



大红鹤整体骨骼标本的制作与形态学特征

赵岩¹, 李曦¹, 刘金鹏¹, 胥哲¹,
李辉¹, 国欣欣¹, 陈希鑫², 普天春¹, 赵素芬^{1*}

(1. 北京动物园管理处, 北京, 100044;
2. 中央美术学院, 北京, 100105)

稿件运行过程

收稿日期: 2023-04-07
修回日期: 2023-05-03



关键词: 大红鹤;

整体骨骼标本;
标本制作;
形态学特征

Key words: Greater flamingo (*Phoenicopterus roseus*);
Whole skeleton specimen;
Specimen preparation;
Morphological characteristics

中图分类号: Q95-34

文献标识码: A

文章编号:

2310-1490(2024)-01-0103-07

DOI: 10.12375/ysdwxb.20240113

摘要

结合传统及改进工艺,采用剥皮、去除内脏、剔肉、拆解、消化、脱脂、漂白、装架、保存等工序制作成年雄性大红鹤(*Phoenicopterus roseus*)整体骨骼标本。制作时,选用市售84消毒液水溶液进行软组织消化,并在剔肉时保留腕关节、肘关节、膝关节等轴关节处的肌腱组织,在装架完毕后小心剔除,以确保大面积关节接触面或细碎籽骨的精确组装。制作的骨骼标本形态完整、外观莹白,易于长期保存,适宜推广应用。同时在制作过程中,对标本进行系统的形态学观察和描述,发现大红鹤不仅具备鸟类骨骼轻便和坚固的共性,其下颌骨、颈椎及下肢骨也具备适应饮食和涉水生活习性的特性,收集的相关骨骼参数为未来鸟类的骨骼系统研究提供基础数据。

Preparation and Morphological Characteristics of Whole Skeleton Specimen of *Phoenicopterus roseus*

ZHAO Yan¹, LI Xi¹, LIU Jinpeng¹, XU Zhe¹, LI Hui¹,
GUO Xinxin¹, CHEN Xixin², PU Tianchun¹, ZHAO Sufen^{1*}

(1. Beijing Zoo, Beijing, 100044, China;
2. Central Academy of Fine Arts, Beijing, 100105, China)

基金项目: 北京动物园园管课题(KGBZ202014)

第一作者简介: 赵岩(1977—),男,畜牧师;主要从事野生动物标本制作工作。E-mail: zhaoyan588588@163.com

*通信作者: 赵素芬, E-mail: zhaosufen111@126.com

Abstract: We combined the traditional and improved technology to prepare the whole skeleton specimen of the adult male greater flamingo (*Phoenicopterus roseus*) by peeling off the fur, eviscerating, removing the muscle, splitting the skeleton, digesting the residual muscle, degreasing, bleaching, assembling the skeleton and preservation technologies. During the preparation, we used a commercially available 84 disinfectant solution for soft tissue digestion. We also preserved the tendon at the axial joints such as wrist, elbow, and knee joints during the muscle removal process, in order to ensure precise assembly of the large joint contact surfaces or fine sesamoid bones, and we carefully removed the reserved tendon tissue after the skeleton assembly completed. Then the skeleton specimen has complete morphology, bright white appearance, and is easy to preserve for a long time. And this method is suitable for promotion and application. A systematic morphological observation and description of the specimen was also conducted during the preparation, and we found that the skeleton of greater flamingo not only had common characteristics of bird such as lightweight and sturdy, but also had unique characteristics such as the mandible, cervical spine, and hind limb bones to adapt to their diet and wading habits. Furthermore, the collection of skeleton can provide basic information for future research on bird skeletal systems.

