

川金丝猴会根据预期效用决定采取赌博策略吗？

潘立^{1,2} 洪立同² 孙艳霞² 李忠秋^{1,2*}

¹ 南京大学生命科学学院动物行为与保护实验室 南京 210023;

² 南京大学-南京红山森林动物园动物行为与认知联合实验室, 南京红山森林动物园 南京 210028

摘要: 本研究旨在探究川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 在面对风险和不确定性时的决策机制。通过设计赌博任务, 考察了 3 只雄性青少年川金丝猴个体在不同预期收益条件下的选择行为。本研究让川金丝猴在以 1/3 概率提供大额奖励的“赌博”选项和稳定提供小额奖励的“非赌博”选项之间做出选择, 通过调整赌博选项的预期收益并统计被试个体的选择倾向, 判断被试个体能否正确认识预期收益。结果显示, 当赌博选项的预期收益较小时, 被试均不选择赌博选项; 当赌博选项的预期收益较大时, 被试均将选择赌博选项。当赌博选项和非赌博选项的预期收益相等时, 被试个体表现出不同的偏好, 这表明即使在预期收益相同的情况下, 个体间的风险偏好也存在差异。本研究结果支持预期效用假说, 即川金丝猴很可能会根据预期效用做出最优选择, 但并不支持损失厌恶假说。这一发现有助于我们更深入地理解非人类灵长类动物的决策行为, 并为川金丝猴的保护策略提供科学依据。

关键词: 决策行为; 风险认知; 预期效用假说; 川金丝猴; 偏侧现象; 行为策略

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2026) 03-325-11

Do Golden Snub-nosed Monkeys adopt gambling strategies based on expected utility?

PAN Li^{1,2} HONG Li-Tong² SUN Yan-Xia² LI Zhong-Qiu^{1,2*}

¹ Lab of Animal Behavior & Conservation, School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023;

² Lab of Animal Behavior & Cognition, Nanjing Hongshan Forest Zoo, Nanjing 210028, China

Abstract: [Objectives] This study delved into the decision-making processes of Golden Snub-nosed Monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) when being confronted with risks and uncertainties. **[Methods]** We designed a gambling task to examine the choices of three male adolescent monkeys under varying conditions of expected rewards. The subjects were housed in the Asian Primate House of Nanjing Hongshan Forest Zoo. Among the Golden Snub-nosed Monkeys living in the house, three male adolescent monkeys were selected as the

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 32471564), 江苏省自然科学基金项目 (No. BK20211151);

* 通信作者, E-mail: lizq@nju.edu.cn;

第一作者介绍 潘立, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物行为学; E-mail: mg2030z01@smail.nju.edu.cn.

收稿日期: 2024-09-26, 修回日期: 2025-09-01 DOI: 10.13859/j.cjz.202624215 CSTR: 32109.14.cjz.202624215

experimental subjects, and a self-designed trolley pick-up box was used as the experimental setup, with the left and right positions of the pick-up box as the cues, and small pieces of dried red jujubes as the rewards. The whole experiment was filmed by the video of a portable law enforcement recorder, and it was carried out for a total of 69 experimental days. The experiment presented a “non-gambling” option offering a consistent small reward and a “gambling” option that occasionally delivered a large reward, thereby manipulating the expected value of the gambling option to assess the subjects’ understanding of expected rewards. We employed the Binomial test to assess whether the subjects’ preferences for gambling and non-gambling options were significant or not. IBM SPSS Statistics 25.0 was used for data analysis. **[Results]** Our findings revealed that the monkeys refrained from choosing the gambling option when its expected value was low and they opted for the gambling option when the expected value was high. Interestingly, when the expected values of both options were equal, the subjects displayed diverse preferences: two preferred the gambling option with occasional large rewards, and the other one preferred the option with stable payoffs, indicating individual variations in risk propensity even under equivalent expected outcomes. Table 2 and Fig. 3 show the choices made by the three subjects during the five phases and 69 experimental days throughout the experiment. **[Conclusion]** The results align with the expected utility hypothesis, suggesting that the monkeys make choices to maximize their expected utility, contradicting the loss aversion hypothesis. The findings enhance our comprehension of decision-making behaviors in non-human primates and offers scientific insights for the conservation and behavioral management of Golden Snub-nosed Monkeys.

