



基于红外相机影像的 中华穿山甲体长估计和个体识别

张奕航^{1,2#}, 孙松^{1#}, 窦红亮¹, 杨锦圳¹, 王镜欣¹, 佟富春^{2*}, 华彦^{1*}

(1. 广东省林业科学研究院, 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广州, 510520;
2. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广州, 510642)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-05-17

修回日期: 2024-07-08



关键词: 红外相机;

中华穿山甲;

体长;

个体识别;

种群监测

Keywords: Infrared camera;

Chinese pangolin (*Manis pentadactyla*);

Body length;

Individual identification;

Population monitoring

中图分类号: Q954.3

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-02-0413-06

DOI: 10.12375/ysdwxb.20250219

摘要

中华穿山甲(*Manis pentadactyla*)夜行穴居,体表覆盖鳞片,个体外观特征差异较小,基于红外相机影像拍摄到的体貌特征进行个体识别较难,因此探讨一种基于红外相机影像与比例尺估测体长进行中华穿山甲个体识别的方法。在笼舍内布设不同高度的红外相机并拍摄中华穿山甲影像,利用 ImageJ 软件计算中华穿山甲在红外相机影像中的体长测量值,并计算在不同高度条件下红外相机拍摄的中华穿山甲体长误差值。结果表明:红外相机最佳的布设高度为 0.8 m,相对误差为 2.76%。基于上述结果,在广东省和平林区对 31 个中华穿山甲洞穴布设红外相机,利用体长相对误差值对野外监测个体进行个体识别并统计种群数量,结果表明:2021、2022、2023 年分别监测到 9、6、6 只中华穿山甲个体,体长为 23.46~96.37 cm,说明利用红外相机影像中的体长测量值对中华穿山甲进行个体识别的方法具有可行性。本研究以红外相机技术为基础,结合比例尺原理对中华穿山甲种群进行个体识别,验证了该方法的可行性和准确性,可用于中华穿山甲种群数量估计与种群动态评估。

Estimation of Body Length and Individual Identification of Chinese Pangolin Based on Infrared Camera Images

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2023KJCX023); 广东省科技计划项目(2024B1212050008)

第一作者简介: 张奕航(1998—),男,硕士研究生;主要从事野生动物保护研究。E-mail:zyh13137063506@163.com

*共同第一作者: 张奕航; 孙松

*通信作者: 佟富春, E-mail: fuchuntong@scau.edu.cn; 华彦, E-mail: wildlife530@163.com

ZHANG Yihang^{1,2#}, SUN Song^{1#}, DOU Hongliang¹,
YANG Jinzhen¹, WANG Jingxin¹, TONG Fuchun^{2*}, HUA Yan^{1*}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Forest Cultivation, Protection and Utilization,
Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, 510520, China;
2. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University,
Guangzhou, 510642, China)

Abstract: Chinese pangolin (*Manis pentadactyla*) is a nocturnal burrowing species with scaled surface and small differences in individual appearance characteristics. It's difficult to identify individuals based on the physical features captured by infrared camera images. This study explores a method for individual identification of Chinese pangolins based on infrared camera images and scale estimation of body length. Install infrared cameras at different heights in artificial cages and capture images of Chinese pangolins. Use ImageJ software to calculate the body length of Chinese pangolins in infrared camera images, and calculate the error value of infrared cameras capturing the body length of Chinese pangolins under different height conditions. The results show that the optimal deployment height for infrared camera is 0.8 m, with a relative error of 2.76%. Based on the above results, infrared cameras were deployed in 31 Chinese pangolin burrows in Heping Forests, Guangdong Province. The maximum error value of body length was used to identify individuals in the field and count the population. The results showed that nine, six, and six Chinese pangolin individuals were monitored in 2021, 2022, and 2023 separately, with a body length range of 23.46 to 96.37 cm, which indicating that the feasibility of using body length measurements from infrared camera images for individual identification of Chinese pangolins. This study is based on infrared camera technology and combined with the principle of scale to identify individuals in the Chinese pangolin population, verifying the feasibility and accuracy of this method. It can be used to estimate population number and population dynamics of the Chinese pangolin.

