

延迟折扣的任务呈现方式、数学模型与测量指标

佟月华, 韩颖

(济南大学教育与心理科学学院, 山东 济南 250022)

【摘要】 延迟折扣是指未来奖赏当前的主观价值随着时间的延长而减少的心理现象。研究者通常采用虚拟奖金选择任务来探讨个体的延迟折扣, 在呈现材料时使用计算机编程法、卡片呈现法和问卷法, 常用的数学模型包括单参数模型和双参数模型, 使用的测量指标为延迟折扣率、曲线下的面积和 ED50。未来的研究应重点探讨双参数模型的预测力、测量指标的普适性及简易测量法的适用性问题。

【关键词】 延迟折扣; 虚拟奖金选择任务; 数学模型; 延迟折扣率(k); 曲线下的面积(AUC)

中图分类号: R395.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3611(2011)05-0585-04

Task Presenting Modes, Mathematical Models, and Measures in Delay Discounting

TONG Yue-hua, HAN Ying

School of Education and Psychology, University of Jinan, Jinan 250022, China

【Abstract】 Delay discounting refers to the tendency to discount the subjective value of future reward as a function of the delay to receiving them. Researchers usually use hypothetical money choice task to ask subjects to make choices between smaller-sooner rewards and larger-later rewards. Experiment task can be presented via the mode of computer, index card, and questionnaire. The mathematical models include one-parameter model and two-parameter model. Discounting rate (k), area-under-the-curve (AUC), and ED50 are used to measure delay discounting. Future research should focus on the utility of two-parameter models, measurement indicators, and applicability of the one-shot delay discounting measure.

【Key words】 Delay discounting; Hypothetical money choice task; Mathematical model; Discounting rate (k); Area-under-the-curve (AUC)

延迟折扣(delay discounting)是指未来奖赏的当前主观价值随着时间的延长而减少的心理现象, 又称时间贴现(temporal discounting)^[1]。在延迟折扣研究中, 个体需要在具有时间与数量两个维度的奖赏之间进行选择。高折扣说明未来奖赏在个体心目中的价值打了较大折扣, 即随着时间的增长, 个体更注重眼前利益而非长远利益, 在决策时倾向于选择小而即时的奖赏而非大而延时的奖赏。低折扣说明个体为了得到大而延时奖赏愿意耐心等待, 未来奖赏的价值并未随着延迟时间的增长而锐减, 只是出现了较小幅度的减少。研究者采用虚拟奖金选择任务(hypothetical money choice task, HMCT)探讨个体的延迟折扣, 要求被试在两个时间点的结果中进行选择, 即在小而即时(或者小而近时)的奖金和大而延时的奖金中做出选择^[2]。延迟折扣研究在任务呈现方式、数学模型和测量指标方面存在不同用法。

1 延迟折扣的任务呈现方式

1.1 计算机编程法

研究者采用 E-prime 和 Visual Basic 等软件将延迟折扣任务进行编程, 在电脑上呈现刺激材料, 被试按键或者点击鼠标做出反应。其研究程序类似于心理物理实验中测量差别阈限的最小变化法。在固定的条件下, 被试在即时奖赏和延

时奖赏之间做出选择, 根据被试的选择调整下一个即时奖赏的大小。若被试选择的是即时奖赏, 则在接下来的实验中减小即时奖赏, 由被试再次做出选择, 直到被试选择延时奖赏为止。若被试选择的是延时奖赏, 则增大即时奖赏, 直到被试选择即时奖赏为止。即时奖赏在一定范围内变化, 很多实验最初呈现的即时奖赏是延时奖赏的一半, 以此为基础进行变化。研究者的目的是希望被试出现偏好逆转现象以此获得无差别点(indifference point), 这里的偏好逆转指的是被试的选择由即时金额变为延时金额或者由延时金额变为即时金额。出现偏好逆转时的前后两次即时金额的平均值即为无差别点, 也就是说, 被试的选择由一种奖赏变为另一种奖赏, 此转折点意味着此时的即时奖赏、延时奖赏对于被试来说其主观价值是一致的^[2-4]。

