

海马种类及其鉴定技术分析

陈信忠¹ 曾韵颖¹

摘要 海马是我国的传统中药，具有良好的药用价值。早期药用海马主要来自野生海区捕获，但随着捕捞量的增加，全球多种野生海马已成为濒危物种。目前，所有野生海马已被世界自然保护联盟列入濒危物种红色名录，禁止国际贸易。我国也将海马列为国家二级保护动物。近年来我国沿海各地开始人工养殖海马，并取得一定进展，但仍不能满足国内市场的巨大需求。因此海马走私入境案件屡有发生。由于海马种类多，形态相似，传统形态学鉴定方法已不能满足海关打击走私和归类化验所必需的物种鉴定的需求。近年来快速发展的DNA条形码鉴定技术可以对绝大部分海马和海马制品进行有效的分类和鉴定。

关键词 海马；濒危物种；分类；DNA条形码；种类鉴定

Analysis of Species and Identification Techniques of Seahorses

CHEN Xin-Zhong¹ ZENG Yun-Ying¹

Abstract Some of the seahorses *Hippocampus* spp. are traditional Chinese medicine in China, having good medicinal value. The early medicinal seahorses were mainly captured in the wild. However, with the increase of fishing amount, many kinds of wild seahorses have become endangered species. At present, all wild seahorses had been listed in the Red List of Threatened Species by International Union for Conservation of Nature, and international trade in seahorses had been prohibited. All of the seahorses were listed as national second-class protected animals in China. In recent years, some species of seahorses had been artificially cultivated in coastal areas of China, and made some progress. But it still could not meet the huge demand of the domestic market. Therefore, seahorse smuggling cases occur frequently. The traditional morphological identification method cannot meet the needs of species identification for Customs combat against the smuggling and for classification test due to the variety and similarity of seahorses. In recent years, the rapid development of DNA barcode identification technology can effectively classify and identify the majority of seahorses.

Keywords seahorses; endangered species; classification; DNA barcoding; species identification.

海马 (*Hippocampus* spp.) 是一种小型海洋鱼类，因其特殊的体型而得名，头呈马头状，头部弯曲与身体近直角。海马在我国有悠久的药用历史，被誉为“南方人参”，传统中医理论认为海马有补肾壮阳、活血

止痛等功效。海马除直接用于治病外，还可用于制造各种药品和保健品。近年来，海马还成为水族爱好者的观赏品种。我国是海马重要的自然栖息地之一，常见的种类有冠海马 (*Hippocampus coronatus*)、刺

第一作者：陈信忠（1964—），男，汉族，浙江磐安人，研究员，博士，主要从事动物检疫工作，E-mail: 13328766299@163.com

1. 厦门海关技术中心 厦门 361026

1. Xiamen Customs Technical Center, Xiamen 361026

海马 (*H. histrix*)、日本海马 (*H. mohnikei*)、管海马 (*H. kuda*)、克氏海马 (*H. kelloggi*) 和三斑海马 (*H. trimaculatus*)。自古以来药用海马主要来源于自然捕捞,但随着捕捞量的不断增加和海域环境的改变,我国的野生海马资源已日渐枯竭。2004年5月15日,我国把海马列为国家二级保护动物。按照《水生野生动物保护实施条例》的规定,捕捞和销售海马必须获得《中华人民共和国水生野生动物经营利用许可证》。2019年11月26日,世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)依据《濒危野生动植物种国际贸易公约》(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES)更新的世界自然保护联盟濒危物种红色名录(IUCN Red List of Threatened Species),将海马属(*Hippocampus* spp.)所有物种全部列入附录II,海马的国际贸易受到了严格的管制。由于国内中药材市场对海马的巨大需求,走私海马的案例越来越多。同时,因海马种类较多,亲缘关系和品种性状相近,不易区分,导致市场上的海马品种十分混乱,掺伪掺假现象越来越严重,严重影响了海马药材的质量和安全性。因此,了解国内外海马的种类、分布以及鉴定技术,对打击海马走私,保护海马资源,促进药用海马的合理应用,具有十分重要的意义。

