

# 黄鹡鹑(*Motacilla flava*) 3个亚种的羽毛结构

侯森林<sup>1,2</sup>, 杨钟沐<sup>1</sup>, 廖谢茗<sup>3</sup>

(1. 南京警察学院 刑事科学技术学院, 江苏 南京 210023;

2. 野生动植物物证技术国家林业和草原局重点实验室, 江苏 南京 210023;

3. 福建省顺昌县林业局, 福建 顺昌 353200)

**摘要:** 羽毛是非法猎杀野生动物现场中容易存留的重要证据, 兼具较强的稳定性和特异性, 可为鸟类的识别鉴定提供佐证。选取黄鹡鹑东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种的飞羽、尾羽以及其根部的绒羽作为研究对象, 宏观测量飞羽及尾羽内外翮长, 同时利用扫描电镜观察3类羽毛的显微结构, 对飞羽和尾羽有钩羽小枝的基柄长、羽小钩数、纤毛数、羽小钩数+纤毛数、腹齿数, 无钩羽小枝的基柄长、腹齿数; 绒羽节直径、节间距、基节长等数据进行测量记录, 并利用SPSSAU对记录的数据进行分析比较。结果表明: 黄鹡鹑3个亚种飞羽的有钩羽小枝基柄长、无钩羽小枝基柄长, 尾羽的纤毛数、腹齿数, 绒羽的节间距等显微结构特征均存在显著或极显著差异。

**关键词:** 黄鹡鹑; 亚种; 羽毛; 显微结构

**中图分类号:** Q959.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8735(2026)01-0022-08

**DOI:** 10.3969/j.issn.1001-8735.2026.01.004

黄鹡鹑(*Motacilla flava*)为雀形目鹡鹑科鹡鹑属鸟类, 2023年被列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》(简称“三有动物名录”)。黄鹡鹑在中国分布的亚种类型较丰富, 包括东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种等, 各亚种在外形上差异并不明显。东北亚种(*M. f. macronyx*)的头顶和颊部灰黑色, 无眉纹, 额白色, 喉部至腹部明黄色。该亚种繁殖于中国北方及东北地区, 越冬于中国东南部地区及海南岛; 台湾亚种(*M. f. taiwana*)的额至腹部明黄色, 具宽阔的黄色眉纹, 脸颊、头顶和橄榄绿色的上体, 翼覆羽羽缘白色, 迁徙时经中国东部, 越冬在中国东南部、台湾及海南岛; 阿拉斯加亚种(*M. f. tschutschensis*)的头顶和枕部深蓝灰色, 眉纹和喉部白色, 胸部带灰色, 繁殖于西伯利亚东部, 但迁徙时见于中国东部省份。

目前对黄鹡鹑的研究较少, 主要集中在繁殖习性<sup>[1-2]</sup>、集群夜栖行为<sup>[3]</sup>等。羽毛是鸟类特有的表皮衍生物, 因兼具物种特异性与形态差异性, 在鸟类的种属鉴定中具有重要应用价值<sup>[4]</sup>。基于这一特性, 国内学者已针对不同鸟类羽毛显微结构进行了相关研究, 如鸡形目鸟类<sup>[5]</sup>、鸚形目鸟类<sup>[6]</sup>、鸚科鸟类<sup>[7]</sup>、雀形目鸟类<sup>[8]</sup>、雨燕科鸟类<sup>[9]</sup>、鹲类<sup>[10]</sup>、佛法僧目鸟类<sup>[11]</sup>、鹭科鸟类<sup>[12]</sup>、隼形目鸟类<sup>[13]</sup>等。可见, 用扫描电镜对鸟类羽毛的显微结构特征进行观察, 可为鸟类的鉴别提供依据。

本研究选取黄鹡鹑东北亚种、台湾亚种和阿拉斯加亚种的飞羽、尾羽及绒羽3类羽毛在扫描电镜下观察其显微结构, 记录相关数据并加以分析, 以为黄鹡鹑东北亚种、台湾亚种和阿拉斯加亚种的鉴定识别提供佐证。

## 1 材料与方

研究所用的羽毛样本均取自南京警察学院鉴定中心送检材料, 样本均为成体个体的繁殖羽。分别剪取3个亚种的飞羽、尾羽以及飞羽和尾羽根部绒羽, 各样本的羽毛剪取部位一致<sup>[10]</sup>, 其中东北亚种6个

