

中国盾衣属地衣两个新记录种

王思颖¹, 赵格格¹, 梁咏亮², 朱亚超², 孙浩然², 田欣瑶², 牛东玲^{1*}

(1. 宁夏大学 生命科学学院, 银川 750021; 2. 宁夏贺兰山国家级自然保护区管理局, 银川 750000)

摘要: 为探究盾衣属(*Peltula* Nyl.)地衣在宁夏贺兰山地区的物种多样性, 该文通过形态学、解剖学和化学分析, 并结合 rDNA-ITS 序列构建系统发育树, 对采集自宁夏贺兰山地区的盾衣属地衣标本进行了系统分类学研究。研究发现了盾衣属两个中国新记录种, 即非洲盾衣[*P. africana* (Jatta) Swinscow & Krog]和印盾衣[*P. impressa* (Vain.) Swinscow & Krog]。非洲盾衣的主要识别特征为波状鳞叶, 横径 0.3–3.0 mm, 下皮层细胞栅栏状; 印盾衣的主要识别特征为地衣体顶部具有黑色新型粉芽堆, 子实层 I+, 酒红色, 子囊孢子 64 个左右。该文对两个中国新记录种的形态和解剖特征进行了详细描述, 与相似种进行了对比讨论, 并提供了两个种的形态解剖结构图片。该研究结果丰富了中国盾衣属地衣的基础资料。

关键词: 地衣型真菌, 异极衣目, 盾衣科, 系统分类学, 宁夏贺兰山国家级自然保护区

Two newly recorded species of *Peltula* from China

WANG Siying¹, ZHAO Gege¹, LIANG Yongliang², ZHU Yachao², SUN Haoran², TIAN Xinyao², NIU Dongling^{1*}

(1. School of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia Helan Mountain National Nature Reserve Administration, Yinchuan 750000, China)

Abstract: To explore the species diversity of the genus *Peltula* Nyl. in Helan Mountain of Ningxia Hui Autonomous Region, the specimens of the genus *Peltula* Nyl. collected from Helan Mountain of Ningxia Hui Autonomous Region were classified by morph-anatomical, chemical and phylogenetic analysis of rDNA-ITS sequences, two new records for China, *Peltula africana* (Jatta) Swinscow & Krog and *P. impressa* (Vain.) Swinscow & Krog, were identified. *P. africana* is mainly characterized by squamules undulate, 0.3–3.0 mm across, lower cortex cell palisade. *P. impressa* is mainly recognised by the black new type of soralia on top of the squamules, the hymenium I+, burgundy and about 64 ascospores. The morphological and anatomical characters of these two species were described in detail, the differences with similar species were discussed, and the photos of morphological and anatomical structures of the two species were provided. The results enrich basic data for the genus *Peltula* Nyl. in China.

Key words: lichenized fungi, lichinales, peltulaceae, systematics, Ningxia Helan Mountain National Nature Reserve

盾衣属(*Peltula* Nyl.)地衣隶属于真菌界(Fungi), 子囊菌门(Ascomycota), 异极衣纲(Lichinomycetes), 异极衣目(Lichinales), 盾衣科(Peltulaceae)。最初由Nylander(1853)建立, 以*Peltula radicata* Nyl.作为模式种。但该属名建立后, 一直未被使用。直到Gyelnik(1935)对蜂窝衣科(Heppiaceae)进行了修订, 盾衣属才再次被作为一个独立的属恢复使用。后来Büdel(1987)基于子囊果发育类型及子囊特征等建立盾衣科(Peltulaceae), 并将盾衣属移入此科, 此后关于盾衣属的研究多基于表型的分类学层

基金项目: 2023 年中央财政林业草原生态保护恢复资金贺兰山国家级自然保护区补助项目 (D6400000141010230-7)。

作者简介: 王思颖, 硕士研究生, 研究方向为地衣系统分类学, (E-mail) 1533983423@qq.com。

***通讯作者:** 牛东玲, 博士, 教授, 主要从事地衣系统分类与化学研究 (E-mail) niudl@nxu.edu.cn。

面。直至 Rauhut (2006) 在其博士论文中对盾衣科进行了系统全面的分析, 才为后续的系统学研究奠定了基础。此后, Frank 等 (2018) 从分子系统学的角度对盾衣科的三个属进行了重新界定, 将 *Phyllopeltula* 和 *Neoheppia* 归入盾衣属, 即盾衣科仅有盾衣属一属。目前世界范围内共报道该属地衣 64 个种, 1 个亚种, 3 个变种 (<https://indexfungorum.org/>), 中国共报道 30 个种 (Wei, 2020; 杨秋霞, 2021; Yang et al., 2022a, 2022b)。