1 海马的现状

1.1 海马的自然分布

在自然界,海马主要生活在热带、亚热带以及温带的近陆海藻繁茂的浅海海域,大多数种类生长在河海交汇处,能适应不同盐度的海水,少数种类可以在淡水中存活。主要分布于太平洋、大西洋以及澳大利亚海域。中国沿海海域均有分布,有近10种海马,南海海域海马种类较多。但由于多年的滥捕,我国海马自然资源已近枯竭。本世纪初,我国干海马年产量不足30吨,只在汕尾、舟山、福建等沿海地区有少量生产。由于我国海马的生产量远不能满足需求,需从国外大量进口。早期海马的自然产区主要在越南、

菲律宾、泰国和印度尼西亚。我国上世纪80年代进口量约为每年20多吨,到本世纪初进口量达到150吨。

我国于2004年把所有野生海马列为国家二级保护动物,目前全球大部分国家都已禁止对野生海马的捕捞。

1.2 海马的人工养殖

海马在我国别名龙落子、水马、马头鱼、龙落子鱼、虾姑等,作为珍贵的中药材,在我国的需求量很大。由于野生海马资源无法满足消费需求,一些国家和地区开始了海马养殖产业的探索。中国是最早开始海马养殖的国家,也是目前全球最主要的海马养殖国家。由于海马对阳光、温度、饵料的要求很高,早期人工养殖遇到很多困难。1958年,广东汕头海水养殖场开始少量养殖海马。直到1969年,中国科学院海洋研究所将广东近海的三斑海马引入青岛进行试养取得成功。1978年,浙江温州等地成功引入广东的三斑海马进行养殖,并开始小范围推广,但由于各种病害的影响,海马养殖规模始终难以扩大。2000年以后,随着海马种质资源的改良,海马养殖得以逐渐发展。早期我国主要养殖三斑海马和大海马,还有少量鲍氏海马和日本海马。2009年,我国从美国引进了繁殖能力和抗病能力强、存活率高、生长速度快的线纹海马,开始大量养殖,进入产业化阶段。线纹海马又名灰海马,原产于美洲地区,体型较大,最大体长近20cm,因其具有较广的温度和盐度适应范围而更加适宜人工养殖。线纹海马只需5个月就能达到性成熟,养成周期只需6~8个月。经过多年的选育和推广,线纹海马已占海马养殖总量的近90%。目前我国的海马养殖量约1200万只/年,产量约100吨。海马在我国南方和北方沿海均有养殖,北至河北、南至广东的整个海岸线上都有养殖海马的企业,福建省是国内最大的海马养殖基地。

虽然我国已有数十年养殖海马的历史,但由于养殖技术、成本和品种等方面的原因,长期以来养殖经济效益不理想,难以形成大规模的产业。国外的海马养殖规模较小,而且价格高,目前主要用于观赏用途。

1.3 海马走私情况

海马属于中药材,因此海马消费主要集中在华人

区。2012年,中国海马交易量超过1.5亿只,占全球海马市场交易量的三分之二。近年来,由于海马的国际贸易受到了严格管控,而国内中药材市场需求量大,因此走私海马屡有发生。2020年3月,厦门海关在广州、深圳、拱北海关的大力协助下,同步在福建厦门、泉州、龙岩,以及广东广州、深圳、珠海、中山等地对4个走私团伙集中抓捕,一举抓获犯罪嫌疑人26名,现场查获走私海马干716千克。该走私团伙在境外大量收购海马,利用货轮船舱、专业“水客”等人员走私入境,运往国内中药材市场销售牟利。已查明涉案走私海马2.94吨。2019年4月和5月,青岛海关破获一起海马走私案,查获两批次从秘鲁走私进口夹藏在马皮中的海马1.28吨,共计495361尾,案值近6亿元人民币。2019年9月,昆明海关缉私分局破获一起走私濒危动物制品案件,查获涉案海马干148.86千克,案值1.23亿元。2018年12月南宁海关查获走私海马干22082尾,约37.06千克。

