

## 基于啮齿类动物的决策行为研究及其脑机制

程九清<sup>1,2,3</sup> 李勇辉<sup>1,2</sup> 隋南<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院心理研究所, 北京 100101) (<sup>2</sup>中国科学院心理健康重点实验室, 北京 100101)

(<sup>3</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 介绍了近年来以啮齿类动物为对象, 关于决策的行为表现及其内在脑机制的研究进展。首先介绍了决策的概念, 以及啮齿类动物的决策模型。在这些模型的基础上, 总结了不同决策模型的心理过程: 计算、动机和记忆, 并且介绍了业已发现的参与这些心理机制的脑机制。最后, 还从决策的角度探讨了其与药物成瘾之间的关系, 包括成瘾药物对决策行为的影响以及决策个体差异与药物成瘾易感性之间的关系。

**关键词** 决策, 脑机制, 药物成瘾, 啮齿动物模型。

**分类号** B845

### 1 前言及实验模型

决策 (decision making) 是人类以及许多动物所共同具有的能力, 是一种较高级的心理功能。在动物实验中, 决策与行为选择 (action selection) 的意义相同, 因为两者可以被视为这样的行为活动: 在数个备选项中, 经过利与弊, 或者是收益 (benefit) 与成本 (cost) 之间的权衡, 根据权衡的结果输出行为, 选择其中的某个或某几个选项。

在现有的啮齿类动物研究中, 较常用的决策模型包括: 延迟折扣 (delay-discount)<sup>[1-7]</sup>、概率折扣 (probability-discount)<sup>[3,8,9]</sup>、付出努力 (effort-based decision making)<sup>[4,10-14]</sup> 和趋避任务 (approach-avoidance task)<sup>[15-17]</sup> 等。

延迟折扣是指奖赏物的价值随着时间的流逝而逐渐贬值, 动物需要在价值大小和等待时间长短之间作出权衡。动物通常可以在两种行为之间进行二选一: 表现出行为 A (如在 Skinner 箱中压左杆), 结果是可以立即得到少量的食物; 表现出行为 B (如在 Skinner 箱中压右杆), 结果是能够得到更多的食物, 但是需要等待一段时间。通常随着需要等待时间的延长, 动物会更倾向于去表现出可以立即得到食物的行为 (这种行为被称为冲动行为, impulsive behavior)。

概率折扣与延迟折扣相似, 动物的任务是在出现概率大但食物量少以及出现概率小但食物量的多选项之间作出决策。随着食物出现的概率的减少, 动物会更偏好选择虽然少但是更可能出现食物的行为, 而反之, 如果动物表现出的行为是针对食物量多却出现概率小的结果, 则认为这样的行为是冒险性质的 (risky behavior)。

在付出努力的实验里, 研究人员多运用 T 迷宫障碍实验来考查动物是否愿意付出努力来获得 (更多) 的回报。动物 T 字的分岔口面临着决策: 或者去没有障碍的一侧, 可以得到少量的食物; 或者去有障碍的另一侧, 需要翻越障碍才能得到更多的食物。动物需要权衡的是, 多得到的食物, 是否值得多付出能量用于翻越障碍?

最后, 在趋避任务中, 目前并没有统一的模型, 高架十字迷宫 (elevated-plus maze)<sup>[16]</sup>、社会应激 (social-stress)<sup>[17]</sup> 的实验方法都有被采用到。趋避模型主要被运用于测查抗焦虑药物的实验中, 如以高架十字迷宫为例, 首次被放入迷宫的动物在面对开放臂 (open-arm) 既有进行探索的驱动力, 而同时又有恐高的回避倾向。这种趋避共存的现象会导致焦虑。而在服用了抗焦虑药物后, 动物会花费更多的时间呆在开放臂, 因为焦虑程度降低了。

