

四川省国家级自然保护区的3个蚯蚓新物种

董彦¹, 蒋际宝², 袁柱³, 高进长¹, 邱江平², 孙静^{1*}

¹成都工业学院材料与环境工程学院, 四川 成都

²上海交通大学农业与生物学院, 上海

³上海健康医学院药学院, 上海

收稿日期: 2025年3月1日; 录用日期: 2025年3月22日; 发布日期: 2025年3月31日

摘要

龙溪-虹口国家级自然保护区和栗子坪国家级自然保护区分别位于四川省西部和南部, 属中亚热带湿润季风气候区, 该区域物种多样性丰富, 目前国内针对该区域内蚯蚓的物种多样性研究相对较少。通过形态分类学方法和DNA条形码技术, 本文报道了采集于龙溪-虹口国家级自然保护区的龙门远盲蚓(*Amyntas longmenmontis* Dong & Jiang sp. nov.), 栗子坪国家级自然保护区的暗色远盲蚓(*Amyntas impolitus* Dong & Qiu sp. nov.)和黄褐远盲蚓(*Amyntas fulvidus* Dong & Sun sp. nov.)蚯蚓新物种。它们的共同特征是受精囊孔4对, 位于5/6~8/9节间, 属于*A. corticis*物种群。

关键词

蚯蚓, 远盲蚓属, 新物种, 四川

Three New Earthworm Species from Sichuan Province National Nature Reserve

Yan Dong¹, Jibao Jiang², Zhu Yuan³, Jinzhang Gao¹, Jiangping Qiu², Jing Sun^{1*}

¹School of Materials and Environmental Engineering, Chengdu Technological University, Chengdu Sichuan

²School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai

³School of Pharmacy, Shanghai University of Medicine & Health Sciences, Shanghai

Received: Mar. 1st, 2025; accepted: Mar. 22nd, 2025; published: Mar. 31st, 2025

*通讯作者。

文章引用: 董彦, 蒋际宝, 袁柱, 高进长, 邱江平, 孙静. 四川省国家级自然保护区的3个蚯蚓新物种[J]. 林业世界, 2025, 14(2): 206-214. DOI: 10.12677/wjf.2025.142025

Abstract

The Longxi-Hongkou National Nature Reserve and the Liziping National Nature Reserve are situated in the western and southern regions of Sichuan Province, belonging to the mid-subtropical humid monsoon climate zone. This region is characterized by its abundant diversity of species. However, domestic studies focusing on the species diversity of earthworms in this area are relatively scarce at present. By means of morphological taxonomy methods and DNA barcode technology, three new earthworm species belonging to genus *Amyntas* were found: *A. longmenmontis* Dong & Jiang, sp. nov., *A. impolitus* Dong & Qiu, sp. nov., *A. fulvidus* Dong & Sun, sp. nov. All of them have four pairs of spermatheca pores located in 5/6~8/9 belonging to the *A. corticis*-group.

Keywords

Earthworm, *Amyntas*, New Species, Sichuan

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

蚯蚓隶属于环节动物门(Annelida)寡毛纲(Oligochaeta),是重要的土壤动物类群,通过新陈代谢活动促进凋落物中的营养元素,尤其是氮、磷循环和周转速率,提高土壤质量,对土壤腐殖化、碳氮分解及土壤固碳具有重要作用[1]-[3]。同时,蚯蚓可用于土壤污染治理,其不仅能以表皮接触扩散和摄食作用的方式直接去除部分有机化合物,还可以通过改良土壤环境、刺激土壤酶活性等方式促进污染物降解[4] [5]。我国已记载的远盲蚓属蚯蚓物种数量众多,是世界上远盲蚓属蚯蚓分布最多的国家[6]。

龙溪-虹口国家级自然保护区位于都江堰市北部,龙门山褶皱带中南部,属于青藏高原向四川盆地的过渡区域,气候类型为中亚热带湿润季风气候,典型的高山峡谷地貌,地理坐标为 31°04'~31°22'N, 103°32'~103°43'E,保护区海拔 1196~4582 m,多年平均降水量 1500 mm,多年平均气温 15.2℃,总面积 310 km²。栗子坪国家级自然保护区位于雅安市石棉县境内,在横断山区东缘、四川盆地西南缘的大渡河中上游,气候类型为中亚热带季风常绿阔叶林气候,地理坐标为 28°51'~29°08'N, 102°10'~102°29'E,保护区海拔 1688~3214 m,多年平均降雨量为 813 mm,多年平均气温 17℃,总面积 480 km²。两个国家级保护区内动植物资源极其丰富,是全球生物多样性热点区域之一[7]。目前,国内针对这两个保护区的研究,主要集中在景观多样性和植被自然演替等方面[8] [9],关于土壤动物物种多样性的研究还较为缺乏。因此,本文旨在为土壤动物蚯蚓多样性的编目、保护和管理提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料