收稿日期: 2025-07-25

基金项目: 江苏省高校优秀科技创新团队资助项目“打击生态环境犯罪物证技术创新团队”(2019-29)。

作者简介: 侯森林(1972—), 男, 教授, 博士, 主要从事野生动物司法鉴定、生态学研究, E-mail: 897305927@qq.com。

个体、台湾亚种 5 个个体、阿拉斯加亚种 7 个个体。其中飞羽、尾羽均选择羽毛中间部位作为研究对象。

首先,测量飞羽及尾羽内外翎比值,随后将剪取的羽毛分别放入用乙醚和乙醇(95%)按 1:1 混合的脱脂液中(20 min),再用无水乙醇浸泡清洗 2 min,取出自然晾干,最后通过超声振荡器使其羽小枝展开<sup>[12]</sup>。采用 S-3400N II 型扫描电镜(日本日立公司)对处理过的羽毛进行观察,记录有钩羽小枝基柄长、羽小钩数、纤毛数、羽小钩数+纤毛数、腹齿数,无钩羽小枝基柄长、腹齿数以及绒羽的节间距、节直径、基节长等数据各 30 组并拍照。利用 SPSSAU 对记录的数据进行分析,结果用平均值±标准差表示,采用单因素方差分析检验组间差异的显著性。

## 2 结果分析

### 2.1 飞羽的观察与比较

2.1.1 飞羽的宏观结构观察与比较 3 个亚种飞羽颜色(图 1)差别不大,整体呈黑褐色。东北亚种的飞羽(图 1A)内外翎长度比值约为 3.13;台湾亚种的飞羽(图 1B)内外翎长度比值约为 3.76;阿拉斯加亚种的飞羽(图 1C)内外翎长度比值约为 3.89。SPSSAU 分析表明东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种间飞羽的内外翎比值差异显著或极显著(表 1)。

2.1.2 飞羽的微观结构观察与比较 东北亚种飞羽羽小枝(图 2A)两侧斜向羽干,有钩羽小枝末梢略微弯曲,羽小钩弯曲幅度大,中部基柄平均长约为 265.43  $\mu\text{m}$ ;无钩羽小枝中部基柄平均长约为 258.07  $\mu\text{m}$ ;有钩羽小枝上羽小钩数约 3~4 个,纤毛单生约 3~6 条,且细而不长,腹齿数约 1~2 个;无钩羽小枝上的腹齿数约 2 个,羽小枝末梢细长且存在类似节状羽小枝的结构。



注:A 为东北亚种, B 为台湾亚种, C 为阿拉斯加亚种。下同。

图 1 飞羽宏观结构

Fig. 1 The macrostructure of remiges

表 1 飞羽内外翎比值差异比较

Tab. 1 The analysis of differences the ratio of the length of the inner and outer feathers of of remige

物种	东北亚种	台湾亚种
台湾亚种	25.32**	—
阿拉斯加亚种	60.54**	5.33*

注:\*\*表示差异极显著( $P < 0.01$ ), \*表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

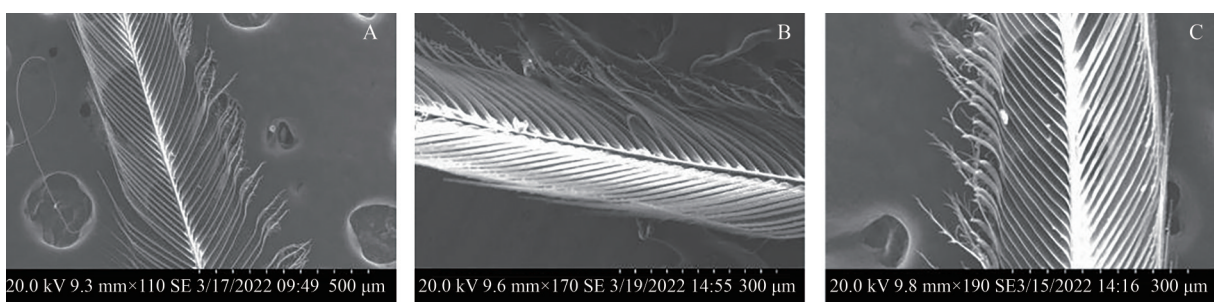


图 2 飞羽羽小枝的显微结构

Fig. 2 The microstructure of remiges barbule

台湾亚种飞羽羽小枝(图 2B)两侧均排列紧密,有钩羽小枝羽钩部直立,羽小钩弯曲幅度大,有钩羽小枝中部基柄平均长约为 276.13  $\mu\text{m}$ ;无钩羽小枝中部基柄平均长约 276.60  $\mu\text{m}$ ;有钩羽小枝上羽小钩数约 3 个,纤毛互生 2~5 条,腹齿数约 1 个;无钩羽小枝的腹齿数为 2~3 个,其末梢呈节状结构,且逐渐变细。