1.2 卡片呈现法

将延迟折扣任务通过卡片的形式呈现给被试。主试向被试呈现一系列卡片, 左边的卡片为即时奖赏金额, 按照递减顺序排列, 右边的卡片为固定的延时金额和变化的延迟时间, 延迟时间按照递升顺序排列, 要求被试在即时奖赏和某一时间下的延时奖赏中做出选择。主试将被试的每次选择结果记录下来。在每个延迟时间条件下, 都将左侧的即时金额从高到低再从低到高呈现两次。在第一个延迟时间条件下的任务完成后, 将右侧的卡片翻到第二个延迟时间条件下, 被试再做出选择, 直到完成所有的延迟时间条件任务^[5]。为克服实验材料的单调变化, 可以打乱即时奖赏的顺序呈现任务。如果要得到两个以上的无差别点, 可先按照顺序呈现, 然后

【基金项目】 山东省社会科学规划研究项目(09BJYJ03); 山东省高校人文社科研究计划项目(J10WH11)和山东省研究生教育创新计划项目(SDYC10020)资助

再打乱顺序呈现一遍。

1.3 问卷法

Kirby 设计了奖金选择问卷 (Monetary-Choice Questionnaire, MCQ) 比较海洛因吸食者与非吸食者的延迟折扣情况。MCQ 包括 27 个问题, 要求被试在小而即时的金额和大而延时的金额中做出选择。与上述呈现方式不同的是, 题目中的延时金额和延迟时间并不是按照由小到大的顺序排列, 而是随机排列。被试必须回答所有的问题。每三个问题固定了相同的延迟折扣率 k 。若被试在此问题中选择即时奖赏, 则说明被试的延迟折扣率高于题目已知的 k ; 若选择延时奖赏, 则说明被试的延迟折扣率低于题目已知的 k 。以此可以得到被试的延迟折扣率的取值区间, 根据被试的选择利用几何平均值求得被试的延迟折扣率^[6]。

2 延迟折扣的数学模型

2.1 单参数模型

指数模型。Samuelson 从古典经济学的角度提出折扣指数模型 (the exponential model)^[6]。这种模型认为, 延时奖赏的主观价值发生折扣是由于个体认为等待 (获得延时奖赏) 的过程伴随一定风险, 价值的折扣在一定程度上抵消了这种风险。无论延迟时间如何变化, 奖赏的主观价值都以相同的速率发生折扣, 个体表现出时间一致性偏好, 即在不同延迟时间下, 主观价值按照固定比例下降。即符合如下模型: $V = Ae^{-kD}$ (方程 1)。其中, V 指发生折扣之后延时奖赏的主观价值, A 指奖赏的实际价值, k 指延迟折扣率, D 指延迟时间。 k 为常量, 独立于延时金额和延迟时间, 即无论延迟时间和延时金额如何变化, 主观价值以一恒定的速率变化。指数模型能够较好地预测个体的时间一致性偏好, 但是不能预测时间不一致性偏好, 无法对偏好逆转效应做出解释。此模型对实际状况的解释力较低, 受到广泛质疑。

双曲线消退模型。Mazur 提出双曲线消退模型 (the hyperbolic decay model), 公式表示为: $V = A/(1+kD)$ (方程 2)。其中参数 V 、 A 、 D 的含义和方程 1 相同, k 为随着延时金额大小而变化的参数, 小数额较大数额的延迟折扣率 k 更大 (即数量效应), 这与方程 1 中 k 的恒常性不同。延迟折扣率 k 越大, 表示随着时间的延迟, 奖赏的主观价值折扣得越快, 对应的 V - D 双曲线函数图中, 曲线越陡。双曲线消退模型认为, 奖赏的主观价值随着延迟时间的增长而削减, 发生折扣。当延迟时间趋向于 0 时, 个体无需等待, 现在就可以获得奖赏, 此时 $V=A$, 未发生折扣。当延迟时间无穷大时, 延时奖赏的主观价值趋向于 0, 此时发生了最大程度的折扣^[7]。

双曲线消退模型既可以用来解释偏好逆转效应, 又能够预测时间不一致性偏好。与指数模型相比, 延迟折扣的数据更加符合双曲线模型。双曲线消退模型存在的问题: 在延迟时间较短时高估了被试的主观价值, 而在延迟时间较长时低估了被试的主观价值^[8,9]。尤其是延迟时间较长时, 无论是个体数据还是团体数据, 实际得到的曲线与指数模型和双曲线消退模型的曲线相比, 下降更为缓慢。