使用挖掘法在龙溪-虹口国家级自然保护区和栗子坪国家级自然保护区采集蚯蚓样本。野外采集到的活体样本需要在采集当天处理,步骤如下:清水洗净——10%浓度乙醇浸泡麻醉——无水乙醇定型(用竹镊子辅助固定)——50 ml 收纳管中储存(无水乙醇没过蚯蚓)——每天更换无水乙醇至无液体稀出。

2.2. 形态鉴定

标本完全固定后,使用解剖镜对蚯蚓形态特征进行描述,根据1986年陈义的中国蚯蚓、1972年Sims和Easton等对远盲蚓属蚯蚓特征表述[10][11],仔细观测并记录新物种的外部形态特征,包含体长、环带宽、受精囊孔位置及对数、雄孔区特征等,解剖后进行标本固定并详细测量记录内部特征,包含受精囊位置及对数、盲肠位置及大小、前列腺形态特征等。拍摄细节照片,使用Adobe illustrator CC绘制相关特征矢量图。将物种与中国及周边国家远盲蚓属蚯蚓的物种特征进行比对,确认物种特异性[12][13]。

2.3. DNA 提取及测序

取5g蚯蚓尾部组织,洗净剪碎,使用无脊椎动物DNA试剂盒(OMEGA)提取DNA。使用引物HCO2198和LCO1490扩增线粒体COI基因[14]。PCR扩增温度、时间、循环条件等见参考文献董彦[15],PCR产物送至华大基因上海分公司进行切胶、提取、纯化、测序。使用seqverter及MeGa等软件对测序结果进行处理,COI基因序列在线提交GenBank并进行比对,确保物种为未发表物种。

3. 结果与讨论

3.1. 龙门远盲蚓(*Amyntas longmenmontis* Dong & Jiang, sp. nov.)

正模: SC201730-03, 1条成体, 2017年05月14日采于四川省龙溪-虹口国家级自然保护区, 表土层, 黄褐壤, 采样点地理坐标31°10'41"N, 103°39'32"E, 海拔1272m。标本采集人: 袁柱、蒋际宝、董彦、赵琦、高杏、陶冶旻。

词源学: 依据采集地点“龙门山”命名。

DNA条形码: GenBank 登录号MH843418 (SC201730-03, 正模)。

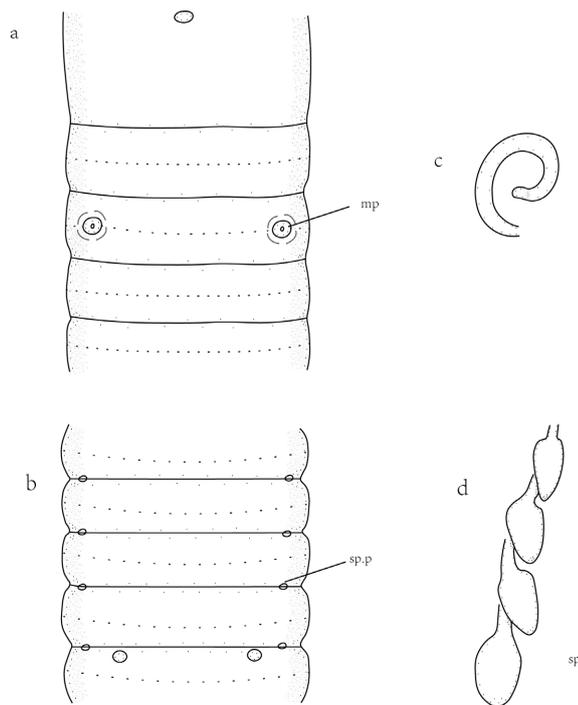


Figure 1. *Amyntas longmenmontis* Dong & Jiang, sp. nov., holotype. a. ventral view; mp. male pores; b. ventral view, sp.p. spermathecal pores; c. prostates gland; d. spermathecae