阿拉斯加亚种飞羽羽小枝(图 2C)排列贴合,有钩羽小枝基部与羽钩部同向平行,羽小钩弯曲幅度大。有钩羽小枝中部基柄平均长约为 248.33  $\mu\text{m}$ ;无钩羽小枝中部基柄平均长约 202.93  $\mu\text{m}$ ;有钩羽小枝上羽小钩数约 2~4 条,羽小枝纤毛互生约 2~8 条,腹齿数约 1~3 个;无钩羽小枝上的腹齿数约 1~2 个,

羽小枝末梢直立且存在类似节状羽小枝的结构。具体显微结构数据见表 2。

表 2 飞羽显微结构数据

Tab. 2 The data of microstructure of remige

显微结构	东北亚种	台湾亚种	阿拉斯加亚种
有钩羽小枝中部基柄长/ $\mu\text{m}$	265.43 $\pm$ 8.30(251.00~280.00)	276.13 $\pm$ 8.76(261.00~291.00)	248.33 $\pm$ 8.39(237.00~265.00)
有钩羽小枝根部基柄长/ $\mu\text{m}$	127.00 $\pm$ 4.44(119.00~134.00)	135.83 $\pm$ 3.17(130.00~141.00)	143.43 $\pm$ 10.13(128.00~162.00)
羽小钩数	3.40 $\pm$ 0.50(3.00~4.00)	3.00 $\pm$ 0.00(3.00~3.00)	3.03 $\pm$ 0.61(2.00~4.00)
纤毛数	4.73 $\pm$ 1.08(3.00~6.00)	3.33 $\pm$ 0.88(2.00~5.00)	5.00 $\pm$ 1.66(2.00~8.00)
羽小钩数+纤毛数	8.13 $\pm$ 1.01(7.00~10.00)	6.33 $\pm$ 0.88(5.00~8.00)	8.03 $\pm$ 1.87(4.00~12.00)
有钩羽小枝腹齿数	1.40 $\pm$ 0.50(1.00~2.00)	1.00 $\pm$ 0.00(1.00~1.00)	1.70 $\pm$ 0.84(1.00~3.00)
无钩羽小枝中部基柄长/ $\mu\text{m}$	258.07 $\pm$ 7.46(245.00~270.00)	276.60 $\pm$ 9.60(259.00~292.00)	266.13 $\pm$ 10.04(249.00~283.00)
无钩羽小枝根部基柄长/ $\mu\text{m}$	162.10 $\pm$ 6.84(150.00~174.00)	171.70 $\pm$ 5.52(163.00~182.00)	202.93 $\pm$ 8.63(187.00~218.00)
无钩羽小枝腹齿数	2.00 $\pm$ 0.00(2.00~2.00)	2.50 $\pm$ 0.51(2.00~3.00)	1.40 $\pm$ 0.50(1.00~2.00)

记录东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种飞羽上有钩羽小枝的基柄长、羽小钩数、纤毛数、羽小钩数+纤毛数、腹齿数以及无钩羽小枝的基柄长、腹齿数,各 30 组数据,利用 SPSSAU 对数据进行单因素方差分析(表 3)。从表 3 可知,除东北亚种与阿拉斯加亚种飞羽的纤毛数、羽小钩数+纤毛数、腹齿数差异不显著,台湾亚种与阿拉斯加亚种飞羽的羽小钩数差异不显著外,其余显微结构指标两两间均存在显著或极显著差异,均可作为东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种的鉴别提供依据。

表 3 飞羽的微观结构差异分析比较

Tab. 3 The analysis of microstructural differences of remige

显微结构	物种	东北亚种	台湾亚种
有钩羽小枝中部基柄长	台湾亚种	23.59**	—
	阿拉斯加亚种	63.00**	157.68**
有钩羽小枝根部基柄长	台湾亚种	78.55**	—
	阿拉斯加亚种	66.19**	15.37**
羽小钩数	台湾亚种	19.33**	—
	阿拉斯加亚种	6.43*	0.08
纤毛数	台湾亚种	30.16**	—
	阿拉斯加亚种	0.54	23.53**
羽小钩数+纤毛数	台湾亚种	54.06**	—
	阿拉斯加亚种	0.06	20.33**
有钩羽小枝腹齿数	台湾亚种	19.33**	—
	阿拉斯加亚种	2.84	21.00**
无钩羽小枝中部基柄长	台湾亚种	69.77**	—
	阿拉斯加亚种	12.47**	17.03**
无钩羽小枝根部基柄长	台湾亚种	35.77**	—
	阿拉斯加亚种	412.50**	278.79**
无钩羽小枝腹齿数	台湾亚种	29.00**	—
	阿拉斯加亚种	43.50**	71.61**