中华穿山甲 (*Manis pentadactyla*) 属于鳞甲目 (Pholidota) 鲮鲤科 (Manidae)。由于人为干扰与栖息地丧失,野生中华穿山甲种群数量在近几十年内急速下降^[1],但目前缺乏个体识别方法,无法对野外种群状况进行科学评估。

中华穿山甲种群调查常用的监测手段有样线法^[2]、洞穴计数法^[1]和自动红外相机法^[3]等。由于中华穿山甲是典型的穴居动物,大部分时间蜷居于洞内,样线法调查难以直接观测到活体^[4],因此,中华穿山甲洞穴成为研究其种群动态的重要介质。洞穴计数法是调查中华穿山甲种群数量的主要方法,但中华穿山甲个体间存在交互利用洞穴的行为,且个体间利用洞穴的数量可能存在较大差异^[5],新、旧洞穴同时纳入计数、调查人员的主观判断等因素都可能造成统计误差。因此,利用洞穴计数法进行种群数量估算的准确性仍不确定。

红外相机技术具有非损伤式取样、无接触式长

期监测和不受调查人员主观因素干扰等优势^[6-7],已被广泛应用于野生动物种群监测、多样性调查、种群密度评估和个体识别等科研及保护工作中^[8-10]。利用“自动红外相机法”将红外相机布设于中华穿山甲洞穴附近可稳定获取中华穿山甲的影像资料,但受限于红外相机夜间成像分辨率差、图像边角位置畸变大等技术缺陷,加之中华穿山甲体型较小、体外鳞片色调单一,没有可作为个体识别的斑纹,所以难以通过图像中的外貌特征、鳞片排列等体表特征进行个体识别^[11]。中华穿山甲自出生起1年内达到体成熟后体况趋于稳定^[12],成年个体的体长为59.6~89.0 cm^[13],相较于甲片等外观差异较小的特征,不同个体之间体长差异明显,可作为个体识别的特征。

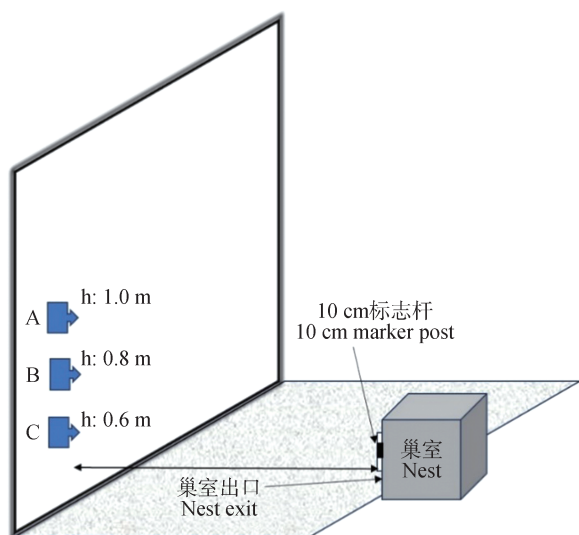
本研究利用红外相机获得圈养中华穿山甲的个体影像,结合比例尺原理计算中华穿山甲体长,计算实际测量值与图像计算值的相对误差,并在野外环境下校验该方法的可行性,以期中华穿山甲野外

种群调查与监测提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 圈养中华穿山甲红外相机架设与影像获取

为探究红外相机布设位置对成像、误差计算的影响,在圈养笼舍内模拟野外环境条件布设红外相机进行拍摄。根据张玉林等^[14]的研究结果,在野外条件下,当红外相机正对洞穴出口,且洞穴与红外相机水平距离为 1.5 m 时,中华穿山甲的监测拍摄成功率最高。因此在本研究的红外相机拍摄过程中,保持红外相机镜头正对巢室出口,两者水平间距为 1.5 m。为探究相机架设高度对体长测量的影响,在正对巢室出口离地高度 1.0、0.8、0.6 m 处布设红外相机,计算相机布设高度对体长测量的影响,确定最优相机架设高度。对布设的红外相机进行编号,编号与位置示意图如图 1 所示。



A、B 和 C 为红外相机编号;h 为巢室出口到红外相机的高度。

A, B, and C are infrared camera numbers; h is the height of the nest entrance to the infrared camera.