图 1. 龙门远盲蚓, 正模。a. 腹面, mp. 雄孔; b. 腹面, sp.p 受精囊孔; c. 前列腺; d. 受精囊

外部特征(表 1): 成体体长 76 mm, 环带宽 3.8 mm, 体节数 70 节。周身为浅土黄褐色, 环带浅褐色, 无体环, 背中线条清晰。刚毛环生, 环带前稀疏且较粗, 刚毛式: AA = 1.2 - 1.4 AB, ZZ = 1.6 - 1.8 ZY (环带前), ZZ = 2.0 - 2.2 ZY (环带后)。雄孔 1 对, 位于 XVIII 节腹侧两边, 雄孔间距约 1/3 节周长, 位于 1 个中等偏小的圆形平顶突起上, 有一圈皮褶包围(图 1(a))。受精囊孔 4 对, 位于 5/6~8/9 节间, 小眼状, 孔区清晰, 孔间距 1/3 节周长, 紧贴 8/9 节间沟后方, 第 IX 节刚毛环前有 1 对间距为 1/4 节周长的圆形小乳突(图 1(b)) [16]。

内部特征(表 1): 砂囊长桶状, 前细后粗, 位于 IX~X 节。小肠自 XV 节开始膨大。盲肠单式, 起于 XXVII 节, 位于 XXVII~XXIV, 指状, 背腹缘均较光滑。心脏 4 对, 较发达。精巢囊 2 对, 发达。储精囊 2 对, 发达。前列腺退化, 前列腺管呈“6”字形(图 1(c))。受精囊 4 对, 位于 VI~IX 节(图 1(d)) [16]。

评论: 龙门远盲蚓腹侧 5/6~8/9 节间具有 4 对受精囊孔, 属于 *A. corticis* 物种群。

龙门远盲蚓与分布于四川峨眉山的小囊远盲蚓 [*Amyntas exilens* (Zhong & Ma, 1979)] 体型大小相似, 雄孔在 XVIII 节, 盲肠单式, 受精囊孔 4 对, 位于 5/6~8/9 节间, 前列腺退化, 受精囊呈退化状 [17]。但龙门远盲蚓与小囊远盲蚓存在以下差异: 新种背孔起于 11/12 节间, 小囊远盲蚓背孔起于 12/13 节间; 新物种环带上无刚毛, 小囊远盲蚓环带腹面 XVI 节有刚毛; 新物种刚毛稀疏, 小囊远盲蚓刚毛稠密; 新物种雄孔间距约 1/3 节周长, 小囊远盲蚓雄孔间距约 2/5 节周长; 新物种雄孔区无乳突, 小囊远盲蚓雄孔区有 3 对乳突; 新物种受精囊孔区清晰, 在紧贴 8/9 节间沟后方有一对圆形小乳突, 小囊远盲蚓受精囊孔小且有时肉眼不可见, 在第 VIII 节刚毛环后有一对乳突, 有时缺一或全缺。

龙门远盲蚓与 *Amyntas dispersus* Sun & Qiu, 2018 体型大小相似, 背孔均起于 11/12, 环带腹侧均没有刚毛, 受精囊孔 4 对, 位于 5/6~8/9 节间, 孔间距 1/3 节周长, 第 IX 节有 1 对生殖乳突, 盲肠单式, 前列腺呈现相似的退化状态 [18]。但龙门远盲蚓与 *A. dispersus* 有以下差异: 新物种环带以后刚毛更密, *A. dispersus* 环带以后刚毛稀疏; 新物种雄孔较小, 孔区无乳突, *A. dispersus* 雄孔较大, 在 XVII~XX 有 1~3 个可变乳突; 新物种受精囊无盲管, *A. dispersus* 受精囊有盲管, 且和主体长度相当。

3.2. 暗色远盲蚓(*Amyntas impolitus* Dong & Qiu, sp. nov.)