## 2.2 尾羽的观察与比较

2.2.1 尾羽宏观结构观察与比较 尾羽整体呈黑色,其中东北亚种的尾羽(图 3A)内外翎比值约为 2.34,台湾亚种(图 3B)内外翎比值约为 2.53,阿拉斯加亚种(图 3C)内外翎比值约为 2.23。SPSSAU 分析表明,东北亚种与台湾亚种、东北亚种与阿拉



图 3 尾羽宏观结构

Fig. 3 The macrostructure of rectrix



斯加亚种的尾羽内外翎比值差异均不显著；台湾亚种与阿拉斯加亚种的尾羽内外翎比值差异极显著(表 4)。

2.2.2 尾羽微观结构观察与比较 东北亚种尾羽羽小枝(图 4A)两侧均斜向羽干,有钩羽小枝羽钩部直立,羽小钩弯曲幅度不大,有钩羽小枝中部基柄平均长约为 222.30 μm;无钩羽小枝中部基柄平均长约为 248.17 μm;有钩羽小枝上羽小钩数约 2~3 个,纤毛互生约 3~6 条,腹齿数约 1 个;无钩羽小枝上的腹齿数约 1~2 个,羽小枝末梢略微弯曲,且存在类似节形态羽小枝的显微结构。

表 4 尾羽内外翎比值差异比较

Tab. 4 The analysis of differences the ratio of the length of the inner and outer feathers of remige

物种	东北亚种	台湾亚种
台湾亚种	3.32	—
阿拉斯加亚种	1.79	7.79**

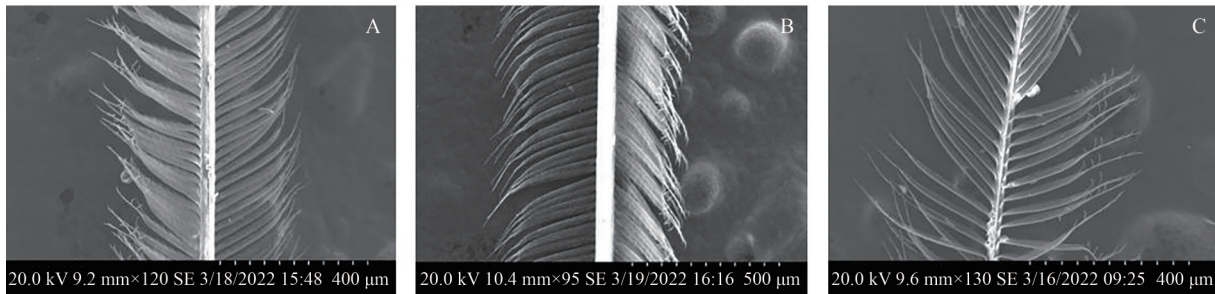


图 4 尾羽羽小枝的显微结构

Fig. 4 The microstructure of rectrix barbule

台湾亚种尾羽羽小枝(图 4B)两侧排列紧密,有钩羽小枝基部与羽钩部同向平行,羽小钩略微钩起,中部基柄平均长约 268.43 μm;无钩羽小枝中部基柄平均长约 264.33 μm;有钩羽小枝上羽小钩数为 1~3 个,互生纤毛粗细均匀,数量为 3~8 条,腹齿数平均为 2 个;无钩羽小枝腹齿数为 1~3 个,羽小枝末梢细长且存在类似节形态羽小枝的显微结构。

阿拉斯加亚种尾羽(图 4C)羽小枝两侧均斜向羽干,有钩羽小枝羽钩部细长,羽小钩弯曲幅度不大,中部基柄平均长约 222.17 μm;无钩羽小枝中部基柄平均长约 257.50 μm;有钩羽小枝上羽小钩数为 1~3 个,纤毛呈对生为 6~11 条,腹齿数为 1~2 个;无钩羽小枝上的腹齿数约 1 个,羽小枝的末梢细长且存在类似节形态羽小枝的显微结构(表 5)。