大红鹳(*Phoenicopterus roseus*),又名红鹳或大火烈鸟,隶属于红鹳目(Phoenicopteriformes)红鹳科(Phoenicopteridae)红鹳属(*Phoenicopterus*),IUCN红色名录无危(LC)物种,CITES附录II物种,在我国被列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》^[1]。大红鹳是一种大型涉禽,主要分布于西非、整个撒哈拉沙漠以南非洲地区、地中海、亚洲西南部及南部地区^[2],在我国分布于北京、天津、河北、山东、山西、陕西、内蒙古和宁夏等地^[3]。

鹳形目鸟类均为水鸟,但各种鸟在不同时期的栖息、繁殖、觅食和越冬场所不尽相同^[4]。腿长、颈长且喜好在浅水或开阔地觅食是鹳形目鸟类共有的形态和生态学特征,但除此之外各科间的共同特征却很少^[5]。红鹳因体态纤长优雅、羽翼华丽,具有非常好的观赏性,是广受人们喜爱的展示物种^[6]。红鹳科分3属6种,分别为:大红鹳、美洲红鹳(*Ph. ruber*)、智利红鹳(*Ph. chilensis*)、小红鹳(*Phoeniconaias minor*)、安第斯红鹳(*Phoenicoparrus andinus*)和秘鲁红鹳(*Ph. jamesi*)^[7]。不同种红鹳身高、体质量、体表(羽毛)颜色也不同。

北京动物园红鹳饲养工作始于1973年,1977年人工哺育红鹳幼雏首次成功,1985年建成火烈鸟馆,现形成红鹳圈养种群。近年来,虽然国内动物园圈养红鹳数量呈逐年增加趋势,但由于物种本身的稀缺性,目前对于红鹳知识了解并不全面。随着野生动物保护工作的持续深入和保护教育实践的逐步开展,野生动物研究也急需向纵深推动和发展。动物

标本在动物形态结构和分类研究、生物教学以及科普展示中具有重要地位和应用价值,也可以不受时间、地点的限制,为科学研究提供材料^[8]。骨骼标本一般有3种:附韧带的骨骼标本、透明的骨骼标本和关节分离的骨骼标本,其中采用脱脂、漂白等技术制备的关节分离的骨骼标本不仅干净美观、连接稳定,而且方法简便高效^[9]。北京动物园兽医院标本室接收圈养成年雄性大红鹳尸体1例,为全面研究大红鹳骨骼特征,在标本制作过程中对其骨骼系统进行详细描述和分析,以为鸟类骨骼的系统研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

实验动物:北京动物园自然死亡的大红鹳1只,成体,雄性。

工具:4号解剖刀柄、23号刀片、镊子(直头140 mm、直头250 mm)、手术剪(直圆16 cm、弯圆16 cm)、老虎钳、吊钻、14号镀锌铁丝、AB胶枪、皮尺、直尺、游标卡尺、乳胶手套和一次性口罩等。

试剂:30%过氧化氢、84消毒液(北京雅特国信清洁用品有限公司,有效氯含量5%~7%)、乙醇、丙酮和AB胶等。

1.2 标本制作方法

1.2.1 剥皮

剥皮前,先用湿海绵湿润开口处羽毛,向两边分开;用手术刀在大红鹳龙骨突处切一开口,向后至肛

门处做纵向切口,沿切口处向身体两侧小心剥离躯干的被皮;剥离至髋关节处,使用外力小心使髋关节脱臼,减轻剥皮时被皮的张力,髋关节至飞节处被皮采用外翻形式剥离,并于飞节处断皮;剥离尾部被皮直到露出尾综骨和尾羽根部,肛门处用手术剪小心剪断肛门与被皮连接;剥皮至肩关节处,使用外力小心使肩关节脱臼,肩关节至肘关节处被皮采用外翻形式剥离,于两翅内侧肘关节至翅尖做横向切口,小心剥离两翅被皮;最后使用外力向后轻拽胴体,同时沿颈部将被皮上翻,在剥离眼和耳附近的皮肤时分外小心,以免撕裂皮肤,剥至鼻孔处断皮,彻底分离头颈部和被皮。剥离过程中,注意绕过羽根而不要切断羽根,在皮内洒硼砂吸收体液,使羽毛保持干净,尽量保证颈部、躯干和四肢被皮的完整,用以后期外形标本制作^[10]。因头部和后肢骨用以本骨骼标本制备,外形标本需辅以义喙、义眼和义肢等部件。

1.2.2 去除内脏

将大红鹤尸体置仰卧位,使用手术刀从肛门至胸骨龙骨突沿直线打开胸腹腔,随后沿龙骨突两侧和最后1对肋骨的后缘呈“Y”字形切开,充分暴露胸腔和腹腔,小心取出内脏器官,供其他病原学及病理学检查。