正模: SC201749-04, 1 条标本, 成体, 2017 年 05 月 21 日采集于四川省栗子坪过家家自然保护区, 表土层, 褐壤, 采样点地理坐标为 28°53'20"N, 102°21'18"E, 海拔 2607 m。标本采集人: 袁柱、蒋际宝、董彦、赵琦、高杏、陶冶旻。

词源学: 依据蚯蚓体色特征的描述命名。

DNA 条形码: GenBank 登录号 MH843439 (SC201749-04, 正模)。

外部特征(表 1): 成体体长 44 mm, 环带宽 2.8 mm, 体节数 102 节。体中部背侧黄褐色, 其余部分为土黄色, 无体环, 背中线条清晰。刚毛环生, 刚毛式: AA = 2.0 - 3.0 AB, ZZ = 1.4 - 2.0 ZY。雄孔 1 对, 位于 XVIII 节腹侧两边, 孔间距略大于 1/4 节周长, 各位于 1 个椭圆形小突起上(图 2(a))。受精囊孔 4 对, 位于 5/6~8/9, 小眼状, 孔区清晰, 孔间距略大于 1/4 节周长(图 2(b)) [16]。

内部特征(表 1): 砂囊长桶状, 前细后粗, 位于 IX~X 节。小肠自 XV 节开始膨大。盲肠起于 XXVII 节, 位于 XXIII~XXVII, 过渡态, 背缘较光滑, 腹缘有 6 个指状小囊(图 2(c))。心脏 4 对, 较发达。精巢囊 2 对, 较发达。储精囊 2 对, 较小。前列腺发达, 前列腺管呈倒“U”形。受精囊 4 对, 位于 VI~IX 节(图 2(d)) [16]。

评论: 暗色远盲蚓属于 *A. corticis* 物种群, 与分布于台湾地区的 *Amyntas penpuensis* Shen, Tsai & Tsai, 2003 相似, 环带上无刚毛, 环带前后均没有乳突, 刚毛数量相似, 背孔起于 5/6~6/7 节间, 环带上有背孔痕迹, 雄孔间距均约为 1/4 节周长, 受精囊孔 4 对, 位于 5/6~8/9, 受精囊盲管比主体短 [19]。但暗色远盲

蚓与 *A. penpuensis* 有以下区别：新物种体型较小，*A. penpuensis* 体型较大；新物种雄孔较小，位于一椭圆形小突起上，*A. penpuensis* 雄孔较大，周围有 2~4 条褶皱；新物种受精囊孔小眼状，孔区清晰，*A. penpuensis* 受精囊孔不明显；新物种盲肠指状，过渡态，*A. penpuensis* 盲肠单式；新物种盲管前端 1/4 膨大为纳精囊，*A. penpuensis* 盲管前端 1/2 膨大为纳精囊。

暗色远盲蚓与分布于云南的元江远盲蚓 [*Amyntas yuanjiangensis* Sun & Qiu, 2021] 相似，环带腹侧均没有刚毛，刚毛数量前少后多，盲肠为过渡态，受精囊孔 4 对，孔区清晰，在 5/6~8/9 节间，盲管前端膨大为纳精囊 [20]。但暗色远盲蚓与元江远盲蚓有以下区别：新物种体型较小，元江远盲蚓体型较大；新物种环带土黄色，环带上背孔痕迹，元江远盲蚓背部黄褐色，环带灰棕色，背孔缺失；新物种雄孔无皮褶包围，元江远盲蚓雄孔有 3 层皮褶包围；新物种前列腺发达，元江远盲蚓前列腺退化，其左腺退化而为小而紧凑的分叶，右侧前列腺发达；新物种盲管前端膨大为长卵圆形纳精囊，元江远盲蚓前端膨大为杆状纳精囊。

