

# 成年与亚成体黑尾鸥的认知差异

## ——以拉绳测试为例

陈海英 刘广辉 马宇康 王乐天 于良巨\*

大连海洋大学 大连 116023

**摘要:** 拉绳测试是动物认知测试中应用较为广泛的一种方法, 目前关于不同年龄的鸟类在拉绳测试中是否存在显著的差异尚不清楚。本研究以黑尾鸥 (*Larus crassirostris*) 为研究对象, 于 2023 年 3 ~ 5 月和 2024 年 3 ~ 5 月在大连黑石礁海域进行实验测试, 把参与实验的黑尾鸥个体分为亚成体和成年两类, 对两类个体进行单绳、双绳倾斜、双绳交叉和长短双绳四种拉绳测试实验, 每种实验中亚成体和成年个体的实验次数分别为 10 次和 20 次, 目的是探究二者认知水平是否存在差异。在上述四种实验中, 成年黑尾鸥成功率依次为 85%、75%、70%和 50%, 而亚成体黑尾鸥成功率依次为 30%、10%、20%和 0%, 研究表明, 亚成体在所有实验组中成功率都低于成年个体。应用 Mann-Whitney *U* 方法检验各拉绳实验中成体与亚成体间成功率的差异性, *P* 值均小于 0.05, 反映亚成体和成年黑尾鸥的认知能力存在明显的差异, 不同年龄黑尾鸥的认知能力差异可能与大脑发育、经验及社会性学习有关。本研究以黑尾鸥拉绳测试为例部分证实了动物在不同年龄阶段的认知水平存在差异。

**关键词:** 拉绳测试; 亚成体; 成年黑尾鸥; 认知差异

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2025) 05-694-08

## Cognitive Differences Between Adult and Sub-Adult Black-Tailed Gulls: An Example of the String-Pulling Test

CHEN Hai-Ying LIU Guang-Hui MA Yu-Kang WANG Le-Tian YU Liang-Ju\*

Dalian Ocean University, Dalian 116023, China

**Abstract: [Objectives]** The study aims to test whether there is a significant difference in the cognitive level between adult and sub-adult Black-tailed Gull *Larus crassirostris*. **[Methods]** From March to May 2023 and March to May 2024, we conducted experimental tests on Black-tailed Gulls (Fig. 2a) in the Heishi Reef sea area (Fig. 1) of Dalian, Liaoning Province, China. The experimental equipment consisted of two transparent acrylic boxes for four experimental approaches (Fig. 3), and the performance of Black-tailed Gulls in these four experiments was captured and recorded by a camera (Fig. 4). A total of 120 tests were performed on

**基金项目** 辽宁省属本科高校基本科研业务费专项资金 (No. 2024JBQNZ033);

\* 通讯作者, E-mail: yuliangju@dlou.edu.cn;

**第一作者介绍** 陈海英, 女, 硕士研究生; 研究方向: 海洋鸟类行为学; E-mail: 1439802935@qq.com.

收稿日期: 2024-06-18, 修回日期: 2024-11-25 DOI: 10.13859/j.cjz.202524146 CSTR: 32109.14.cjz.24146

sub-adult and adult Black-tailed Gulls (Table 1), and all test options had two different possible outcomes (failure or success). The number of successes for both adult and sub-adult Black-tailed Gulls was counted and analyzed using SPSS 27.0 software, the Mann-Whitney  $U$  test was used to compare whether there was a significant difference between the two groups of Black-tailed Gulls in terms of cognitive ability. **[Results]** The results showed that the success rate of sub-adults was significantly lower than that of adult Black-tailed Gulls in all experiments ( $P < 0.05$ ) (Table 2), indicating that there were significant differences in cognitive ability between the two groups of individuals. **[Conclusion]** Our experimental results show that Black-tailed Gulls are able to solve problems by observing and pulling on a string and have cognitive abilities, but there are age differences in cognitive levels among animals at different age stages, which has important reference value for people to understand the degree of intelligence development in animals, especially birds.