盾衣属为世界广布属, 主要分布于干旱和半干旱地区或者湿润地区的干旱微环境中 (Büdel, 1987; 杨秋霞, 2021; Yang et al., 2022a, 2022b)。该属地衣生长型有盾状、壳状、鳞叶状、近灌木状和近叶状 (Frank et al., 2018), 埋生型或贴生型子囊盘, 子囊具撕裂状胶质鞘, 子囊多孢, 至少 16 个, 多则可超过 100 个孢子, 子囊孢子单胞, 无色, 透明 (Wetmore, 1970; Büdel & Nash, 2002; 杨秋霞, 2021; 任强, 2023)。除 *P. langei* 被检测出黄色色素 Myeloconone D1 和 D2, 其他种几乎未检测出化学物质 (Büdel, 1997)。

盾衣属地衣是宁夏贺兰山荒漠草原区土壤生物结皮的一个重要组成成员, 对于荒漠区地表的稳定具有重要的生态功能。本研究以宁夏贺兰山为研究区域, 借助形态解剖学、化学及分子系统学方法, 对采集自该地区的 279 份盾衣属地衣标本开展了系统分类学的研究, 拟揭示宁夏贺兰山地区盾衣属地衣的物种情况及该属地衣在宁夏贺兰山地区的分布特点。研究发现了盾衣属的两个中国新记录种: 非洲盾衣 [*Peltula africana* (Jatta) Swinscow & Krog] 和印盾衣 [*P. impressa* (Vain.) Swinscow & Krog], 在此给予报道。

1 材料与方法

研究标本均采集自宁夏贺兰山国家级自然保护区, 保存在宁夏大学生命科学学院植物标本室 (NXAC)。

在体视显微镜 (Soptop SZX12) 下对地衣体和繁殖结构的外部形态进行观察、测量和拍照; 使用冷冻切片机 (LEICA CM1950) 获得地衣体及繁殖结构的显微结构制片, 在复式显微镜 (Soptop RX50) 下观察、测量其解剖结构, 并拍照记录。

利用 10% KOH 水溶液, $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 饱和水溶液和 10% Lugol's 碘液对皮层和髓层进行化学显色反应。利用薄层层析法 (TLC) 在 C 系统 (甲苯: 乙酸= 170:30) 中对地衣次生代谢产物进行分析 (Orange et al., 2001)。

使用 Biospin 植物基因组 DNA 提取试剂盒从新鲜的地衣体中提取基因组 DNA, PCR 扩增 rDNA-ITS 区序列。扩增引物为 ITS1F (Gardes & Bruns, 1993) 和 ITS4 (Innis et al., 1990; White et al., 1990), PCR 混合物 (25 μL) 包含 25 μg BSA、1 U *Taq* DNA 聚合酶、dNTP (0.2 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)、引物 (各 0.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 和 PCR 缓冲液, 用 H_2O 补至 25 μL 。PCR 热循环条件: 96 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 2 min, 随后 96 $^{\circ}\text{C}$ 变性 10 s, 52 $^{\circ}\text{C}$ 退火 10 s, 60 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 30 s, 共循环 30 次, 最后 60 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 4 min, 扩增产物于 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存。产物经纯化鉴定后使用 ABI3730XL 自动测序仪进行测序。新测得的序列提交到 GenBank 数据库。

根据双向测序结果, 采用 Sequencher v. 4.1.4 进行序列拼接, 并进行人工校正。从 NCBI 下载 35 条参考序列, 与本研究的 3 条盾衣属序列进行系统发育分析 (表 1), 选择异极衣科 (Lichinaceae) 的同枝衣属 (*Peccania* sp.) 作为外类群。从 GenBank 获取所有相关序列 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>), 在 PhyloSuite v. 1.2.3 中 (张东等, 2021) 使用 MAFFT v. 7 进行序列比对 (Katoh & Standley, 2013), 使用 ModelFinder 对建树前的核苷酸替代模型进行选择 (Subha et al., 2017), 最终运算方法采用 GTR+F+I+G4 模型, 重复 700000 代, 建立 MrBayes 系统发育树 (Fredrik et al., 2012), 在 iTOL 中对所得系统发育树进行调整 (<https://itol.embl.de/>)。

表 1 分子系统学分析使用的标本及 ITS 序列信息

Table 1 Specimens and ITS sequences information used for molecular phylogenetic analysis

