

急流水螨背腺毛腺孔位置的几何形态测量学研究

蔡福玲¹, 郭建军¹, 古欣瑶^{1,2*}

(1. 贵州大学 昆虫研究所/农业农村部贵阳作物有害生物科学观测实验站, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州大学 动物科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:为了明确背腺毛腺孔位置形态是否可作为急流水螨分类性状使用,本研究运用几何形态测量学的方法对急流水螨7属59种129个样本的背腺毛腺孔位置形态进行了变异分析。通过主成分分析明确了急流水螨7属间背腺毛腺孔位置形态的变异趋势,即急流水螨背腺毛腺孔形态的变异主要集中于 D_2 (由靠近螨体外侧向螨体中部移动)、 D_1 (靠近或远离螨体边缘)、 D_4 (由螨体后部向螨体中部前移)的变化;通过典型变量分析、聚类分析明确了急流水螨7属间背腺毛腺孔位置形态差异显著。该研究结果表明,背腺毛腺孔位置形态特征可作为急流水螨属级阶元的分类性状,同时初步表明几何形态测量学可用于急流水螨分类研究。

关键词:急流水螨;背腺毛;腺孔位置;几何形态测量学

中图分类号:Q969.91 **文献标识码:**A

文章编号:1008-0457(2022)05-0074-10

国际 DOI 编码:10.15958/j.cnki.sdnyswxb.2022.05.011

急流水螨科 *Torrenticolidae* 隶属于蜱螨亚纲 Acari, 绒螨目 Trombidiformes, 寄殖螨股 Parasitengonina, 水螨亚股 Hydrachnidiae, 腺水螨总科 Lebertioidea^[1]。截至2020年12月,急流水螨科共计2亚科7属11亚属605种^[2]。急流水螨科属和亚属主要分类特征一直存在较大争议,不少水螨分类学者对急流水螨科进行了分类研究并形成了不同的分类体系^[3]。目前,急流水螨存在可用分类性状较少,研究方法单一,分类进程相对滞后等问题,导致急流水螨物种鉴定的可信度偏低,同物异名现象严重^[4]。同时,由于水螨的常规保存液 Koenike 氏液中含有冰醋酸,致使分子数据提取极难,即分子生物技术在水螨分类的应用中受样本类型的限制^[5]。因而,急需增加新的分类性状及分类方法来进行整合分类研究,进而提高其分类鉴定的准确性,完善其分类体系。而几何形态测量学就是一个很好的补充方法^[6]。

几何形态测量学是将生物体形态信息转化为数字信息^[7],以便对物体形态进行统计分析的方法^[8],该方法能直观准确地展现不同生物体种间的微小形态差异^[9]。目前几何形态测量学已被研究者广泛应用于物种分类和系统发育,如刘媛等^[10]

运用几何形态测量学方法将两个近缘种叶片形状量化,揭示其亲缘关系;陈楠桦等^[11]运用几何形态测量学方法进行物种分类鉴定,研究4种滨螺的形态差异和系统发育关系;邓维安等^[12]对蚱类昆虫前胸背板进行几何形态测量学分析,以前胸背板形态特征作为蚱类昆虫的种间分类依据;也有学者将几何形态测量学应用于水生动物研究^[13],充分证实几何形态测量学的可行性,而在急流水螨类群中此方面的研究相对较少,仅 Becerra 和 Valdecasas 基于急流水螨腹板结构位点初步探索了几何形态测量学在急流水螨分类研究中的应用的可行性^[14]。

水螨各类群科级甚至属级单元的腺毛分布体位十分稳定,因此背腺毛对于研究水螨类群的系统发育关系具有重要意义^[15],然而在水螨分类研究中却很少使用背腺毛。因此,本文选取急流水螨背腺毛腺孔位置形态作为研究对象,采用几何形态测量学的方法,对采集的急流水螨背板图像进行标点转化,将背腺毛腺孔位置形态信息转换为数字信息,并利用主成分分析、典型变量分析、聚类分析等方法进行相关分析,以明确急流水螨背腺毛腺孔位置的形态变异趋势和属间差异显著性,探索几何形态测量学用于急流水螨分类研究的可行性及背腺

收稿日期:2022-02-10;修回日期:2022-03-03

基金项目:国家自然科学基金项目(NSFC31772421);贵州大学大学生“SRT计划”项目(贵大SRT字[2019]332)

* 通讯作者:古欣瑶(1993—),女,博士,讲师,主要从事蜱螨系统学及进化生物学研究,E-mail:guxy@gzu.edu.cn.

毛作为分类性状的可用性,以期为急流水螨乃至整个水螨类群的分类研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究材料

1.1.1 数据来源

本研究所用数据材料来源于作者拍摄的标本实物图片、手绘特征图以及从已发表的文献中获取的清晰背板特征图,共计获得 2 亚科 7 属 11 亚属 59 种 129 个急流水螨样本,样本信息详见表 1。