**Key words:** Pull-string test; Sub-adults; Adult Black-tailed Gulls; Cognitive differences

拉绳测试是一种广泛应用于实验室环境或自然环境中的动物行为学研究方法，主要是对动物的认知能力进行研究 (Wang et al. 2021)。在拉绳测试中，食物往往都是放在动物看得见却不容易获得的地方，只有通过绳子的辅助才能获得。动物通常可以根据自身的行为习惯选择以恰当的方式来拉动绳子并获得食物奖励 (Jacobs et al. 2015)。研究人员可以通过观察动物拉动绳子的速度、动作和反应时间等指标，来评估它们的智力水平、注意力集中程度和运动协调能力等方面的能力 (Zhang et al. 2021)。此外，研究人员还可以通过拉绳测试来研究动物的个体差异和物种之间的差异，以及探究动物解决问题的方法和策略 (Seibt et al. 2006, 文超等 2024)。

从第一次记录金翅雀 (*Carduelis carduelis*) 拉动绳子以来 (Jacobs et al. 2015)，有很多动物学家根据拉绳测试对多种鸟类进行了研究，以鸻科动物和鸚鵡为主 (Audet et al. 2016)。同时，拉绳测试也被用于研究哺乳动物，例如狗 (*Canis familiaris*) (Riemer et al. 2014)、猕猴 (*Macacus rhesus*) (Kinnaman 1902) 和猫 (*Felis catus*) (Whitt et al. 2009) 等。拉绳测试主要分为水平测试 (Riemer et al. 2014, Hofmann et al. 2016) 和垂直测试 (Heinrich 1995, Heinrich et al. 2005, Wakonig et al. 2021)，这两种测试方法分别适用于不同的动物，一般根据实验对

象和目的来决定使用哪种方式。水平方向的拉绳测试只需受试鸟类用喙拉动绳子就能获得食物，例如鸥科 (*Laridae*) 鸟类，由于脚上有蹼无法使用爪子拉绳，只能使用喙来啄取食物，测试时用喙咬住绳子并将其拉出，即可成功获得食物。而垂直方向的拉绳测试更需要动物的协调性，这种方式需要受试者采用多次重复的“咬-拉-踩”步骤才能最终获得食物奖励，需要多次拉动绳子。只有部分动物可使用这种方式进行测试 (Werdenich et al. 2006, Audet et al. 2016)，例如戈芬凤头鸚鵡 (*Cacatua goffiniana*) (Wakonig et al. 2021) 和绿翅金刚鸚鵡 (*Ara chloroptera*) (Gaycken et al. 2019) 等。

经过文献检索发现，现有的拉绳测试研究主要用于评估动物对空间和因果关系的理解 (Wang et al. 2019)，例如，有研究在加拿大纽芬兰的四个繁殖地对环嘴鸥 (*Larus delawarensis*) 进行水平拉绳测试，首先进行 5 次尝试试验教会环嘴鸥将绳子与食物联系起来，随后进行 3 次正式测试。结果显示，四个繁殖地的环嘴鸥都成功地完成了拉绳测试，有 21% 的环嘴鸥能在它们第一次接触时解决问题 (Lamarre et al. 2021)。受此启发，2023 年和 2024 年春我们在大连黑石礁上对黑尾鸥 (*L. crassirostris*) 进行了一系列的拉绳测试实验和观测。在研究中，成年及亚成体黑尾鸥围绕在试验盒子四周，积极参与拉绳进食，采用照片抓拍和视频录制记

录黑尾鸥的进食行为。本研究主要通过四种不同难度的拉绳测试来比较亚成体和成年黑尾鸥的认知能力，从而回答成年和亚成体黑尾鸥是否存在认知程度差异这一科学问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域与实验材料

研究区域为辽宁省大连市黑石礁海区（图 1），地处辽东半岛最南端（ $120^{\circ}58' \sim 123^{\circ}31' E$ ， $38^{\circ}43' \sim 40^{\circ}10' N$ ），东濒黄海，西临渤海，南与山东半岛隔海相望。地处温带，常年水温变化范围为  $3 \sim 22^{\circ}C$ （赵文等 2005），该海域每年春季都聚集大量海鸥。