总体来说, 比起人类的决策及其脑机制的研究, 如行为神经经济学 (behavioral neuroeconomics)<sup>[18-20]</sup>, 虽然动物实验对行为考察的程度不如人类实验来得那么真实和复杂, 但是动物研究增加了脑干预的手段, 通过特定的决策行为模型, 可以更为细

收稿日期: 2007-11-30

\* 国家重点基础研究发展计划 (973 计划, 2003CB515404)、  
国家自然科学基金面上项目 (30600184)、中国科学院心理研究所青年基金 (07CX081008) 资助。

通讯作者: 隋南, E-mail:suin@psych.ac.cn

致的考察不同脑区，不同化学物质在决策中所发挥的作用。

## 2 决策的心理机制及其脑基础

以上介绍的四种模型中，虽然任务不同，但是既然都属于决策行为，因此包含着相同成分的心理机制和脑基础，在这里讨论三个环节：计算、动机以及工作记忆。

### 2.1 计算与皮层

在文章的开头，提到决策被视为是一种选择，而选择的依据是收益与成本之间经过权衡了的结果。显然，权衡是一个计算的过程，虽然很多时候并不明确需要经过数字的运算，但是决策者需要在各个选择之间进行比较，既考虑哪个选择可以得到的奖赏最多，也要考虑实现各个选择所需的成本有多少。

目前关于计算的模型将目标脑区集中在了皮层，认为大脑皮层经过计算，权衡了各种可能的利弊后，会对某个或某几个备选行为形成偏好，然后用谷氨酸将这种对于各个备选行为的权衡结果投射到基底神经节 (basal ganglia)，再由基底神经节经过加工输出被选择了的行为<sup>[21,22]</sup>。采用局部损毁的方法，可以比较清楚地观察某个区域在行为中所发挥的作用。研究人员用此方法针对前额叶皮层的眶额回 (orbifrontal cortex, OFC) 和扣带回 (Anterior Cingulate cortex, ACC) 在延迟折扣和付出努力两种模型中的作用分别做了研究。结果发现，损毁眶额回，增加动物的冲动行为<sup>[1,3,4]</sup> (但也有冲动性降低的报道，见<sup>[2,5]</sup>)，但是并不影响动物愿意去翻越障碍而获得更多食物<sup>[4]</sup>；而损毁扣带回的结果则刚好相反：损毁扣带回使动物变得更为“懒惰”，不愿意为了获得更多食物而翻越障碍<sup>[10,11,14]</sup>，但是并不影响动物为了得到更多食物而多等一会<sup>[4]</sup>。因此，尽管奖赏均是食物，但是由于在延迟折扣和付出努力的模型中成本分别是时间和能量，因此参与成本计算与控制的区域在脑结构上发生了分离：眶额回承担时间的计算，而扣带回则考虑能量的付出。

除了时间折扣，在概率折扣中，研究人员同样发现需要眶额回的参与，但是机制更为复杂。损毁眶额回的结果并不一致，冒险性选择增加<sup>[3]</sup>和减少<sup>[9]</sup>的结果都有。但是在以人为被试的赌博性游戏中，眶额回损伤的病人往往表现出的是冒险性行为<sup>[23]</sup>。Vieira 等人经过研究，认为眶额回依据不同的不确定性，会有不同的作用<sup>[9]</sup>。具体地说，一个是杠杆

不确定性，一个是背景不确定性。在经典的概率折扣研究中<sup>[3]</sup>，动物首先经过反复学习，使之明白两根杆所带来的不同食物奖赏与奖赏呈现的不同概率。这便是杠杆不确定性：因为某一次的压杆，并不知道会造成什么样的结果；但是，随着压杆次数的增多，由于之前经过学习，已经大致知道了概率，因此总体能得到多少奖赏是比较清楚的。在这种情况下，损毁眶额回，是减少冒险选择的。