2 海马主要种类

海马隶属于硬骨鱼纲(Osteichthyes)、海龙目(Syngnathiformes)、海龙科(Syngnathidae)、海马属(*Hippocampus*)。目前已知海马属包括54个有效种^[1]。但由于早期的物种命名主要基于形态学特征,存在不少同物异名的现象。

IUCN濒危物种红色名录收录的濒危物种达105732个,其中有28338个濒危物种面临灭绝威胁。全球现有44种海马被列入该名录,这些海马的濒危状态和自然分布见表1。其中“濒危”(EN)2种,“易危”(VU)12种,“近危”(NT)1种,“无危”(LC)12种,“数据缺乏”(DD)17种。在该名录中,分布于澳大利亚的假眼海马(*H. biocellatus*)被认为是*H. planifrons*的同物异名;白斑海马(*H. bleekeri*)是膨腹海马(*H. abdominalis*)的同物异名;东方多棘海马(*H. hendriki*)是窄腹海马(*H. angustus*)的同物异名;昆士兰海马(*H. queenslandicus*)是棘海马(*H. spinosissimus*)的同物异名;多节海马(*H. tuberculatus*)是短头海马(*H. breviceps*)的同

物异名。该濒危名录未列入的物种包括留尼汪海马(*H. borboniensis*)、新喀里多尼亚多棘海马(*H. curvicaudatus*)和棕海马(*H. fuscus*)。

2015年版《中华人民共和国药典》收录了5种药用海马,分别为线纹海马(*H. kelloggi*)、刺海马(*H. histrix*)、大海马(*H. kuda*)、三斑海马(*H. trimaculatus*)和小海马(海蛆)(*H. japonicus*)的干燥体^[2]。我国在中医药大健康产业发展背景下,对海马等传统中药的需求量日益增加。

3 海马物种鉴定技术

海马种类多,形态相似。用于中药的海马大多是干品或干粉。市场上不乏以次充好、以伪充真的现象,为保证药材安全有效,常常需要对海马进行种类鉴别。近年来海关系统反走私、打击濒危物种贸易等成为常态,更需要对查获的各种海马进行准确的鉴定。除传统的形态学鉴定方法外,近年来发展了更加准确的分子生物学检测技术。尤其是DNA条形码技术可以对各种形态十分相近的种类,以及粉末状的中药粉成分进行准确的鉴定。

3.1 形态学鉴定

形态学鉴定方法主要依据海马的外部形态特征,包括体长、体高、吻长、头长、吻长与头长的比例、体色及斑点形态、背鳍和胸鳍的数目、躯干环和尾环的数目、眼棘、鼻棘和脸棘的数目、头冠和棘的特点等。不同种类的海马成体的体长差异很大。在印度尼西亚加里曼丹德拉旺岛发现的豌豆小海马(*H. satomiae*),是世界上已知最小的微型海马,体长只有约1.4 cm,高约1.1 cm。而克氏海马(*H. kelloggi*)是世界上已知体型最大的海马,体长可达35 cm。在我国和印度洋广泛分布,俗称龙落子三斑海马,其主要特征为体侧背方第1、4、7节分别有一个明显的黑色斑纹。刺海马的典型特征为体表多刺状棘,体棘和头棘尖锐,特别发达,头冠不高,具4尖锐小棘,眶上棘细尖,发达。虎尾海马最典型性状鉴别特征为尾部有交替出现的花斑,似老虎的尾巴,头冠低小且有5个显著的圆形突起。

表1 全球海马种类、濒危状态和地理分布

Table 1 Species, endangered status and geographical distribution of globe seahorses Hippocampus spp.