分类单元 Taxon	凭证标本 Voucher Specimen	登录号 GenBank Accession Numbers
非洲盾衣 <i>Peltula africana</i>	1990, South Africa, 14304b	MF766343
非洲盾衣 <i>P. africana</i>	2010, China, 10-0223	MN103150
<i>P. anthracina</i>	2010, Brazil, CGMS 385	MW267988
<i>P. anthracina</i>	2010, Brazil, CGMS 384	MW267989
<i>P. auriculata</i>	1992, Venezuela, 24902	MF766344
<i>P. auriculata</i>	1992, Venezuela, 24901	DQ832329
波氏盾衣 <i>P. bolanderi</i>	1993, Mexico, 20196e	MF766345
<i>P. confusa</i>	2019, China, HMAS-L 154719	OP429729
<i>P. confusa</i>	2019, China, HMAS-L 154718	OP429728
粉芽盾衣 <i>P. euploca</i>	1993, Mexico, 20162a	MF766353
头粉盾衣 <i>P. farinosa</i>	1993, Mexico, 20119a	MF766355
印盾衣 <i>P. impressa</i>	1993, Mexico, 20140f	MF766357
印盾衣 <i>P. impressa</i>	2014, China, 14021492	OR610321
印盾衣 <i>P. impressa</i>	2022, China, 22071276	OR610322
凹盾衣 <i>P. impressula</i>	2017, China, HMAS-L 154744	OP429740
凹盾衣 <i>P. impressula</i>	2017, China, HMAS-L 154745	OP429741
小裂片盾衣 <i>P. lobulata</i>	2019, China, HMAS-L 145468	MT499291
小裂片盾衣 <i>P. lobulata</i>	2019, China, HMAS-L 145469	MT499292
<i>P. omphaliza</i>	1993, Mexico, 20148b	MF766367
<i>P. patellata</i>	2003, Mexico, 16254b	MF766368
台盾衣 <i>P. placodizans</i>	1993, Mexico, 20112a	MF766369
多果盾衣 <i>P. polycarpa</i>	2019, China, HMAS-L 145471	MT499300
多果盾衣 <i>P. polycarpa</i>	2019, China, HMAS-L 145472	MT499301
复叶盾衣 <i>P. polyphylla</i>	2019, China, HMAS-L 145475	MT499303
复叶盾衣 <i>P. polyphylla</i>	2019, China, HMAS-L 145474	MT499304
多孢盾衣 <i>P. polyspora</i>	2019, China, HMAS-L 154721	OP429732
多孢盾衣 <i>P. polyspora</i>	2019, China, HMAS-L 154723	OP429733
<i>P. psammophila</i>	2021, USA, 19120v1	MZ922166
<i>P. psammophila</i>	2021, USA, 19121v1	MZ922167
伪牛肝盾衣 <i>P. pseudoboletiformis</i>	2019, China, HMAS-L 145476	MT499297
伪牛肝盾衣 <i>P. pseudoboletiformis</i>	2019, China, HMAS-L 145477	MT499299
根盾衣 <i>P. radicata</i>	2002, Yemen, 14241a	MF766371
<i>P. subpatellata</i>	2019, China, HMAS-L 154738	OP429716
<i>P. subpatellata</i>	2019, China, HMAS-L 154737	OP429717
近边盾衣 <i>P. submarginata</i>	2019, China, HMAS-L 145480	MT499294
近边盾衣 <i>P. submarginata</i>	2019, China, HMAS-L 145481	MT499295
<i>Peccania</i> sp.	2019, China, HMAS-L 154764	OP429744
<i>Peccania</i> sp.	2019, China, HMAS-L 154765	OP429745