而对于总体不确定性，Vieira 等人的实验程序是这样设计的<sup>[9]</sup>：压一根杆每 10 次可以有 8 次得到 1 份食物；而压另一根杆每 10 次可以有 3 次得到 3 份食物。并且重要的是，在他们的实验里，事先不让动物进行密集的学习，因此即使进行了较多次的测试，动物只能形成高风险/高奖赏与低风险/低奖赏的印象，不可能像杠杆不确定情形下那样对每根杆的概率都了解清楚。所以，每一次压杆所带来的结果对于动物来说都是未知，因此叫总体不确定性。此时损毁眶额回，动物表现出更多的冒险选择，与人的研究相一致。实际上总体不确定性的实验模式和人的赌博游戏更为相似：你总是不知道下一盘会是赢还是输<sup>[23]</sup>。

以上的实验介绍了眶额回以及扣带回在决策实验中的作用，提示皮层参与决策且不同的区域所承担的具体计算功能是不同的<sup>[4]</sup>。但是，由于在这些实验中，奖赏都是食物，因此，只能推断眶额回和扣带回分别参与不同的成本的计算，而是否在对奖赏物的计算方面有所区分，尚不能知。此外，由于采用损毁的方法，目前还不清楚脑内的化学物质在各个区域之间的投射关系，以及受体的作用，甚至是细胞内分子的功能。

### 2.2 动机与伏隔核

研究发现，损毁伏隔核能导致动物的决策行为发生变化。对于概率折扣，损毁伏隔核使动物的冒险行为增多<sup>[2,8]</sup>；对于付出努力，损毁伏隔核导致动物更加不倾向于付出努力而得到更多的食物<sup>[12,13]</sup>；而对于概率折扣的研究还不统一，损毁伏隔核增加和减少冲动行为都有报道<sup>[1,2]</sup>，但是亦能说明伏隔核参与决策行为。

而另一方面，研究人员通过系统注射多巴胺的干预药 (激动剂或者拮抗剂)，或者系统耗竭脑内多巴胺，发现多巴胺参与概率折扣与付出努力。在概率折扣中，系统注射非选择性多巴胺拮抗剂，D1 受体拮抗剂或 D2 受体拮抗剂，或者系统耗竭多巴胺

都能够导致冲动行为的增加<sup>[24-27]</sup>；而在付出努力，系统给以大鼠 D2 受体拮抗剂使大鼠更倾向于选择少却相对能够轻松获得的食物<sup>[25]</sup>。

考虑到中脑腹侧被盖区域对伏隔核的多巴胺投射为经典的动机通路，那么，在动物决策实验中，研究人员通过损毁伏隔核或干预多巴胺，从而造成行为的变化，是否是通过调节动机达成的呢？

Salamone 等人在 1994 年完成了一个实验<sup>[28]</sup>，运用付出努力模型，通过局部耗竭伏隔核的多巴胺，发现动物会变得懒惰，不愿意去花费力气得到更多食物。作者认为这是由于动物对食物的动机被削弱的原因所致。

不过，对于动机、多巴胺和伏隔核三者关系的研究仍然非常缺乏。为了探索这三者的关系，需要更多实验在伏隔核区域干预多巴胺，通过不同模型来考察动物的行为。动机在付出努力的模型中相对容易解释，而在延迟折扣模型中，如果干预了伏隔核多巴胺从而导致行为更为冲动，那么，还需要区分，冲动的增加是由于动物对获得食物的动机减弱所致，还是对等待的厌恶动机增大所致。

### 2.3 工作记忆与基底外侧杏仁核

无论哪一种模型，决策都发生在行为表现前。在实验的环境下，面对诸多提示结果的线索的时候，长时记忆被提取，记忆中的内容呈现一种“online”的状态。这种 online 的状态的作用是保证线索（如灯光，实验环境）—行为（如压杆）—结果（如食物）之间存在着联结。实际上，在动物实验里，训练就是建立这种联结，而测试则是联结的提取。在决策中（延迟折扣与付出努力）已被提到的参与联结作用部位有基底外侧杏仁核<sup>[5,14]</sup>。不过，由于目前实验多采用的是局部核团的损毁法或暂时失活法，这些核团之间的联系，即如何共同起作用还不明确。