图 1 红外相机架设示意图(张奕航 绘制)

Figure 1 Infrared camera setup diagram(Drawn by ZHANG Yihang)

在巢室出口处固定带有 10 cm 刻度的标杆(PVC 管),调整布设的红外相机镜头朝向,保持巢室出口在画面中央,红外相机设置为全天工作,拍摄模式为“触发灵敏度高”“闪光强度中”“1 080 P 视频+连拍 3 张”。

1.2 体长相对误差计算

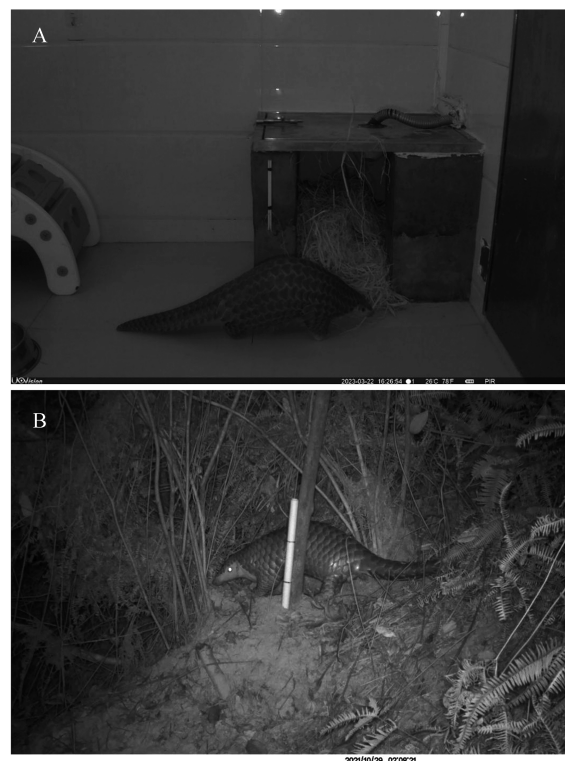
利用皮尺测量圈养中华穿山甲的体长作为实测

值(表 1)。笼舍内红外相机拍摄到的影像是满足标尺清晰可见、体态舒展且位于画面中心认定为合格的影像数据(图 2)。

表 1 圈养中华穿山甲体长测量值

Table 1 Body length of Chinese pangolin in captivity cm

编号 Number	体长 Body length
1	63.80
2	71.00
3	78.50
4	80.50
5	85.00
6	91.00



A. 笼舍内; B. 野外环境。

A. Inside cage; B. Wild environment.

图 2 合格的图像示例

Figure 2 Example of qualified images

利用 ImageJ 软件处理图像,使用“straight line”工具(“直线”工具)测量出标杆上 10 cm 的图上长度并设置比例尺;使用“segmented line”工具(“分段线”工具)沿中华穿山甲背部轮廓绘出体长曲线,计算得出体长测量值。根据测量值与实测值计算相对误差。

相对误差(δ)计算公式为

$$\delta = \frac{|a - b|}{a} \times 100\%。 \quad (1)$$

式中: a 为实测值, b 为测量值。

1.3 基于体长对野外种群数量的估计

1.3.1 野外红外相机架设

通过对野外中华穿山甲洞穴的样线调查,在中

华穿山甲栖息地选择31个被频繁利用的中华穿山甲洞穴。在洞口处插上带有10 cm刻度的PVC管(标杆),按照圈养中华穿山甲笼舍确定好的最佳高度和角度架设红外相机(图3),记录红外相机位置信息,每隔3个月更换电池、内存卡以保证红外相机正常运行^[15]。