黑尾鸥是一种中等体型的候鸟，羽毛呈灰白色，属于既能飞行又能游泳的海洋鸟类，独特的脚蹼结构可以帮助其在水中游泳和在沙滩上行走，鸟喙坚硬、略呈钩状，通常采用吞咽的方式进食。颜色是区分其是否成年的标志，亚成体通体褐色，具灰色羽缘，尾羽黑褐色；成年个体喙前端呈黑红色，后部呈现黄色。脚黄色，夏羽头、颈和下体白色，背深灰色。尾上覆羽和尾白色，具宽阔的黑色亚端斑（图 2a）（赵正阶 2001，赵欣如等 2015）。

测试地点所在的礁石（图 1）在最高潮时顶部位置不会被海水淹没，从而能够吸引周围

黑尾鸥在此处休憩。礁石上方有足够的空间放置实验装置，并可同时放置安装在不锈钢支架上的太阳能监控摄像头，实验人员能通过攀爬到礁石上安全放诱饵进行实验。综合这些因素，此地点最为适合且安全。

本实验装置是由两个  $26\text{ cm} \times 16\text{ cm} \times 8\text{ cm}$  的透明亚克力盒子组成（图 2b），在盒子最小的一个侧面开设两个矩形的洞口（ $4\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ ），便于绳头可以从洞口伸出，将绑有诱饵的一端放入盒内，绳子的末端放在洞口外。试验采用便于携带保存的火腿肠作为食物。实验对象可以清楚地看到盒子中绳子的摆放和食物的位置，同时又避免了实验个体直接接触到食物。通过视频观察，参加测试的黑尾鸥看到透明亚克力盒子里的火腿肠，往往会主动围绕在盒子周围，一般首先尝试用喙啄盒子，被盒子阻隔多次无果后，如果用喙偶然拉动盒子一侧的绳子将火腿肠拖出盒子后，第二次时就能够直接拉动绳子成功获取食物，旁边围观的一些个体受其启发第一次就可以拉出食物，无需经过尝试。

### 1.2 实验方法

本研究所采用的绳子长度为  $20\text{ cm}$ ，直径为  $0.8\text{ cm}$ ，于 2023 年 3~5 月和 2024 年 3~5 月对黑尾鸥进行四种测试（图 3），并借助于全天



图 1 研究海域

Fig. 1 Research sea area



图 2 研究对象和实验设备

Fig. 2 Black-tailed Gulls *Larus crassirostris* and experimental equipment

a. 白色脖颈个体（左）为已具有稳定羽色的成年黑尾鸥，棕色脖颈个体（右）为羽色尚不稳定的亚成体；b. 实验设备周边环境，透明盒子为实验使用的亚克力盒子。

a. The individual with white neck (left) is adult Black-tailed Gull with stable plumage, with brown neck (right) is sub-adult Black-tailed Gull with unstable plumage; b. The surroundings of the experimental equipment, and the transparent box is the acrylic box used for the experiment.

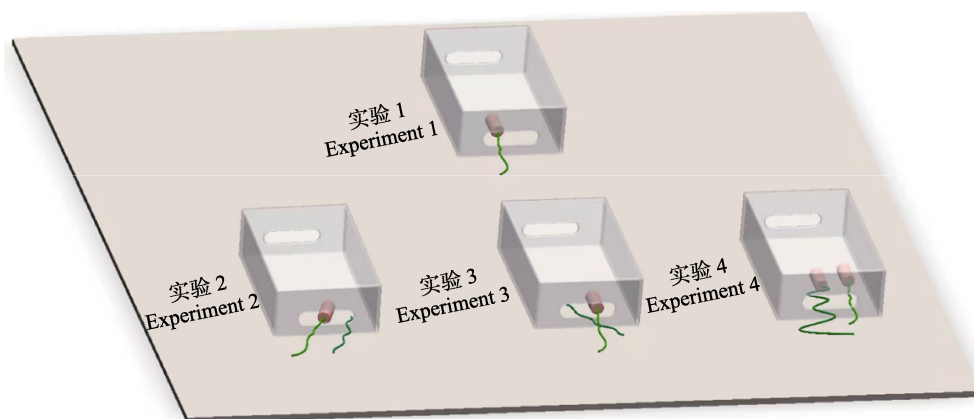


图 3 四种拉绳测试方法

Fig. 3 Four string-pulling tests

实验 1 为单绳测试，即有一根绑有食物的绳子；实验 2 和 3 为双绳测试，只有一根绳子绑有食物，绳子的排列方式不同，实验 2 为两根绳子的倾斜测试，实验 3 为两根绳交叉测试；实验 4 为两根绳子均绑有食物，其中一根绳子较长，松弛度大。