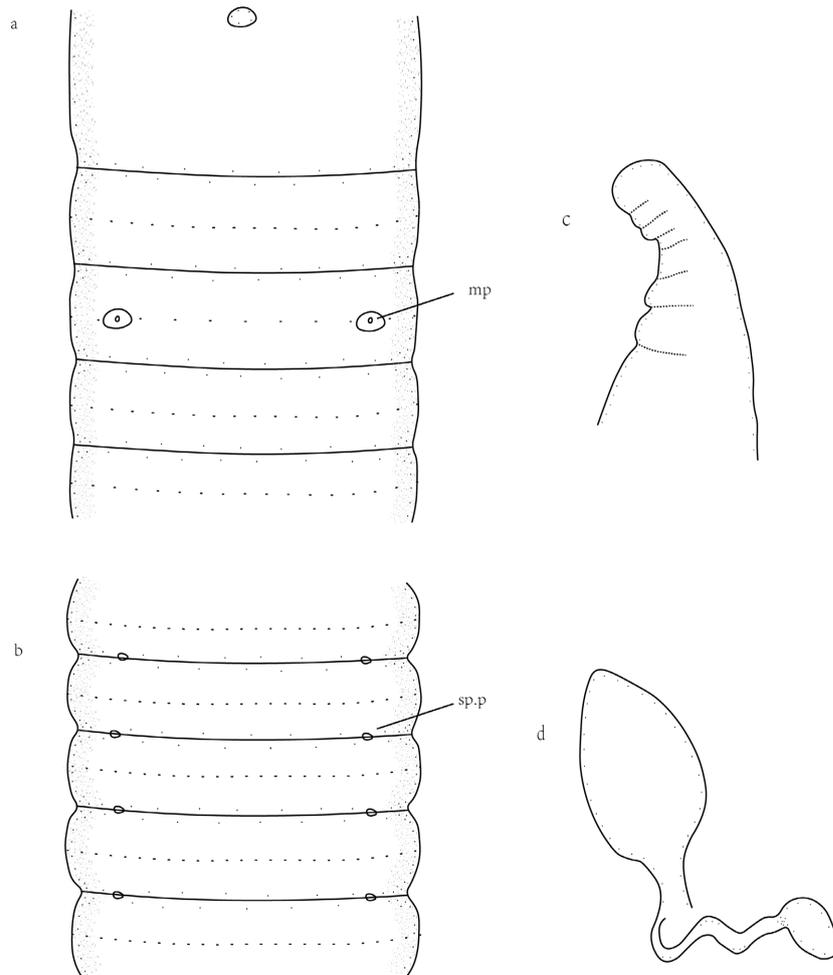


Figure 2. *Amyntas impolitus* Dong & Qiu, sp. nov., holotype. a. ventral view, mp. male pores; b. ventral view, sp.p. spermathecal pores; c. intestinal caeca; d. spermathecae
图 2. 暗色远盲蚓，正模。a. 腹面，mp.雄孔；b. 腹面，sp.p 受精囊孔；c. 盲肠；d. 受精囊

3.3. 黄褐远盲蚓 (*Amyntas fulvidus* Dong & Sun, sp. nov.)

正模：SC201750-01，1 条标本，成体，于 2017 年 05 月 21 日采集于四川栗子坪国家级自然保护区，表土层，褐壤，采样点地理坐标 28°53'24"N，102°21'29"E，海拔 2678 m。标本采集人：袁柱、蒋际宝、

董彦、赵琦、高杏、陶冶旻。

词源学：依据蚯蚓体色特征的描述命名。

DNA 条形码：GenBank 登录号 MH843467 (SC201750-01, 正模)。

外部特征(表 1)：成体体长 47 mm，环带宽 3.6 mm，体节数 66 节。黄褐色，环带灰褐色，无体环，背中线模糊可见。刚毛环生，刚毛式：AA = 1.4 - 1.8 AB (环带前)，AA = 2.0 - 2.6 AB (环带后)，ZZ = 1.6 - 1.8 ZY。雄孔 1 对，位于 XVIII 节腹侧两边，两孔腹侧间距略大于 1/4 节周长，各位于一个中等大小的圆形突起上；圆形突起周边形成白色椭圆形腺区(图 3(a))。受精囊孔 4 对，位于 5/6-8/9 节间，小眼状，孔区清晰，孔间距略大于 1/4 节周长(图 3(b)) [16]。