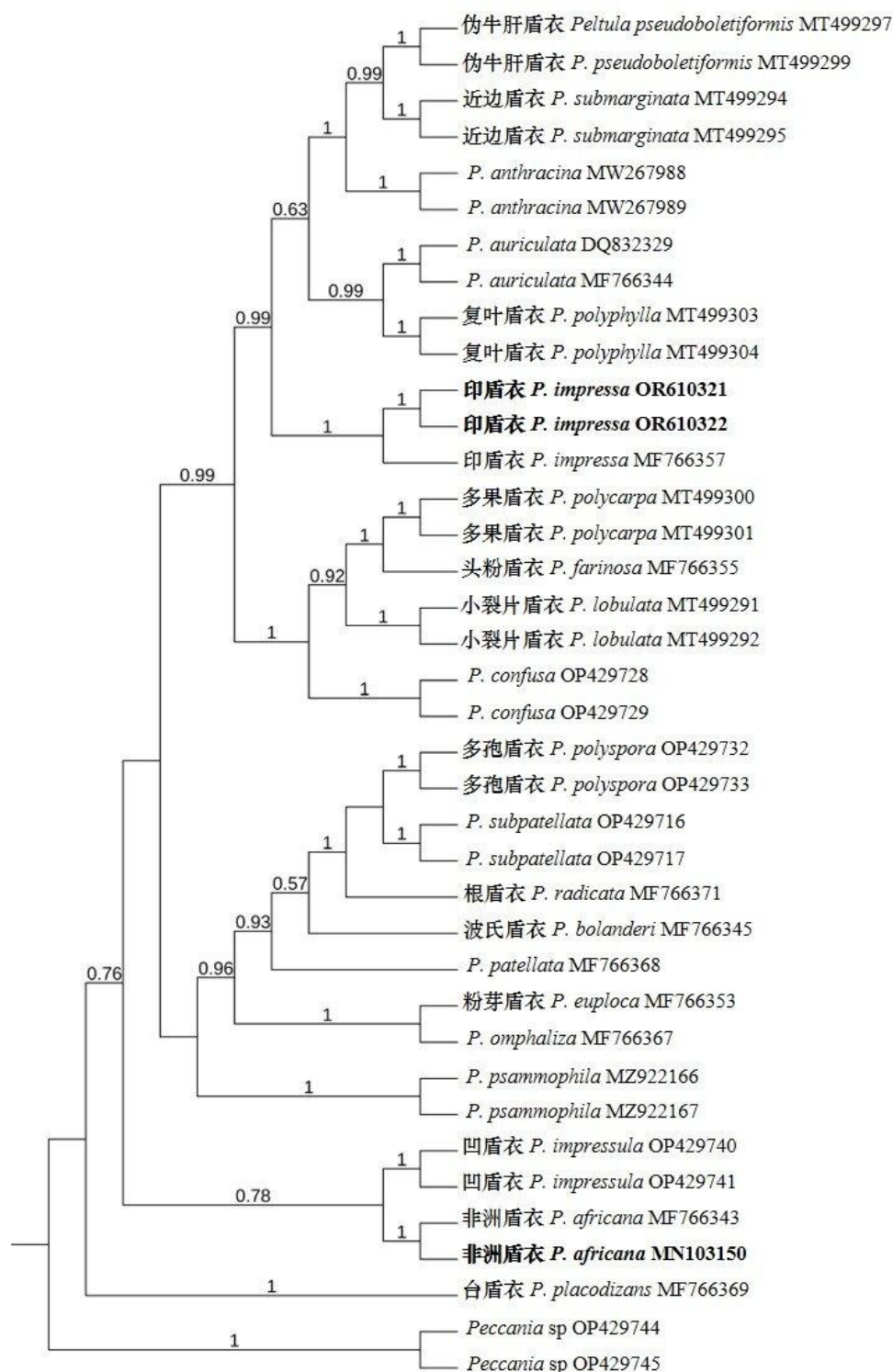
注：本研究生成的序列加粗表示。

Note: The sequences generated in this study are represented in bold.

2 结果与分析

2.1 系统发育分析

本研究共使用了 38 条 DNA 序列，包括 3 条新 ITS 序列（表 1），构建 MrBayes 系统发育树，结果显示本研究中的标本都与对应的物种具有极高的可信度（PP=1.00），形成单系（图 1）。



每个节点中的数字代表后验概率（PP）值。本研究中的标本用粗体表示。

The numbers in each node represent a posterior probability (PP) value. The species in this study are represented in bold.

图 1 基于 ITS 序列构建的贝叶斯系统发育树

Fig.1 The BI tree based on ITS data set

2.2 中国新记录种

2.2.1 非洲盾衣（新拟）（图 2）

Peltula africana (Jatta) Swinscow & Krog, Norw. J. Bot. 26(3): 217 (1979)

地衣体盾状，橄榄色偏黄，平坦或波状，直径 0.3~3 mm，最大至 15 mm；单生或 2~3 片簇生；鳞片边缘明显，深灰黑色，略向上弯曲或向下弯曲，撕裂状，由堆积的黄褐色藻

细胞构成；上表面略粗糙，具网状浅裂；下表面光滑，无光泽或有光泽，浅焦糖色；以脐附着于基物；地衣体 197~371 μm 厚，为异层型地衣。上皮层不发育，藻胞层 114~182 μm 厚，形成明显的两层，上层 17~24 μm 厚，为死亡藻细胞层，含有黄色分泌物，为黄褐色；下层为活体藻胞层，97~158 μm 厚；髓层菌丝网状交织，44~73 μm 厚；下皮层明显，细胞呈栅栏状排列，18~29 μm 厚；下皮层外侧为一层黄色的非细胞层，20~30 μm 厚。子囊果埋生，黑色疣点状，每鳞片 1~5 个，未见发育成熟的子囊果。未见分生孢子器。