表 1 急流水螨样本信息

Tab.1 The sample information of Torrenticolidae

亚科	属	亚属	种	性别	样本来源	获取方式
Testudacarinae	Testudacarus	Testudacarus	<i>binodipalpis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>binodipalpis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>hyporhynchus</i>	雌	美国	文献获取 ^[16]
			<i>hyporhynchus</i>	雄	美国	文献获取 ^[16]
			<i>sinensis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>sinensis</i>	雄	中国	作者采集
Torrenticolinae	Debsacarus	Debsacarus	<i>oribatoides</i>	雌	美国	文献获取 ^[16]
			<i>oribatoides</i>	雄	美国	文献获取 ^[16]
	Torrenticola	Torrenticola	<i>brevisuturae</i>	雌	中国	作者采集
			<i>brevisuturae</i>	雄	中国	作者采集
			<i>dentifera</i>	雌	中国	作者采集
			<i>dentifera</i>	雄	中国	作者采集
			<i>heteroides</i>	雌	中国	作者采集
			<i>heteroides</i>	雄	中国	作者采集
			<i>postfusina</i>	雌	中国	作者采集
			<i>postfusina</i>	雄	中国	作者采集
			<i>proprirostrum</i>	雌	中国	作者采集
			<i>proprirostrum</i>	雄	中国	作者采集
			<i>rectognatha</i>	雌	中国	作者采集
			<i>rectognatha</i>	雄	中国	作者采集
			<i>rectuschelicera</i>	雌	中国	作者采集
			<i>rectuschelicera</i>	雄	中国	作者采集
			<i>spinextension</i>	雌	中国	作者采集
			<i>spinextension</i>	雄	中国	作者采集
			<i>tenuichellicera</i>	雌	中国	作者采集
			<i>tenuichellicera</i>	雄	中国	作者采集
			<i>wuyiensis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>wuyiensis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>pervagata</i>	雄	哥斯达黎加	文献获取 ^[17]
			<i>pervagata</i>	雌	哥斯达黎加	文献获取 ^[17]
			<i>pervagata</i>	雌	哥斯达黎加	文献获取 ^[17]
			<i>tilaranensis</i>	雄	哥斯达黎加	文献获取 ^[17]
			<i>tilaranensis</i>	雌	哥斯达黎加	文献获取 ^[17]
			<i>disjuncta</i>	雄	南非	文献获取 ^[18]
			<i>disjuncta</i>	雄	南非	文献获取 ^[18]
			<i>disjuncta</i>	雌	南非	文献获取 ^[18]
			<i>cardia</i>	雄	美国	文献获取 ^[19]
			<i>cardia</i>	雌	美国	文献获取 ^[19]
			<i>larvata</i>	雄	美国	文献获取 ^[20]
			<i>larvata</i>	雌	美国	文献获取 ^[20]
			<i>spatulifera</i>	雄	南非	文献获取 ^[18]
			<i>spatulifera</i>	雌	南非	文献获取 ^[18]
			<i>spatulifera</i>	雌	南非	文献获取 ^[18]

续表 1

亚科	属	亚属	种	性别	样本来源	获取方式
		<i>Megapalpis</i>	<i>anophthalma</i>	雌	越南	文献获取 ^[21]
			<i>anophthalma</i>	雄	越南	文献获取 ^[21]
			<i>fagei</i>	雌	法国	文献获取 ^[22]
			<i>fagei</i>	雄	法国	文献获取 ^[22]
			<i>jasminae</i>	雌	伊朗	文献获取 ^[23]
			<i>jasminae</i>	雄	土耳其	文献获取 ^[24]
			<i>khorrassanula</i>	雌	伊朗	文献获取 ^[25]
			<i>khorrassanula</i>	雌	伊朗	文献获取 ^[25]
			<i>yii</i>	雌	中国	作者采集
			<i>yii</i>	雄	中国	作者采集
			<i>distans</i>	雌	中国	作者采集
			<i>distans</i>	雄	中国	作者采集
	<i>Monatractides</i>	<i>Monatractides</i>	<i>australicus</i>	雌	澳大利亚	文献获取 ^[26]
			<i>australicus</i>	雄	澳大利亚	文献获取 ^[26]
			<i>cuspscixer</i>	雌	中国	作者采集
			<i>cuspscixer</i>	雄	中国	作者采集
			<i>cameronensis</i>	雌	马来西亚	文献获取 ^[27]
			<i>cameronensis</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[27]
			<i>drakensbergen</i>	雄	南非	文献获取 ^[18]
			<i>drakensbergen</i>	雌	南非	文献获取 ^[18]
			<i>hamatapodemus</i>	雌	中国	作者采集
			<i>hamatapodemus</i>	雄	中国	作者采集
			<i>Ironicus</i>	雌	澳大利亚	文献获取 ^[26]
			<i>Ironicus</i>	雄	澳大利亚	文献获取 ^[26]
			<i>jinni</i>	雌	中国	作者采集
			<i>jinni</i>	雄	中国	作者采集
			<i>macrocorpis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>macrocorpis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>morpheus</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[28]
			<i>morpheus</i>	雌	马来西亚	文献获取 ^[28]
			<i>macroporus</i>	雄	泰国	文献获取 ^[29]
			<i>macroporus</i>	雄	泰国	文献获取 ^[29]
			<i>macroporus</i>	雌	泰国	文献获取 ^[29]
			<i>macrogatha</i>	雌	中国	作者采集
			<i>macrogatha</i>	雄	中国	作者采集
			<i>microstoma</i>	雌	加纳	文献获取 ^[28]
			<i>microstoma</i>	雄	加纳	文献获取 ^[28]
			<i>pseudopinapalpis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>pseudopinapalpis</i>	雄	中国	作者采集
			<i>trilaminatus</i>	雌	中国	作者采集
			<i>trilaminatus</i>	雄	中国	作者采集
		<i>Pinquicola</i>	<i>adoratus</i>	雄	意大利	文献获取 ^[30]
			<i>adoratus</i>	雌	土耳其	文献获取 ^[31]
<i>Pseudotorrenticola</i>	<i>Pseudotorrenticola</i>		<i>boettgeri</i>	雌	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>boettgeri</i>	雄	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>borneoensis</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[28]
			<i>borneoensis</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[28]
			<i>coatepecana</i>	雄	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>coatepecana</i>	雄	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>chiricahua</i>	雄	美国	文献获取 ^[33]
			<i>chiricahua</i>	雌	美国	文献获取 ^[33]
			<i>espinasseae</i>	雄	洪都拉斯	文献获取 ^[34]
			<i>espinasseae</i>	雌	洪都拉斯	文献获取 ^[34]
			<i>sharpae</i>	雌	泰国	文献获取 ^[35]
			<i>sharpae</i>	雄	泰国	文献获取 ^[35]