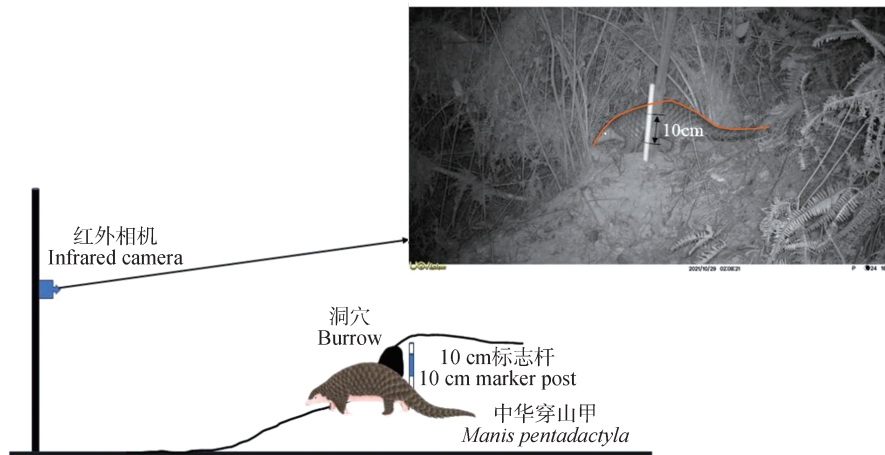


图3 野外环境架设红外相机示意图(张奕航 绘制)

Figure 3 Diagram of installing infrared cameras in the wild environment (Drawn by ZHANG Yihang)

1.3.2 红外相机图像数据处理

中华穿山甲个体的体长区间(L)计算公式为

$$L = b \pm (b \times \delta)。 \quad (2)$$

式中: δ 为相对误差, b 为测量值。

根据中华穿山甲的体长区间进行个体识别,识别方法:体长区间不相交,判定为不同个体;体长区间相交,判定为同一个体(若有明显的体征差异,如鳞片纹路、鳞片残缺,亦可作为个体识别依据)。

2 结果

2.1 圈养条件下红外相机最优布设位置

根据计算,布设在距巢室出口水平距离1.5 m、不同高度(1.0、0.8、0.6 m)的3个红外相机计算所得的穿山甲体长相对误差分别为5.51%、2.76%、3.62%。综上,当红外相机架设在 0° 、与巢室出口水平距离1.5 m,且相对高度为0.8 m时,可以获得最小误差值,计算精确度最高(97.24%)。

2.2 基于体长对野外中华穿山甲种群数量的估计

选择31个野外中华穿山甲洞穴进行监测,红外相机监测时间为2021年1月—2023年6月,3年间监测到的中华穿山甲个体数分别为9只(2021年)、6只(2022年)和6只(2023年),体长测量值与体长区间见表2。

3 讨论

由于中华穿山甲昼伏夜出、活动隐蔽以及高度依赖洞穴^[16-18],在野外的遇见率极低,导致样线法等传统野生动物调查方法难以准确评估其种群数量^[1,19],而洞穴计数法由于野外不可控因素和调查人员主观因素干扰较多等,通常会造较大误差。本研究以中华穿山甲体长作为个体识别的直接指标,排除了环境因素和人为因素的影响,保证了结果的准确性。

利用计算机视觉技术对动物体尺进行监测已被广泛应用,如Ruchay *et al.*^[20]利用深度相机(depth camera)对饲养牛进行3D重建,在置信水平90%的前提下相对误差为3%;张丽娜等^[21]在对羊体尺进行测量的研究中,得到的平均误差小于等于3%。上述方法虽具有较高的精确度,但对设备要求较高,难以在野外开展长期调查,而本研究方法依托比例尺原理与红外相机技术,使用PVC管作为标尺,具有稳定性高、操作简便、稳固和便于长期监测等优势。在野外条件下,将红外相机布设在正对洞穴出口水平距离1.5 m,且与洞穴相对高度为0.8 m处,可以获得最准确的测量数据,可以获得准确率约为97.24%的中