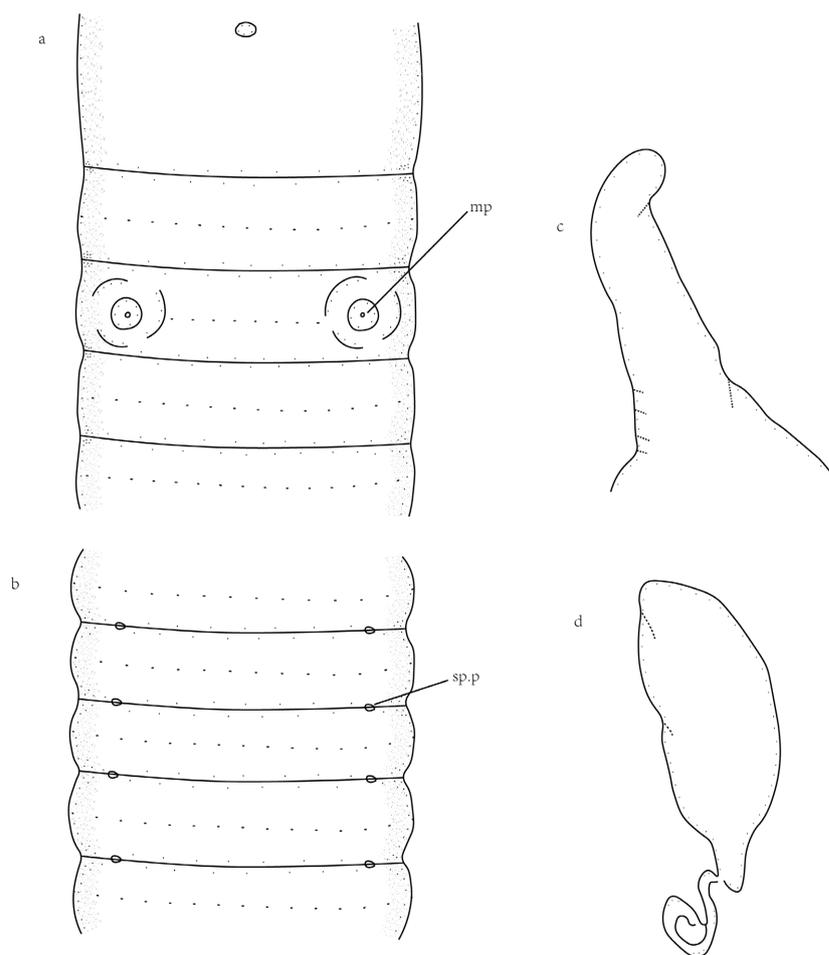


Figure 3. *Amyntas fulvidus* Dong & Sun, sp. nov., holotype. a. ventral view; mp. male pores; b. ventral view, sp.p. spermathecal pores; c. intestinal caeca; d. spermathecae

图 3. 黄褐远盲蚓，正模。a. 腹面, mp. 雄孔; b. 腹面, sp.p 受精囊孔; c. 盲肠; d. 受精囊

内部特征(表 1)：砂囊长桶状，位于 IX~X 节。小肠自 XV 节开始膨大。盲肠起于 XXVII 节，位于 XXIII~XXVII，指状，单式，背腹缘均较光滑(图 3(c))。心脏 4 对，较发达。精巢囊 2 对，发达。储精囊 2 对，发达。前列腺非常发达，前列腺管呈倒“U”形。受精囊 4 对，位于 VI~IX 节(图 3(d)) [16]。

评论：新物种属于 *A. corticis* 物种群，褐色远盲蚓与广布物种的皮质远盲蚓[*Amyntas cortices* (Kinberg, 1867)]相似，环带上无刚毛，受精囊孔 4 对，位于 5/6-8/9，盲肠单式[21]。但褐色远盲蚓与皮质远盲蚓有以下区别：新物种体型较小，皮质远盲蚓体型较大；新物种体色黄褐色，环带灰褐色，皮质远盲蚓背面

深棕色；新物种雄孔区、受精囊孔区无乳突，皮质远盲蚓雄孔区、受精囊孔区均有乳突；新物种前列腺发达，块状分叶组成，皮质远盲蚓前列腺退化；新物种受精囊盲管较短，皮质远盲蚓受精囊盲管细长。