1.2.3 剔肉

将去除内脏的尸体置于解剖盘中,依次清除头部的眼球、肌肉和脑脊髓;仔细剔除颈椎处肌肉;从龙骨突一侧开始小心切除大块的胸腹肌和前肢骨上的大块肌肉;小心剥离飞节至趾部的硬质皮肤;大块肌肉去除后,换用解剖刀和镊子小心剔除标本全身肌肉,尽可能地剃净细肉。保留腕关节、肘关节和膝关节等单轴关节以及单轴复关节处的肌腱组织,最后用清水冲洗干净。

1.2.4 拆解

把骨骼整体拆分为头骨、躯干骨、前肢骨和后肢骨4大部分。为方便剥皮时操作和保持被皮完整性,剥皮时已于肩关节和髋关节处将四肢骨拆解。依次于寰椎处切断肌腱将头骨与颈椎拆分,在胸椎处切断肌腱将颈椎与胸椎拆分,躯干的骨骼尽量不拆解。

1.2.5 消化

将所有骨骼浸泡在84消毒液稀释液(与水比例为1:1)内2~3 h,在此期间持续观察骨骼上残留肌肉

的变化,待肌肉基本溶解干净后使用大量清水冲洗,再用小刷子和镊子彻底清除粘在骨上的肌肉。在1.2.3中保留的关节处肌腱不要彻底溶解,以保证后期关节定位的精确性。用吊钻将所有含中空结构的骨骼和硬骨(长骨两端、骨盆骨隐蔽处和脊柱内侧)钻孔,孔径根据骨骼大小选定,直径在0.5~2.0 mm,无中空结构的小骨可不予钻孔。钻孔后用注射器或高压冲洗机通过孔洞将骨髓冲洗干净。

1.2.6 脱脂

骨骼内含有较多油脂,尤其是前肢骨和后肢骨。操作中必须进行脱脂工序,若脱脂不彻底,保存中会返脂变黄。将清洗好的骨骼晾干,浸入丙酮溶液中浸泡24 h,浸泡过程持续观察脂类物质的析出程度,在浸泡的前3 h,观察到大量脂类物质漂浮在丙酮溶液中,此时更换1次丙酮溶液继续浸泡脱脂。溶液一定要淹没骨骼,重复此操作,直至无脂类物质析出为止。

1.2.7 漂白

将脱脂后的骨骼晾干后,使用无水乙醇再次清洗、晾干。置入配置好的3%过氧化氢水溶液中浸泡1~2 d。因骨质不同漂白需要的时间长短不同,漂白过程中密切观察骨骼的颜色变化。对于2 d后仍未达到漂白效果的骨骼,更换3%过氧化氢溶液后继续浸泡。完成漂白后从溶液中取出骨骼,清水冲洗15 min,置于通风阴凉处晾干,避免暴晒或烘干以防骨骼开裂。

1.2.8 装架

根据固有结构和位置将骨骼按顺序摆放,后肢骨用粗度适合的铁丝通过去脂时钻的孔洞串联起来,依据设计形态将关节按照所需的角度固定,此时可去除保留的肌腱组织。跗跖骨远端预留一段铁丝将标本与托板固定。颈椎神经孔用铁丝串连并造型为所需形态,然后固定于胸椎上。将躯干与固定好的后肢骨使用AB胶粘牢,粘接时调整身体的角度。待胶干后,使用AB胶将前肢骨和头骨按位置粘好。检查并去除多余的肌腱残留和废胶。

1.2.9 保存

避免阳光直射,否则易引起骨骼变黄发脆。有条件者最好配备防尘罩,避免温湿度骤变,以利于骨骼标本的长期保存。最后,将制作好的骨骼标签分别贴于托板和防尘罩上,完成整个标本的制作。