续表 1

亚科	属	亚属	种	性别	样本来源	获取方式
	<i>Neoatractides</i>	<i>Allotorrenticola</i>	<i>bahtilli</i>	雄	泰国	文献获取 ^[29]
			<i>bahtilli</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[36]
			<i>calidus</i>	雌	伊朗	文献获取 ^[37]
			<i>calidus</i>	雄	伊朗	文献获取 ^[37]
			<i>erato</i>	雄	加纳	文献获取 ^[38]
			<i>erato</i>	雄	加纳	文献获取 ^[38]
			<i>farmerae</i>	雄	文莱	文献获取 ^[39]
			<i>farmerae</i>	雄	文莱	文献获取 ^[39]
			<i>malayensis</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[36]
			<i>malayensis</i>	雌	泰国	文献获取 ^[29]
			<i>malayensis</i>	雌	中国	作者采集
			<i>sundaensis</i>	雌	马来西亚	文献获取 ^[28]
			<i>sundaensis</i>	雌	马来西亚	文献获取 ^[28]
		<i>Heteratractides</i>	<i>proclusterosetus</i>	雄	中国	作者采集
			<i>proclusterosetus</i>	雄	中国	作者采集
			<i>uniscutatus</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[28]
			<i>uniscutatus</i>	雄	马来西亚	文献获取 ^[28]
		<i>Neoatractides</i>	<i>abueloi</i>	雄	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>abueloi</i>	雌	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>mexicana</i>	雄	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>mexicana</i>	雌	墨西哥	文献获取 ^[40]
			<i>nayaritensis</i>	雄	墨西哥	文献获取 ^[32]
			<i>nayaritensis</i>	雌	墨西哥	文献获取 ^[32]
	<i>Stygotorrenticola</i>	<i>Stygotorrenticola</i>	<i>coniseta</i>	雌	越南	文献获取 ^[21]
			<i>coniseta</i>	雌	越南	文献获取 ^[21]

1.1.2 仪器设备

数码显微镜成像系统(显微镜 Nikon ECLIPSE Ni 配置 Nikon DS-Ri 2 拍照系统)(日本,尼康)。

1.1.3 分析软件

tpsUtil 1.62、tpsDig 2.31、tpsSmall 1.33、tpsSuper 2.05、MorphoJ 1.06d、ImageJ 1.48V、NTsys 2.10e、Adobe Photoshop CC2018。

1.2 研究方法

1.2.1 图像采集

对所研究标本进行解剖、鉴定后,将玻片置于数码显微镜成像系统下,采集特征图片,保存图片为.jpg 格式;同时通过查阅文献,收集文献中急流水螨的背腺毛腺孔位置形态(正面观)的照片或手绘特征图。将所有待研究图片保存至同一文件夹内即可完成图像采集。

1.2.2 图像标点

将文件夹中的.jpg 格式图片正确命名后,利用 tpsUtil 1.62 软件,创建 tps 文件;将 tps 文件导入 tpsDig 2.31 软件进行图像标点。本研究对急流水螨 4 对背腺毛(D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4)腺孔进行标点(图 1),所有图片标点顺序保存一致即可。



图 1 背腺毛腺孔标记图

Fig.1 Marking picture of dorsalglandular pore

1.2.3 相关性检验

利用 tpsSmall 1.33 软件对样本形态原始数据内部相关性进行检验,通过该软件,可获取数据散点图,以及相关系数信息,初步判断是否适合进行后续分析。

1.2.4 相关分析

使用 MorphoJ 1.06d 软件,对急流水螨背腺毛腺孔位置的标记点进行叠印处理,获取全部样本 4 对背腺毛腺孔位置形态的叠印图,并通过 ImageJ 1.48V 创建 Outline 文件;将标点后的 tps 文件和 Outline 文件导入 MorphoJ 1.06d 软件中进行主成分分析(Principal Component Analysis),明确其腺孔位置形态特征的主成分及其变异趋势;同时在 PCA 的基础上,进行典型变量分析(Canonical Variate Analysis),以马氏距离(Mahalanobis distance)来评估急流水螨属间背腺毛腺孔位置形态差异的显著程度。并运用 tps-Super 2.05 软件计算各样本间普氏距离(Procrustes distance),并基于普氏距离矩阵,通过软件 NTsys 2.10e,利用 UPGMA 法进行聚类分析。将分析结果输出后,利用 Adobe Photoshop CC2018 进行注解。