序号	中文名称	拉丁学名	濒危状态	自然分布
1	南非海马	<i>Hippocampus capensis</i>	EN	南非
2	怀氏海马	<i>Hippocampus whitei</i>	EN	西南太平洋、澳大利亚
3	斑点海马	<i>Hippocampus algiricus</i>	VU	西非、大西洋东部
4	鲍氏海马	<i>Hippocampus barbouri</i>	VU	印尼、菲律宾
5	虎尾海马	<i>Hippocampus comes</i>	VU	印度、东南亚
6	直立海马	<i>Hippocampus erectus</i>	VU	大西洋西部
7	刺海马	<i>Hippocampus histrix</i>	VU	中国、印度-太平洋
8	太平洋海马	<i>Hippocampus ingens</i>	VU	东太平洋
9	克氏海马	<i>Hippocampus kelloggi</i>	VU	中国, 东南亚
10	斑点海马	<i>Hippocampus kuda</i>	VU	印度-太平洋
11	日本海马	<i>Hippocampus mohnikei</i>	VU	中国、日本
12	巴塔哥尼亚海马	<i>Hippocampus patagonicus</i>	VU	巴西、阿根廷
13	棘海马	<i>Hippocampus spinosissimus</i>	VU	中国、印度、澳大利亚
14	三斑海马	<i>Hippocampus trimaculatus</i>	VU	中国、日本、印度、东南亚、澳大利亚等
15	吻海马	<i>Hippocampus reidi</i>	NT	美国、墨西哥
16	膨腹海马	<i>Hippocampus abdominalis</i>	LC	澳大利亚、新西兰
17	窄腹海马	<i>Hippocampus angustus</i>	LC	澳大利亚
18	短头海马	<i>Hippocampus breviceps</i>	LC	澳大利亚
19	低冠海马	<i>Hippocampus dahl</i>	LC	澳大利亚
20	夏威夷海马	<i>Hippocampus fisheri</i>	LC	美国夏威夷
21	贾氏海马	<i>Hippocampus jakari</i>	LC	西印度洋
22	假眼海马	<i>Hippocampus planifrons</i>	LC	澳大利亚、印度-太平洋
23	彭氏小海马	<i>Hippocampus pontohi</i>	LC	印度-太平洋中部
24	花海马	<i>Hippocampus sindonis</i>	LC	中国、日本、朝鲜
25	小海马	<i>Hippocampus zosterae</i>	LC	美国
26	细尾海马	<i>Acentronura gracilissima</i>	LC	日本、越南
27	叶海马鱼	<i>Phyllopteryx taeniolatus</i>	LC	澳大利亚
28	巴氏海马	<i>Hippocampus bargibanti</i>	DD	印度太平洋中部
29	驼背海马	<i>Hippocampus camelopardalis</i>	DD	非洲南部和东部
30	短吻海马	<i>Hippocampus cassio</i>	DD	中国、越南
31	克里蒙小海马	<i>Hippocampus colemani</i>	DD	澳大利亚
32	高冠海马	<i>Hippocampus coronatus</i>	DD	中国、日本
33	软珊瑚海马	<i>Hippocampus debelius</i>	DD	埃及
34	丹尼斯小海马	<i>Hippocampus denise</i>	DD	西太平洋
35	多枝海马	<i>Hippocampus guttulatus</i>	DD	大西洋东北部、地中海
36	欧洲海马	<i>Hippocampus hippocampus</i>	DD	地中海和北大西洋
37	领海马	<i>Hippocampus jugumus</i>	DD	澳大利亚
38	梦海马	<i>Hippocampus minotaur</i>	DD	澳大利亚、西南太平洋
39	矛盾海马	<i>Hippocampus paradoxus</i>	DD	澳大利亚、印度-太平洋
40	侏儒刺海马	<i>Hippocampus pusillus</i>	DD	西太平洋
41	豌豆小海马	<i>Hippocampus satomiae</i>	DD	印尼、西太平洋
42	西澳海马	<i>Hippocampus subelongatus</i>	DD	澳大利亚
43	泰洛海马	<i>Hippocampus tyro</i>	DD	西印度洋
44	条纹海马	<i>Hippocampus zebra</i>	DD	西太平洋

由于虎尾海马大小和外观形态与刺海马相似, 体表也有明显的棘状突起, 鼻刺显著, 具双颊棘, 广泛分布于菲律宾、印度尼西亚、马来西亚、泰国、新加坡等东南亚地区的近岸海域。虽然虎尾海马产量较高, 但其药效尚不明确, 目前虎尾海马也未列入中国药典。因此, 在中药市场上虎尾海马常被作为刺海马的伪品之一流通使用。