Key words: Decision behavior; Risk recognition; Expected utility hypothesis; Golden Snub-nosed Monkey; Lateralization; Behavioral strategy

在自然界中，动物经常面临涉及风险或不确定性的决策，这些决策对其生存和繁衍至关重要。动物必须学会权衡其行为的风险和收益，即在面临稳定但低收益的选项和伴随着损失风险的高额收益选项时，如何做出决策才能更好地适应环境并生存。风险决策行为是动物行为生态学研究的核心议题之一，因为风险决策行为可以揭示动物对环境的适应策略（Kacelnik and Bateson 1996, Heilbronner et al. 2008）。

经济和心理学理论，如预期效用假说（expected utility hypothesis）和损失厌恶假说（loss aversion hypothesis），为理解人类和其他动物的风险决策行为提供了理论框架。预期效用假说认为，个体会根据不同决策结果的概率和价值来做出选择，以最大化其总体预期效用（Loewenstein et al. 2008）。而损失厌恶假说则强调个体对损失的厌恶通常大于对同等价值收益的喜好，导致其倾向于避免任何风险

（Sokol-Hessner and Rutledge 2019）。这些理论在解释人类经济行为方面取得了成功，并被应用于动物行为研究中，以探索非人灵长类物种的决策过程（Silberberg et al. 2008）。

人们已经开发了许多实验操作范式来研究动物的决策行为。例如，概率递送任务（probabilistic-delivery task）令动物在确定的小奖励与概率性大奖励间做选择，通过递减奖励概率观察其风险偏好（Adriani and Laviola 2006）；风险决策任务（risky decision-making task）通过设置安全小奖励与伴随电击风险的大奖励选项，评估动物对风险-收益的权衡决策（Simon et al. 2009）；啮齿动物赌博机任务（rodent slot machine task）通过模拟赌博机，发现“接近成功”的失败信号会增强受试动物的赌博动机（Winstanley et al. 2011, Cocker et al. 2014）。这些范式从不同角度揭示了动物决策的认知机制。

本研究聚焦于川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*)，其在野外的食物获取行为受到季节性变化和人类活动的双重影响 (李言阔等 2013, 赵海涛等 2015)。通过对圈养川金丝猴的风险决策行为进行研究，旨在了解其如何评估风险与收益，以及这些决策如何影响其觅食策略。此外，川金丝猴作为灵长类动物，其决策过程与人类存在一定的相似性，这为我们提供了一个理解人类决策行为进化起源的模型 (Vonder Haar 2020)。

为了探究川金丝猴的风险认知，本研究采用了赌博任务方法。在探索动物面临不同风险和回报的决策行为时，赌博任务可以有效地揭示动物对风险的认知和处理机制，在赌博任务中，动物需要在确定的小额奖励和不确定的大额奖励之间做出选择。通过系统地变化奖励的预期价值，可以量化动物对风险的决策倾向差异，并探索其背后的决策机制。

本研究利用了川金丝猴的方向偏好现象，该现象是指个体在行为上对某种特定的方向具有显著偏好。以取食盒的左右位置为线索，通过操作性条件反射训练，令川金丝猴将左右位置与包含了不同奖励的选择建立联系，从而比较不同情况下川金丝猴的选择偏好。

本研究将川金丝猴的行为与预期效用假说和损失厌恶假说进行比较，以评估这些理论是否能够解释非人灵长类动物的风险决策，这些结果将为理解川金丝猴的行为适应性提供新的见解。

1 材料与方法

1.1 实验对象

本研究的实验对象为南京市红山森林动物园亚洲灵长馆饲养的 3 只雄性青少年川金丝猴个体，突突 (TT)、青青 (QQ) 和忘仔 (WZ)，突突出生于 2022 年 4 月 2 日，青青出生于 2021 年 5 月 4 日，忘仔出生于 2022 年 4 月 17 日，实验开始于 2023 年 9 月，结束于 2024 年 1 月。这些金丝猴生活在同一个金丝猴家庭中，它们

可以在灵长馆的笼舍中自由活动。其笼舍依山而建，包括自然植被和游戏设施。川金丝猴根据动物园营养师制定的食谱进食，食物包括新鲜水果、蔬菜和特制的灵长类动物颗粒饲料。实验开始于 9:00 时，实验人员不会采取引诱、强迫的手段令川金丝猴前来，因此每只个体每日参加实验的次数不确定，表 2 详细列出了每只个体每日参加实验的次数。如果当前被试川金丝猴停留在实验装置前，实验人员会展开连续实验，每次实验间隔 1 min 左右。如果被试川金丝猴离去，实验人员会等待 3 只实验对象之一再次前来。实验区域是灵长馆笼舍一角，和川金丝猴的活动区域没有间隔。如果有 1 只以上川金丝猴来到实验区域，实验不会开始。为避免被试川金丝猴对陌生人员的警戒心理，实验人员固定为同一人。饲养员在 10:40 时开始喂食，每日实验在喂食前结束，以保证川金丝猴对实验提供的奖励具有强烈的兴趣和食欲。

1.2 实验装置和材料

实验装置由亚克力材质制成，包括一个长 12 cm、宽 10 cm、高 9 cm 的长方体取食盒，以及一个可拉出的抽屉板 (图 1)。抽屉板中心固定一个黑色瓶盖，用于放置奖励物——干红



图 1 实验装置

Fig. 1 Experimental setup

左图为从川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*) 视角见到的装置的初始状态，右图为拉开抽屉板后的状态，图中包含 2 个枣块。

The left figure shows the initial state of the setup as seen from the viewpoint of Golden Snub-nosed Monkeys, and the right figure shows the state after pulling out the drawer panel, which contains 2 jujube blocks.

