

广西滨海盐沼生态系统研究现状及展望*

Status and Characteristics of the Research on Salt Marshes along Guangxi Coast

潘良浩^{1,2}, 史小芳¹, 曾 聪¹, 陶艳成¹, 范航清^{1* * *}

PAN Lianghao^{1,2}, SHI Xiaofang¹, ZENG Cong¹, TAO Yancheng¹, FAN Hangqing¹

(1. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000;

2. 复旦大学生物多样性科学研究所, 生物多样性和生态工程教育部重点实验室, 上海 200438)

(1. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai, 200438, China)

摘要:滨海盐沼(Coastal salt marsh or tidal marsh)是具备多种重要生态和经济功能的海岸带生态系统。对滨海盐沼生态系统生态格局的深入研究,可为滨海湿地管理和恢复提供有益经验。广西滨海盐沼生态系统物种多样性较高,原生种类丰富。原生滨海盐沼种类中分布面积较大的荳芰和短叶荳芰集中分布于南流江、钦江和茅岭江河口区,常与红树林(Mangrove)形成滨海盐沼-红树林生态交错带或单一种群;外来入侵种互花米草盐沼分布面积占比大,且呈持续向西扩散趋势。广西滨海盐沼丰富的多样性及盐沼-红树林生态交错带的天然存在为全球气候变化、生物入侵及人为干扰下滨海湿地生态学的研究提供良好的对象,具备独特的科研价值,需要引起高度重视并进行有效保护。本文通过阐述广西滨海盐沼生态系统的分布、类型与特点,综述其研究状况,总结其研究特色,以期广西滨海湿地生态学的深入研究提供新的线索,促进我国滨海盐沼湿地生态学的研究和发展,并为广西甚至我国滨海湿地生态系统的决策者、管理者等提供参考依据。

关键词:滨海盐沼 盐沼-红树林 生态交错带 荳芰 互花米草

中图分类号:Q948.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2017)05-0453-09

Abstract: Coastal salt marsh is a coastal ecosystem with a variety of important ecological and economic functions. The in-depth study on the ecological pattern of coastal salt marsh ecosystem can provide beneficial experience for the management of coastal wetland and restoration. There is high species diversity and abundant indigenous species in coastal zone in Guangxi. *Cyperus malaccensis* and *Cyperus malaccensis* var. are the two main indigenous saltmarsh species and

mainly distributed in the estuarine of Nanlijiang River, Qinjiang River and Maolingjiang River, which are existed in the form of salt marsh-mangrove ecotone or single dominant communities. The distribution area of *Partina alterniflora* which belongs to invasive species is large, and the spreading direction is from east to west. The richness of the coastal salt marsh in Guangxi and the natural existence of the salt marsh-mangrove ecotone provide a good object for the study of coastal wetland ecology under global climate change, biological invasion and human disturbance, and have a unique scientific research val-

收稿日期:2017-06-02

修回日期:2017-07-08

作者简介:潘良浩(1986-),男,助理研究员,主要从事红树林及滨海盐沼湿地生态学研究,E-mail:panlh86@163.com.

* 科技部国家基础性工作专项(2013FY111800),广西科学院基本科研业务费项目(13YJ22HS10, 15YJ22HSL10, 2017YJJ23003)和广西红树林保护与利用重点实验室系统性研究课题(GKLMC-201405)资助。

* * 通信作者:范航清(1964-),男,博士,研究员,博士生导师,主要从事典型滨海湿地生态系统生态学,典型滨海生态系统保护、恢复与利用研究,E-mail:fanhq666@126.com.

ue, which need to be highly valued and effectively protected. In this study, the distribution, type and characteristics of the coastal salt marsh ecosystem in Guangxi were reviewed, and the status and the characteristics of the study were summarized to provide new clues for the further study of coastal salt marsh ecology in Guangxi, and promote the coastal ecology research and development, and provide reference for Guangxi and even China's coastal wetland ecosystem decision-makers, managers.