表 5 尾羽显微结构数据

Tab. 5 The data of microstructure of rectrix

显微结构	东北亚种	台湾亚种	阿拉斯加亚种
有钩羽小枝中部基柄长/μm	222.30±13.23(200.00~241.00)	268.43±6.77(257.00~282.00)	222.17±7.67(210.00~235.00)
有钩羽小枝根部基柄长/μm	173.77±8.85(151.00~187.00)	182.03±10.83(161.00~200.00)	152.40±9.29(139.00~168.00)
羽小钩数	2.37±0.49(2.00~3.00)	2.03±0.56(1.00~3.00)	2.10±0.66(1.00~3.00)
纤毛数	4.40±1.13(3.00~6.00)	6.00±1.55(3.00~8.00)	8.10±1.37(6.00~11.00)
羽小钩数+纤毛数	6.77±1.28(5.00~9.00)	8.03±1.61(5.00~11.00)	10.20±1.45(8.00~13.00)
有钩羽小枝腹齿数	1.00±0.00(1.00~1.00)	2.00±0.00(2.00~2.00)	1.37±0.49(1.00~2.00)
无钩羽小枝中部基柄长/μm	248.17±9.04(234.00~265.00)	264.33±10.36(247.00~281.00)	257.50±5.98(248.00~269.00)
无钩羽小枝根部基柄长/μm	173.47±7.80(160.00~185.00)	220.73±10.87(199.00~238.00)	224.77±7.40(210.00~235.00)
无钩羽小枝腹齿数	1.50±0.51(1.00~2.00)	2.13±0.78(1.00~3.00)	1.00±0.00(1.00~1.00)

记录东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种尾羽上的有钩羽小枝基柄长、羽小钩数、纤毛数、羽小钩

数十纤毛数、腹齿数以及无钩羽小枝的基柄长、腹齿数各 30 组数据,利用 SPSSAU 对数据进行单因素方差分析(表 6)。结果表明,除东北亚种与阿拉斯加亚种尾羽的有钩羽小枝中部基柄长、羽小钩数差异不显著,东北亚种与台湾亚种尾羽的有钩羽小枝腹齿数差异不显著,台湾亚种与阿拉斯加亚种尾羽的羽小钩数、无钩羽小枝根部基柄均差异不显著外,其余显微结构指标两两间均存在显著或极显著差异,可作为东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种的有效鉴别依据。

表 6 尾羽的微观结构差异分析比较

Tab. 6 The analysis of microstructural differences of rectrix

显微结构	物种	东北亚种	台湾亚种
有钩羽小枝中部基柄长	台湾亚种	288.96**	—
	阿拉斯加亚种	0.00	613.91**
有钩羽小枝根部基柄长	台湾亚种	10.48**	—
	阿拉斯加亚种	83.15**	129.35**
羽小钩数	台湾亚种	6.06*	—
	阿拉斯加亚种	3.14	0.17
纤毛数	台湾亚种	20.77**	—
	阿拉斯加亚种	129.60**	30.76**
羽小钩数+纤毛数	台湾亚种	11.41**	—
	阿拉斯加亚种	94.81**	30.08**
有钩羽小枝腹齿数	台湾亚种	0.00	—
	阿拉斯加亚种	16.78**	50.09**
无钩羽小枝中部基柄长	台湾亚种	41.45**	—
	阿拉斯加亚种	22.24**	9.79**
无钩羽小枝根部基柄长	台湾亚种	374.56**	—
	阿拉斯加亚种	683.28**	2.82
无钩羽小枝腹齿数	台湾亚种	13.97**	—
	阿拉斯加亚种	29.00**	63.97**

### 2.3 绒羽的观察与比较

2.3.1 飞羽根部绒羽的观察与比较 东北亚种绒羽的羽小枝(图 5A)根部排列稀疏、末梢杂乱相交,羽小枝基节长平均约为 98.08 μm,羽小枝的节呈棒状对生,节间距平均约为 30.05 μm,从羽枝根部至末梢节的数量逐渐递减,节直径平均约为 3.42 μm。