Experiment 1 is a single-string test, i.e., there is one string with food tied to it. Experiments 2 and 3 are two-string tests with different arrangements of the strings, only one string tied food. Experiment 2 is a tilt test with two strings and experiment 3 is a cross test with two strings. Experiment 4 is two strings tied food, with one of the strings being longer and greater amount of slack.

候拍摄的摄像头来记录测试结果，以进行后续的数据分析。

**实验 1——单绳实验：**将绳子的一端系上食物放入亚克力盒子中，并将没系食物的一端绳头从盒子的侧面洞口穿出 2~3 cm。当黑尾鸥拉出食物吃掉时，则表示此次实验结束。该实验目的是判断黑尾鸥能否看到有食物的盒子并成功拉出食物，是否能在无训练的前提下具

备自发拉动绳子获得食物的能力。

**实验 2——双绳倾斜实验：**将一条绑有食物的绳子一头放在靠近盒内的右侧，绳尾放在盒外，整根绳子的摆放与盒子呈右倾斜，另一条没有系上任何食物的绳子与这条绑有食物的绳子平行，这两条绳子的摆放与盒子都呈右倾斜。该实验目的是对黑尾鸥进行选择测试，在拉取绳子时是否依靠邻近原则。当其选择有饵

料的绳子并拉出食物吃掉时，则表示此次实验成功，否则表示失败。

实验 3——双绳交叉实验：同实验 2，将一端系上食物的一条绳子与另一条没有系上任何食物的绳子以交叉的方式放入亚克力盒子中。该实验目的是为了研究黑尾鸥是否具备对绳子与食物之间关系的理解，判断其能否准确快速区分拴有火腿肠的绳子。当黑尾鸥选择有饵料的绳子并拉出食物吃掉时，则表示此次实验成功，否则表示失败。

实验 4——长短绳实验：将两条直径均为 0.8 mm，但长度不同（分别为 20 cm 和 45 cm）的绳子一端系上食物并同时放入亚克力盒子中，长的绳子足够长，黑尾鸥需要拉几次才能将绑有诱饵的一端拉出盒子并获得食物；而短的绳子，只需拉动一次就能获得食物。把较长的绳子松弛度设置较高的原因是为了研究黑尾鸥是否对感知反馈有依赖。

### 1.3 数据分析

黑尾鸥参与上述 4 项实验测试均具有两种不同可能性的结果，失败或成功。分别统计亚成体和成年黑尾鸥成功和失败的次数，分析亚成体和成年个体在不同的拉绳测试实验中的完成情况。由于每项实验的样本数量有限（均小

于 30 次），且总体分布不符合正态分布，因此在 SPSS 27.0 中选用非参数检验的 Mann-Whitney *U* 检验来比较成体与亚成体在成功率上是否存在显著差异，显著性水平设置为  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

四种拉绳测试实验（单绳、双绳倾斜、双绳交叉和长短双绳）共进行 120 次，其中，亚成体和成年黑尾鸥在每种实验中的统计次数分别为 10 次和 20 次（表 1）。

统计两个时间段中摄像头所拍摄的视频和抓拍信息（图 4），在实验 1（单绳实验）中，成年黑尾鸥成功拉出绳子并取得食物的成功率为 85%，表明大部分成年个体能通过简单的拉绳测试；亚成体成功取得食物的成功率为 30%，表明仅部分亚成体个体能通过简单的拉绳测试。在实验 2（双绳倾斜实验）和实验 3（双绳交叉实验）中，成年个体拉出绳子并获得食物的成功率分别为 75% 和 70%，表明大部分成年个体能完成稍有难度的拉绳测试；亚成体取得食物的成功率分别为 10% 和 20%，表明大部分亚成体个体都难以通过稍有难度的拉绳测试。在实验 4（长短绳实验）中，成年黑尾鸥获得食物的成功率为 50%，而亚成体没有个体完成任务。