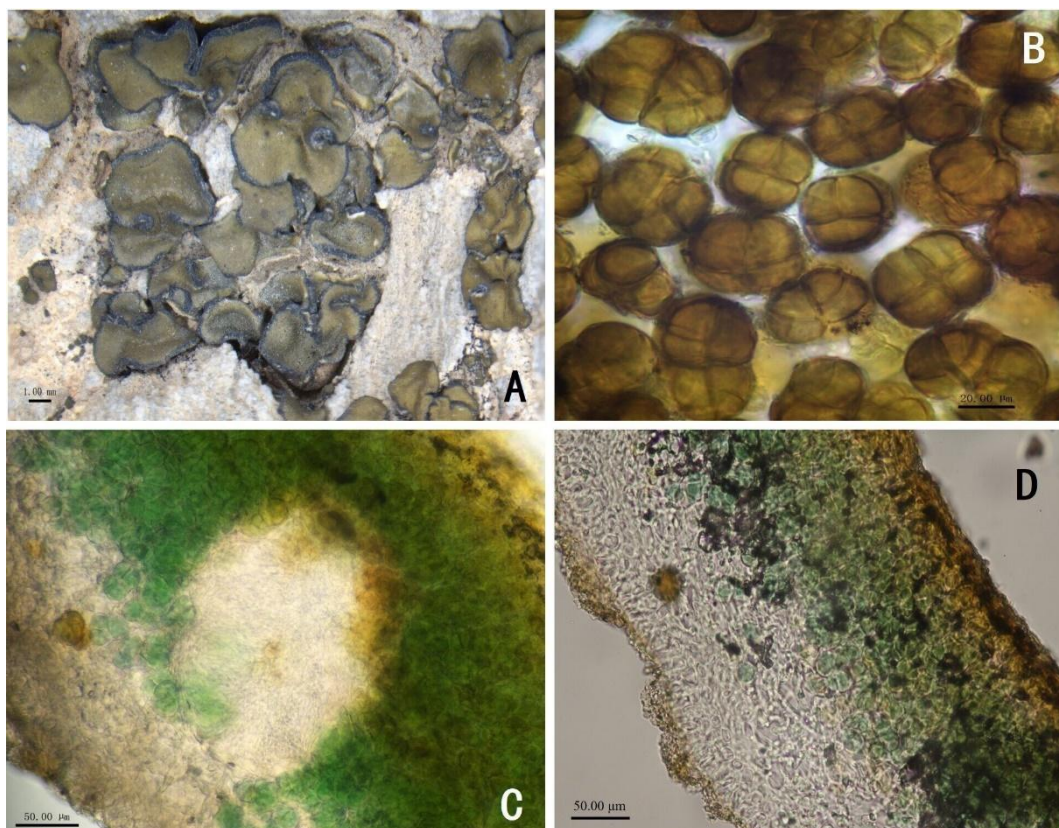
生境：着生于岩石上。

分布：非洲东北部（厄立特里亚），肯尼亚，南非，加那利群岛，特内里费岛，北美（Swinscow, 1982; Makryi, 2016）；中国新记录种。

化学：地衣体 K⁻, C⁻, KC⁻, I⁻, KI⁻, 髓层 K⁻, I⁻, KI⁻。含有 homosekikaic acid, zeorin, 及两种未知脂肪酸。

凭证标本：宁夏回族自治区 银川市，西夏区，贺兰山拜寺口向北 2 km, 1 323 m, 38°41'34" N, 105°59'01" E, 2010 年 10 月 5 日，牛东玲, 100223 (NXAC)；银川市，西夏区，贺兰山拜寺口向北 2 km, 1 323 m, 38°41'34" N, 105°59'01" E, 2010 年 10 月 5 日，牛东玲, 100238 (NXAC)。

讨论：非洲盾衣 (*Peltula africana*) 与其它种的区别在于，鳞叶相对较大，以脐着生在处于暴露环境中的岩石表面，下皮层为栅栏状的细胞层。本种与头粉盾衣 (*P. farinosa*) 在形态上相似，均为本属中鳞叶偏大的物种，边缘大多波状，以脐着生于岩石表面，两个种均在非洲有分布。但头粉盾衣上表面为灰色，具粉霜，下皮层通常由 3 层六角形细胞组成 (Büdel & Lange, 1994)。Swinscow (1982) 描述非洲盾衣的一个典型特征是鳞片边缘产生黑色粉芽堆，通过我们对地衣体边缘徒手切片的观察，发现非洲盾衣边缘的黑色结构是堆积的藻细胞，在藻细胞上没有发现有共生菌菌丝的结构。这些藻细胞堆由 4~8 个藻细胞成团组成，颜色为黄褐色。根据 Büdel & Lange (1994) 的研究，推测这些藻细胞内可能含有黄色分泌物。Wetmore (1974) 曾对盾衣属的粉芽结构进行了透视和扫描电镜的研究，认为该属的粉芽是一种新型的粉芽，菌丝位于藻细胞的内部。对此结论，我们将开展进一步的研究。



A. 盾状地衣体；B. 地衣体边缘堆积的藻细胞；C. 未发育成熟的子囊果；D. 地衣体横切面。标尺：A=1.00 mm; B=20.00 μm ; C=50.00 μm ; D=50.00 μm 。

A. Peltate thallus; B. Algae cells at the edge of thallus; C. An underdeveloped ascocarp; D. Section of thallus. Bars: A=1.00 mm; B=20.00 μm ; C=50.00 μm ; D=50.00 μm .