Key words: coastal salt marsh, salt marsh-mangrove, ecotone, *Cyperus malaccensis*, *Spartina alterniflora*

0 引言

滨海盐沼 (Coastal salt marsh or tidal marsh) 是基质为淤泥质或者泥沙质的一种湿地生态系统, 它是海洋和陆地两大生态系统的过渡地带, 被海水周期性淹没, 具有较高草本或低矮灌木植被覆盖度^[1-3]。滨海盐沼生态系统有别于由灌木和乔木植物组成的红树林 (Mangrove) 生态系统和由长期淹没在海水中的高等植物草本组成的海草 (Seagrass) 生态系统^[4]。滨海盐沼是潮间带生态系统主要的初级生产者, 其输出的有机物是浅海和光滩生物食物链的重要组成部分, 并具有抵御风暴潮灾害、促淤护岸、降低洪灾风险、补充地下水、过滤污染物、净化海水、为野生动植物提供适宜生境等涉及海岸和近海生态系统的多种重要生态功能^[5-7]; 同时, 某些滨海盐沼植物 (如芦苇) 还具有相对重要的经济价值^[8]。最近, 滨海盐沼生态系统还因其高效的固碳速率在减缓气候变化的潜在作用成为“蓝色碳汇”的重要组成部分^[9-10]。

在全球范围内, 红树林由于受冰点温度的生理限制主要分布于热带和亚热带地区^[11], 而滨海盐沼则可以广泛分布于全球中、高纬度海岸带地区。在低纬度地区由于盐沼植物与红树植物之间存在较大的生态位重叠, 滨海盐沼一般会被红树林所替代^[3, 12-13]或形成红树林-滨海盐沼生态交错带^[14]。

广西海岸东起中国广东、广西交界的洗米河口, 西至中国-越南交界的北仑河口, 海岸线全长 1 595 km, 属亚热带季风气候, 年平均气温为 19~23℃, 年平均降雨量为 1 100~2 800 mm, 近海滩涂面积约为 1 005 km²^[15-16]。广西近海高等植物分布的潮滩湿地中以红树林生态系统为主, 滨海盐沼常与红树林共生且分布较少, 因此对滨海盐沼生态系统的研究较少。但是在保存相对完整的北部湾滨海滩涂生态系统中, 滨海盐沼生态系统的研究是广西北部湾海陆过渡带“珊瑚礁-海草-红树林-滨海盐沼-滨海植被”研究链条中的关键部分, 是滨海湿地生态学研究的热点之一。本研究通过阐述广西滨海盐沼生态系统的分布、类型与特点, 综述其研究状况, 总结其研究特色, 以期

为广西滨海湿地生态学的深入研究提供新的线索, 促进我国滨海盐沼湿地生态学的研究和发展, 并为广西甚至我国滨海湿地生态系统的决策者、管理者等提供参考依据。

1 广西滨海盐沼生态系统

滨海盐沼是具有较高草本或低矮灌木植被覆盖度 (覆盖度通常应 $\geq 30\%$) 的湿地生态系统。据笔者在广西潮间带滩涂的调查发现, 一些种类的草本或低矮灌木呈小斑块状不连续分布或见于内滩红树林的林窗中, 除覆盖度未达到 30% 外, 其生境特征均符合滨海盐沼的特点, 据此, 本研究在统计滨海盐沼植物种类时将该部分植物归为广义的滨海盐沼植物。在测定和统计分布面积时则参考第二次全国湿地资源调查对滨海盐沼的定义及统计标准^[17], 即“潮间盐水沼泽: 潮间地带形成的植被覆盖度 $\geq 30\%$ 的潮间沼泽, 包括盐碱沼泽、盐水草地和海滩盐沼, 面积统计时只统计 8 hm² 以上 (含 8 hm²) 的湿地面积”。但基于广西滨海盐沼大部分与红树林交错生长的特点, 无论是实地绕测还是遥感解译与验证, 都很难精确区分交错带中的盐沼与红树林, 实际统计时未将呈小斑块状不连续分布的或生长于红树林林窗内的小面积斑块 (面积一般 $< 100 \text{ m}^2$) 盐沼计算在内, 总的盐沼面积存在一定的误差。

1.1 滨海盐沼植物种类组成

根据实地调查 (2009 年至 2014 年) 及相关文献数据统计^[18-20], 结合植物种属特性和生育地状况, 我们认为构成广西滨海盐沼的植物种类主要有 45 种, 隶属 13 科 33 属 (表 1)。其中数量最大的科为莎草科 (6 属 17 种), 其次为禾本科 (10 属 10 种), 此二科共 27 个种占广西滨海盐沼总种数的 60.0%; 其它含有超过 1 个种的科有菊科 (5 属 5 种)、藜科 (3 属 3 种)、马齿苋科 (2 属 2 种), 其余 8 科为单属单种。整体来说, 广西滨海盐沼植物以单属种为主, 同时参照吴征镒等^[21-22]对中国植物区系及植物地理的研究, 广西滨海盐沼植物热带性强。