枣块。为防止被试川金丝猴直接看到内容物，盒子表面粘贴了绿色硬卡纸，并覆盖了一层防水膜。亚克力材质的选择旨在确保装置的耐用性和被试动物的安全。

抽屉板的设计允许川金丝猴通过拉动前端的凸起部分来打开抽屉，从而获取奖励。凸起部分用黑色防水胶带缠绕，以增强视觉对比，使其更易于被金丝猴识别。每个取食盒的下方开口允许放置抽屉板，且设计了防滑措施以确保抽屉板在拉动过程中的稳定性。

奖励物使用红枣块。选取个头均匀的干红枣，除去枣核之后，平均分为 8 块，每一块作为一份奖励，质量为 (0.60 ± 0.15) g。选择红枣作为奖励物是因为它在川金丝猴的日常食谱

中，经与饲养员交流及前期观察发现川金丝猴对红枣喜好程度较高，且其易于分割和量化。

1.3 实验流程与方法

预实验阶段：此阶段旨在训练川金丝猴学会使用取食盒，并确定它们对左右位置的固有偏好。实验者向川金丝猴展示一个取食盒，每次拉出抽屉板，川金丝猴都会得到一份奖励。这一阶段不要求川金丝猴单独前来，允许它们通过观察其他金丝猴学习使用装置。

正式实验阶段：正式实验包括五个阶段，每个阶段赌博选项的预期收益都有所不同（图 2）。赌博选项的预期收益是出现奖励的概率与奖励数量的乘积。实验者通过调整赌博选项的预期收益，观察川金丝猴的选择行为。

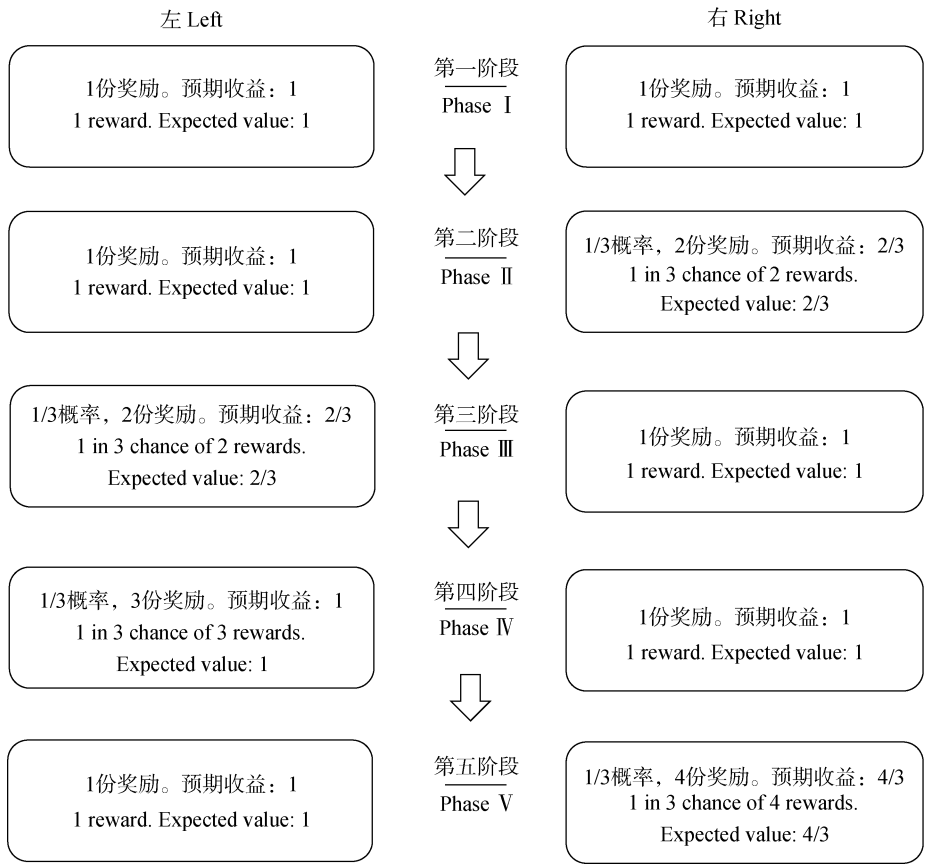


图 2 实验流程图

Fig. 2 Experimental flow chart

从第一到第五阶段，左右两侧分别对应不同的食物奖励。
From the first to the fifth phase, the left and right sides correspond to different food rewards.