1.3 计数与测量

标本制作过程中,仔细观察各骨形态、结构及数量等基础参数,与此同时,根据骨骼大小分别使用皮尺、直尺和游标卡尺进行主要骨骼数据参数的收集。

2 结果

2.1 整体观察

通过本方法制作的雄性成年大红鹤整体骨骼标本形态完整、外观莹白,易于长期保存,符合预期目的(图1A)。

大红鹤为适应飞翔,骨骼具备轻便和坚固的特性,大多数骨髓腔内充满着与肺和气囊相交通的空气。标本骨质致密,关节坚固,颅骨、腰荐骨和盆带骨愈合成一个整体,头部除下颌关节外,大部分属于不动关节,部分属于微动关节,脊柱的椎体之间,除愈合椎骨为不动关节(髌腰荐关节)以外,其他各部分椎骨间的连接为微动关节。

2.2 局部观察

2.2.1 头骨

标本的头骨愈合度较高,且高度特异化。眼眶将颅骨与面骨分开,颅骨较厚,各骨之间互相愈合,无可见骨缝。枕骨较小,枕髁不明显。嗅神经孔孔径较大,为长1.7 cm、宽0.5 cm的不规则空洞,视神经孔为直径0.4 cm的圆形空洞,二者距离为0.4 cm(图1B)。

面骨无齿,切齿骨(前颌骨)是上喙的主要组成部分,切齿骨细长并向下弯曲,上颌骨长16 cm;鼻孔为细椭圆形,由上喙的后上部鼻骨与切齿骨之间围成。颧骨扁平且宽,与上喙相连。下颌较为特殊,形态与上喙相对应,其下颌骨较宽(最宽处2.8 cm),下颌骨长15.2 cm,嘴型短而厚,似靴状(图1A、C)。

2.2.2 躯干骨骼

大红鹤脊柱极长。其中,颈椎16枚,全长60.0 cm,除寰椎长0.6 cm外,其余各颈椎的形态相近,但自寰椎往后直径逐渐增大。颈椎的关节突较为平整,枢椎较大,椎体的前、后关节面略有突起(图1D)。胸椎7枚,全长11.5 cm,与颈椎相比,胸椎则较为短粗,关节之间结合牢固;前4枚胸椎形态基本一致,且明显愈合,椎体侧面小凹与肋头相连,横突平直呈板状,与肋结节相连;后3枚胸椎之间可见明显间

隙;各胸椎腹棘不明显(图1E)。最后1节胸椎与全部的腰椎、荐椎愈合形成愈合荐骨。腰荐骨腹面正中有浅沟,是主动脉的通道。尾椎共8枚,游离尾椎椎体短厚,棘突大且分为两支,横突短而大,斜向后下方,前后关节突均已退化,能自由活动;前3枚尾椎无腹棘,4~7枚尾椎有腹棘;尾综骨呈片状,与椎体部分结合紧密(图1F)。

肋骨外形呈扁片状,有7对,数目与胸椎一致。每根肋骨由背侧的椎肋骨和腹侧的胸肋骨组成,椎肋骨与胸肋骨呈“V”形组合,两者结合位点形成“V”形夹角的起始点,夹角为锐角,沿夹角向外V形容积逐渐增大。其中,第1~6根椎肋骨,在中部位置向背腹侧方向长有钩突,第7根肋骨无钩突。龙骨突发达,呈狭长三角形;前缘突出于胸骨板之外,向腹前方延伸。后外侧突与胸骨中部之间形成卵圆切迹,大红鹤的卵圆切迹较浅,无卵圆孔(图1G)。

2.2.3 附肢骨骼

肩胛骨由肩胛骨、乌喙骨和锁骨组成。肩胛骨呈细长条片状,长9.7 cm,与胸部脊柱平行,外边缘较厚。乌喙骨粗壮,长6.0 cm,位于胸廓之前,下端与胸骨形成关节,上端与肩胛骨相接成关节。锁骨长5.5 cm,呈“U”形,下部钝圆(图1F、G)。

盆带骨(也称“腰带”)由髌骨、坐骨和耻骨愈合形成。髌骨较长,总长度13.0 cm,测量单侧髌骨宽度,近腹侧最宽,为2.8 cm,近尾侧最窄,为0.3 cm,分髌臼前部与后部,前部平坦,后部隆起。坐骨呈梯形,位于髌骨后下方,髌骨坐骨交界处有坐骨孔,坐骨孔椭圆形,坐骨总长度5.2 cm,测量单侧坐骨宽度,最宽处2.8 cm,最窄处1.6 cm。耻骨呈长条状,长9.1 cm,与坐骨的间隔较宽(图1F、G)。