2 结果与分析

2.1 主成分分析

测试急流水螨背腺毛腺孔位置形态数据集转换前后数据相关性系数为 0.999997。经过主成分分析,获得 12 个主成分(各主成分变异量见表 2)。前 3 个主成分 PC1、PC2、PC3 分别占总变异的 49.765%、23.071%、15.005%,共占总变异的 87.842%。用第 1 主成分(49.765%)作为横坐标,分别用第 2 主成分(23.071%)、第 3 主成分(15.005%)作为纵坐标,获得背腺毛腺孔位置变异的主成分散点图(图 2;图 3)。

表 2 急流水螨背腺毛腺孔位置差异主成分分析结果

Tab.2 PCA of variation among the position change of dorsal glandular pore of Torrenticolidae

序号	特征值	占总体变异/%	累计总体变异/%
1	0.00726567	49.765	49.765
2	0.00336840	23.071	72.836
3	0.00219073	15.005	87.842
4	0.00061383	4.204	92.046
5	0.00045877	3.142	95.188
6	0.00035034	2.400	97.588
7	0.00013568	0.929	98.517
8	0.00007737	0.530	99.047
9	0.00005031	0.345	99.392
10	0.00003493	0.239	99.631
11	0.00003406	0.233	99.864
12	0.00001982	0.136	100.000

在 PC1 vs PC2 散点图中,不同的图形代表不同的属,不同的点代表不同的样本,具有相似背腺

毛腺孔位置形态的样本在图中分布位置相对较近,即图中聚合到一起的样本点代表的背腺毛腺孔位置形态相似。图 2、图 3 中,急流水螨分别沿 PC1、PC2、PC3 方向分布于坐标(-0.2,0.2)范围内。其中,龟水螨亚科的龟水螨属 *Testudacarus* 与贝氏急流水螨属 *Debsacarus* 聚集在右上方,而急流水螨亚科各属聚集在散点图中部靠左侧。

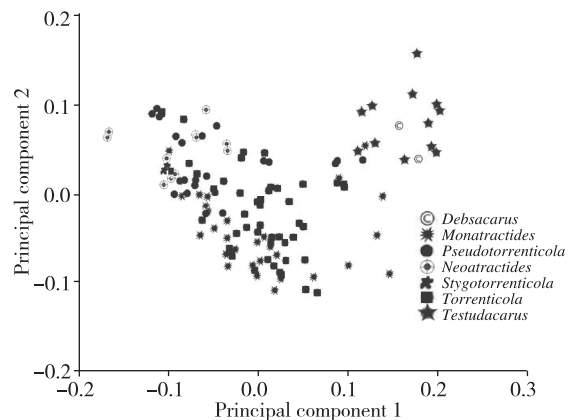


图 2 急流水螨背腺毛腺孔位置形态变异的主成分分析散点图(PC1 vs PC2)

Fig.2 Scatter plots of the position change of dorsal glandular pore of Torrenticolidae (PC1 vs PC2)

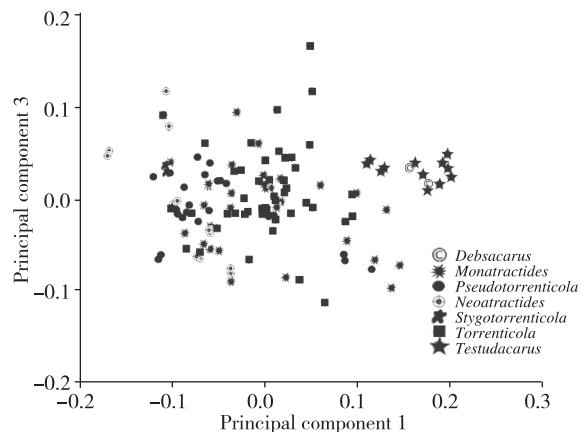


图 3 急流水螨背腺毛腺孔位置变异的主成分分析散点图(PC1 vs PC3)

Fig.3 Scatter plots of the position change of dorsal glandular pore of Torrenticolidae (PC1 vs PC3)

将 PC1、PC2、PC3 主成分可视化后的具体情况如图 4 所示。由图 4 可知:PC1 代表的是 D_2 由靠近螨体外侧向螨体中部移动的变化;PC2 代表的是 D_1 由螨体内侧向螨体外侧移动的变化;PC3 代表的是 D_4 由螨体后部向螨体中部前移。同时,结合主成分分析的散点图可知,龟水螨亚科的物种 D_2 比急流水螨亚科的物种腺孔位置更靠近螨体中心,而 D_1 反之,较急流水螨亚科物种更靠近外侧。