## 3 决策与药物成瘾

很多时候决策并不是一个单纯的行为，而是在其他行为中发挥作用。例如，上文中提到的动物模型都利用了觅食行为，在觅食中动物表现出决策。下文将探讨药物成瘾与决策的关系，希望能深化对决策及其脑基础的认识。并且，在以往的研究中，成瘾常被看作是异常学习和异常记忆的结果；在这里我们提出，成瘾现象与行为决策也有着密切的联系，成瘾药物能够使决策行为发生变化；同时，本身决策能力不同的个体，对成瘾药物的易感性也可能存在着个体差异。

### 3.1 成瘾药物对决策的影响

一些以人类为对象的调查研究发现，成瘾人群（造成成瘾的药物包括精神兴奋类，阿片类，酒精，大麻以及尼古丁）会比正常人群表现出更高的冲动性，或者说，他们对奖赏的延迟更不能忍受<sup>[29-33]</sup>。

但是另一方面，注意缺陷多动障碍（attention deficit hyperactivity disorder, ADHD）的患者有一个显著症状便是认知冲动，而在临床上则接受精神兴奋类药物的治疗，发现安非他明可以减轻冲动<sup>[34]</sup>。

在以动物为对象的基础研究中也发现了这样的混合现象。对此目前并没有明确的解释，一个可能的原因是急慢性用药可能会导致双重的作用，即急性用药（至少对于精神兴奋类和尼古丁是这样）能导致冲动的减少，而慢性用药则使冲动水平升高<sup>[35]</sup>。一个典型的例子是Richards等人在1999年的报告<sup>[36]</sup>，大鼠在测试前急性注射甲基苯丙胺会使冲动降低，而在每次训练后反复注射该药，则在今后的测试中得到相反的结果。在脑机制方面，目前还不清楚药物是如何改变决策的，不过，应该可以推测成瘾与决策具有共同的脑机制（腹内侧前额叶是目前的一个关注点<sup>[37]</sup>），因此在药物反复作用后引起了脑长时程的适应变化，最终改变了决策行为。

### 3.2 决策的个体差异对成瘾易感性的预测

有观点认为，个体在决策上存在着差异（例如高冲动与低冲动），而这种差异意味着个体对成瘾药物不同的易感性，高的冲动性似乎可以用来预测高的成瘾易感性。一个以学龄前儿童为对象的纵向研究发现，孩子们愿意为等待较大奖赏而付出的时间与10年后的社会和人格障碍成反比，即冲动的孩子在以后的日子更容易物质滥用<sup>[38]</sup>。另一个例子是对大学生吸烟者的研究发现，一些被称为“chipper”的人虽然有规律的吸烟，但是却并不产生依赖，这些人和依赖者相比冲动性偏低<sup>[31]</sup>。

在动物实验，一个直接的例子是以雌性成年大鼠的研究。实验首先将动物分成高冲动组与低冲动组，结果发现高冲动组更容易形成可卡因自身给药（self-administration, SA）<sup>[39]</sup>。另一个相关的例子，SHR大鼠（模拟ADHD的高血压大鼠）可以区分出不同的冲动性，并且对派酸甲酯的敏感性也不一样（派酸甲酯具有增加中枢多巴胺的功能，但成瘾性安非他明低许多，可以减少冲动，临床上用于治疗ADHD）<sup>[40]</sup>。