通过形态特征鉴定海马的种类需要观察背鳍和胸鳍的数目, 但由于海马体色不透明, 难以准确观察背鳍和胸鳍。梁亮堂(2019)建立了一套海马透明化骨骼染色的方法, 染色后能够从形态上更加精确观察背鳍和胸鳍的数目^[3]。不仅能应用于海马的种类鉴定, 还可以应用于新型海马标本的制备。但由于海马种类多, 目前很多海马尚缺乏背鳍数和胸鳍数的资料, 因此依据背鳍和胸鳍数对海马种类进行鉴定有很大的局限性。

对于已经加工成粉末的中药材海马, 根据粉末的形态鉴定种类需要丰富的经验。康延国等(2006)对中国药典收载的五种海马的粉末显微特征进行了对比研究。结果表明, 五种海马的皮肤碎片、横纹肌纤维及骨碎片的特征具有较明显的区别, 可用于粉末的鉴别^[4]。

形态学鉴定方法简便易行, 但需要鉴定者具备一定的专业知识, 并熟悉各种海马的形态特征。由于流通环节的海马大部分都是干燥体, 其外形特征变化较大, 一些近似种外观差异不明显, 鉴别难度较大。而且, 作为中药的海马药材常被加工成粉末状, 难以通过形态学方法进行品种鉴别。传统的中药材鉴定方法包括性状鉴别、显微鉴定、粉末鉴定和理化鉴别等, 主要依据鉴定者的经验和主观判断。由于海马种类多, 可能有多种海马的皮肤碎片、横纹肌纤维、骨碎片和胶原纤维等显微结构十分相似, 大部分海马尚不具备物种的鉴别特征。因此, 需建立更加准确、有效的鉴定方法。

3.2 分子生物学鉴定

3.2.1 PCR方法

利用PCR、实时荧光PCR等技术, 设计特异性引物和探针, 可以对常见的各种海马进行鉴别。而多重PCR方法可以在单次PCR反应中鉴别多种海马。

刘富艳等(2018)基于各种海马线粒体DNA的序列差异设计了5对鉴别引物的多重PCR反应体系, 可以同时鉴别管海马、日本海马、克氏海马、刺海马和三斑海马, 其特异性扩增片段大小分别为155、222、292、352、458 bp, 而混伪品无条带^[5]。由于部分海马的亲缘关系很近, 其基因序列也很相似。因此, 单纯利用PCR技术可能难以区分相似种, 需要对PCR产物进行测序才能确认海马种类。

3.2.2 DNA条形码技术

DNA条形码(DNA barcode)是指生物体内能够代表该物种的、标准的、有足够变异的、易扩增且相对较短的DNA片段。DNA条形码技术或基因条码技术, 即利用生物体DNA中一段保守片段, 通过设计一对或多对通用引物, 用PCR方法进行扩增并测序, 然后与DNA数据库中的基因数据进行比对, 从而对物种进行快速、准确的鉴定。基于DNA进行物种鉴定的生命条码数据库(Barcode of Life Data System, BOLD), 是加拿大生物多样性基因组学中心开发的基于云计算的数据存储和分析平台, 可以支持DNA条码数据的生成和应用。它由四个主要模块组成, 数据门户、教育门户、条形码索引编号(推定物种)注册号以及数据收集和分析平台。COI基因条码是BOLD的最主要条码, 被广泛应用于分类鉴定、系统发育关系和种群遗传结构的研究。BOLD系统目前已收录的海马属样品记录为2144条, 具有序列的样品2105条, 具有基因条码的样品2101条, 涉及96个物种。其中具有基因条码的物种为86种, 公共记录1411条, 公共物种(Public Species)88种, 具有公共条形码索引编号(Barcode Index Numbers, BIN)的38种, 涵盖常见的主要海马种类。目前CITS列入的44种海马中尚有13种海马没有相应的基因条码数据, 包括克里蒙小海马(*H. colemani*)、低冠海马(*H. dahli*)、软珊瑚海马(*H. debelius*)、领海马(*H. jugumus*)、梦海马(*H. minotaur*)、矛盾海马(*H. paradoxus*)、假眼海马(*H. planifrons*)、侏儒刺海马(*H. pusillus*)、豌豆小海马(*H. satomiae*)、花海马(*H. sindonis*)、泰洛海马(*H. tyro*)、条纹海马(*H. zebra*)和细尾海马(*Acentronura gracilissima*)。