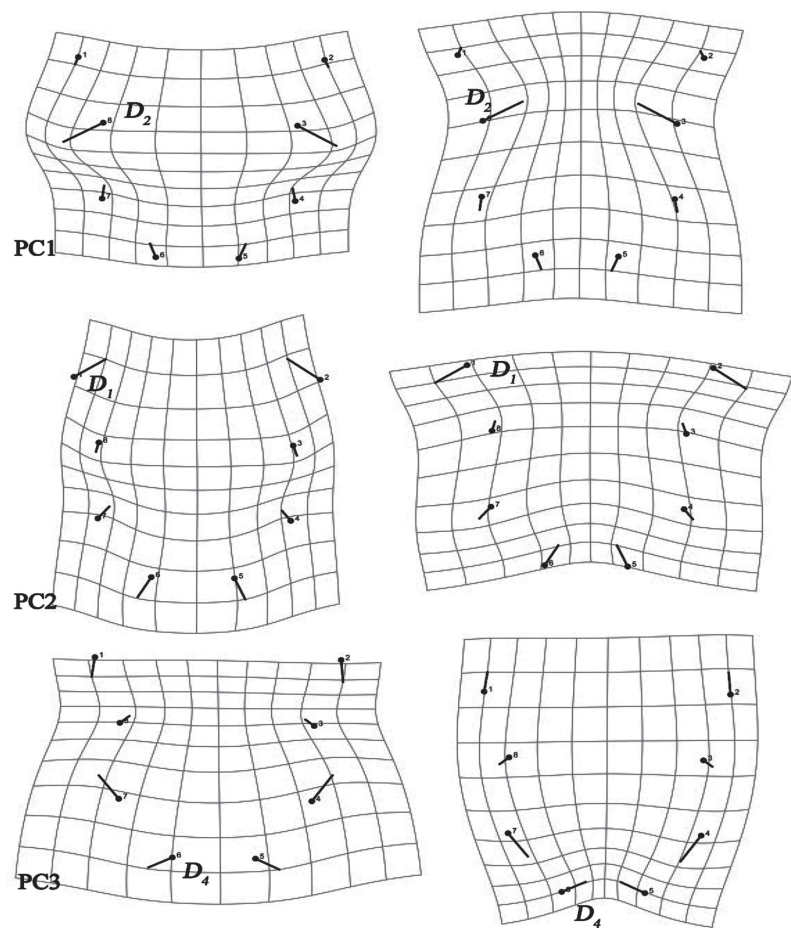


图 4 急流水螨背腺毛腺孔位置变异模式:从左到右,对应着相应主成分轴上尺度-0.2 和 0.2 的图形

Fig.4 Patterns of diversification in the position of dorsal glandular pore in Torrenticolidae;

for each PC, the diagrams to the left and right show the shape for a score of -0.2 and 0.2 respectively

2.2 典型变量分析

对急流水螨 7 个属的背腺毛腺孔位置进行 CVA 分析,探讨急流水螨属间背腺毛腺孔位置形态差异的大小,其结果见图 5。

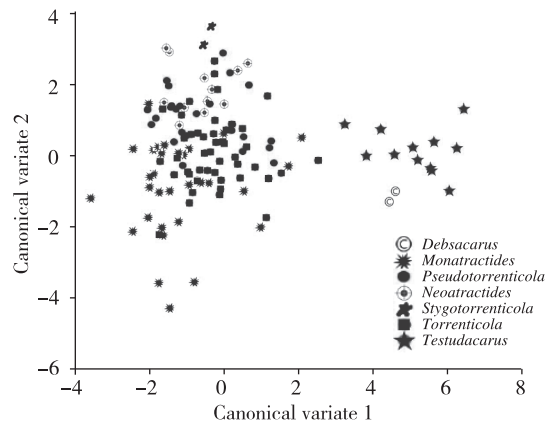


图 5 急流水螨 7 属间背腺毛腺孔位置的典型变量分析散点图(CV1 vs CV2)

Fig.5 Scatter plots of the variations of dorsal glandular pore position among 7 genera of Torrenticolidae (CV1 vs CV2)

由图 5 可知,龟水螨亚科的龟水螨属 *Testudacarus* 与贝氏急流水螨属 *Debsacarus* 聚集在坐标的最右侧,急流水螨亚科各属聚集在左侧。这与 PCA 结果相一致。因此,急流水螨的背腺毛腺孔着生的相对位置在亚科阶元就具有明显的差别。各属间虽具有交叉现象,但仍具有明显的聚集现象。

急流水螨科 7 属间背腺毛腺孔位置的马氏距离比较结果和马氏距离 P 值(基于 10 000 次重复)比较结果见表 3、表 4。

由表 3 可知,贝氏急流水螨属 *Debsacarus* (A) 与冥急流水螨属 *Stygotorrenticola* (E) 马氏距离最大,表明两者的背腺毛腺孔位置形态差异最大;新曲水螨属 *Neoatractides* (C) 与拟急流水螨属 *Pseudotorrenticola* (D) 马氏距离最小,表明两者的背腺毛腺孔位置形态差异最小。由表 4 可知,急流水螨科 7 属间背腺毛腺孔位置马氏距离 P 值两两比较均为 $P < 0.05$,具有统计学意义。综上可知:急流水螨科 7 属间背腺毛腺孔位置形态差异均显著。

表 3 急流水螨科 7 属间背腺毛腺孔位置的马氏距离比较(基于 10 000 次重复)

Tab.3 Comparison of the position change of dorsal glandular pore in 7 genera of Torrenticolidae based on the Mahalanobis distance (based on 10 000 permutation rounds)

	A	B	C	D	E	F
B	6.4148					
C	6.4322	2.2928				
D	6.6012	3.0337	1.5839			
E	8.5466	6.6124	6.2073	5.9253		
F	5.8617	1.8195	1.7567	2.5362	5.7367	
G	3.6881	6.4476	5.8172	6.1706	8.2717	5.4557

注: A. *Debsacarus*; B. *Monatractides*; C. *Neoatractides*; D. *Pseudotorrenticola*; E. *Stygotorrenticola*; F. *Torrenticola*; G. *Testudacarus*。