图 2 非洲盾衣 (NXAC 100223)

Fig. 2 *Peltula africana* (NXAC 100223)

2.2.2 印盾衣 (新拟) (图 3)

Peltula impressa (Vain.) Swinscow & Krog, Norw. J. Bot. 26: 219 (1979)

地衣体小鳞片状, 棕黄色或橄榄色, 倒圆锥形到棍棒形或圆筒状, 中心位置平坦或凸起, 单生或 2~5 个簇生。上表面光滑, 直径 0.2~0.8 mm, 最大约 1 mm。地衣体 230~500 μm 厚, 边缘全缘向下, 颜色加深, 以脐附着于基质。顶端可见明显粉芽堆, 头状, 黑色, 含新型粉芽; 上皮层不发育, 藻胞层 103~273 μm 厚, 形成明显的两层, 上层为 3~6 层死藻细胞, 黄褐色, 15~38 μm 厚; 下层为活体共生藻层, 88~235 μm 厚; 髓层菌丝松散排列, 59~147 μm 厚。下皮层 15~21 μm 厚, 细胞球状, 直径 5~8 μm 。子囊盘红棕色, 无盘缘, 盘面圆形或粗线型, 埋生于地衣体内, 直径 200~400 μm , 子实层 291~354 μm 厚, I+酒红色, 子实上层浅棕色 19~42 μm 厚, I+酒红色, 子实下层 17~32 μm 厚; 子囊棍棒状, 具撕裂状胶质鞘, 102~158 $\times$ 32.5~43 μm , 孢子 64 个左右; 子囊孢子为无色单胞, 圆形或椭圆形, 2.5~6.25 $\times$ 3~6.25 μm 。每个鳞叶常具 1~2 个分生孢子器, 圆形或椭圆形, 52.9~67.6 $\times$ 70.6~91.2 μm , 分生孢子椭圆或棍棒状, 无色, 1.8~2.7 $\times$ 3.6~4.3 μm 。