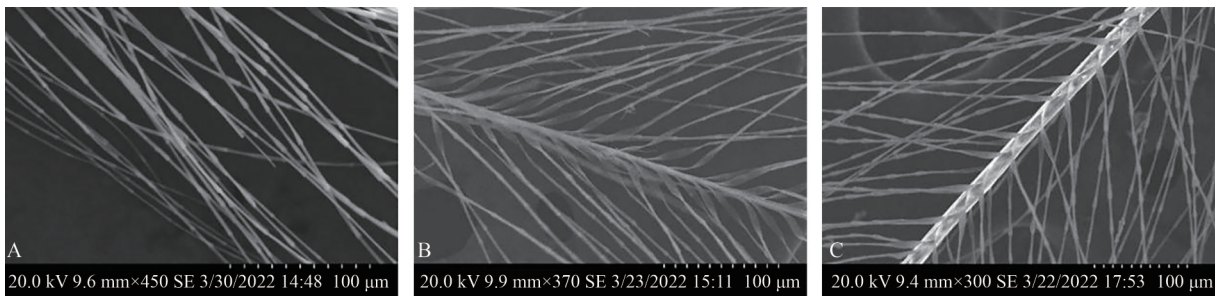


图 5 飞羽根部绒羽羽小枝的显微结构

Fig. 5 The microstructure of downy feather barbule at the base of remiges

台湾亚种绒羽的羽小枝(图 5B)根部排列紧凑,末梢较稀疏,羽小枝基节长平均约为 97.11 μm,羽小枝的节呈三角状对生,节间距平均约为 38.05 μm,从羽枝根部至末梢羽小枝排列逐渐稀疏,节直径平均约为 4.37 μm。

阿拉斯加亚种绒羽的羽小枝(图 5C)排列稀疏,羽小枝基节长平均约为 112  $\mu\text{m}$ ,羽小枝的节呈水滴状对生,节间距平均约为 31.54  $\mu\text{m}$ ,从羽枝根部至末梢的羽小枝以及节的分布几乎无变化,节直径平均约为 3.63  $\mu\text{m}$ 。具体显微结构数据见表 7。

表 7 飞羽根部绒羽显微结构数据

Tab. 7 The data of microstructure of downy feather barbule at the base of remiges

显微结构	东北亚种	台湾亚种	阿拉斯加亚种
基节长/ $\mu\text{m}$	98.08 $\pm$ 4.69(89.00~105.90)	97.12 $\pm$ 3.57(89.80~104.00)	112.00 $\pm$ 9.27(95.00~129.00)
节间距/ $\mu\text{m}$	30.05 $\pm$ 2.20(26.10~33.90)	38.05 $\pm$ 2.43(34.20~43.30)	31.54 $\pm$ 2.99(26.50~35.80)
节直径/ $\mu\text{m}$	3.42 $\pm$ 0.23(3.04~3.72)	4.37 $\pm$ 0.35(3.51~4.99)	3.63 $\pm$ 0.4(2.78~4.76)

记录东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种飞羽根部绒羽的基节长、节间距、节直径等数据各 30 组,利用 SPSSAU 对数据进行单因素方差分析(表 8)。结果表明,除东北亚种与台湾亚种的飞羽根部绒羽上的基节长差异不显著外,其余显微结构指标两两间均存在显著或极显著差异,均可为东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种的鉴别提供依据。

表 8 飞羽根部绒羽的微观结构差异分析比较

Tab. 8 The analysis of microstructural differences of downy feather barbule at the base of remiges

显微结构	物种	东北亚种	台湾亚种
基节长	台湾亚种	0.79	—
	阿拉斯加亚种	53.90**	67.34**
节间距	台湾亚种	178.69**	—
	阿拉斯加亚种	4.80*	85.83**
节直径	台湾亚种	150.39**	—
	阿拉斯加亚种	4.71*	46.04**

2.3.2 尾羽根部绒羽的观察与比较 东北亚种绒羽的羽小枝(图 6A)根部排列稀疏、末梢较分散,羽小枝基节平均长度约为 98.35  $\mu\text{m}$ ,羽小枝的节呈不规则对生,节间距平均约为 34.92  $\mu\text{m}$ ,羽小枝从根部至末梢逐渐变细,节直径平均约为 3.78  $\mu\text{m}$ (表 9)。

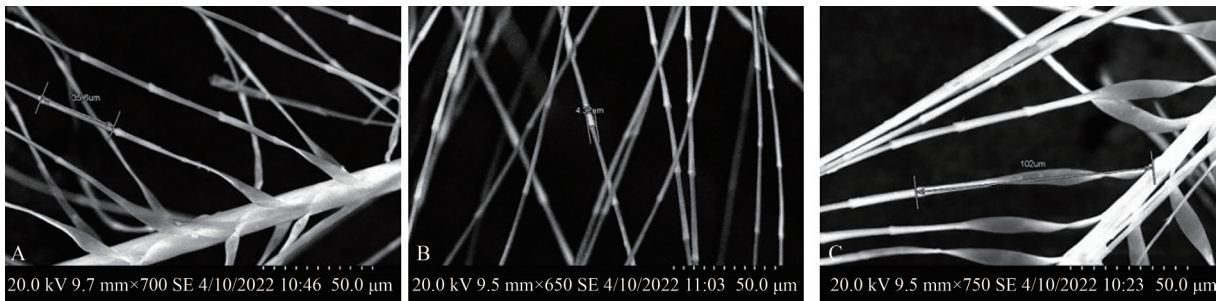


图 6 尾羽根部绒羽羽小枝的显微结构

Fig. 6 The microstructure of downy feather barbule at the base of rectrix

表 9 尾羽根部绒羽显微结构数据

Fig. 9 The data of microstructure of downy feather barbule at the base of rectrix