2.3 聚类分析

根据各属、各亚属背腺毛腺孔位置的平均形态数据计算普氏距离,基于普氏距离矩阵,运用 UPG-MA 法构建属间背腺毛腺孔位置的表型树(图 6)。

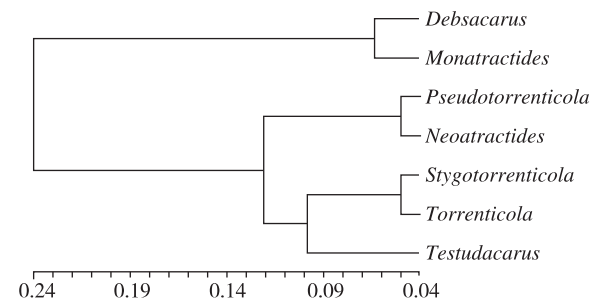


图 6 基于普氏距离的急流水螨科 7 属间背腺毛腺孔位置的表型树

Fig. 6 Phonetic tree of dorsal glandular pore position among 7 genera of Torrenticolidae based on Procrustes distance

由图 6 可知,属间背腺毛腺孔位置表型树可分为两大支:(1)急流水螨亚科各属为 1 支,其中单曲跗螨属 *Monatractides* 与急流水螨属 *Torrenticola* 距离最近,表明两者背腺毛腺孔位置的结构最为相似。(2)龟水螨亚科的龟水螨属 *Testudacarus* 与贝氏急流水螨属 *Debsacarus* 为 1 支,与形态学结果相一致。

综合 CVA 散点图、马氏距离比较分析及聚类分析结果,初步明确了几何形态测量学的方法在急流水螨分类研究中应用的可行性,同时可利用背腺毛腺孔位置特征对急流水螨高级阶元进行分类研究。

3 结论与讨论

本研究通过几何形态测量学方法,对急流水螨 2 亚科 7 属 11 亚属 59 种 129 个急流水螨样本进行相关分析,结果表明,急流水螨科 7 属间背腺毛腺孔位置形态差异显著。其中主成分分析结果表明急流水螨亚科和龟水螨亚科的背腺毛腺孔位置相对螨体中心的距离有区别,龟水螨亚科的物种 D_2 比急流水螨亚科的物种腺孔位置更靠近螨体中心,而 D_1 反之,较急流水螨亚科物种更靠近外侧,即 2 亚科的背腺毛腺孔位置形态有差异,且 D_1 和 D_2 的位置特征起主要分类作用;典型变量分析可得急流水螨 2 亚科的腺孔位置形态差异显著,与主成分分析结果吻合,且其属间腺孔位置有明显的聚集现象,比较分析其属间腺孔位置的马氏距离,结果表明急流水螨 7 属间背腺毛腺孔位置形态差异均显著;在聚类分析中,具有相似结构特征的属种聚集

表 4 急流水螨 7 属间背腺毛腺孔位置的马氏距离显著性比较(10 000 次重复)

Tab.4 Position change of dorsal glandular pore in 7 genera of Torrenticolidae based on the Mahalanobis distance significant test (based on 10 000 permutation rounds)

	A	B	C	D	E	F
B	0.0022					
C	0.0004	<.0001				
D	0.0092	<.0001	0.0334			
E	<.0001	0.0002	0.0012	<.0001		
F	0.0009	<.0001	<.0001	<.0001	0.0014	
G	0.0220	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

注: A. *Debsacarus*; B. *Monatractides*; C. *Neoatractides*; D. *Pseudotorrenticola*; E. *Stygotorrenticola*; F. *Torrenticola*; G. *Testudacarus*。

在一起,表明可通过聚类分析来判断所分析的特征间的相似度及属种间的亲缘关系^[41]。综上可得:几何形态测量学可用于急流水螨的分类研究,且背腺毛腺孔位置形态特征可作为其属级阶元的分类依据。

关于急流水螨的几何形态测量学分析,仅有 Becerra 和 Valdecasas 基于急流水螨腹板结构位点初步探索了几何形态测量学在急流水螨分类研究中的应用的可行性^[14]。本研究也再次验证了这一结论,这与几何形态测量学在切叶蜂^[42]、库蠼^[41]、瘿螨^[43]等类群的研究结果相一致。本研究虽取得了部分阶段性成果,但也存在一定的不足之处:部分属的样本数量较少,代表性较弱,如:冥急流水螨属 *Stygotorrenticola* 和贝氏急流水螨属 *Debsacarus*。但这是由于急流水螨科超过 90% 的已知种集中于急流水螨属 *Torrenticola* 与单曲跗螨属 *Monatractides*, 存在较多的单种属及单种亚属的缘故;同时,部分

属物种由于建立时间过早,缺少清晰可用的特征图,针对这部分属物种,本研究已包含所有含雌雄两性标本的可利用样本,共计 2 亚科 7 属 11 亚属 59 种 129 个急流水螨样本,其中包括:急流水螨属 *Torrenticola* 47 个样本、单曲跗螨属 *Monatractides* 31 个样本、寡种属新曲水螨属 *Neoatractides*、拟急流水螨属 *Pseudotorrenticola*、龟水螨属 *Testudacarus* 样本数分别为 23 个、12 个、12 个,而单种属冥急流水螨属 *Stygotorrenticola* 和贝氏急流水螨属 *Debsacarus* 各具有 2 个样本。尽管本研究使用了所有可用的样本,但其代表性仍然较弱,因而本文仅是利用几何形态测量学对急流水螨形态特征比较分析初步探索,在未来的研究中需要进一步完善,以期几何形态测量学在急流水螨分类工作中的应用提供更为精准的论据,促进急流水螨乃至整个水螨分类的快速发展。

(责任编辑:胡吉凤)

参 考 文 献:

- [1] Walter D E, Krantz G W. Collecting, rearing, and preparing specimens [A]. In: Krantz G. W., Walter D. E. (Eds.), a manual of acarology [M]. Lubbock, Texas: Tech University Press, 2009: 83-96.
- [2] Gu X Y, Guo J J. Five new species of genera torrenticola and monatractides (Acari, Hydrachnidia, Torrenticolidae) from Hainan Island, China [J]. Systematic and Applied Acarology, 2019, 24 (12): 2460-2482.
- [3] 张平, 郭建军. 急流水螨科(蜱螨亚纲, 腺水螨总科)的系统发育研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2010, 38 (8): 116-118, 122.
- [4] 金道超. 水螨分类理论和中国水螨区系初志 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1997.
- [5] Jose M B, Antonio G V. Landmark superimposition for taxonomic identification [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2004, 81 (2): 267-274.
- [6] 敖敏, 郭建军. 阿土水螨科分类研究现状 [J]. 山地农业生物学报, 2020, 39 (4): 56-63.
- [7] 闫宝荣, 花保祯. 几何形态测量学及其在昆虫分类学和系统发育中的应用 [J]. 昆虫分类学报, 2010, 32 (4): 313-320.
- [8] Mitteroecker P, Gunz P. Advances in geometric morphometrics [J]. Evolutionary Biology, 2009, 36: 235-247.
- [9] Kaliontzopoulou A, Carretero M A, Llorente G A, et al. Multivariate and geometric morphometrics in the analysis of sexual dimorphism variation in podarics lizards [J]. Journal of Morphology, 2007, 268 (2): 152-165.
- [10] 刘媛, 吕佳, 宋佳, 等. 基于几何形态测量学的植物鉴定方法 [J]. 植物科学学报, 2017, 35 (6): 894-899.
- [11] 陈楠桦, 梁仁杰, 白义, 等. 基于几何形态测量学的四种滨螺形态差异与系统发生关系研究 [J]. 海洋与湖沼, 2018, 49 (6): 1365-1374.
- [12] 邓维安, 姚大亨, 谷博. 蚱类昆虫前胸背板几何形态测量学分析 [J]. 河池学院学报, 2019, 39 (2): 1-7.
- [13] 陈新军, 方舟, 苏杭, 等. 几何形态测量学在水生动物中的应用及其进展 [J]. 水产学报, 2013, 37 (12): 1873-1885.
- [14] Becerra J M, Valdecasas A G. Landmark superimposition for taxonomic identification [J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2004, 81 (2): 267-274.
- [15] 金道超, 李隆术. 论水螨腺毛形态学与螨类体躯进化(蜱螨亚纲: 水螨群) [J]. 昆虫学报, 1997 (3): 231-246.
- [16] O'neill J C, Fisher J R, Nelson W A, et al. Systematics of testudacarine torrent mites (Acari, Hydrachnidia, Torrenticolidae) with descriptions of 13 new species from North America [J]. ZooKeys, 2016, 582: 13-110.