因此，与新颖寻求和感觉寻求类似，冲动性可

以作为预测药物成瘾易感性的一个指标。目前对其脑机制的研究还很少，一个可能的原因在于高级皮层对下游动机系统控制力的强度。McClure在2004年以人为对象<sup>[41]</sup>，要求被试作出以下的二选一：立即或较短时间内得到的少量的钱或者是较长时间而得到更多的钱。结果发现当被试选择前者时，部分的边缘系统，包括旁边缘皮层（腹侧纹状体，内侧眶额回，内侧前额叶和后扣带回）激活。而当被试选择后者时，一些参与高级认知功能的区域，背外侧前额叶，腹外侧前额叶和外侧眶额回被激活。另一个对大鼠脑内进行生化检测的实验发现，低冲动的大鼠在前额叶皮层的代谢要比高冲动大鼠更高，显示更高的活性。相反，在代表动机的伏隔核区低冲动大鼠的活性反而低<sup>[42]</sup>。因此，可以推测较高级皮层对较低级区域的抑制作用是有机体做出理性选择的一个基础。假如这种抑制的强度不够，动机系统的活性水平过高，导致异常动机。而药物成瘾的一个显著特征便是对药物苛求的异常动机。实际上长期用药导致冲动性的提高也很可能是药物弱化了高级中枢的抑制功能。

#### 4 小结

文章介绍了近年来以啮齿动物为实验对象，围绕决策行为及其脑机制进行的研究。文章介绍了实验模型、不同类型决策共同的心理及脑机制，并在最后从决策的角度探讨了药物成瘾现象。

由于在动物实验中能够进行脑内给药等脑干预手段，也可以对脑进行生化检测，因此通过动物实验可以更好的考查脑与行为之间的关系，对以人类被试的研究是极好的补充。

当然，目前以啮齿动物为对象的决策行为研究还有许多尚未明了的领域。一是目前大部分实验采用了局部脑区损毁的方法。这种方法可以比较清楚的考察各个脑区在行为中的作用，但是不能探究递质、受体在各个脑区之间的作用，脑区与脑区之间的联系还不明了。二是在药物成瘾领域中，从趋避冲突出发看待觅药行为的研究尚不丰富。考虑到觅药行为所能带来的潜在快感和威胁，这样的研究是有意义的。

#### 参考文献

1 Cardinal R N, Pennicott D R, Sugathapala C L, Robbins T W, Everitt B J. Impulsive choice induced in rats by lesions of the nucleus accumbens core. *Science*, 2001, 292(5526): 2499~2501  
 2 Acheson A, Farrar A M, Patak M, Hausknecht K A, Kieres A K, Choi S, de Wit H, Richards J B. Nucleus accumbens lesions