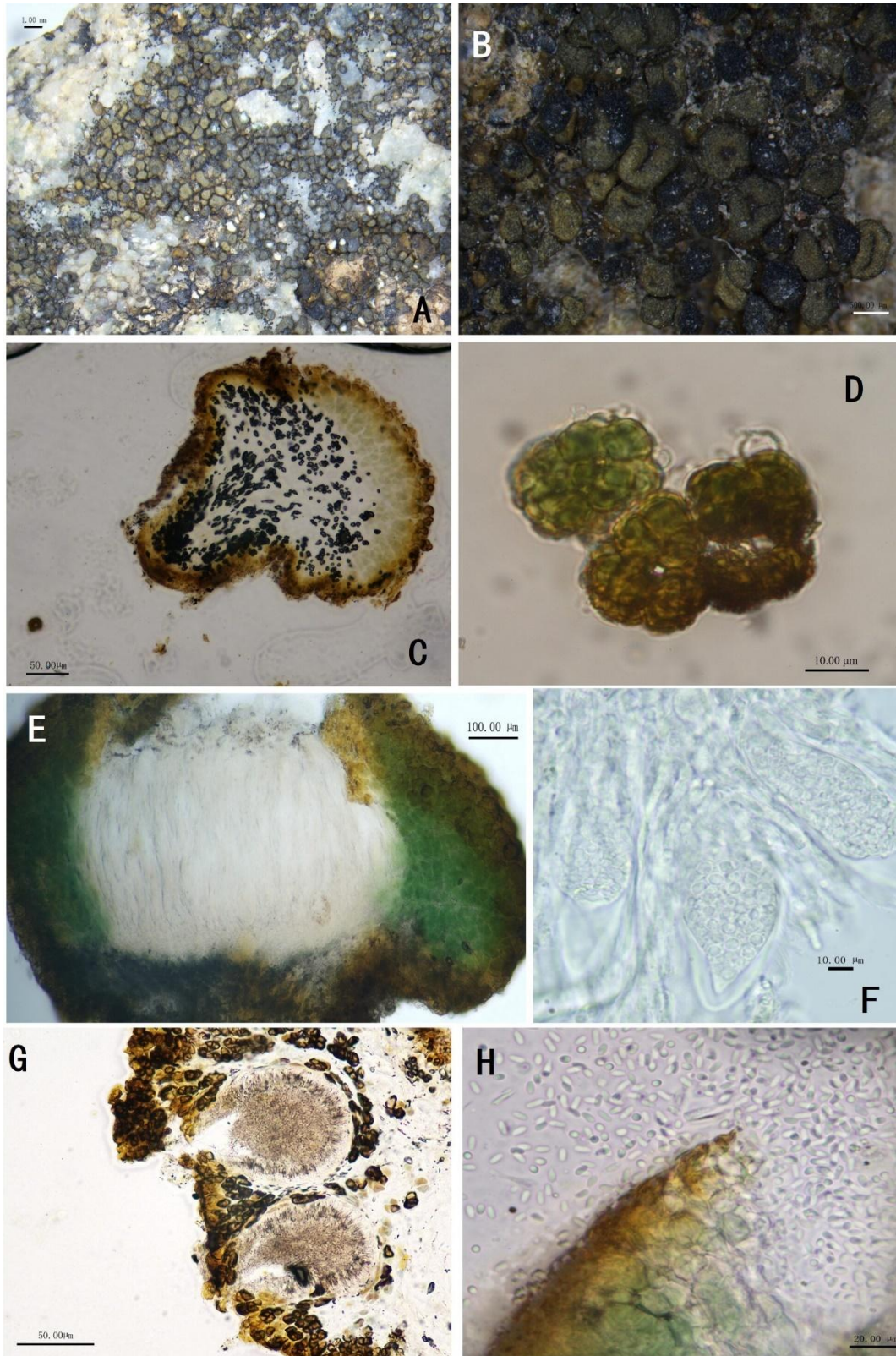
生境: 着生于岩石上。

分布: 北美洲西南部、澳大利亚、非洲南部和东部, 墨西哥 (Büdel & Nash, 2002); 中国新记录种。

化学成分: 地衣体 K-, C-, KC-, I-, KI-, 髓层 K-, I-, KI-。含草酸钙晶体, homosekikaic acid, 一种未知脂肪酸。

凭证标本: 宁夏回族自治区 银川市, 西夏区, 贺兰山苏峪口, 1 276 m, 38°41'47.1" N, 106°00'3.4" E, 岩石, 2022 年 6 月 12 日, 牛东玲, 赵格格, 李振强, 22071276 (NXAC); 银川市, 西夏区, 贺兰山插旗口, 1 445.3 m, 38°47'7.9" N, 106°3'25.1" E, 岩石, 2014 年 10 月 25 日, 牛东玲, 14021492 (NXAC); 银川市, 西夏区, 贺兰山马连口, 1 437.2 m, 38°34'15.1" N, 105°56'2.7" E, 岩石, 2014 年 10 月 2 日, 牛东玲, 14010614 (NXAC); 银川市, 西夏区, 贺兰山大口子路西, 1 600 m, 38°35'32" N, 105°56'31" E, 岩石, 2010 年 9 月 24 日, 牛东玲, 100274 (NXAC); 银川市, 西夏区, 贺兰山大水渠沟, 1 481 m, 38°41'00" N, 105°56'32.6" E, 岩石, 2016 年 5 月 23 日, 牛东玲, 160274 (NXAC)。

讨论: 印盾衣 (*Peltula impressa*) 与台盾衣 (*P. placodizans*) 在外观上很相似, 都为小鳞片状, 平坦或凸起, 上表面橄榄色, 顶部均具有黑色新型粉芽堆, 子囊盘完全浸没在地衣体中, 均以脐着生在处于岩石表面 (Wetmore, 1974; Martin et al., 2015; 杨秋霞, 2021)。但印盾衣的子囊盘盘面为红棕色, 盘面圆形或粗线型, 而台盾衣的子囊盘盘面为无色或浅红黄色, 点状, 子囊孢子超过 100 个, 远多于印盾衣 (Wetmore, 1970; 杨秋霞, 2021); 台盾衣的鳞叶有时呈长带状, 地衣体变得近似灌木状, 而印盾衣的地衣体不具有这些特征。通过对 Westberg (2015) 和 Kauff (2018) 研究所提供的印盾衣和台盾衣图片的比对, 并结合我们系统建树分析的结果, 认为库丽娜孜·沙合达提 (2016) 的报道有误, 其报道的球粉芽盾衣应为印盾衣。



A. 生境；B. 子囊盘和黑色头状粉芽堆；C. 地衣体横切（示草酸钙结晶）；D. 新型粉芽；E. 子囊盘横切；F. 子囊及子囊孢子；G. 分生孢子器；H. 分生孢子。标尺：A=1.00 mm；B=500.00 μm；C=50.00 μm；D=10.00 μm；E=100.00 μm；F=50.00 μm；G=50.00 μm；H=20.00 μm.

A. Habit; B. Immersed apothecia and black capitulate soralia (on top of the central squamules); C. Section of thallus with calcium oxalate crystal; D. New type of soredia; E. Section of apothecia; F. Asci and ascospores; G. Pycnidia; H. Conidia. Bars: A=1.00 mm; B=500.00 μm; C=50.00 μm; D=10.00 μm; E=100.00 μm; F=50.00 μm; G=50.00 μm; H=20.00 μm.