翼(前肢)分为3段。肱骨为第1段,长18.5 cm,肱骨头大并呈卵圆形,与肩带骨的关节盂形成肩关节,尺骨(19.9 cm)与桡骨(19.0 cm)较长,形成前臂骨,为翼的第2段,尺骨较发达,桡骨较细,两骨长度相当。腕骨、掌骨(8.0 cm)和指骨构成第3段翼。腕骨退化,近列腕骨愈合形成尺腕骨和桡腕骨。掌骨只保留3块,其中第3掌骨最发达,第2掌骨仅为其近端的小突起,第4掌骨细长略弯。腕骨与掌骨愈合,形成腕掌骨。大红鹤仅有1指,1个指节骨(图1H)。

后肢骨由股骨、胫跗骨、腓骨、跗蹠骨和趾骨等

组成。股骨较短、粗大(长8.0 cm,直径1.1 cm),股骨头钝圆。胫跗骨(29.6 cm)发达直长,由胫骨和腓骨构成,腓骨(9.9 cm)退化,形态短小如刺;胫骨远端与近列跗骨愈合,形成2个髁,与跗蹠骨近端形成

滑车关节。跗蹠骨(26.0 cm)发达直长,与胫跗骨长度相近,跗蹠骨由远端跗骨和第2、3、4跖骨愈合形成。大红鹳共有3趾,3趾均向前,第1~3趾的趾节骨数目不等,末节为爪骨,藏于爪内(图11)。



A. 完整骨骼标本(左侧观); B. 头骨(右侧观); C. 头骨(下颌骨); D. 躯干骨(颈椎); E. 躯干骨(胸椎)(背侧观); F. 躯干骨(尾椎-荐骨-肋骨)(腹侧观); G. 附肢骨(肩带骨-盆带骨)(右侧观); H. 附肢骨(左翼); I. 附肢骨(右后肢)。

A. Complete skeleton specimen (left side view); B. Skull (right side view); C. Skull (mandible); D. Trunk bone (cervical vertebra); E. Trunk bone (thoracic vertebra) (dorsal view); F. Trunk bone (coccygeal vertebra-sacrum-rib) (ventral view); G. Appendicular skeleton (pectoral girdle-bone-pelvic girdle bone) (right side view); H. Appendicular skeleton (left wing); I. Appendicular skeleton (right hind limb).

图1 大红鹳骨骼标本

Fig. 1 The skeleton specimen of *Phoenicopterus roseus*

3 讨论

动物园全方位为游客展示动物及其生活环境、保护现状,可使游客更好地了解野生动物的特性,动物死亡后制成的外形和骨骼标本,又用另一种方式向游客展示动物形态,这种全面的科普保护也是动物园区别于博物馆等其他场所的重要特征之一。

整体骨骼标本通过拼接、粘合等方式将动物全身骨骼按照原有位置进行连接、整形和固定,以整体形式展示动物生前姿态。其优势在于人们对动物的整体骨骼结构有直观了解,相较于散装标本针对特定骨骼或部位的深入研究,整体骨骼标本可以使

观察人员对动物骨骼系统进行研究^[11]。在整体骨骼标本制作过程中,需完成剥皮、去除内脏、剔肉、拆解、消化、脱脂、漂白、装架和保存等一系列工序,程序繁琐,同时还需要熟知鸟类骨骼结构的特点,为避免损坏骨骼结构,对制作人员要求较高。

对于关节接触面积大或存在细碎籽骨的关节,后期准确装架难度较大,技术人员摸索发现,在去内脏与剔肉环节中可尽量保留腕关节、肘关节和膝关节等轴关节处的肌腱组织,更利于后期装架时的精确定位。研究发现,用饱和次氯酸钠溶液处理骨骼标本,对软组织的消化作用较强,对骨质的损害较轻,耗时短,对环境几乎无污染,无需特殊设备及场