第一阶段: 测试川金丝猴个体固有的方向偏好。实验者两只手各持一个取食盒, 其中各含 1 块枣块, 川金丝猴可以自主选择左边或右边的盒子, 拉动抽屉板并取食。实验者迅速移走未被选择的取食盒, 并向前倾斜以展示其中的 1 块枣块, 从而让被试个体认识到, 选择左边或右边只取决于自己的偏好, 结果没有差异。

第二阶段: 左侧取食盒为非赌博盒, 稳定提供 1 枚枣块; 右侧取食盒为赌博盒, 以伪随机的形式、1/3 的概率出现 2 枚枣块, 2/3 的概率没有枣块。实验的第二阶段至第五阶段都与第一阶段一致: 川金丝猴自主选择左边或右边的盒子, 拉开抽屉板, 此时实验者迅速移走另一个取食盒, 向川金丝猴展示其中的内容。

第三阶段: 交换左右两个取食盒的内容, 右侧为非赌博盒, 固定出现 1 枚枣块; 左侧为赌博盒, 以伪随机的形式、1/3 的概率出现 2 枚枣块。第二阶段和第三阶段, 赌博盒中的预期收益为 2/3, 即赌博选项的预期收益较小。

第四阶段: 右侧为非赌博盒, 其中固定出现 1 枚枣块; 左侧为赌博盒, 以伪随机的形式、1/3 的概率出现 3 枚枣块。此时, 在赌博盒中, 预期收益为 1, 即赌博选项和非赌博选项的预期收益相等。

第五阶段: 左侧为非赌博盒, 其中固定出现 1 枚枣块; 右侧为赌博盒, 以伪随机的形式、1/3 的概率出现 4 枚枣块。此时, 选择赌博盒的预期收益为 4/3, 比非赌博选项的预期收益更大。

在第二至第五阶段, 赌博选项以伪随机形式提供奖励: 3 次测试视为 1 组, 每一组测试中, 有且仅有 1 次测试会在赌博盒里提供奖励, 其余 2 次测试中赌博盒不提供奖励。实验者投掷一枚骰子, 如果点数是 1 或 2, 将这一组的赌博测试安排在第 1 次测试; 如果点数是 3 或 4, 将这一组的赌博测试安排在第 2 次测试; 如果点数是 5 或 6, 将这一组的赌博测试安排在第 3 次测试。假如每次测试前以真随机的形式决定本次赌博选项是否会出现奖励, 那么川金丝猴在赌博选项中可能连续多次获得奖励或没

有获得奖励, 从而对赌博选项的认知产生误判, 所以需要使用伪随机的形式决定赌博选项是否会出现奖励。在上述方法下, 赌博选项可能呈现为: “……无有有有有有有有有有……”, 而不会出现: “……无无无无无……” 或 “……有有有……”。

上述每阶段实验至少持续两周, 并回避阴雨天气及周末游客的干扰, 最终第一个阶段持续 12 d, 第二个阶段持续 14 d, 第三个阶段持续 15 d, 第四个阶段持续 14 d, 第五个阶段持续 14 d。

1.4 数据处理及分析

在完成所有实验阶段后, 对收集到的数据进行详细分析。包括计算每只川金丝猴的偏侧指数 (lateralization index, I_L) 以评估其固有的方向偏好 (Tomassetti et al. 2019, Wang et al. 2023), 并通过 I_L 随预期收益的变化趋势分析川金丝猴的风险偏好。偏侧指数 (I_L) 的计算公式为: $I_L = (R - L) / (R + L)$, 式中, R 为动物选择右侧的次数, L 代表选择左侧的次数。 I_L 的取值范围为 $[-1, 1]$, 当取值为 1 时, 表示川金丝猴有强烈的右侧偏好; 取值为 -1 时, 则表示有强烈的左侧偏好。使用二项式检验来评估每只川金丝猴的选择是否显著偏离随机选择 (即 $I_L = 0$), 以确定其是否具有显著的方向偏好。此外, 对每只川金丝猴选择赌博时其获胜概率进行统计, 以验证川金丝猴是否通过其他手段 (如气味信号) 获取了高于预期的收益。假设赌博选项的预期获胜率为 1/3, 并使用二项式检验来比较实际获胜率与预期获胜率是否有显著差异。如果川金丝猴的赌博获胜率与 1/3 的预期获胜率没有显著差异, 这表明川金丝猴的选择是基于实验条件而非通过气味信号等手段获得的信息。本研究使用 IBM SPSS Statistics 25.0 进行数据分析与处理。

2 结果

2.1 川金丝猴个体固有的方向偏好

在实验的第一阶段, 参与实验的 3 只川金

丝猴面对提供同等奖励的两个左右放置的取食盒，均表现出了明显的方向偏好（表 1），突突（TT）和青青（QQ）表现出对右侧的偏好，而忘仔（WZ）则偏好左侧。通过计算偏侧指数（ I_L ），这些偏好均具有统计学意义（ $P < 0.001$ ），表明这种偏好并非随机选择的结果。

2.2 奖励的预期价值对风险偏好的影响

在后续的实验阶段二到四中，3 只川金丝猴的选择行为随着赌博选项预期收益的调整而变化（表 2，图 3）。在第二阶段和第三阶段，当赌博选项的预期收益（2/3）低于非赌博选项（1）时，所有川金丝猴均倾向于选择非赌博选项。然而，在第四阶段，当赌博选项（3/3）和非赌博选项（1）的预期收益相等时，个体间出现了差异：突突和青青更倾向于选择赌博选项，