表 1 广西滨海盐沼植物种类组成

Table 1 Coastal salt marsh plants in Guangxi

科名 Family	属名 Genus	中文名 Chinese name	拉丁名 Species name	
莎草科 Cyperaceae	莎草属 <i>Cyperus</i>	荳苳	<i>Cyperus malaccensis</i> Lam.	
		短叶荳苳	<i>Cyperus malaccensis</i> Lam. var. <i>brevifolius</i> Bocklr.	
		粗根荳苳莎草	<i>Cyperus stolonifer</i> Retz.	
	荸荠属 <i>Eleocharis</i>	木贼状荸荠	<i>Eleocharis dulcis</i> J. et C. Presl	
		牛毛毡	<i>Eleocharis yokoscensis</i> (Franch. & Sav.) Tang & F. T. Wang	
		飘拂草属 <i>Fimbristylis</i>	佛焰苞飘拂草	<i>Fimbristylis cymosa</i> var. <i>spathacea</i>
			少穗飘拂草	<i>Fimbristylis schoenoides</i> (Retz.) Vahl
	锈鳞飘拂草		<i>Fimbristylis sieboldii</i> Miq.	
	双穗飘拂草		<i>Fimbristylis subbispicata</i> Nees et Meyen	
	海滨莎属 <i>Remirea</i>	独穗飘拂草	<i>Fimbristylis ovata</i> (Burm. f.) Kern	
		结状飘拂草	<i>Fimbristylis rigidula</i> Nees	
	刺子莞属 <i>Rhynchospora</i>	两歧飘拂草	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (Linn.) Vahl	
		海滨莎	<i>Remirea maritima</i> Aubl.	
	蔗草属 <i>Scirpus</i>	华刺子莞	<i>Rhynchospora chinensis</i> Nees et Mey.	
		刺子莞	<i>Rhynchospora rubra</i> (Lour.) Makino	
	禾本科 Gramineae	狗牙根属 <i>Cynodon</i>	海三棱蔗草●	<i>Scirpus × mariqueter</i> Tang et Zhang
			南水葱	<i>Scirpus validus</i> Vahl var. <i>laeviglumis</i> Tang et Wang
龙爪茅属 <i>Dactyloctenium</i>		狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers.	
		龙爪茅	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (Linn.) Beauv.	
白茅属 <i>Imperata</i>		白茅	<i>Imperata cylindrica</i> (Linn.) Beauv.	
		铺地黍	<i>Panicum repens</i> Linn.	
雀稗属 <i>Paspalum</i>		铺地黍	<i>Panicum repens</i> Linn.	
		海雀稗	<i>Paspalum vaginatum</i> Sw.	
芦苇属 <i>Phragmites</i>		芦苇	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	
		互花米草★	<i>Spartina alterniflora</i> Lois.	
鼠尾粟属 <i>Sporobolus</i>		老鼠芳	<i>Spinifex littoreu</i> (Burn. f.) Merr.	
		鼠尾粟	<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	
结缕草属 <i>Zoysia</i>		盐地鼠尾粟	<i>Sporobolus virginicus</i> (L.) Kunth	
		沟叶结缕草	<i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.	
菊科 Asteraceae		蒿属 <i>Artemisia</i>	茵陈蒿	<i>Artemisia capillaris</i> Thunb.
			小飞蓬	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.
		白酒草属 <i>Conyza</i>	白子菜	<i>Gynura divaricata</i> (Linn.) DC.
	阔苞菊		<i>Pluchea indica</i> Less.	
	羽芒菊属 <i>Tridax</i>	羽芒菊	<i>Tridax procumbens</i> Linn.	
藜科 Chenopodiaceae	滨藜属 <i>Atriplex</i>	匍匐滨藜	<i>Atriplex repens</i> Roth	
		盐角草	<i>Salicornia europaea</i> L.	
	碱蓬属 <i>Suaeda</i>	南方碱蓬	<i>Suaeda australis</i> (R. Br.) Moq.	
马齿苋科 Portulacaceae	马齿苋属 <i>Portulaca</i>	马齿苋	<i>Portulaca oleracea</i> Linn.	
石蒜科 Amaryllidaceae	文殊兰属 <i>Crinum</i>	毛马齿苋	<i>Portulaca pilosa</i> Linn.	
		文殊兰	<i>Crinum asiaticum</i> Linn. var. <i>sinicum</i> (Roxb. ex Herb.) Baker	
大戟科 Euphorbiaceae	守宫木属 <i>Sauropus</i>	艾蒿	<i>Sauropus bacciformis</i> (Linn.) Airy Shaw	
草海桐科 Goodeniaceae	草海桐属 <i>Scaevola</i>	小草海桐	<i>Scaevola hainanensis</i> Hance	
白花丹科 Plumbaginaceae	补血草属 <i>Limonium</i>	中华补血草	<i>Limonium sinense</i> (Girard) Kuntze	
番杏科 Sesuvium	海马齿属 <i>Sesuvium</i>	海马齿	<i>Sesuvium portulacastrum</i> (Linn.) Linn.	
旋花科 Convolvulaceae	番薯属 <i>Ipomoea</i>	厚藤	<i>Ipomoea pes-capra</i> (L.) Sweet	
玄参科 Scrophulariaceae	假马齿苋属 <i>Bacopa</i>	假马齿苋	<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst.	
刺鳞草科 Centrolepidaceae	刺鳞草属 <i>Centrolepis</i>	刺鳞草	<i>Centrolepis banksii</i> (R. Br.) Roem. Et Schult	