显微结构	东北亚种	台湾亚种	阿拉斯加亚种
基节长/ $\mu\text{m}$	98.35 $\pm$ 3.03(93.00~103.40)	95.77 $\pm$ 3.49(88.70~101.10)	99.52 $\pm$ 4.41(91.50~109.00)
节间距/ $\mu\text{m}$	34.92 $\pm$ 1.33(32.20~37.10)	37.51 $\pm$ 1.99(34.50~41.30)	29.17 $\pm$ 3.17(23.30~35.00)
节直径/ $\mu\text{m}$	3.78 $\pm$ 0.31(3.18~4.22)	4.12 $\pm$ 0.42(3.53~4.82)	3.44 $\pm$ 0.49(2.66~4.28)



台湾亚种绒羽的羽小枝(图 6B)根部与末梢排列稀疏,羽小枝基节平均长度约为 95.77 μm,羽小枝的节呈圆柱状对生,节间距平均约为 37.51 μm,羽小枝从根部至末梢无明显变化,节直径平均约为 4.12 μm(表 9)。

阿拉斯加亚种绒羽的羽小枝(图 6C)排列稀疏,末梢杂乱相交,羽小枝基节平均长度约为 99.52 μm,羽小枝的节呈梯形状对生,节间距平均约为 29.17 μm,从根部至末梢的羽小枝由不相交到相交,节直径平均约为 3.44 μm(表 9)。

记录东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种尾羽根部绒羽的基节长、节间距、节直径等数据各 30 组,利用 SPSSAU 对数据进行单因素方差分析(表 10)。结果表明,除东北亚种与阿拉斯加亚种的尾羽根部绒羽的基节长差异不显著外,其余显微结构指标两两间均存在显著或极显著差异,均可作为东北亚种、台湾亚种与阿拉斯加亚种的鉴别提供依据。

表 10 尾羽根部绒羽的微观结构差异分析比较

Tab. 10 The analysis of microstructural differences of downy feather barbule at the base of rectrix

显微结构	物种	东北亚种	台湾亚种
基节长	台湾亚种	9.34**	—
	阿拉斯加亚种	1.44	13.34**
节间距	台湾亚种	35.10**	—
	阿拉斯加亚种	84.11**	149.13**
节直径	台湾亚种	13.22**	—
	阿拉斯加亚种	10.12**	33.75**

### 3 讨论

吴新然等<sup>[14]</sup>通过对 75 种陆栖性鸟类羽毛的扫描电镜研究发现,羽小钩数和纤毛数的和值可能为一个恒定值,且可作为重要的鉴定指标,本研究结果与其相符。本研究中飞羽和尾羽的羽小钩数、纤毛数在 3 个亚种间存在变化,但飞羽与尾羽的羽小钩数+纤毛数是一个恒定值。在鸟类飞行中,尾羽有着掌舵作用,其受外界环境影响较小<sup>[15]</sup>,故尾羽有钩羽小枝的羽小钩数+纤毛数具有更高的鉴别价值。

根据侯森林等<sup>[12]</sup>对白鹭和大白鹭的羽毛显微结构研究表明,飞羽承担飞行控制功能,而不同鸟类的飞行能力存在差异,这会导致飞羽显微结构的种间分化,该特征可作为鸟类鉴别的有效依据。东北亚种飞羽的有钩羽小枝羽小钩数约 3~4 个、纤毛数约 3~6 条、腹齿数约 1~2 个,无钩羽小枝腹齿数约 2 个;台湾亚种飞羽的有钩羽小枝羽小钩数约 3 个、纤毛数约 2~5 条、腹齿数约 1 个,无钩羽小枝腹齿数约 2~3 个;阿拉斯加亚种飞羽的有钩羽小枝羽小钩数约 2~4 个、纤毛数约 2~8 条、腹齿数约 1~3 个,无钩羽小枝腹齿数约 1~2 个,表明三个亚种间飞羽的结构略有差异。尽管亚种间的亲缘关系较近、生活习性也极为相似,但在亚种间羽毛的显微结构特征仍存在差异<sup>[12]</sup>。因此,利用扫描电镜对羽毛进行显微结构观察,可以为黄鹡鸰三个亚种的鉴别提供依据。