图3 印盾衣 (NXAC 22071276)

Fig. 3 *Peltula impressa* (NXAC 22071276)

参考文献

- BÜDEL B, 1987. Taxonomy and biology of the lichen genus *Peltula* Nyl[J]. Bibl Lichenol, 25: 209-217.
- BÜDEL B, ELIX J, 1997. *Peltula langei* Büdel et Elix spec. nov. from Australia, with remarks on its chemistry and the ascoma of *Peltula clavata* (Krempelh) Wetm[J]. Bibl Lichenol, 67: 3-10.
- BÜDEL B, LANGE OL, 1994. The role of cortical and epinecral layers in the lichen genus *Peltula*[J]. Crypt Bot, 4: 262-269.
- BÜDEL B, NASH III TH, 2002. *Peltula* [M] // NASH III TH, RYAN BD, GRIES C, et al. Lichen flora of the Greater Sonoran Desert region. Tempe, Arizona: Lichens Unlimited, Arizona State University, 1: 331-340.
- FRANK K, ALEXANDRA B, MATTHIAS S, et al, 2018. Molecular data favours a monogeneric Peltulaceae (Lichinomycetes) [J]. Lichenologist, 50(3): 313-327.
- FREDRIK R, MAXIM T, PAUL VDM, et al, 2012. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space[J]. Syst Biol, 61(3): 539-542.
- GARDES M, BRUNS TD, 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes application to the identification of mycorrhizae and rusts[J]. Mol Ecol, 2(2): 113-118.
- GYELNIK V, 1935. De familia Heppiacearum 1, 2[J]. Repertorium specierum novarum regni vegetabilis, 38: 153-157, 307-313.
- INNIS MA, GELFAND DH, SNINSKY JJ, et al, 1990. PCR Protocols: a guide to methods and applications[M]. New York: Academic Press Inc.
- KATOH K, STANDLEY DM, 2013. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability[J]. Mol Biol Evol, 30(4): 772-780.
- MAKRYI TV, 2016. *Peltula pannarioides* and *P. rosulate* (Peltulaceae), new lichen species from Baikal Siberia[J]. Novosti sist nizsh rast, 50: 231-242.
- MARTIN W, EINAR T, JOHAN A, et al, 2015. New records of lichenized and lichenicolous fungi in Scandinavia[J]. Mycokeys, 11: 33-61.
- NYLANDER W, 1853. Lichenes Algerenses Novi. Annales des sciences naturelles[J]. Bot Biol Veg, 20: 314-320.
- ORANGE A, JAMES PW, WHITE FJ, 2001. Microchemical methods for the identification of lichens[M]. London: British Lichen Society.
- RAUHUT AC, 2006. Molekulare Phylogenie der Flechtenfamilie Peltulaceae (Lichinales, Ascomycota) [D]. Kaiserslautern, Germany: University of Kaiserslautern.
- REN Q, 2023. Key to the lichen genera of China[J]. J Liaocheng Univ (Nat Sci Ed), 36(1): 107-110. [任强, 2023. 中国地衣分属检索表[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 36(1): 107-110.]
- SAHEDAT G, XU J, MEMET B, et al, 2016. New record species of lichen genus *Peltula* Nyl. from Inner Mongolia, China[J]. J Inner Mongolia Univ (Nat Sci Ed), 47(6): 647-651. [库丽娜孜·沙合达提, 徐杰, 布拉比亚·麦麦提, 等, 2016. 内蒙古盾衣属地衣新记录[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 47(6): 647-651.]
- SUBHA K, BUI QM, THOMAS KFW, et al, 2017. ModelFinder: fast model selection for accurate phylogenetic estimates[J]. Nat Methods, 14(6): 587-589.
- SWINSCOW TDV, 1982. The genera *Heppia* and *Peltula* in Tenerife[J]. Lichenologist, 14: 76-83.
- WEI JC, 2020. The enumeration of lichenized fungi in China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House.
- WETMORE CM, 1970. The lichen family Heppiaceae in North America[J]. Ann Mo Bot Gard, 57: 158-209.
- WETMORE CM, 1974. New type of soredium in the lichen family Heppiaceae[J]. Bryologist, 77(2): 208-215.
- WHITE TJ, BRUNS T, LEE S, et al, 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics[J]. PCR Protoc, 38: 315-322.
- YANG QX, 2021. Taxonomy of the lichen genera *Peltula* and *Peccania* from China[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences. [杨秋霞, 2021. 中国盾衣属和同枝衣属地衣分类学研究[D]. 北京: 中国科学院微生物研究所.]
- YANG QX, CHENG XM, ZHANG TT, et al, 2022a. Five new species of the lichen-forming fungal genus *Peltula*

from China[J]. J Fungi, 8(2): 134.

YANG QX, JASON H, STEVEN DL, et al, 2022b. Two new species and two new records of the lichen-forming fungal genus *Peltula* (Ascomycota: Peltulaceae) from China[J]. Biology, 11(10): 1518.

ZHANG D, LI WX, GAO FL, et al, 2021. Application of phylosuite to phylogenetic analysis using concatenated sequences[J]. Bio Protocol: e1010661. [张东, 李文祥, 高芳鑫, 等, 2021. PhyloSuite 在多基因系统发育分析中的应用[J]. Bio-protocol: e1010661.]