而忘仔则偏好稳定的非赌博选项。

在第五阶段，当赌博选项的预期收益（4/3）高于非赌博选项（1）时，3 只川金丝猴均一致地选择了赌博选项。这一结果表明，川金丝猴能够准确评估不同选项的预期收益，并根据这一评估做出选择。

2.3 赌博行为的统计分析

为了排除川金丝猴通过气味信号等手段提高赌博获胜概率的可能性，我们对赌博获胜的概率进行了统计分析（表 3）。结果显示，所有川金丝猴的赌博获胜率与预期的 1/3 概率没有显著差异（ $P > 0.05$ ），这表明不存在气味信号等因素干扰川金丝猴的选择。忘仔在第二阶段仅有 2 次选择了赌博选项，并且这 2 次都没有获得奖励，不具有统计意义。

表 1 第一阶段 3 只川金丝猴的偏侧指数

个体 Individual	测试总次数 Total tests	选左次数 Left	选右次数 Right	偏侧指数 Lateralization index, I_L	P
突突 TT	149	7	142	0.91	< 0.001
青青 QQ	42	0	42	1.00	< 0.001
忘仔 WZ	80	77	3	-0.93	< 0.001

表 2 3 只川金丝猴第一阶段至第五阶段的选择结果

实验阶段 Phase		选择结果 Result					
实验阶段 Phase	实验日 Experimental day	突突 TT		青青 QQ		忘仔 WZ	
		左 Left	右 Right	左 Left	右 Right	左 Left	右 Right
第一阶段——左：1 份奖励； 右：1 份奖励 Phase I ——Left: 1 reward; Right: 1 reward	1	1	11	0	3	9	0
	2	1	9	0	5	4	0
	3	0	5	0	7	8	0
	4	0	13	0	3	4	0
	5	0	19	0	1	14	3
	6	2	19	0	3	8	0
	7	1	19	0	1	6	0
	8	0	13	0	5	4	0
	9	0	14	0	4	2	0
	10	0	6	0	5	8	0
	11	0	4	0	2	10	0
	12	2	10	0	3	0	0

续表 2

实验阶段 Phase	实验日 Experimental day	选择结果 Result					
		突突 TT		青青 QQ		忘仔 WZ	
		左 Left	右 Right	左 Left	右 Right	左 Left	右 Right
第二阶段——左：1 份奖励； 右：1/3 概率 2 份奖励 Phase II——Left: 1 reward; Right: 1 in 3 chance of 2 rewards	13	8	8	0	3	0	0
	14	2	0	1	1	7	1
	15	0	8	1	3	7	1
	16	0	5	1	4	9	0
	17	5	9	0	3	4	0
	18	0	11	1	2	4	0
	19	7	10	0	1	2	0
	20	4	7	3	1	7	0
	21	8	7	4	0	9	0
	22	9	5	10	1	9	0
	23	8	0	11	0	11	0
	24	12	3	10	1	4	0
	25	9	0	7	2	6	0
	26	14	2	9	0	9	0
第三阶段——左：1/3 概率 2 份奖励；右：1 份奖励 Phase III——Left: 1 in 3 chance of 2 rewards; Right: 1 reward	27	17	2	14	1	14	0
	28	23	1	5	1	7	3
	29	7	0	23	1	15	2
	30	6	1	16	0	16	3
	31	2	0	10	7	9	9
	32	7	5	8	2	1	9
	33	5	12	12	4	0	9
	34	8	7	13	4	0	8
	35	6	7	6	7	1	9
	36	6	22	1	2	0	7
	37	1	21	2	10	2	7
	38	1	22	0	10	2	7
	39	0	15	1	6	5	4
	40	1	19	0	13	0	9
	41	4	20	0	14	0	1
第四阶段——左：1/3 概率 3 份奖励；右：1 份奖励 Phase IV——Left: 1 in 3 chance of 3 rewards; Right: 1 reward	42	4	10	8	11	1	1
	43	3	17	14	3	6	1
	44	7	5	18	0	7	2
	45	5	14	15	1	3	3
	46	2	4	14	0	8	5
	47	16	3	10	0	7	4
	48	18	1	17	0	1	5
	49	2	4	20	0	3	18
	50	11	3	5	0	3	12
	51	12	0	6	0	1	20
	52	17	1	10	0	1	12
	53	9	0	16	0	0	14
	54	15	1	8	0	0	12
	55	4	0	18	0	1	19

续表 2

实验阶段 Phase	实验日 Experimental day	选择结果 Result					
		突突 TT		青青 QQ		忘仔 WZ	
		左 Left	右 Right	左 Left	右 Right	左 Left	右 Right
第五阶段——左：1 份奖励； 右：1/3 概率 4 份奖励 Phase V——Left: 1 reward; Right: 1 in 3 chance of 4 rewards	56	23	6	1	0	1	12
	57	9	4	9	0	1	18
	58	3	5	16	5	3	4
	59	2	5	5	3	1	18
	60	3	9	4	7	1	17
	61	0	8	2	5	2	19
	62	0	8	2	19	0	6
	63	0	5	0	10	2	21
	64	0	7	0	16	1	13
	65	0	11	1	12	1	12
	66	0	18	0	18	0	10
	67	0	9	0	11	0	16
	68	0	9	0	19	0	14
	69	0	15	0	9	0	12