2.2 双参数模型

类双曲线模型。为了弥补双曲线消退模型的不足, Myerson 和 Green 提出类双曲线模型 (hyperbola-like model), 公式为: $V = A/(1 + kD)^s$ (方程 3)。其中 V 、 A 、 k 、 D 的含义与方程 2 相同, s 指个体差异变量, 代表不同个体对变化的延迟时间和延时金额敏感度的差异^[10]。类双曲线模型包括 k 和 s 两个参数。 s 起到调整双曲线形式的作用。当 $s=1$ 时, 双参数模型还原为双曲线消退模型。在这个意义上可以说, 双曲线消退模型是双参数模型的特殊形式。当 $s<1$ 时, 与具有相同延迟折扣率的双曲线消退模型相比, 在高延迟时间时曲线下降较缓慢, 在低延迟时间时曲线较陡峭。此时主观价值在短时延迟的情况下更容易改变, 而在较长时间延迟的情况下不容易改变。这个模型的优势在于: ①指数 s 使得方程 3 能够更为准确地描述延迟折扣行为。② s 不会直接随着延时金额的变化而变化。在不同延时金额条件下 s 差异不显著, 说明 s 不会随着延时金额的变化而变化, 它是个体差异变量, 受到个体敏感性的影响^[10]。

幂函数模型。Rachlin 提了幂函数模型 (power function model), 方程式为: $V = A/(1+kD^\delta)$ (方程 4)^[11]。这个模型与方程 3 类似。它源于斯蒂文森心理物理学中的幂定律: $\delta = kD^\delta$, 其中, δ 为心理量 (此处指主观折扣的程度), D 为物理量 (此处指延迟时间), k 、 s 为参数。由此得出: $V = A/(1+kD^\delta)$ (方程 4), 其中 V 、 A 、 k 、 D 的含义与方程 1 相同, 但是参数 s 代表个体主观价值随时间变化的敏感程度。方程 3 与方程 4 的区别在于: ① V 的计算方法不同。方程 3 可用斯蒂文森的幂定律解释, 相当于 $\delta' = (1 + kD)^s$, $V = A/\delta'$, 而在方程 4 中, $V = A/(1+\delta)$ 。② s 的含义不同。方程 3 中 s 表示个体差异, 而方程 4 中 s 表示 V 随 D 变化的敏感程度。

比较四个模型的优劣, 一般是通过实证研究分析不同方程的数据拟合程度。结果如下: ①所有模型均具有较好的解释变异量。在单参数模型中, 方程 2 的解释量 ($R^2=0.967$) 显著高于方程 1 ($R^2=0.911$)。相对单参数模型, 双参数模型的解释量更佳, 方程 4 的解释量 ($R^2=0.999$) 高于方程 3 ($R^2=0.992$), 但差异不显著^[3]。②双参数模型能够避免延迟时间长短的影响。单参数模型在延迟时间较短时高估了结果的主观价值, 在延迟时间较长时低估了结果的主观价值, 以方程 1 最为明显, 而两个双参数模型都未呈现出这种系统偏差。③双参数模型能够更好地描述人类的延迟折扣行为, k 值和参数 s 都是必要的。

3 延迟折扣的测量指标

3.1 延迟折扣率

延迟折扣的数学模型均采用延迟折扣率 k 来测量个体延迟折扣行为。延迟折扣率 k (the discounting rate) 表示个体延迟奖赏的主观价值随时间的延长而减少的程度。延迟折扣率 k 越大, 表示随着时间的延迟, 延时奖赏的主观价值折扣得越快, 个体行为更为冲动, 更有可能选择小而即时的奖赏。但是 k 存在以下问题: ①不利于研究结果的比较。由于折扣方程形式缺少定论, 所以研究者往往采用不同的方程式来描