地,且对已经及未经防腐固定的尸体骨骼标本均适用^[12]。实际操作中发现,饱和次氯酸钠溶液溶解肌肉速度快,不易控制,对骨骼消化性强,容易使骨骼粉化。本研究使用市售84消毒液(有效氯含量4%~7%)水溶液进行软组织消化,虽然消化速度慢,但消化程度较易控制,且84消毒液也比饱和次氯酸钠溶液更易获得,消化效果良好,但在消化过程中需严格把握消化进度,防止过度消化引起肌腱脱落,待完成装架后再小心去除保留的肌腱组织。

此外,由于标本相对稀缺,在剥皮过程中尽量保证皮张的完整性,辅以购买或3D打印的义肢、义眼和义喙等用以制备大红鹳外表形态标本。操作过程中需将骨上剩余的细肉尽可能清除干净,可用软毛刷、硬毛牙刷刷洗或手术刀轻轻刮除骨骼表面以及骨面上凹凸不平处残留的不易剔除的碎小肌肉^[9]。拆解过程中注意顺序,躯干骨力求完整。脱脂过程中,观察丙酮溶液内再无脂类物质析出,即说明已充分脱脂,脱脂的充分与否直接影响后期骨骼保存。由于不同类型骨骼的骨质不同,漂白时间也不同,漂白过程中要时刻观察骨骼的颜色变化,确保整体骨骼色泽的一致性,避免漂白时间过长对标本造成损伤或过短引起骨骼发黑或变黄^[13]。在装架过程中,可以适当对骨骼进行打孔串联,并灵活使用胶水确保骨骼标本的整体效果达到预期水平。

骨结构与形态研究发现,大红鹳为适应飞翔,其骨骼系统具备鸟类轻便和坚固的特性。与其他鸟类相比,大红鹳骨骼系统也具有独特性,具体表现为:下颌骨、颈椎与下肢骨结构较为特殊,颈椎较长,约占体长的1/2;胫跗骨、跗蹠骨发达直长,占体长1/3,这与大红鹳的外形特征一致。大红鹳采食、休息、求偶及繁殖等活动主要在浅水地区进行^[14],发达直长的胫跗骨与跗蹠骨使大红鹳更适宜涉水生活。大红鹳喜欢理羽,用嘴把尾脂腺分泌的油脂刮下,涂在颈部、胸前和背部的羽毛上,这样既可使羽毛防水,又使油脂中的类胡萝卜素涂在羽毛上保持羽色鲜艳呈粉红色^[15],较长的颈椎不仅方便采食,也方便对全身羽毛进行清理。大红鹳喙部形态呈流线型,短而厚,似靴状,下颌骨较宽,上下喙生长的像梳子一样的角质板形齿在标本制作过程中被去除。野外环境下,大红鹳主要以水中或水边淤泥中的小虾、蛤蚧、藻类和浮游生物为食,采食过程中将嘴浸入水中不断摇动,舌头像水泵一样,把水沿着边缘部吸进嘴