- [17] Goldschmidt T. Studies on Latin American water mites of the genus *Torrenticola* Piersig, 1896 (Torrenticolidae, Hydrachnidia, Acari) [J]. Zoological Journal of the Linnean Society, 2007, 150: 443-678.
- [18] Goldschmidt T, Smit H. Studies on torrenticolid water mites mainly from South Africa-*Torrenticola* Piersig, 1896 and *Monatractides* K. Viets, 1926 (Acari; Hydrachnidia; Torrenticolidae) [J]. International Journal of Acarology, 2009, 35(3): 179-234.
- [19] Fisher J R, Fisher D M, Skvarla M J, et al. Revision of torrent mites (Parasitengona, Torrenticolidae, *Torrenticola*) of the United States and Canada: 90 descriptions, molecular phylogenetics, and a key to species [J]. ZooKeys, 2017, 701: 1-496.
- [20] Cheri C R, Fisher J R, Dowling A P G. The masked torrent mite, *Torrenticola larvata* n. sp. (Acari; Hydrachnidia; Torrenticolidae): a water mite endemic to the Ouachita Mountains of North America [J]. Acarologia, 2016, 56(2): 245-256.
- [21] Pešić V, Gerecke R. Water mites from caves of the Ha Giang province, northern Vietnam (Acari; Hydrachnidia) [J]. Zootaxa, 2014, 3774(4): 367-380.
- [22] Martin P. A redescription of *Torrenticola* (*Megapalpis*) *fagei* (E. Angelier, 1949) (Acari, Hydrachnidia) [J]. Lauterbornia, 2009, 67: 183-188.
- [23] Bader C. Die torrenticolidae (Acari, Hydrachnellae). Eine abklärende studie über eine schwierige Wassermilben-Familie [J]. Revue Suisse de Zoologie, 1988, 95: 87-98.
- [24] Pešić V, Erman O, Esen Y. New *Torrenticola* Piersig (Acari; Hydrachnidia; Torrenticolidae) species for the turkish fauna [J]. Turkish Journal of Zoology, 2006(3): 301-304.
- [25] Pešić V, Saboori A, Asadi M, et al. Water mites of the genus *Torrenticola* Piersig, 1896 (Acari, Hydrachnidia, Torrenticolidae) from Iran, with description of two new species [J]. Zootaxa, 2006, 1133(1): 45-59.
- [26] Pešić V, Smit H. Water mites of the genus *Monatractides* (Acari, Hydrachnidia, Torrenticolidae) from Australia, with descriptions of four new species [J]. Zootaxa, 2012, 3248: 12-15.
- [27] Pešić V, Smit H. New records of water mites (Acari; Hydrachnidia) from Malaysia, with descriptions of three new species [J]. Zootaxa, 2010, 2354(1): 19-34.
- [28] Pešić V, Smit H. Torrenticolid water mites (Acari; Hydrachnidia; Torrenticolidae) from Ghana [J]. Zootaxa, 2014, 3820(1): 1-80.
- [29] Pešić V, Smit H. Water mites of the family Torrenticolidae Piersig, 1902 (Acari; Hydrachnidia) from Thailand, Part I. The genera *Torrenticola* Piersig, 1896, *Neoatractides* Lundblad, 1941 and *Pseudotorrenticola* Walter, 1906 [J]. Zootaxa, 2009, 1982: 38-62.
- [30] Gerecke R, Di Sabatino A. The water mites of the family Torrenticolidae Piersig, 1902 (Acari, Actinedida, Hydrachnellae) in springs and running waters of Sardinia and Corsica [J]. Archiv für Hydrobiologie, Supplement, 1996, 107: 287-334.
- [31] Ömer B Y. New records of water mites (Acari, Hydrachnidia, Torrenticolidae) from Turkey [J]. Zoology in the Middle East, 2006, 38(1): 115-117.
- [32] Cramer C, Cook D R. Water mites of the genera *Neoatractides* lundblad and *Pseudotorrenticola* walter (Acari; Hydrachnidia; Torrenticolidae) from Mexico [J]. International Journal of Acarology, 2000, 26(1): 51-61.
- [33] Smith I M, Cook D R. Water Mites [A]. In: Thorp J. & Covich A. (Eds.) ecology and classification of north American fresh-water invertebrates [M]. San Diego: Academic Press, 1991: 523-592.
- [34] Wiles P R. First collections of water mites (Acari; Hydrachnidia) from Honduras; descriptions of six new species [J]. Journal of Natural History, 2005, 39(3): 253-263.
- [35] Wiles P R. Asian and oriental Torrenticolidae Piersig, 1902 (Acari; Hydrachnidia; Lebertioidea): a revision of the family and descriptions of a species of *Torrenticola* Piersig and *Pseudotorrenticola* walter, from Southeast Asia [J]. Journal of Natural History, 1997, 31: 191-236.
- [36] Wiles P R. Rheophilic watermites (Acari; Hydrachnidia) from mainland Malaysia [J]. Acarologia, 1991, 32(1): 41-56.
- [37] Pešić V, Yam R, Chan B, et al. Water mites (Acari, Hydrachnidia) from Baishih River drainage in Northern Taiwan, with description of two new species [J]. ZooKeys, 2012, 203: 65-83.
- [38] Pešić V, Smit H. Torrenticolid water mites (Acari; Hydrachnidia; Torrenticolidae) from Malaysian Borneo [J]. Zootaxa, 2014, 3840(1): 59-60.

- [39] Wiles P R. The water mites (Acari:Hydrachnidia) of borneo and additional new species from Thailand and Sulawesi[J]. The Raffles Bulletin of Zoology,1999,47(2):407-439.
- [40] Cramer C. Estudios sobre hidracáridos mexicanos,familia torrenticolidae. I. Cinco especies nuevas de neoatractides y torrenticola y primer registro de testudacarus para México[J]. Anales Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Seria Zoología,1992,63:13-27.
- [41] 甯媛,段琛,常琼琼,等. 库蠓亚属6种库蠓翅形变化分析及亲缘关系探讨[J]. 环境昆虫学报,2020,42(1):147-151.
- [42] Güler Y, Aytekin A M, Cagatay N. Systematical studies on Anthidiini (Hymenoptera:Megachilidae):a geometric morphometric approach[J]. Acta Entomologica Sinica,2006,49:474-483.
- [43] Navia D, Ferreira C B, Reis A C, et al. Traditional and geometric morphometrics supporting the differentiation of two new *Retractus* (Phytoptidae) species associated with heliconias[J]. Experimental and Applied Acarology,2015,67(1):87-121.

Geometric Search of Glandular Pore Position of Dorsalglandularia of Torrenticolidae

Cai Fuling¹, Guo Jianjun¹, Gu Xinyao^{1,2*}

(1. Institute of Entomology, Guizhou University, Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Guiyang, Ministry of Agricultural and Rural Affairs, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. College of Animal Sciences, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: In this study, the geometric morphometry method was used to digitize the position and morphological of glandular pores of dorsalglandularia in 129 samples of 7 genera, 59 species of torrenticolid water mites to determine whether the position and morphological of glandular pores of dorsalglandularia used as their taxonomic characteristics. The variation trend of position and morphology of glandular pores of dorsalglandularia among 7 genera were determined by principal component analysis. The morphological variation of glandular pores of dorsalglandularia of torrenticolid water mites was mainly concentrated in D_2 (moving from the outside of mite to the middle of mite), D_1 (close to or away from the edge of mite), and D_4 (moving from the back of mite to the middle of mite). There were significant differences in the position and morphological of dorsalglandularia by canonical variable analysis and cluster analysis. The results showed that the position and morphological characteristics of glandular pores of dorsalglandularia could be used as taxonomic characters in 7 genera of Torrenticolidae. This finding provides that the geometric morphometry could be utilized in the classification of torrenticolid water mites.

Keywords: torrenticolid water mite; dorsalglandularia; position of dorsalglandular pore; geometric morphology