述主观价值、延迟折扣率和延迟时间三者之间的关系,使得研究结果之间没有可比性,影响了延迟折扣研究的发展。② k 呈偏态分布。为解决 k 的分布问题,研究者通常采用非参数检验或者将 k 转化成正态。这样做虽然可以避免或者解决偏态问题,但是同时也带来了新的不足,非参数检验的统计力度明显不如参数检验。即使将 k 转化为正态进行参数检验,而 k 是通过原始数据计算得来,经过正态化转换会造成原始数据的损失,导致较大误差。③计算繁琐。研究者将研究获得的数据带入方程,经过计算后得到 k 值。每个个体可能存在两个或者两个以上的 k 值,研究者必须计算出每个个体的平均 k 值,这种计算方法比较繁琐,不利于大样本研究。

3.2 曲线下的面积

Myerson 等人提出用曲线下的面积 (Area-under-the-curve, AUC) 对延迟折扣行为进行解释,将延迟时间和主观价值的各个数据正态化,即求得各个延迟时间占最大延迟量的比例(x 坐标),主观价值占延时金额的比例(y 坐标),做延迟时间-主观价值的曲线,并利用梯形公式计算曲线下的面积。 x 坐标、 y 坐标把曲线分为多个梯形,一个梯形的面积是 $(x_2-x_1)[(y_1+y_2)/2]$,在计算第一个梯形时,取 $x_1=0, y_1=1$,将所有梯形面积加和即为总面积,即 $AUC=\sum (x_2-x_1)[(y_1+y_2)/2]$ 。因为 x 轴、 y 轴的数据都为正态,总面积为 1,所以 AUC 的范围为 $[0,1]$ 。当 $AUC=1$ 时,说明未发生折扣。曲线越陡,AUC 越小,说明折扣程度越大^[9]。

AUC 的优势:①AUC 呈正态分布,可以进行参数估计,统计力度高;而 k 呈偏态分布,非参数统计效果不佳。②无须假定方程的数学形式,理论中立,避开了数学模型不一致带来的潜在问题,而 k 必须基于折扣方程进行计算。③AUC 是根据原始数据画图所得,最大程度地运用了原始数据,而 k 是通过方程计算并且进行正态化处理,造成原始数据的流失。AUC 的局限性:①通过折扣方程获得的 k 不同,但是可能会得到相同的 AUC。②AUC 是通过一系列延迟时间计算而来,无法通过 AUC 来考察单个延迟时间的影响。如分别考察 3 天、7 天、50 天、100 天 4 种条件下的延迟折扣时,只能采用延迟折扣率 k 。

3.3 半数有效量

延迟折扣与物质成瘾、吸毒等行为存在联系,能够解释这些冲动行为的原因并且对临床干预具有实践价值。但是,如果将延迟折扣的实验结果运用于临床实践, k 值和 AUC 过于专业化,所代表的含义比较晦涩。为了解决这个问题,Yoon 和 Higgins 将药理学中的 ED50 引入延迟折扣研究领域^[12]。在药理学中,药物效应与靶部位药物浓度的关系可以用剂量效应关系(dose-effect)方程来描述。在相对较低的药物剂量时,药物效应也较低,随着剂量增加,效应也随之增加,当效应增加到最大程度后即使再增加剂量或浓度,药物效应不再继续增强。药理学中采用半数有效量 ED50 来量化药物反应。半数有效量(50% effective dose, ED50)指的是能引起 50%最大效应的剂量。在延迟折扣中,ED50 指个体主观价值等于延时奖赏发生 50%折扣时的延迟时间,用有效延迟时间取代有效剂量,可以更好地避免天花板效应和地板效应的影响。根据此

处 ED50 的定义,取 $A/2=V$,代入方程得: $A/2=A/(1+kED50)$,由此推出: $ED50=1/k$ 。例如,当 $k_a=0.00034, k_b=0.00091, k_c=0.0025$,代入公式 $ED50=1/k$,通过计算及换算单位得 ED50 分别为: $ED50_a=8.1$ 年, $ED50_b=3.0$ 年, $ED50_c=1.1$ 年^[13]。同样的延时奖赏,对 a 来说 8.1 年后其主观价值会发生 50%折扣,而对 b 、 c 来说只需 3 年、1.1 年。ED50 高说明延时奖赏的主观价值会在较长时间后打折 50%,即个体的折扣率低,个体更倾向于选择延时奖赏而非即时奖赏。