表 1 四种拉绳测试实验中亚成体和成年黑尾鸥进行的总次数和成功的次数

Table 1 Total number of times and successes times of sub-adults and adult Black-tailed Gulls *Larus crassirostris* in four tests

	实验 1 Experiment 1		实验 2 Experiment 2		实验 3 Experiment 3		实验 4 Experiment 4	
	总次数 Total number of times	成功次数 Number of successes	总次数 Total number of times	成功次数 Number of successes	总次数 Total number of times	成功次数 Number of successes	总次数 Total number of times	成功次数 Number of successes
亚成体 Sub-adults	10	3	10	1	10	2	10	0
成年黑尾鸥 Adult Black-tailed Gulls	20	17	20	15	20	14	20	10

实验 1 为单绳测试，即有一根绑有食物的绳子；实验 2 和 3 为双绳测试，只有一根绳子绑有食物，绳子的排列方式不同，实验 2 为两根绳子的倾斜测试，实验 3 为两根绳交叉测试；实验 4 为两根绳子均绑有食物，其中一根绳子较长，松弛度大。

Experiment 1 is a single-string test, i.e., there is one string with food tied to it. Experiments 2 and 3 are two-string tests with different arrangements of the strings, only one string tied food. Experiment 2 is a tilt test with two strings and experiment 3 is a cross test with two strings. Experiment 4 is two strings tied food, with one of the strings being longer and greater amount of slack.



图 4 成年和亚成体黑尾鸥通过拉绳测试时的瞬间

Fig. 4 The moment when adult and sub-adult *Larus crassirostris* pass the string-pulling test

利用 Mann-Whitney  $U$  检验分析四个实验中亚成体和成年黑尾鸥在拉绳试验中是否存在差异，在四次实验中，检验概率  $P$  值均小于 0.05，说明亚成体和成年个体在认知水平上存在明显的差异（表 2）。

### 3 讨论

本研究发现，不同年龄的黑尾鸥能通过拉动绳子来获取食物奖励，表明其拥有一定的认知水平。其他针对海鸥的研究也证实其具有较高的认知能力，如大西洋海鸥（*L. atlanticus*）能根据环境的变化来改变自身捕食行为，使用新的或修改的学习行为，表明它们的大脑认知水平达到一定程度（Castano et al. 2022）。银鸥（*L. argentatus*）用喙抓住海鞘（*Ciona intestinalis*）并摇晃使其肉体松开，随后转换角度继续摇晃，直到海鞘的肉体与外壳分离，不到 20 s 的时间就将海鞘从壳里抓出来，表明其大脑能够根据实际捕食情况调整自身认知行为（Holman et al. 2019）。

动物使用工具的能力与它们大脑的发育程

表 2 Mann-Whitney  $U$  检验结果Table 2 Results of Mann-Whitney  $U$  test

实验 Experiment	Mann-Whitney 检验统计量 $U$ 值 Mann-Whitney test statistic $U$ -value	Mann-Whitney 检验统计量 $Z$ 值 Mann-Whitney test statistic $Z$ -value	$P$
1	45.000	- 2.962	0.015
2	35.000	- 3.308	0.003
3	50.000	- 2.544	0.028
4	50.000	- 2.693	0.028

实验 1 为单绳测试，即有一根绑有食物的绳子；实验 2 和 3 为双绳测试，只有一根绳子绑有食物，绳子的排列方式不同，实验 2 为两根绳子的倾斜测试，实验 3 为两根绳交叉测试；实验 4 为两根绳子均绑有食物，其中一根绳子较长，松弛度大。

Experiment 1 is a single-string test, i.e., there is one string with food tied to it. Experiments 2 and 3 are two-string tests with different arrangements of the strings, only one string tied food. Experiment 2 is a tilt test with two strings and experiment 3 is a cross test with two strings. Experiment 4 is two strings tied food, with one of the strings being longer and greater amount of slack.