应用 DNA 条形码技术可以对绝大部分海马物种进行有效的鉴定。COI 基因是目前最常用的物种鉴定 DNA 条码,利用 COI 基因可以鉴别绝大部分海马种类。Peter 等(2004)基于海马部分核基因和线粒体基因序列对 32 种海马进行了分类研究^[6]。Sanders 等(2008)利用海马细胞色素 b 基因,对美国市场上的海马进行了分子鉴定^[7]。Lopez 等(2010)利用海马 16S rDNA 序列和基因组微卫星序列对西班牙海域的长吻海马和短吻海马进行了种类鉴定分析^[8]。胡嵘等(2012)研究了 14 种海马、海龙及其混伪品的 COI 条形码序列,表明海马、海龙种内 COI 序列变异很小且稳定,而种间变异较大,种间的遗传距离显著大于种内的遗传距离,可以明确区分这些海马、海龙及其混伪品,与形态学分类的结论相一致^[9]。董世雄等(2017)利用 COI 条形码,对来自海南和福建的海马样品进行了准确的鉴定,分别为管海马(*H. kuda*)和三斑海马^[10]。来梦茹等(2019)对中药市场上常见的海马伪品虎尾海马进行了研究,其 COI 序列种内存在一定的变异率,但种内变异远小于与另外 8 种海马药材的种间遗传距离,因此可准确区分市场中的虎尾海马^[11]。蒋超等(2018)报告了安国、亳州等全国 8 个主要药材市场的海马 COI 基因条码检测结果,发现市售海马样品共有 23 个物种,包括所有 2015 年版《中国药典》收录的 5 种海马,以及 18 种《中国药典》以外的海马。其中地图海马、驼背海马、南非海马、北部湾海马、欧洲海马、半棘海马、条纹海马等均为首次发现于我国中药材市场^[12]。孙思雅等(2019)构建了基于海马 COI 和 ATP6 基因的邻接系统发育树,棘海马样品单独聚为一个分支,明显区分于其他海马样品,且与线纹海马亲缘最近。而且,棘海马种内存在 3 个稳定的亚群结构,提示 COI 和 ATP6 序列可用于棘海马的地理生态学研究^[13]。陈梦等(2019)建立了三斑海马的 COI、16 S rRNA 和 ATP6 的条形码序列数据库,平均种内 K2P 遗传距离分别为 0.002、0.001 和 0.006,远小于三斑海马的种间 K2P 距离;系统进化分析结果显示,三斑海马与其他海马均可有效区分,具有良好的单系性。表明 COI、16 S rRNA、ATP6 序列作为条形码均可以鉴定三斑海马及其他混伪品海马药材^[14]。

海马属部分物种亲缘关系较近,少数物种利用单一 DNA 条形码无法进行准确区分。蒋超等(2018)研究表明,COI 序列进行邻接树聚类分析时,管海马、太平洋海马、西非海马、吻海马、短吻海马和南非海马等共同聚为一大支,形成管海马复合体,其中一些种类无法相互区分。在这种情况下,需要选择 2 个或 2 个以上的基因条码进行鉴别^[15]。

对极少数亲缘关系十分接近的海马物种,还可以通过线粒体全序列测定方法进行比较和鉴定。与单个线粒体条形码基因相比,线粒体全序列所包含的遗传信息更丰富、变异位点和序列更多样,因此鉴定结果也更加准确。Chang 等(2013)已经完成了虎尾海马、线纹海马、棘海马、南非海马、欧洲海马和驼背海马等多种海马的线粒体全序列测定工作,为规范海马中药材市场的技术开发奠定基础,也为我国海马资源的遗传多样性保护、海马良种选育提供了支撑^[16]。但全序列测定方法耗时耗力,不能满足普通实验室对海马物种进行快速、简便的检测鉴定需求。