表2 不同年份野外中华穿山甲的监测数量
Table 2 Monitoring quantity of Chinese pangolins in years cm

年份 Year	体长均值 Mean body length	体长区间 Body length range
2021	53.73	52.26 ~ 55.20
	60.25	58.60 ~ 61.90
	64.22	62.46 ~ 65.98
	68.03	66.17 ~ 69.90
	74.50	72.46 ~ 76.54
	78.74	76.59 ~ 80.90
	83.87	81.57 ~ 86.17
	89.56	87.11 ~ 92.02
	94.95	92.34 ~ 97.55
2022	23.46	22.82 ~ 24.11
	68.36	66.49 ~ 70.24
	73.15	71.15 ~ 75.16
	78.17	76.03 ~ 80.31
	87.77	85.36 ~ 90.17
	96.37	93.73 ~ 99.01
2023	63.44	61.70 ~ 65.18
	71.91	69.94 ~ 73.88
	76.75	74.65 ~ 78.86
	81.86	79.62 ~ 84.10
	87.70	85.30 ~ 90.10
	95.37	92.76 ~ 97.98

华穿山甲体长测量值,并能对不同个体进行区分识别。

目前,中华穿山甲在我国呈现多地点小种群分布的模式,如何确定种群数量是小种群管理的难点^[22-23]。当种群数量过低时,需要人工参与调控,包括放归繁育个体或构建迁徙廊道等^[24]。洞穴计数法可以较粗略地评估景观上中华穿山甲的种群资源,但因为洞穴可以长时间保存(3~5 a)以及中华穿山甲个体对洞穴的重复利用,这一方法无法保证精确性和实时性。本研究团队通过个体识别发现3年间(2021—2023年)和平林区核心分布区内的野外中华穿山甲种群数量分别为9、6、6只,说明小种群规模呈现一定的波动状态,而通过洞穴数量进行评估时发现该区域洞穴数量稳定,且种群数量基本保持不变。因此,本研究方法有效弥补了洞穴数量评估方法在精确性和实时性上的不足。

不同年份野外中华穿山甲数量的差异可能由多种因素导致,本研究仅监测了野外中华穿山甲的核

心分布区域,尚有未知数量的中华穿山甲个体在其他区域活动;其次,在中华穿山甲的繁殖季节,雄性中华穿山甲个体为寻求配偶,活动范围会明显扩大^[16],存在监测区域内外中华穿山甲个体交流的可能性,导致不同年份监测到的中华穿山甲数量发生变动。同时,子代中华穿山甲的“分窝”(幼崽出生约半年后,会与雌性中华穿山甲分开,寻找新的栖息地生活)也会引起种群数量的变动^[25]。通过后续长期监测,以及监测范围的扩大,可以更加精准地评估该地区野外中华穿山甲种群的动态变化。

受限于红外相机夜间成像分辨率低、图像边角畸变等因素,在图像处理与体长测量过程中会产生误差。日后在开展中华穿山甲长期监测与个体识别的过程中,应选用夜间成像清晰度更高、成像畸变更小的红外相机,不仅可以降低体长测量误差,还能通过鳞片特征区分体长相近的个体,以提高识别准确率与可信度。

参考文献:

- [1] 吴诗宝,马广智,唐玫,等. 广东省穿山甲种群数量调查与资源蕴藏量[J]. 兽类学报, 2002, 22(4): 270-276.
WU S B, MA G Z, TANG M, *et al.* The population and density of pangolin in Dawuling Natural Reserve and the number of pangolin resource in Guangdong Province [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2002, 22(4): 270-276.
- [2] 陈熙尔,殷丽洁,秦大公,等. 非人灵长类种群数量调查方法综述[J]. 兽类学报, 2022, 42(6): 716-727.
CHEN X E, YIN L J, QIN D G, *et al.* An overview of population survey methods of non-human primates [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2022, 42(6): 716-727.
- [3] 颜文博,莫燕妮,曾治高,等. 海南尖峰岭中华穿山甲的分布与保护现状[J]. 生物多样性, 2022, 30(6): 80-87.
YAN W B, MO Y N, ZENG Z G, *et al.* Distribution and conservation status of Chinese pangolin (*Manis pentadactyla*) in Jianfengling, Hainan [J]. *Biodiversity Science*, 2022, 30(6): 80-87.
- [4] 张圣,孙松,杨锦圳,等. 基于洞穴铸模对中华穿山甲洞穴结构特征的研究[J]. 野生动物学报, 2024, 45(3): 490-497.
ZHANG S, SUN S, YANG J Z, *et al.* Study on burrow structure characteristics of Chinese pangolin based on burrow casting [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2024, 45(3): 490-497.
- [5] HEATH M, COULSON I. Home range size and distribution in a wild population of Cape pangolins, *Manis temminckii*, in north-west Zimbabwe [J]. *African Journal of Ecology*, 1997, 35(2): 94-109.
- [6] 朱淑怡,段菲,李晟. 基于红外相机网络促进我国鸟类多样性监测: 现状、问题与前景[J]. 生物多样性, 2017, 25(10): 1114-1122.