里,板形齿将泥沙过滤后留下食物进行吞咽,过滤后的水分则沿边喙部排出体外,是唯一完全采用滤食方式进食的鸟类^[16-17]。

由于试验材料和条件的局限性,本研究仅对成年雄性大红鹳骨骼进行了描述和分析,其他生长阶段骨骼特点还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 国家林业和草原局. 有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录 [EB/OL]. (2023-06-26) [2023-08-07]. <http://www.forestry.gov.cn/channel-gzList.htm>. National Forestry and Grassland Administration. List of terrestrial wildlife species with significant ecological, scientific and societal value [EB/OL]. (2023-06-26) [2023-08-07]. <http://www.forestry.gov.cn/channel-gzList.htm>.
- [2] BirdLife International. *Phoenicopterus roseus* (amended version of 2018 assessment) [J/OL]. The IUCN Red List of Threatened Species, 2019; e. T22697360A155527405 [2023-04-07]. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22697360A155527405.en>.
- [3] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录 [M]. 4版. 北京: 科学出版社, 2023: 38. ZHENG G M. A checklist on the classification and distribution of the birds of China [M]. 4th ed. Beijing: Science Press, 2023: 38.
- [4] 冯照军, 张志华. 徐海地区鹤形目鸟类的调查 [J]. 徐州师范大学学报 (自然科学版), 2001, 19(1): 64-66. FENG Z J, ZHANG Z H. The investigation on Ciconiiformes in Xu-Hai region and the protection of them [J]. Journal of Xuzhou Normal University (Natural Sciences), 2001, 19(1): 64-66.
- [5] 张保卫, 常青, 朱立峰, 等. 基于12S rRNA基因的鹤形目系统发生关系 [J]. 动物分类学报, 2004, 29(3): 389-395. ZHANG B W, CHANG Q, ZHU L F, et al. Phylogenetic relationships within Ciconiiformes based on analyses of the mitochondrial 12S rRNA gene [J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2004, 29(3): 389-395.
- [6] 赵雨梦, 尹江南, 彭彤彤, 等. 北方森林动物园大红鹳对环境和食物丰富的行为反应 [J]. 野生动物学报, 2018, 39(4): 917-921. ZHAO Y M, YIN J N, PENG T T, et al. Behavioral responses of the greater flamingo (*Phoenicopterus roseus*) to the environment and food enrichment in Harbin Northern Forest Zoo [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2018, 39(4): 917-921.
- [7] IUCN. The IUCN red list of threatened species. Version 2022-2 [DB/OL]. [2023-04-07]. <https://www.iucnredlist.org/search?taxonomies=22672928&searchType=species>.
- [8] 李梦云, 张自强, 熊建利. 动物骨骼标本的制作 [J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(10): 18-19. LI M Y, ZHANG Z Q, XIONG J L. Preparation of animal skeleton specimens [J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2010, 31(10): 18-19.

- [9] 杨兴涛, 张伟锋, 赖勇勇, 等. 犊牛全身骨骼标本制作及方法改良[J]. 解剖学杂志, 2018, 41(4): 480-481.
YANG X T, ZHANG W F, LAI Y Y, *et al.* Preparation and method improvement of calf skeletal specimens[J]. Chinese Journal of Anatomy, 2018, 41(4): 480-481.
- [10] 李辉, 吴楠, 赵岩, 等. 大型鸟类生态标本制作技术[J]. 四川动物, 2011, 30(6): 969-971.
LI H, WU N, ZHAO Y, *et al.* The technique of large birds' posture specimen [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2011, 30(6): 969-971.
- [11] 张汤铭. 动物骨骼标本的制作[J]. 中文信息, 2016(7): 273.
ZHANG T M. Preparation of animal skeleton specimens[J]. Chinese Information, 2016(7): 273.
- [12] 石瑾, 李忠华, 傅群武, 等. 用次氯酸钠溶液腐蚀制作骨骼标本[J]. 解剖科学进展, 2001, 7(1): 92.
SHI J, LI Z H, FU Q W, *et al.* Corrode bone specimens by using sodium hypochlorite solution[J]. Progress of Anatomical Sciences, 2001, 7(1): 92.
- [13] 顾勇. 脊椎动物骨骼标本的制作[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8628-8630.
GU Y. Preparing of vertebrates skeletal specimens[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(14): 8628-8630.
- [14] 谢高基, 黄翠莲, 黎根儿. 大火烈鸟在散养条件下的行为观察[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2003(4): 35; 34.
XIE G J, HUANG C L, LI G E. Observations on the behavior of greater flamingos under free range breeding conditions [J]. Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2003(4): 35; 34.
- [15] 方圆. 美丽的火烈鸟[J]. 科学之友, 2011(5): 46-47.
FANG Y. Beautiful flamingo[J]. Friend of Science Amateurs, 2011(5): 46-47.
- [16] 张守富, 闫丰军, 张守贵. 山东省日照发现黑嘴端凤头燕鸥和大火烈鸟[J]. 野生动物学报, 2018, 39(2): 461-462.
ZHANG S F, YAN F J, ZHANG S G. Discovery of *Thalasseus bernsteini* and *Phoenicopterus roseus* in Rizhao, Shandong Province[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2018, 39(2): 461-462.
- [17] 张宁, 刘迪, 李昆鹏. 基于滤食特征的水面垃圾清理装备的仿生设计与评估[J]. 包装工程, 2019, 40(18): 48-52.
ZHANG N, LIU D, LI K P. Bionic design and evaluation of surface garbage cleaning equipment based on filter feeding characteristics[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(18): 48-52.