Table 1. Comparison of morphological characteristics of three new species

表 1. 3 个新物种的形态特征对比

形态特征	龙门远盲蚓	暗色远盲蚓	黄褐远盲蚓
成体体长	76 mm	44 mm	47 mm
环带宽度	3.8 mm	2.8 mm	3.6 mm
体节数	70	102	66
口前叶	1/2 上叶式	1/2 上叶式	1/2 上叶式
背孔	11/12	5/6	5/6
环带	XIV~XVI 节，光滑隆起，无刚毛，无背孔	XIV~XVI，光滑隆起，无刚毛，有背孔痕迹	XIV~XVI 节，光滑隆起，无刚毛，无背孔
刚毛数	28/III、30/V、34/VIII、58/XX、56/XXV，受精囊孔间 8 (VI)、10 (VII)、12 (VIII)，雄孔间 13 (XVIII)	26/III、26/V、40/VIII、32/XX、30/XXV，受精囊孔间 10 (VI)、12 (VII)、14 (VIII)，雄孔间 7 (XVIII)	22/III、28/V、30/VIII、32/XX、30/XXV，受精囊孔间 10 (VI)、11 (VII)、12 (VIII)，雄孔间 7 (XVIII)
雄孔 (腹侧)	1 对，位于 XVIII 节腹侧两边，雄孔间距约 1/3 节周长，位于 1 个中等偏小的圆形平顶突起上，有一圈皮褶包围	1 对，位于 XVIII 节腹侧两边，孔间距略大于 1/4 节周长，各位于 1 个椭圆形小突起上	1 对，位于 XVIII 节腹侧两边，两孔腹侧间距略大于 1/4 节周长，各位于一个中等大小的圆形突起上；圆形突起周边形成白色椭圆形腺区
雌孔 (腹侧)	1 个，位于 XIV 节腹侧中央，卵圆形，乳白色	1 个，位于 XIV 节腹侧中央，卵圆形，乳白色	1 个，位于 XIV 节腹侧中央，卵圆形，乳白色
受精囊孔 (腹侧)	4 对，位于 5/6~8/9 节间，小眼状，孔区清晰，孔间距 1/3 节周长，紧贴 8/9 节间沟后方，第 IX 节刚毛环前有 1 对间距为 1/4 节周长的圆形小乳突	4 对，位于 5/6~8/9，小眼状，孔区清晰，孔间距略大于 1/4 节周长	4 对，位于 5/6~8/9 节间，小眼状，孔区清晰，孔间距略大于 1/4 节周长
隔膜	5/6~7/8 肌肉质；10/11~13/14 较厚；8/9~9/10 缺失	5/6~7/8 肌肉质，10/11~13/14 较厚，8/9~9/10 缺失	5/6~7/8 厚肌肉质，10/11~13/14 较厚，8/9~9/10 缺失
砂囊	长桶状，前细后粗，IX、X 节	长桶状，前细后粗，IX、X 节	长桶状，位于 IX、X 节
小肠	自 XV 节开始膨大	自 XV 节开始膨大	自 XV 节开始膨大
盲肠	指状，单式，起于 XXVII 节，位于 XXVII~XXIV，背腹缘均较光滑	指状，过渡态，起于 XXVII 节，位于 XXIII~XXVII，背缘较光滑，腹缘有 6 个指状小囊	指状，单式，起于 XXVII 节，位于 XXIII~XXVII，
心脏	4 对，位于 X~XIII 节，较发达	4 对，位于 X~XIII 节，较发达	4 对，位于 X~XIII 节，较发达
精巢囊	2 对，位于 X、XI 节，卵圆形，发达	2 对，位于 X、XI 节，较发达	2 对，位于 X、XI 节，均发达，第一对较第二对发达
储精囊	2 对，位于 XI~XIII 节，发达	2 对，位于 XI、XII，较小	2 对，位于 XI、XII，发达
前列腺	退化，前列腺管呈“6”字形，位于 XVIII~XIX 节，末端膨大连于体壁	XVI~XXI，发达，厚，块状分叶组成；前列腺管呈倒“U”形，位于 XVIII 节，末端膨大连于体壁	XV~XXI，非常发达，厚，块状分叶组成；前列腺管呈倒“U”形，位于 XVII~XIX 节，末端膨大连于体壁
受精囊	4 对，位于 VI~IX 节，主体长约 1.2 mm，坛囊前三对桃心形，第四对长卵圆形，坛管粗，约为坛囊的 1/2 长，无盲管	4 对，位于 VI~IX 节，主体长约 1.2 mm，坛囊卵圆形，坛管约为坛囊的 1/2 长，盲管约为主体的 2/3 长，盲管柄弯曲，前端 1/4 膨大为长卵圆形纳精囊	4 对，位于 VI~IX 节，主体长约 1.4 mm，坛囊为长卵圆形，坛管约为坛囊的 1/6 长，盲管约为主体的 1/3 长，盲管柄细长弯曲，前端 1/3 膨大为长卵圆形纳精囊

4. 结论

基于形态学分析方法与 GenBank 分子数据比对, 结果说明 *A. longmenmontis* Dong & Jiang sp. nov., *A. impolitus* Dong & Qiu sp. nov. 与 *A. fulvidus* Dong & Sun sp. nov. 不同于以往采集或记录的物种, 为新物种。