- ZHU S Y, DUAN F, LI S. Promoting diversity inventory and monitoring of birds through the camera-trapping network in China: status, challenges and future outlook [J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(10): 1114–1122.
- [7] BRUCE T, KAMTA R, MBOBDA R B T, *et al.* Locating giant ground pangolins (*Smutsia gigantea*) using camera traps on burrows in the Dja Biosphere Reserve, Cameroon [J]. *Tropical Conservation Science*, 2018, 11: 1940082917749224.
- [8] RICH L N, KELLY M J, SOLLMANN R, *et al.* Comparing capture-recapture, mark-resight, and spatial mark-resight models for estimating puma densities *via* camera traps [J]. *Journal of Mammalogy*, 2014, 95(2): 382–391.
- [9] 付鑫, 李飞, 穆君, 等. 基于红外相机监测照片对亚洲黑熊的个体识别 [J]. *经济动物学报*, 2020, 24(3): 146–152.
- FU X, LI F, MU J, *et al.* An exploratory study on individual identification of Asiatic black bear using monitoring pictures captured by infrared-cameras [J]. *Journal of Economic Animal*, 2020, 24(3): 146–152.
- [10] TANWAR K S, SADHU A, JHALA Y V. Camera trap placement for evaluating species richness, abundance, and activity [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 23050.
- [11] 郭策, 逯金瑶, 李思源, 等. 马来穿山甲和中华穿山甲鳞片编码系统及鳞片差异性 [J]. *野生动物学报*, 2022, 43(1): 24–31.
- GUO C, LU J Y, LI S Y, *et al.* Coding system and comparisons of scales between Malayan pangolin (*Manis javanica*) and Chinese pangolin (*M. pentadactyla*) [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2022, 43(1): 24–31.
- [12] ZHANG F H, WU S B, ZOU C Y, *et al.* A note on captive breeding and reproductive parameters of the Chinese pangolin, *Manis pentadactyla* Linnaeus, 1758 [J]. *ZooKeys*, 2016, 618: 129–144.
- [13] 丹尼尔·W. S. 查兰德, 海伦·C. 纳斯, 卡莉·沃特曼. 穿山甲: 科学、社会和保护 [M]. 华彦, 谭琳, 译. 北京: 科学出版社, 2024: 41.
- CHALLENGER D W S, NASH H C, WATERMAN C. Pangolins: science, society and conservation [M]. HUA Y, TAN L, trans. Beijing: Science Press, 2024: 41.
- [14] 张玉林, 窦红亮, 孙松, 等. 利用红外相机监测中华穿山甲出入洞穴完整事件的影响因素探究 [J]. *野生动物学报*, 2023, 44(1): 31–37.
- ZHANG Y L, DOU H L, SUN S, *et al.* Exploring the factors influencing the use of camera traps to monitor intact events of Chinese pangolin access to burrows [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2023, 44(1): 31–37.
- [15] 王东, 万雅琼, 汪世钊, 等. 基于红外相机技术调查长江正源沱沱河流域鸟兽多样性 [J]. *生物多样性*, 2020, 28(9): 1132–1140.
- WANG D, WAN Y Q, WANG S Z, *et al.* Camera-trapping survey of the diversity of mammals and birds in the Tuotuo River basin of the source region of the Yangtze River [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(9): 1132–1140.
- [16] 吴诗宝, 马广智, 陈海, 等. 穿山甲洞穴生态学初步研究 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 401–407.
- WU S B, MA G Z, CHEN H, *et al.* A preliminary study on burrow ecology of *Manis pentadactyla* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 401–407.
- [17] MAHMOOD T, MOHAPATRA R K, PERERA P, *et al.* Indian pangolin *Manis crassicaudata* (Geoffroy, 1803) [M]// CHALLENGER D W S, NASH H C, WATERMAN C. Pangolins: science, society and conservation. Amsterdam: Elsevier, 2020: 71–88.
- [18] SUN N C M, PEI K J C, WU L Y. Long term monitoring of the reproductive behavior of wild Chinese pangolin (*Manis pentadactyla*) [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 18116.
- [19] 蔡德, 李韶山. 野生动物穿山甲的濒危状况与保护研究进展 [J]. *中学生物学*, 2021, 37(3): 3–5.
- CAI D, LI S S. Endangered status of wild pangolins and research progress in conservation [J]. *Middle School Biology*, 2021, 37(3): 3–5.
- [20] RUCHAY A, KOBER V, DOROFEEV K, *et al.* Accurate body measurement of live cattle using three depth cameras and non-rigid 3-D shape recovery [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, 179: 105821.
- [21] 张丽娜, 武佩, 宣传忠, 等. 羊只体尺参数测量及其形态评价研究进展 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32(增刊1): 190–197.
- ZHANG L N, WU P, XUAN C Z, *et al.* Advances in body size measurement and conformation appraisal for sheep [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(Suppl. 1): 190–197.
- [22] 塔旗, 李言阔, 范文青, 等. 基于最大熵生态位模型的中华穿山甲潜在适宜生境预测 [J]. *生态学报*, 2021, 41(24): 9941–9952.
- TA Q, LI Y K, FAN W Q, *et al.* Predicting the potential distribution of Chinese pangolin using the MaxEnt model [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(24): 9941–9952.
- [23] 吴诗宝, 孙建坤, 岑鹏, 等. 国家一级保护动物中华穿山甲的种群现状及保护措施 [J]. *生物学通报*, 2023, 58(1): 9–14.
- WU S B, SUN J K, CEN P, *et al.* Population status and protection measures of Chinese pangolin, a national first-class protected animal [J]. *Bulletin of Biology*, 2023, 58(1): 9–14.
- [24] 周冬良. 中华穿山甲在福建的发现纪录及保护对策 [J]. *福建林业*, 2022(4): 34–35.
- ZHOU D L. Records and protection measures of Chinese pangolin (*Manis pentadactyla*) in Fujian [J]. *Fujian Forestry*, 2022(4): 34–35.
- [25] 周冬良. 福建省穿山甲资源现状及保护管理对策 [J]. *福建林业科技*, 1996, 23(2): 85–88.
- ZHOU D L. Present situation and countermeasures of the protection and management of *Manis pentadactyla* in Fujian Province [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 1996, 23(2): 85–88.