3 讨论

3.1 川金丝猴方向偏好

本研究通过赌博任务方法，深入探讨了青少年川金丝猴个体在面对不同预期收益时的风险决策行为。研究表明，川金丝猴对方向的偏好虽然稳定，但低于对食物的偏好，它们可能会为了获取食物奖励而调整其偏好方向。川金丝猴能够准确评估不同选项的预期收益，并根据这一评估做出选择。这一发现为理解非人灵长类动物的决策过程提供了新的见解。

3.2 川金丝猴对预期效用的认知

川金丝猴在实验中的行为与预期效用假说相一致，表明它们在决策时会权衡风险和收益，选择预期效用最大的选项。这与之前对人类和其他动物的研究结果相吻合，即动物在面对风险决策时会表现出对预期收益的敏感性(Marsh and Kacelnik 2002, Heilbronner et al. 2008)。本研究的结果不支持损失厌恶假说：在实验第五阶段，被试仍然会选择赌博选项，以 1/3 概率获取大额奖励，即使清楚地知道这一选择会损失非赌博选项提供的稳定奖励。这与一些人类经济学研究的发现不同，后者发现人类往往倾向于避免损失(Kahneman and Tversky 1988)。本研究结果表明，川金丝猴在面对潜在损失时，

仍然愿意承担风险以获得更高的收益，这可能与它们在野外生存环境中经常需要面对资源的不确定性有关(李言阔等 2013, 赵海涛等 2015)。

然而，川金丝猴在选择赌博策略时，有可能是受到赌博策略高额奖励的刺激，而非计算不同选项的预期效用后的理性选择。尽管在实验的第二、第三阶段，被试个体均选择了预期收益更高的非赌博选项，但是这也有可能是因为赌博选项的奖励数额不够高(在第二、第三阶段，赌博选项的奖励为 2)，换言之，本实验只考虑了不同选项奖励的相对差距，而忽视了奖励的绝对数额对被试动物决策的影响。所以，后续的研究可以从奖励的数额入手，提高非赌博选项的奖励数额，并缩小两种选项的奖励差距。

在预期收益相等时，川金丝猴表现出个体间的风险偏好差异。例如，突突和青青更倾向于选择赌博选项，而忘仔则偏好稳定的非赌博选项。这种差异可能与个体的年龄、性别以及在群体中的角色或社会地位有关(Eisenreich et al. 2019)，也可能受到个体的生理状态、社会互动等因素的影响(Weber and Chapman 2005, Fehr-Duda et al. 2010, Rosati and Hare 2012)。本研究中的 3 只个体均为雄性青少年个体，突突

