灵长类来说,是不是预示着它们也可能在某种程度上有心理理论能力呢?

参考文献

- [1] Cheney D L, Seyfarth R M. Vervet monkey alarm calls: Manipulation through shared information? *Behaviour*, 1985, 94: 150~166
- [2] Hauser M D. Rhesus monkey (*Macaca mulatta*) copulation call: Honest signals for female choice? *Proceedings of the Royal Society of London B*, 1993, 254 (1340): 93~96
- [3] Kralik J D, Hauser M D, Zimlicki R. The Relationship Between Problem Solving and Inhibitory Control: Cotton-Top Tamarin (*Saguinus oedipus*) Performance on a Reversed Contingency Task. *Journal of Comparative Psychology*, 2002, 116 (1): 39~50
- [4] Tobin H, Logue A W, Chelonis J J, Ackerman K T, May J G. Self-control in the monkey *Macaca fascicularis*. *Animal Learning and Behavior*, 1996, 24 (2): 168~174
- [5] Forzano L B, et al. Self-control in adult humans: Comparison of qualitatively different reinforcers. *Learning and Motivation*, 1994, 25 (1): 65~82
- [6] Beran M J, Sanage-Rumbaugh E S, Rumbaugh D M. Delay of gratification in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Developmental Psychobiology*, 1999, 34 (2): 119~127
- [7] Beran M J. Maintenance of self-imposed delay of gratification by four chimpanzees (*Pan troglodytes*) and an orangutan (*Pongo pygmaeus*). *The Journal of General Psychology*, 2002, 129 (1): 49~66
- [8] Shumaker R W, Palkovich A M, Beck B B, Guagnano G A, Morowitz H. Spontaneous use of magnitude discrimination and ordination by the orangutan (*Pongo pygmaeus*). *Journal of Comparative Psychology*, 2001, 115 (4): 385~391
- [9] Silberberg A, Fujita K. Pointing at smaller food amounts in an analogue of Boysen and Berntson's (1995) procedure. *Journal of the experimental Analysis of Behavior*, 1996, 66(1): 143~147
- [10] Anderson J R, Awazu S, Fujita K. Can squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) learn self-control? A study using food array selection tests and reverse-reward contingency. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 2000, 26 (1): 87~97
- [11] Anderson J R, Awazu S, Fujita K. Squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) choose smaller food arrays: Long-term retention, choice with nonpreferred food, and transposition. *Journal of Comparative Psychology*, 2004, 118 (1): 58~64
- [12] Boysen S T, Berntson G G. Responses to quantity: Perceptual versus cognitive mechanisms in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 1995, 21(1): 82~86
- [13] Boysen S T, Mukobi K L, Berntson G G. Overcoming response bias using symbolic representations of number by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Animal Learning & Behavior*, 1999, 27 (2): 229~235
- [14] Hauser M D. Perseveration, inhibition and the prefrontal cortex: a new look. *Current Opinion in Neurobiology*, 1999, 9(2): 214~222
- [15] Hauser M D, Kralik J, Botto-Mahan C. Problem solving and functional design features: experiments on cotton-top tamarins, *Saguinus oedipus oedipus*. *Animal Behaviour*, 1999, 57(3): 565~582
- [16] Boysen S T, Berntson G G, Hannan M B, Cacioppo J T. Quantity-based interference and symbolic representations in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 1996, 22 (1): 76~86
- [17] Hood B. Gravity rules for 2-4 years olds? *Cognitive Development*, 1995, 10 (4): 577~598
- [18] Hood B M, Hauser M D, Anderson L, Santos L. Gravity biases in a non-human primate? *Developmental Science*, 1999, 2 (1): 35~44
- [19] Santos L R, Ericson B, Hauser M D. Constraints on problem solving and inhibition: object retrieval in cotton-top tamarins. *Journal of Comparative Psychology*, 1999, 113 (2): 186~193
- [20] 李红, 王乃戈. 论执行功能及其发展研究. *心理科学*, 2004, 27 (2): 426~430

- [21] Bechara A, Damasio H, Tranel D, Damasio A R. Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 1997, 275 (5034): 1293~1294
- [22] Dias R, Robbins T W, Roberts A C. Dissociation in prefrontal cortex of affective and attentional shifts. *Nature*, 1996, 380 (7): 69~72
- [23] Lai Z C, Moss M B, Killiany R J, Rosene D L, Herndon J G. Executive system dysfunction in the aged monkey: spatial and object reversal learning. *Neurobiology of Aging*, 1995, 16 (6): 947~954
- [24] Moorea T L, Killiany R J, Herndon J G, Rosene D L, Mossa M B. Impairment in abstraction and set shifting in aged Rhesus monkeys. *Neurobiology of Aging*, 2003, 24(1): 125~134
- [25] Roberts A C, Wallis J D. Inhibitory control and affective processing in the prefrontal cortex: Neuropsychological studies in the common marmoset. *Cerebral Cortex*, 2000, 10: 1047~3211
- [26] Anderson J R, Awazu S, Fujita K. Can squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) learn self-control? A study using food array selection tests and reverse-reward contingency. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 2000, 26 (1): 87~97
- [27] Anderson J R, Awazu S, Fujita K. Squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) choose smaller food arrays: Long-term retention, choice with nonpreferred food, and transposition. *Journal of Comparative Psychology*, 2004, 118 (1): 58~64
- [28] Kralik J D, Hauser M D, Zimlicki R. The Relationship Between Problem Solving and Inhibitory Control: Cotton-Top Tamarin (*Saguinus oedipus*) Performance on a Reversed Contingency Task. *Journal of Comparative Psychology*, 2002, 116 (1): 39~50
- [29] Mischel W, Shoda Y, Rodriguez M L. Delay of gratification in children. *Science*, 1989, 244 (4907): 933~937
- [30] Logue A W. Research on self-control: An integrating framework. *Behavioral and Brain Science*, 1988, 11: 665~709
- [31] 何朝阳译. 会思维的猿 智力的进化起源 (英) 理查德·伯恩著. 湖南教育出版社, 2002. 267

Inhibition Control in Primate

Zhang Zhen, Su Yanjie

(*Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871*)

Abstract: Inhibitory control is a high-order cognitive ability which is to inhibit the interferential prepotent response in order to achieve a specific goal. Researches on inhibitory control in non-human primate are reviewed in three aspects: behavioral performance, neural mechanisms, as well as ontogenetic and phylogenetic process of it. This paper should provide better understanding of inhibitory control in humans in an evolutionary perspective.

Key words: inhibitory control, non-human primate, preservation error, prefrontal cortex.