与延迟折扣率 k 相比,ED50 具有以下优势:①简明易懂,有利于研究结果的实践运用。②有利于研究数据的比较。计算 k 值时,时间单位不同(年、月、日), k 值也不同。而研究者在报告 k 值时很少报告计算延迟时间时采用的单位,因此无法进行研究之间的 k 值比较。ED50 有明确的时间单位,可以进行研究间的比较,进一步扩大延迟折扣结果的可推广性。但是 ED50 是通过 k 计算而来,因此 ED50 的局限性与 k 值相同,如非正态分布、计算繁琐、原始数据利用不足等。

4 研究展望

在延迟折扣任务的呈现方式方面,现有研究不存在争议。研究者根据各自的研究目的选择相应的方式,得出了一些有价值的研究结果。目前延迟折扣研究范式争论的焦点有三个:一是何种数学模型能够更好地预测个体的延迟折扣行为;二是何种测量指标更具有普适性;三是能否使用简便易行的方法。未来的研究应注重在以下三个方面进行探讨。

第一,注重两种双参数模型的比较。在四种模型中,指数模型(方程 1)是古典经济学模型,在心理学研究领域已较少使用。幂函数模型(方程 4)是近几年提出的模型,在研究中使用也较少。目前研究者使用最多的是双曲线消退模型(方程 2)。已有的研究表明双参数模型的适用范围好于单参数模型,这提示研究者应该慎用单参数模型,最好以双参数模型取而代之。但是现有研究没有区分出两个双参数模型的优劣,可能会使研究者难以在二者中做出选择。将来的研究应该集中于两个双参数模型的比较,明确其适用范围和具体用法,以便研究者根据需要做出适当的选择。

第二,开展测量指标的适用范围研究。在延迟折扣的测量指标中,已有研究大多使用延迟折扣率(k)和曲线下的面积(AUC),使用半数有效量(ED50)的研究较少。三种测量指标各有利弊,其适用范围不同。对不同测量指标的适用范围进行研究且比较指标间的优势与不足也将成为未来研究的重点。

第三,探索更加简便的测量方法。为了避免数学模型和测量指标的困惑和争论,研究者可能采用更简易的测量方法。Reimers 等在研究年龄、收入和受教育水平对延迟折扣行为的影响时就采用了一次性延迟折扣测量法,要求个体在 3 天后获得 45 英镑还是三个月后获得 70 英镑之间做出选择。他们用这种方法收集了 42,863 个研究对象的数据^[14]。其最大的优点是有助于研究者采用团体施测方式在短时间内获得大量数据并且处理数据。但是采用一次性延迟折扣测量法可能无法揭示延迟折扣的本质特点,因为它只采用了天和月两