### 参考文献:

[1] 邓明鲁,杨学明. 黄鹡鸰繁殖习性的初步观察[J]. 动物学杂志, 1966, 1(3): 121-122.  
 [2] 马丽芸. 山西芦芽山自然保护区黄鹡鸰的繁殖习性[J]. 吉林农业, 2014(6): 32-33.  
 [3] 邓卓迪,刘金成,郑胜峰,等. 广东海丰县赤坑越冬黄鹡鸰的集群夜栖行为[J]. 四川动物, 2023, 42(5): 534.  
 [4] 胡诗佳,王利利,彭建军. 鸟羽显微鉴定技术及应用的研究及展望[J]. 四川动物, 2008, 27(4): 699-702.  
 [5] 侯森林,费宜玲,刘大伟,等. 暗腹雪鸡与藏雪鸡羽毛显微结构比较[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),

- 2022, 51(5): 500-505.
- [6] 周用武, 刘昌景. 鸱形目 7 种鸟类腹部羽毛的扫描电镜观察[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(6): 193-198.
- [7] 夏晓飞, 王莹, 吴秀山, 等. 朱鹮羽毛的扫描电镜观察[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(12): 130-131.
- [8] 侯森林, 胡嵩骅, 孟逸冰, 等. 斑鹧和灰背鹧的羽毛扫描电镜观察[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学版), 2024, 53(5): 505-510.
- [9] 王俊杰, 陈红岩, 刘磊, 等. 北京地区雨燕科 3 种雨燕羽毛的扫描电镜观察[J]. 中国农学通报, 2020, 36(3): 117-122.
- [10] 夏晓飞, 刘磊, 王俊杰, 等. 北京地区两种鹱类羽毛的扫描电镜对比观察[J]. 中国农学通报, 2019, 35(36): 133-137.
- [11] 刘磊, 韩蒙燕, 刘刚, 等. 北京地区佛法僧目两种鸟类羽毛的扫描电镜对比观察[J]. 中国农学通报, 2020, 36(5): 37-41.
- [12] 侯森林, 费宜玲, 刘大伟, 等. 白鹭和大白鹭羽毛显微结构观察[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(1): 156-162.
- [13] 侯森林. 隼形目鸟类体羽显微结构观察[J]. 江西农业大学学报, 2014, 36(4): 855-860.
- [14] 吴新然, 周用武, 陈粉粉, 等. 75 种陆栖性鸟类羽毛扫描电镜观察[J]. 四川动物, 2014, 33(1): 71-77.
- [15] 侯森林. 10 种隼形目鸟类尾羽小枝扫描电镜观察[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(4): 163-167.

## Feather Structure of Three Subspecies of *Motacilla flava*

HOU Senlin<sup>1,2</sup>, YANG Zhongmu<sup>1</sup>, LIAO Xieming<sup>3</sup>

(1. School of Criminal Science and Technology, Nanjing Police University, Nanjing 210023, China;

2. Key Laboratory of Wildlife Evidence Technology, National Forestry and Grassland Administration, Nanjing 210023, China;

3. Fujian Shunchang Forestry Bureau, Shunchang 353200, Fujian, China)

**Abstract:** Feathers are important evidence that can easily be left at the scene of illegal wildlife poaching. They possess strong stability and specificity, providing supporting evidence for the identification of bird species. This paper selected the flight feathers, tail feathers, and the down feathers at their bases from three subspecies of the *Motacilla flava*: the Northeastern Asian subspecies, the Taiwan subspecies, and the Alaskan subspecies, as the subjects. It conducted macroscopic measurements of the inner and outer barb lengths of the flight and tail feathers, and utilized scanning electron microscopy to observe the microstructures of the three types of feathers. Measurements were taken and recorded for the base handle lengths, the number of hooklets, the number of cilia, the number of hooklets + cilia, and the number of ventral teeth in the flight and tail feathers with hooked barbules. For those with proximal barbules, measurements included base handle lengths and number of ventral teeth. Additionally, the diameter of the nodular, distance between nodular, and length of the base nodular of the downy feathers were measured. The recorded data were analyzed and compared using SPSSAU. The results indicate that there are significant or highly significant differences in the microstructural characteristics of the base handle lengths of hooked barbules, base handle lengths of proximal barbules in flight feathers, and number of cilia, number of ventral teeth in tail feathers, as well as distance between nodular for downy feathers among the three subspecies of *M. flava*.

**Key words:** *Motacilla flava*; subspecies; feather; microstructure

【责任编辑 张颖娟】