4 结语

海马种类多、分布广,不同国家和地区分布的海马种类有很大不同。但由于其形态相似,尤其是药用干制品形态变异较多,难以依据形态特征进行准确、有效的鉴定。近年来发展起来的基因条码鉴定技术为海马物种的鉴定提供了有效的手段,目前已知的绝大部分海马均可通过单个基因条码或多个基因条码组合进行有效区分。

海马是我国重要的中药材,由于野生自然资源日渐匮乏,已被列入 CITES 名录,禁止国际贸易。但由于国内需求量大,人工养殖种类和数量远远不能满足需求。为牟取暴利,走私海马的案例不断出现,规模越来越大。因此,海关要加大稽查力度,并准确鉴定海马种类,杜绝海马等濒危野生动物的走私,切实保护各种珍稀海马。

【该文经 CNKI 学术不端文献检测系统检测,总文字复制比为 7.3%。】

参考文献

- [1] Baine M S P, Barrows A P W, Ganiga G. et al. Residence and movement of pygmy seahorses, *Hippocampus bargibanti*, on sea fans (*Muricella* spp.) [J]. *Coral Reefs* 2008(27): 421.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 293.
- [3] 梁亮堂. 透明化骨骼染色鉴定海马种类的方法 [J]. *中国水产*, 2019, 5: 88-90.
- [4] 康延国, 朱丽娃, 苑冬敏, 等. 海马类药材粉末的显微比较鉴别 [J]. *中药材*, 2006, 29(3): 224-228.
- [5] 刘富艳, 袁媛, 金艳, 等. 多重 PCR 同时鉴别 5 种药用海马. *中国中药杂志*, 2018, 43(23): 4562-4568.
- [6] Peter R T, Michael I C, Conrad A M. The evolutionary history of seahorses (Syngnathidae: *Hippocampus*): molecular data suggest a West Pacific origin and two invasions of the Atlantic Ocean[J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2004, 30(2): 273-286.
- [7] Sanders J G, Jennifer E C, Harris G F, et al. The tip of the tail: molecular identification of seahorses for sale in apothecary shops and curio stores in California[J]. *Conserv Genet*, 2008, 9(1): 65-71.
- [8] Lopez A, Vera M, Otero-Ferrer F. Species identification and genetic structure of threatened seahorses in Gran Canaria Island (Spain) using mitochondria and microsatellite markers[J]. *Conserv Genet*, 2010, 11(6): 2431-2436
- [9] 胡嵘, 杜鹤, 崔丽娜, 等. 海马、海龙基于 COI 条形码的 DNA 分子鉴定 [J]. *吉林中医药*, 2012, 32(3): 272-273.
- [10] 董世雄, 李卫东, 王沛政, 等. 海马种类鉴定及群体遗传多样性分析 [J]. *技术与市场*, 2017, 24(12): 126-128.
- [11] 来梦茹, 方昀, 葛宇清, 等. 基于性状鉴别和 DNA 条形码联用的虎尾海马生药学研究 [J]. *中国现代中药*, 2019, 21(9): 1173-1180.
- [12] 蒋超, 黄璐琦, 袁媛, 李军德. 《中国药典》动物药材基原物种中文名和拉丁学名引证规范 [J]. *中国科学: 生命科学*. 2018, 48(7): 772-782.
- [13] 孙思雅, 方昀, 来梦茹, 等. 棘海马的性状鉴别与分子 DNA 条形码研究 [J]. *中国中药杂志*, 2019, 44(22): 4837-4843.
- [14] 陈梦, 朱玲燕, 黄真, 等. 三斑海马及其混伪品的 DNA 条形码分子鉴定研究 [J]. *中草药*, 2019, 50(22): 5554-5562.
- [15] 蒋超, 刘富艳, 金艳, 等. 基于形态和 DNA 序列分析的海马类药材商品基原调查 [J]. *中国中药杂志*. 2018(23): 4553-4561.
- [16] Chang C H, Lin H Y, Jang-Liaw N H, et al. The complete mitochondrial genome of the tiger tail seahorse, *Hippocampus comes*(Teleostei, Syngnathidae)[J]. *Mitochondr DNA*, 2013, 24(3): 199-201.

(文章类别: CPST-A)