注：“●”表示新发现中国特有种，“★”表示外来入侵种

Note: “●” indicates new recorded Chinese endemic species, “★” indicates invasive species

广西滨海盐沼植物种类以多年生草本为主,共 41 种,占全部植物种类的 91.1%,亚灌木/半灌木种类 3 种(匍匐滨藜、南方碱蓬和海南草海桐),藤本 1 种(厚藤)。广西滨海盐沼植物种类中原生植物以荳苳、短叶荳苳分布最广;有外来入侵种 1 种(互花米

草),因其强大的繁殖和扩张能力,现已成为广西滨海盐沼的主要优势种;另有 2014 年新发现的中国特有种(海三棱蔗草)以及华南海岸潮间带少见的盐角草^[23]。

1.2 滨海盐沼分布

我国滨海盐沼在沿海各省区均有分布,总体上以杭州湾为界可分为南北两部分^[24]。杭州湾以北的滨海盐沼除山东半岛和辽东半岛的部分地区为基岩性海岸外,其他多为砂质和淤泥质海滩^[18],这为滨海盐沼的发育提供了极好的自然条件,因此我国大部分的滨海盐沼湿地均分布于北部沿海。根据2009年—2012年进行的第二次全国湿地资源调查^[17],广西滨海盐沼面积为431.35 hm²^[25],但是实际统计中仅包括大于8 hm²以上(含8 hm²)的面积。鉴于广西滨海盐沼与红树林常形成交错带且斑块较小的情况,第二次全国湿地资源调查的统计结果要比实际分布偏小。据何斌源等^[18]的调查,广西滨海盐沼面积应在1 000 hm²以上,且随着外来入侵种互花米草的持续扩散以及海三棱藨草的新发现,滨海盐沼面积仍在持续增大。

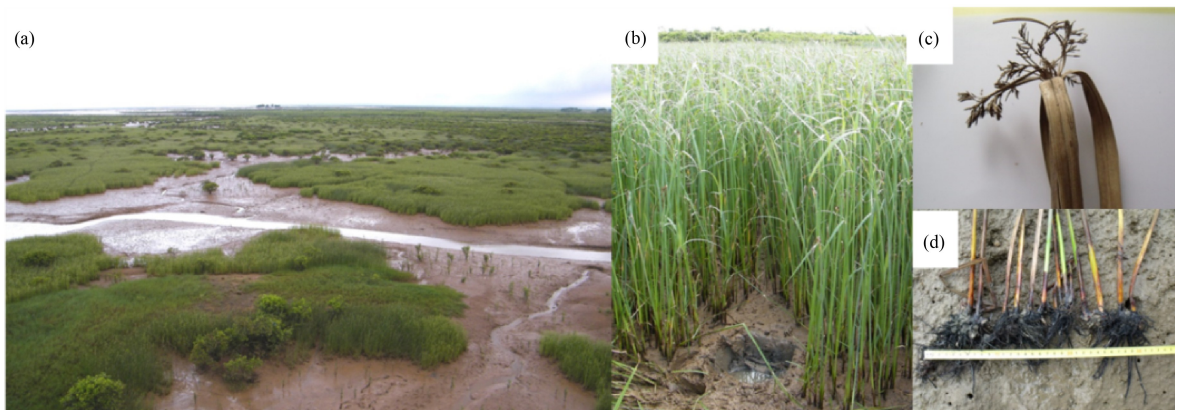
在广西滨海盐沼植物种类组成中,可以形成盐沼

湿地的、连续分布且面积至少在1 hm²以上的仅荇苳、短叶荇苳、互花米草、海三棱藨草、芦苇、南方碱蓬等少数种类,其余种类分布较零散。据此,将广西滨海盐沼分为原生滨海盐沼和外来滨海盐沼两大类型,两种类型的植被分布特征存在显著差异。