度具有一定的相关性（文超等 2022），特别是在灵长类动物（Reader et al. 2002）和鸟类（Olkowicz et al. 2016）中。在本研究的拉绳实

验中,黑尾鸥能够把绳子作为一种辅助工具,通过拉动绳子来获得食物奖励,证明其是一种具有一定认知能力的鸟类。然而,亚成体只是在单绳实验表现稍好,成功率为 30%,在双绳倾斜、双绳交叉和长短双绳实验中都不能或不能很好地完成任务。Mann-Whitney *U* 检验结果表明,亚成体和成年黑尾鸥在所有拉绳实验中的表现均存在着显著的差异,反映了亚成体个体相比于成年个体认知能力较低。有研究表明,动物的表现会受到学习、大脑发育和社会经验等的影响 (Ellison et al. 2015)。拉绳测试涉及到多个神经和大脑区域,比如,前脑 (Emery 2006)、基底神经节、丘脑、边缘系统和小脑等 (Iwaniuk et al. 2005),这些区域协同工作使动物能够完成测试并解决问题 (Taylor et al. 2012)。本研究中,成年黑尾鸥在所有实验中都拉出绳子获得食物,能成功完成测试任务。我们猜测和其各项身体指标都已发育成熟,大脑神经元与大脑皮层发育完善有关,大脑神经元能让动物具有先进的行为和认知的复杂性 (Olkowicz et al. 2016),同时,拥有较高的神经元数量可以让动物具有快速学习的能力以及更灵活地适应新情况 (Güntürkün et al. 2017)。

海鸥是一种具备学习能力且具较强适应性的社会性鸟类,成年海鸥从群体中快速学习的能力可以让它们获得更多的食物 (Bentley-Condit et al. 2010)。本研究无法避免受试者在进行测试时有其他个体在其周围停留,在一定程度上影响实验结果。通过视频监控,我们猜测成年黑尾鸥整体上的成功率高是因为其学习能力比亚成体高。

本研究也存在一些局限性,首先,这些实验对开放式海域的黑尾鸥进行测试,无法对个体进行标记,主要依靠人眼进行个体辨别,可能会存在一些误差。其次,测试地点在距离岸边大概 100 m 的海上,每天的退潮时间不一,导致测试时间不固定,研究人员只有在低潮时才能到达测试地点进行实验,限制了研究人员放置诱饵的次数。最后,这些实验为非人为控

制性实验,可能会导致实验对象数量不同的情况。通过视频对比发现,测试期间黑尾鸥的参与数量较多,达到数十只,实验结果总体上具有一定的代表性。我们希望在后续的研究中尽量克服这些困难,同时,设计更有针对性的实验来探讨黑尾鸥的认知能力。

**致谢** 感谢蔡宇博士对本文统计方法给予的支持和帮助,感谢两位审稿人以及编委会对本文提出的宝贵意见。

## 参 考 文 献

- Audet J N, Ducatez S, Lefebvre L. 2016. Bajan birds pull strings: two wild Antillean species enter the select club of string-pullers. *PLoS One*, 11(8): e0156112.
- Bentley-Condit V, Smith E O. 2010. Animal tool use: current definitions and an updated comprehensive catalog. *Behaviour*, 147(2): 185–221.
- Castano M V, Biondi L M, Favero M, et al. 2022. Innovative problem-solving in a threatened gull species, the Olog's Gull (*Larus atlanticus*). *Animal Cognition*, 25(3): 519–527.
- Ellison A M, Watson J, Demers E. 2015. Testing problem solving in Turkey vultures (*Cathartes aura*) using the string-pulling test. *Animal Cognition*, 18(1): 111–118.
- Emery N J. 2006. Cognitive ornithology: the evolution of avian intelligence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1465): 23–43.
- Gaycken J, Picken D J, Pike T W, et al. 2019. Mechanisms underlying string-pulling behaviour in green-winged macaws. *Behaviour*, 156(5/8): 619–631.
- Güntürkün O, Ströckens F, Scarf D, et al. 2017. Apes, feathered apes, and pigeons: differences and similarities. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 16: 35–40.
- Heinrich B. 1995. An experimental investigation of insight in common ravens (*Corvus corax*). *The Auk*, 112(4): 994–1003.
- Heinrich B, Bugnyar T. 2005. Testing problem solving in ravens: string-pulling to reach food. *Ethology*, 111(10): 962–976.
- Hofmann M M, Cheke L G, Clayton N S. 2016. Western scrub-jays (*Aphelocoma californica*) solve multiple-string problems by the spatial relation of string and reward. *Animal Cognition*, 19(6):