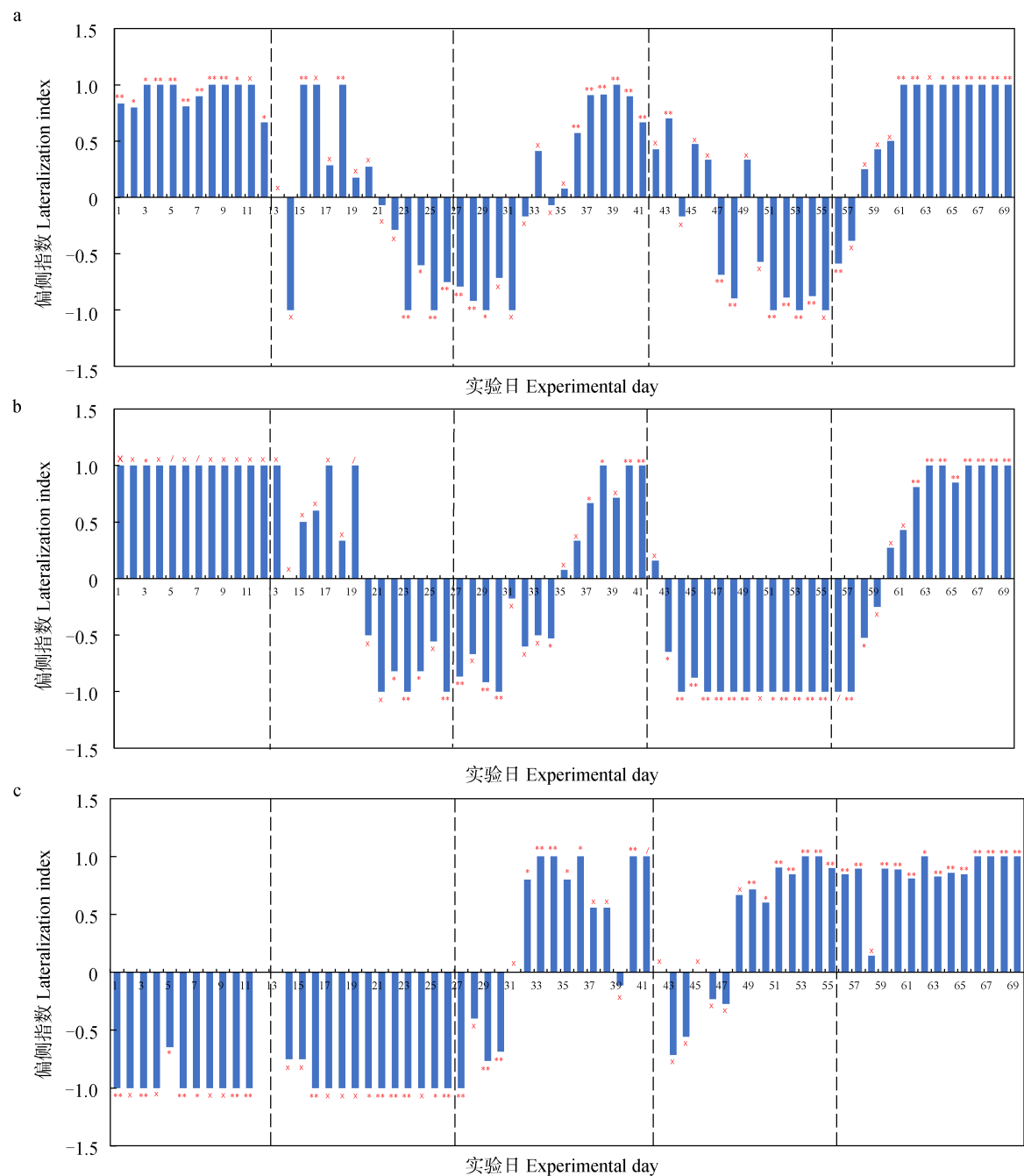


图 3 实验全过程突突 TT (a)、青青 QQ (b) 和忘仔 WZ (c) 的偏侧指数变化趋势

Fig. 3 Trends in lateralization index of TT (a), QQ (b), and WZ (c) throughout the experiment period

偏侧指数大于 0 时，被试个体倾向于选择右侧，偏侧指数小于 0 时，被试个体倾向于选择左侧。虚线划分了实验的 5 个阶段，每个阶段左、右侧选项的结果在图 2 实验流程图中详细列出。*。当天 $P < 0.05$ 统计学上差异显著；**。当天 $P < 0.01$ ；×。当天 $P \geq 0.05$ ；/。当天该个体测试次数为 1，无法进行二项式检验。第 12 和 13 个实验日，忘仔均未前来进行实验。

A lateralization index (I_L) greater than 0 indicates that the subject tends to choose the right side, and a I_L less than 0 indicates that the subject tends to choose the left side. The dashed line delineates the five phases of the experiment, and the choices of the left and right sides in each phase are detailed in the experimental flow chart (Fig. 2). *. $P < 0.05$; **. $P < 0.01$; ×. $P \geq 0.05$; /. Indicates that only one test was conducted on that day, making it impossible to perform a binomial test. WZ did not participate in the experiment on days 12 and 13.

表 3 3 只川金丝猴赌博获胜概率统计

Table 3 Gamble winning probabilities of three Golden Snub-nosed Monkeys (*Rhinopithecus roxellana*)

阶段 Phase	赌博次数 Gamble times	赌赢次数 Number of wins	成功率 Win rate	<i>P</i>
突突 TT				
II	75	25	0.33	0.541
III	94	36	0.38	0.179
IV	125	45	0.36	0.290
V	119	41	0.34	0.428
青青 QQ				
II	22	5	0.23	0.207
III	111	37	0.33	0.533
IV	179	58	0.32	0.434
V	134	49	0.37	0.237
忘仔 WZ				
II	2	0	0	0.111
III	72	18	0.25	0.083
IV	42	11	0.26	0.210
V	192	56	0.29	0.127

仅比忘仔早出生两周，且突突因为人工育幼，发育较慢，与群内其他个体的互动也更少，忘仔和青青的互动更加频繁，所以上述因素不足以解释忘仔风险偏好的特殊性。而对赌博获胜概率的分析提供了这样一种可能性：由于忘仔选择赌博选项后，实际获胜的概率低于预设的 1/3，导致忘仔感受到的赌博选项预期收益也比预设值低，从而选择非赌博选项。在后续的研究中，我们需要进一步增加实验的样本数和重复次数，评估并衡量川金丝猴的认知能力。

通过对赌博获胜概率的统计分析，我们排除了川金丝猴通过潜在的作弊手段获取更高收益的可能性。这表明，川金丝猴的选择是基于对奖励预期价值的理性评估，而非通过作弊获得的信息。这种理性的决策过程与一些理论模型的预测相符，如 Gigerenzerd 等（1999）提出的快速节俭启发式模型，该模型认为动物在面临复杂决策时会采用简化的决策规则。