1.2.1 原生滨海盐沼

(1) 荇苳和短叶荇苳种群

荇苳和短叶荇苳是原生滨海盐沼植被中面积分布最广的种群,集中分布于南流江、钦江和茅岭江河口区。短叶荇苳还广泛分布于沿海淤泥质河口。结合实地绕测与遥感研究(2014年),荇苳与短叶荇苳群落湿地的分布面积约为300 hm²。在红树林较为稀疏的区域,荇苳与短叶荇苳通常以单一种群或者与红树植物混生的方式分布于潮间带的上部及中部,以上部居多(图1)。而在红树林分布郁闭区域,未发现大片盐沼。



(a) 荇苳-红树林生态交错带;(b) 荇苳单种群落;(c) 荇苳花序及苞片;(d) 荇苳地下部分

(a) *Cyperus malaccensis* - Mangrove ecotone, (b) Single dominant community, (c) Inflorescences and bracts, (d) Below ground parts

图1 荇苳的形态学特征

Fig. 1 The morphology of *Cyperus malaccensis*

(2) 其它土著植物种群

海三棱藨草作为原生滨海盐沼中新记录种,仅见于南流江口廉州湾中部沿岸区域,呈圆斑块状连续分布,与桐花树共生或为单一种群;芦苇见于南流江河口东侧两支流之间潮间带上部,呈圆斑块状不连续分布,芦苇群落多为单一种群;南方碱蓬在广西沿岸普遍分布,面积较大的种群分布在北海冯家江口滩涂;其余原生滨海盐沼植物种类在潮间带滩涂上呈现小斑块状不连续分布,或仅见于内滩红树林的林窗中。

1.2.2 外来滨海盐沼

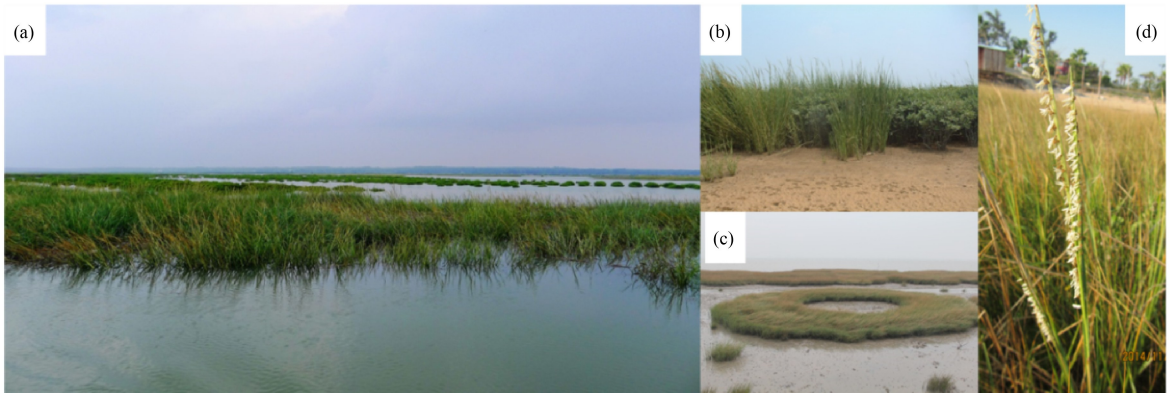
互花米草自1979年在广西潮间带引种以来,整体上呈现出由东向西扩散的趋势,目前已广泛分布于大风江以东潮间带(其分布面积最大的位于丹兜海,

然后依次为铁山港湾、北海银滩至营盘镇、廉州湾、英罗港、大风江)。虽然近几年互花米草的扩散速率已比引种初期要低,但其分布面积达602.27 hm²,约占广西滨海盐沼面积的60%,是广西潮间带分布面积最大的盐沼植物^[26]。最新调查还发现,互花米草已扩散至钦州湾潮间带红树林外缘,并且存在继续向西入侵越南的可能性。