致 谢

感谢上海交通大学邱江平教授的研究团队在野外采集工作中做出的贡献。

基金项目

国家科技基础资源调查专项课题(2018FY100301)。成都工业院校级科研项目, 人才项目(博士基金)114/235126。

参考文献

- [1] 殷秀琴, 陶岩, 王海霞, 等. 我国东北森林土壤动物生态学研究现状与展望[J]. 生物多样性, 2018, 26(10): 1083-1090.
- [2] 康玉娟, 武海涛. 蚯蚓对土壤碳氮循环关键过程的影响及其机制研究进展[J]. 土壤与作物, 2021, 10(2): 150-162.
- [3] 张雪莲, 王国兵, 徐晓. 不同生态类型蚯蚓对土壤团聚体有机碳质量分数的影响[J]. 东北林业大学学报, 2023, 51(1): 101-105.
- [4] 潘政, 郝月崎, 赵丽霞, 等. 蚯蚓在有机污染土壤生物修复中的作用机理与应用[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 3108-3117.
- [5] 李彤, 李翔, 李绍康, 等. 蚯蚓对植物修复石油烃污染土壤的影响[J]. 环境科学研究, 2019, 32(4): 671-676.
- [6] 姚波, 孙静, 蒋际宝, 等. 远盲蚓属蚯蚓在中国的地理分布及其对水热条件的响应[J]. 动物学杂志, 2018, 53(4): 554-571.
- [7] 肖焱, 欧阳志云, 朱春全, 等. 岷山地区大熊猫生境评价与保护对策研究[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1373-1379.
- [8] 朱大海, 何东, 尚涛, 等. 龙溪-虹口国家级自然保护区地震灾后植被自然演替初步研究[J]. 四川林业科技, 2015, 36(4): 95-97.
- [9] 刘立兵. 基于 GIS 和 RS 的龙溪-虹口自然保护区景观格局分析及生态脆弱性评价研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州师范大学, 2020.
- [10] 陈义. 中国蚯蚓[M]. 北京: 科学出版社, 1956.
- [11] Sims, R.W. and Easton, E.G. (1972) A Numerical Revision of the Earthworm Genus *Pheretima* Auct (Megascolecidae: Oligochaeta) with the Recognition of New Genera and an Appendix on the Earthworms Collected by the Royal Society North Borneo Expedition. *Biological Journal of the Linnean Society*, **4**, 169-268. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1972.tb00694.x>
- [12] 蒋际宝. 中国巨蚓科蚯蚓分类与分子系统发育研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2016.
- [13] 孙静, 蒋际宝, 冉雨晴, 等. 福建省武夷山和梅花山远盲蚓属蚯蚓四新种及其与近缘物种的遗传关系[J]. 动物学杂志, 2022, 57(1): 69-80.
- [14] Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., et al. (1994) DNA Primers for Amplification of Mitochondrial Cytochrome C Oxidase Subunit I from Diverse Metazoan Invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, **3**, 294-299.
- [15] 董彦. 22种(亚种)巨蚓科蚯蚓系统发生地理学研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2021.
- [16] Sun, J., James, S.W., Jiang, J.B., Yao, B., Zhang, L.L., Liu, M.Q., Qiu J.P. and Hu, F. (2017) Phylogenetic Evaluation of *Amyntas* Earthworms from South China Reveals the Initial Ancestral State of Spermathecae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **115**, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.07.026>
- [17] 袁柱. 横断山脉地区蚯蚓分类及分化与扩散研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2020.
- [18] Zhong, Y. and Ma, D. (1979) An Account of Some New Terrestrial Oligochaetes from Sichuan. *Acta Zootaxonomica Sinica*, **4**, 228-232.

- [19] Sun, J., Jiang, J.B., Bartlam, S., *et al.* (2018) Four New Amynthes and Metaphire Earthworm Species from Nine Provinces in Southern China. *Zootaxa*, **4496**, 287-301. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4496.1.24>
- [20] Shen, H.-P., Tsai, C.-F. and Tsai, S.-C. (2003) Six New Earthworms of the Genus Amynthes (Oligochaeta: Megascolecidae) from Central Taiwan Region. *Zoological Studies*, **42**, 479-490.
- [21] Sun, J., Jiang, J.B., Wu, J.Z., *et al.* (2021) Three New Widely Distributed and Polymorphic Species of Amynthes Earthworms (Oligochaeta, Clitellata, Megascolecidae) from South China. *Zootaxa*, **4938**, 457-474. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4938.4.5>