个时间单位,而没有像其他的测量指标一样采用不同的时间单位(秒、分、小时、日、月、年)来描述不同时间段的延迟折扣。因此,这种方法的适用性还有待进一步检验。

参 考 文 献

- 何嘉梅,黄希庭. 时间贴现的性质与脑机制. 心理科学进展, 2009, 17(1): 98-105
- Smith CL, Hantula DA. Methodological considerations in the study of delay discounting in intertemporal choice: A comparison of tasks and modes. Behavior Research Methods, 2008, 40 (4): 940-953
- Mckerchar LT, Green L, Myerson J, Pickforda TS, et al. A comparison of four models of delay discounting in humans. Behavioural Processes, 2009, 81(2): 256-259
- 何嘉梅,黄希庭,尹可丽,罗扬眉. 时间贴现的分段性. 心理学报, 2010, 42(4): 474-484
- Mark RD, Marley J, Jacobs AE. Delay discounting by pathological gamblers. Journal of Applied Analysis, 2003, 36: 449-45
- Kirby KN, Petry NM, Bickel WK. Heroin addicts have higher discount rates for delayed rewards than non-drug-using controls. Journal of Experimental Psychology: General, 1999, 128(1): 78-87
- Green L, Myerson J. A discounting framework for choice with delayed and probabilistic rewards. Psychological Bulletin, 2004, 130: 769-792
- Odum AL, Baumann AA, Rimington DD. Discounting of delayed hypothetical money and food: Effects of amount. Behavioural Processes, 2006, 73(3): 278-284
- Myerson J, Green L, Warusawitharana M. Area under the curve as a measure of discounting. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 2001, 76: 235-243
- Myerson J, Green L, Hanson JS, Holt DD, Estle SJ. Discounting delayed and probabilistic rewards: Processes and traits. Journal of Economic Psychology, 2003, 24: 619-636
- Rachlin H. Notes on discounting. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 2006, 85: 425-435
- Yoon JH, Higgins ST. Turning k on its head: Comments on use of an ED50 in delay discounting research. Drug Alcohol Dependence, 2008, 95: 169-172
- Yoon JH, Higgins ST, Heil SH, Sugarbaker RJ, Thomas CS, et al. Delay discounting predicts postpartum relapse to cigarette smoking among pregnant women. Experimental and Clinical Psychopharmacology, 2007, 15(2): 176-186
- Reimers S, Elizabeth A, Maylor B, Stewart N, Chater N. Associations between a one-shot delay discounting measure and age, income, education and real-world impulsive behavior. Personality and Individual Differences, 2009, 47: 973-978
- (收稿日期: 2011-03-14)
- (上接第 597 页)
- Lieb K, Zanarini MC, Schmahl C, Linehan MM, et al. Borderline personality disorder. Lancet, 2004, 364: 453-461
- American Psychiatric Association Practice Guidelines. Practice guideline for the treatment of patients with borderline personality disorder. American Journal of Psychiatry, 2001, 158(10): 1-52
- Skodol AE, Gunderson JG, Pfohl B, et al. The borderline diagnosis I: Psychopathology, comorbidity, and personality structure. Biological Psychiatry, 2002, 51(12): 936-950
- 余明,付树旺,王世彤,等. 边缘性人格障碍 15 例的临床资料分析. 四川精神卫生, 2002, 15(3): 171
- Zhong J, Leung F. Should borderline personality disorder be included in the fourth edition of the Chinese classification of mental disorders? Chinese Medical Journal, 2007, 120(1): 77-82
- Clarkin JF, Hull JW, Hurt SW. Factor structure of borderline personality disorder criteria. Journal of Personality Disorders, 1993, 7: 137-143
- Fossati A, Maffei C, Bagnato M, et al. Latent structure analysis of DSM-IV borderline personality disorder criteria. Comprehensive Psychiatry, 1999, 40: 72-79
- Sanislow CA, Grilo CM, Morey LC, et al. Confirmatory factor analysis of DSM-IV criteria for borderline personality disorder: Finding from the collaborative longitudinal personality disorder study. American Journal of Psychiatry, 2002, 159(2): 284-290
- Zanarini MC, Vujanovic AA, Parachini EA, Boulanger JL, et al. A screening measure for BPD: The McLean screening instrument for borderline personality disorder (MSI-BPD). Journal of Personality Disorders, 2003, 17(6): 568-573
- 王雨吟,梁耀坚,钟杰. 米氏边缘性人格障碍检测表在中国大学生人群中的修订. 中国临床心理学杂志, 2008, 16(3): 258-260
- Leung F, Cheung F, Cheung SF. CPAI-2 profiles of Chinese female psychiatric patients displaying a significant level of borderline personality disorder feature. Beijing: The 28th International Congress of Psychology, 2004
- 张明圆主编. 精神科评定量表手册. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1993
- Sanislow CA, Grilo CM, McGlashan TH. Factor analysis of the DSM-III-R borderline personality disorder criteria in psychiatric inpatients. American Journal of Psychiatry, 2000, 157(10): 1629-1633
- Zanarini MC, Gunderson JG, Frankenburg FR. Axis I phenomenology of borderline personality disorder. Comprehensive Psychiatry, 1989, 30: 149-156
- Leung SW, Leung F. Construct validity and prevalence rate of borderline personality disorder among Chinese adolescents. Journal of Personality Disorders, 2009, 23(5): 494-513
- Arbuckle JL, Wothke W. Amos 4.0 user's guide. Chicago: Smallwaters, 1999
- (收稿日期: 2011-03-01)