decrease sensitivity to rapid changes in the delay to reinforcement. *Behavioral Brain Research*, 2006, 173(2): 217~228  
 3 Mobini S, Body S, Ho M Y, Bradshaw C M, Szabadi E, Deakin J F, Anderson I M. Effects of lesions of the orbitofrontal cortex on sensitivity to delayed and probabilistic reinforcement. *Psychopharmacology (Berl)*, 2002, 160(3): 290~298  
 4 Rudebeck P H, Walton M E, Smyth A N, Bannerman D M, Rushworth M F. Separate neural pathways process different decision costs. *Nature Neuroscience*, 2006, 9(9): 1161~1168  
 5 Winstanley C A, Theobald D E, Cardinal R N, Robbins T W. Contrasting roles of basolateral amygdala and orbitofrontal cortex in impulsive choice. *Journal of Neuroscience*, 2004, 24(20): 4718~4722  
 6 Cheung T H, Cardinal R N. Hippocampal lesions facilitate instrumental learning with delayed reinforcement but induce impulsive choice in rats. *BMC Neuroscience*, 2005, 6(1): 36~59  
 7 Uslaner J M, Robinson T E. Subthalamic nucleus lesions increase impulsive action and decrease impulsive choice - mediation by enhanced incentive motivation? *European Journal of Neuroscience*, 2006, 24(8): 2345~2354  
 8 Cardinal R N, Howes N J. Effects of lesions of the nucleus accumbens core on choice between small certain rewards and large uncertain rewards in rats. *BMC Neuroscience*, 2005, 6(1): 3~21  
 9 Pais-Vieira M, Lima D, Galhardo V. Orbitofrontal cortex lesions disrupt risk assessment in a novel serial decision-making task for rats. *Neuroscience*, 2007, 145(1): 225~231  
 10 Walton M E, Kennerley S W, Bannerman D M, Phillips P E, Rushworth M F. Weighing up the benefits of work: behavioral and neural analyses of effort-related decision making. *Neural Networks*, 2006, 19(8): 1302~1314  
 11 Schweimer J, Saft S, Hauber W. Involvement of catecholamine neurotransmission in the rat anterior cingulate in effort-related decision making. *Behav Neurosci*, 2005 Dec; 119(6): 1687~1692  
 12 Cousins M S, Salamone J D. Nucleus accumbens dopamine depletions in rats affect relative response allocation in a novel cost/benefit procedure. *Pharmacological Biochemistry & Behavior*, 1994, 49(1): 85~91  
 13 Sokolowski J D, Conlan A N, Salamone J D. A microdialysis study of nucleus accumbens core and shell dopamine during operant responding in the rat. *Neuroscience*, 1998, 86(3): 1001~1009  
 14 Floresco SB, Ghods-Sharifi S. Amygdala-prefrontal cortical circuitry regulates effort-based decision making. *Cerebral Cortex*, 2007, 17(2): 251~260  
 15 Ettenberg A, Bernardi RE. Anxiolytic-like actions of buspirone in a runway model of intravenous cocaine self-administration. *Pharmacological Biochemistry & Behavior*, 2006, 85(2): 393~399  
 16 Garcia A M, Martinez R, Brandao M L, Morato S. Effects of apomorphine on rat behavior in the elevated plus-maze. *Physiological Behavior*, 2005, 85(4): 440~447  
 17 Haller J, Bakos N. Stress-induced social avoidance: a new model of stress-induced anxiety? *Physiological Behavior*, 2002, 77(2-3): 327~332  
 18 Bickel W K, Miller M L, Yi R, Kowal B P, Lindquist D M, Pidcock J A., Behavioral and neuroeconomics of drug