本研究在川金丝猴中揭示了与人类相似的个体决策异质性，并且通过设计“赌博-非赌

博”选择范式，建立了适用于灵长类动物风险决策研究的方法框架，为跨物种比较和进化溯源提供了工具。当前发现的个体风险偏好差异需进一步解析其内在成因，未来可结合生理指标和社会行为观测，探究年龄、性别、社会地位等因素如何影响决策模式。此外，决策模型需在更接近自然的情境中接受检验，可对比野外种群与圈养个体在不同环境丰富度、食物分布模式下的选择策略，尤其关注风险偏好如何随季节性或人为干扰动态变化。此类研究能揭示决策行为的生态适应性，并为评估保护地管理措施提供依据。

本研究范式可拓展至濒危物种保护实践。例如，通过模拟生境中“高风险高回报”的资源分布（如间歇性食物补给点），预测动物对栖息地改造的行为响应，从而优化保护区的空间设计。此外，决策异质性研究可为个体化保护策略提供理论支持，如针对高风险偏好个体的迁地保护优先级。

致谢 研究中得到南京市红山森林动物园李梅荣、陈媛媛、傅俊凤、白亚丽以及南京大学动物行为与保护实验室张宜贵和王琳等人的帮助及有益讨论，在此一并致谢。

参 考 文 献

Adriani W, Laviola G. 2006. Delay aversion but preference for large and rare rewards in two choice tasks: implications for the measurement of self-control parameters. *BMC Neuroscience*, 7(1): 52.

Cocker P J, Le Foll B, Rogers R D, et al. 2014. A selective role for dopamine D₄ receptors in modulating reward expectancy in a rodent slot machine task. *Biological Psychiatry*, 75(10): 817–824.

Eisenreich B R, Hayden B Y, Zimmermann J. 2019. Macaques are risk-averse in a freely moving foraging task. *Scientific Reports*, 9: 15091.

Fehr-Duda H, Bruhin A, Epper T, et al. 2010. Rationality on the rise: Why relative risk aversion increases with stake size. *Journal of Risk and Uncertainty*, 40(2): 147–180.

- Gigerenzer G, Todd P M, the ABC ResearchGroup. 1999. Simple Heuristics That Make Us Smart. New York: Oxford University Press.
- Heilbronner S R, Rosati A G, Stevens J R, et al. 2008. A fruit in the hand or two in the bush? Divergent risk preferences in chimpanzees and bonobos. *Biology Letters*, 4(3): 246–249.
- Kacelnik A, Bateson M. 1996. Risky theories: the effects of variance on foraging decisions. *American Zoologist*, 36(4): 402–434.
- Kahneman D, Tversky A. 1988. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. New York: Cambridge University Press.
- Loewenstein G, Rick S, Cohen J D. 2008. Neuroeconomics. *Annual Review of Psychology*, 59: 647–672.
- Marsh B, Kacelnik A. 2002. Framing effects and risky decisions in starlings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(5): 3352–3355.
- Rosati A G, Hare B. 2012. Decision making across social contexts: competition increases preferences for risk in chimpanzees and bonobos. *Animal Behaviour*, 84(4): 869–879.
- Silberberg A, Roma P G, Huntsberry M E, et al. 2008. On loss aversion in capuchin monkeys. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 89(2): 145–155.
- Simon N W, Gilbert R J, Mayse J D, et al. 2009. Balancing risk and reward: a rat model of risky decision making. *Neuropsychopharmacology*, 34(10): 2208–2217.
- Sokol-Hessner P, Rutledge R B. 2019. The psychological and neural basis of loss aversion. *Current Directions in Psychological Science*, 28(1): 20–27.
- Tomassetti D, Caracciolo S, Manciocco A, et al. 2019. Personality and lateralization in common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Behavioural Processes*, 167: 103899.
- Vonder Haar C. 2020. Challenges and opportunities in animal models of gambling-like behavior. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 31: 42–47.
- Wang L, Luo Y C, Lin H W, et al. 2023. Performance on inhibitory tasks does not relate to handedness in several small groups of Callitrichids. *Animal Cognition*, 26(2): 415–423.
- Weber B J, Chapman G B. 2005. Playing for peanuts: Why is risk seeking more common for low-stakes gambles? *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 97(1): 31–46.
- Winstanley C A, Cocker P J, Rogers R D. 2011. Dopamine modulates reward expectancy during performance of a slot machine task in rats: evidence for a ‘near-miss’ effect. *Neuropsychopharmacology*, 36(5): 913–925.
- 李言阔, 蒋志刚, 缪涛. 2013. 青木川自然保护区川金丝猴食性的季节性变化. *兽类学报*, 33(3): 246–257. [Li Y K, Jiang Z G, Miao T. 2013. Diet and its seasonality of golden snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) in Qingmichuan Nature Reserve, Shaanxi Province, China. *Acta Theriologica Sinica*, 33(3): 246–257.]
- 赵海涛, 党高弟, 王程亮, 等. 2015. 秦岭南坡川金丝猴的食物组成及季节性变化. *兽类学报*, 35(2): 130–137. [Zhao H T, Dang G D, Wang C L, et al. 2015. Diet and seasonal changes in Sichuan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus roxellana*) in the southern Qinling mountains in China. *Acta Theriologica Sinica*, 35(2): 130–137.]