- 1103–1114.
- Holman L E, Rius M, Blackburn T M. 2019. Observations of a novel predatory gull behavior on an invasive ascidian: a new consequence of coastal urban sprawl? *Ecosphere*, 10(3): e02636.
- Iwaniuk A N, Hurd P L. 2005. The evolution of cerebrotypes in birds. *Brain, Behavior and Evolution*, 65(4): 215–230.
- Jacobs I F, Osvath M. 2015. The string-pulling paradigm in comparative psychology. *Journal of Comparative Psychology*, 129(2): 89–120.
- Kinnaman A J. 1902. Mental life of two *Macacus rhesus* monkeys in captivity. *The American Journal of Psychology*, 13(1): 98–148.
- Lamarre J, Wilson D R. 2021. Waterbird solves the string-pull test. *Royal Society Open Science*, 8(12): 211343.
- Olkowicz S, Kocourek M, Lučan R K, et al. 2016. Birds have primate-like numbers of neurons in the forebrain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(26): 7255–7260.
- Reader S M, Laland K N. 2002. Social intelligence, innovation, and enhanced brain size in Primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(7): 4436–4441.
- Riemer S, Müller C, Range F, et al. 2014. Dogs (*Canis familiaris*) can learn to attend to connectivity in string pulling tasks. *Journal of Comparative Psychology*, 128(1): 31–39.
- Seibt U, Wickler W. 2006. Individuality in problem solving: string pulling in two *Carduelis* species (Aves: Passeriformes). *Ethology*, 112(5): 493–502.
- Taylor A H, Knaebe B, Gray R D. 2012. An end to insight? New Caledonian crows can spontaneously solve problems without planning their actions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1749): 4977–4981.
- Wakonig B, Auersperg A M I, O'Hara M. 2021. String-pulling in the Goffin's cockatoo (*Cacatua goffiniana*). *Learning & Behavior*, 49(1): 124–136.
- Wang L, Luo Y C, Wang X, et al. 2019. Azure-winged magpies solve string-pulling tasks by partial understanding of the physical cognition. *Current Zoology*, 65(4): 385–392.
- Wang L, Zhang D J, Sui J L. 2021. Investigation of cognitive mechanisms and strategy on solving multiple string-pulling problems in Azure-winged magpie (*Cyanopica cyanus*). *Animal Cognition*, 24(1): 1–10.
- Werdenich D, Huber L. 2006. A case of quick problem solving in birds: string pulling in keas, *Nestor notabilis*. *Animal Behaviour*, 71(4): 855–863.
- Whitt E, Douglas M, Osthaus B, et al. 2009. Domestic cats (*Felis catus*) do not show causal understanding in a string-pulling task. *Animal Cognition*, 12(5): 739–743.
- Zhang Y G, Yu C, Chen L X, et al. 2021. Performance of Azure-winged magpies in Aesop's fable paradigm. *Scientific Reports*, 11(1): 804.
- 文超, 杜澄举, 申黎明, 等. 2022. 动物使用工具行为研究进展. *动物学杂志*, 57(3): 462–477.
- 文超, 王偲, 温俊宝. 2024. 动物拉绳测试研究进展. *生态学杂志*, 43(5): 1463–1470.
- 赵文, 殷旭旺, 李柏弢, 等. 2005. 大连黑石礁海区浮游动物的群落结构及时空格局. *大连水产学院学报*, 20(4): 270–277.
- 赵欣如, 卓小利, 蔡益. 2015. 中国鸟类图鉴. 太原: 山西科学技术出版社, 268–269.
- 赵正阶. 2001. 中国鸟类志 (上卷) 非雀形目. 长春: 吉林科学技术出版社, 547–548.