- addiction: Competing neural systems and temporal discounting processes. *Drug and Alcohol Dependence*, 2007, 90(1): 85~91
- 19 Montague P R, Berns G S. Neural Economics and the Biological Review Substrates of Valuation. *Neuron*, 2002, 36: 265~284
- 20 Sanfey A G, Loewenstein G, McClure S M, Cohen J D. Neuroeconomics: cross-currents in research on decision-making. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 2006, 10(3): 108~116
- 21 Horvitz J C. Dopamine gating of glutamatergic sensorimotor and incentive motivational input signals to the striatum. *Behavioral Brain Research*, 2002: 65~74
- 22 Nicola S M. The nucleus accumbens as part of a basal ganglia action selection circuit. *Psychopharmacology*, 2007, 191: 521~550
- 23 Bechara A, Damasio H, Damasio A R. Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 2000, 10(3): 295~307
- 24 van Gaalen M M, van Koten R, Schoffelmeer A N, Vanderschuren L J. Critical involvement of dopaminergic neurotransmission in impulsive decision making. *Biol Psychiatry*, 2006, 60(1): 66~73
- 25 Denk F, Walton M E, Jennings K A, Sharp T, Rushworth M F, Bannerman D M. Differential involvement of serotonin and dopamine systems in cost-benefit decisions about delay or effort. *Psychopharmacology (Berl)*, 2005, 179(3): 587~96
- 26 Cardinal R N, Robbins T W, Everitt B J. The effects of d-amphetamine, chlordiazepoxide, alpha-flupenthixol and behavioural manipulations on choice of signalled and unsignalled delayed reinforcement in rats. *Psychopharmacology (Berl)*, 2000, 152(4): 362~75
- 27 Wade T R, de Wit H, Richards J B. Effects of dopaminergic drugs on delayed reward as a measure of impulsive behavior in rats. *Psychopharmacology (Berl)*, 2000, 150(1):90~101
- 28 Salamone J D, Cousins M S, Bucher S. Anhedonia or anergia? Effects of haloperidol and nucleus accumbens dopamine depletion on instrumental response selection in a T-maze cost/benefit procedure. *Behav Brain Res.*, 1994, 65(2): 221~229
- 29 Bechara A, Damasio H. Decision-making and addiction (part I): impaired activation of somatic states in substance dependent individuals when pondering decisions with negative future consequences. *Neuropsychologia*, 2002, 40(10): 1675~1689
- 30 Bechara A, Dolan S, Hinds A. Decision-making and addiction (part II): myopia for the future or hypersensitivity to reward? *Neuropsychologia*, 2002, 40(10): 1690~1705
- 31 Heyman G M, Gibb S P. Delay discounting in college cigarette chippers. *Behavioral Pharmacology*, 2006, 17(8): 669~679
- 32 Mitchell J M, Fields H L, D'Esposito M, Boettiger C A. Impulsive responding in alcoholics. *Alcohol Clinical Experimental Research*, 2005, 29(12): 2158~2169
- 33 Kirby K N, Petry N M. Heroin and cocaine abusers have higher discount rates for delayed rewards than alcoholics or non-drug-using controls. *Addiction*, 2004, 99(4): 461~471
- 34 Arnsten A F. Stimulants: Therapeutic actions in ADHD. *Neuropsychopharmacology*, 2006, 31(11): 2376~2383
- 35 Dallery J, Locey M L. Effects of acute and chronic nicotine on impulsive choice in rats. *Behavioral Pharmacology*, 2005, 16(1): 15~23
- 36 Richards J B, Sabol K E, de Wit H. Effects of methamphetamine on the adjusting amount procedure, a model of impulsive behavior in rats. *Psychopharmacology (Berl)*, 1999, 146(4): 432~439
- 37 Bechara A. Decision-making, impulse control, and loss of willpower to resist drugs: a neurocognitive perspective. *Nat Neurosci*, 2005, 8: 1458~1463
- 38 Mischel W, Shoda Y, Peake PK. The nature of adolescent competencies predicted by preschool delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1988, 54(4): 687~696
- 39 Pery J L, Larson E B, German J P, Madden G J, Carroll M E. Impulsivity (delay discounting) as a predictor of acquisition of IV cocaine self-administration in female rats. *Psychopharmacology (Berl)*, 2005, 178(2-3): 193~201
- 40 Adriani W, Rea M, Baviera M, Invernizzi W, Carli M, Ghirardi O, Caprioli A, Laviola G. Acetyl-L-carnitine reduces impulsive behaviour in adolescent rats. *Psychopharmacology (Berl)*, 2004, (3-4): 296~304
- 41 McClure S M, Laibson D I, Loewenstein G, Cohen J D. Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science*, 2004, 306(5695): 503~507
- 42 Adriani W, Canese R, Podo F, Laviola G. 1H MRS-detectable metabolic brain changes and reduced impulsive behavior in adult rats exposed to methylphenidate during adolescence. *Neurotoxicol Teratol*, 2007, 29(1): 116~125

## Decision Making and Its Underlying Brain Mechanism Based on Rodent Research

CHENG Jiu-Qing<sup>1,2,3</sup> LI Yong-Hui<sup>1,2</sup> SUI Nan<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(<sup>2</sup> key laboratory for mental health, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(<sup>3</sup> Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

**Abstract:** The paper reviews recent research about decision making and its underlying brain mechanism based on rodent models. First, the definition of decision making and animal models are introduced. Second, on the basis of these models three common psychological processes and their brain mechanism are summarized: calculating, motivation and memory. Finally, the relationship between decision making and drug addiction is discussed for further thought, which includes the impact of drugs on decision making and the relationship between individual difference on decision making and susceptibility to addiction.

**Key words:** decision making, brain mechanism, drug addiction, rodent model.