互花米草在潮间带的上部、中部至下部都有分布。在丹兜海和英罗港由于红树林生长茂密且占据着潮间带的中、上部,互花米草主要分布于潮间带中、下部及红树林林缘、无红树林分布的空斑处(少部分入侵至稀疏的红树林内)(图2)以及与潮沟相连的废弃虾塘中;在铁山港湾、北海东海岸和廉州湾则表现

为侵占潮间带光滩,尤其在处于南流江入海口的廉州湾,突出表现为互花米草呈小面积斑块状分布于潮间带中、下部,且与红树林及原生盐沼为非连续分布的

状况,甚至可达到离红树林林缘约 2.5 km 以外滩涂中。



(a,b)互花米草-红树林生态交错带;(c)互花米草单种群落;(d)互花米草花

(a,b) *Spartina alterniflora* - Mangrove ecotone, (c) Single dominant community, (d) Flowers

图 2 互花米草的形态学特征

Fig. 2 The morphology of *Spartina alterniflora*

1.3 滨海盐沼群落

根据广西滨海盐沼的种类组成、分布、结构特征以及生境特点,常见的盐沼群落有荳苳群落、短叶荳苳群落、荳苳-短叶荳苳群落、互花米草群落、芦苇群落、海三棱藨草群落、海雀稗群落、南方碱蓬群落等。滨海盐沼植被与红树林共生形成桐花树-荳苳群落、桐花树-短叶荳苳群落、桐花树-海三棱藨草群落等。滨海盐沼群落主要分布于淡水充足、底质为淤泥质的河口区潮间带。

2 广西滨海盐沼研究现状

广西海岸潮间带并非典型的滨海盐沼分布区,因此对广西滨海盐沼的研究并不多,研究现状主要包括综合性基础研究、生态恢复以及多样性特征等方面。

2.1 综合性基础研究

关于广西原生滨海盐沼分布的较早记录为赵魁义^[27]主编的《中国沼泽志》,书中提及南流江河口区和钦州湾内湾茅尾海沼泽中以荳苳、短叶荳苳群落为主,并对植物群落有定量描述,但是未详细说明分布面积。由国家林业局组织的第二次全国湿地资源调查首次将潮间盐水沼泽(即滨海盐沼)作为单独的一个湿地型(隶属于近海与海岸湿地大类)划分出来,并单独统计面积^[17,25]。梁土楚^[20]主编的《广西湿地与湿地生物多样性》一书中也有关于滨海盐沼的种类及分布的相关信息。总体来说,有关滨海盐沼的分布与种类的统计并不全面,这可能是滨海盐沼以及盐沼植物的定义不明确导致的。

关于原生滨海盐沼的研究仅见潘良浩等^[28-31]、陈广西科学 2017年10月 第24卷第5期

元松^[32]、韦江玲等^[33]对荳苳群落(分布、生物量和生产力、营养元素循环、对重金属的胁迫及促淤沉积等生理生态特征)进行的初步研究。对互花米草的关注则因与其为外来入侵种有关,有关其分布的研究有李武峰^[34]、覃盈盈等^[35]、莫竹承等^[36]、潘良浩等^[26],而有关红树林区中互花米草的生态学研究可见覃盈盈的一系列研究^[35,37-41]。

2.2 生态恢复

赵彩云等^[42]在北海西村港的研究表明,互花米草入侵红树林对当地的大型底栖动物群落多样性有很大影响。2014年—2015年,广西红树林研究中心在北仑河口进行滨海盐沼及红树林生物多样性恢复工作^[18,43-44],这也是国内应用乡土盐沼植物进行生态恢复的为数不多的成功案例。何斌源等^[45-46]还独创性地通过构建盐沼草-红树林协同生态修复系统来进行污损动物的生物防治及红树林造林,具有很高的生态恢复应用前景。范航清等^[47]提出“虾塘红树林湿地生态农场”建设思路和3种生态养殖模式,认为虾塘生态改造还将显著美化滨海湿地景观,为耐盐功能性植物开发利用和滨海休闲业发展奠定基础。

2.3 滨海盐沼植物种类丰富,生物多样性高,研究不足

根据2009年—2012年进行的第二次全国湿地资源调查^[17],我国潮间盐水沼泽(即滨海盐沼)的总面积为101 823.44 hm²,其中广西为431.35 hm²^[25],仅占全国的0.4%。由于标准不同,按照本研究的统计,广西滨海盐沼的实际分布面积达到1 000 hm²以上,尽管如此,相对全国面积占比依然

不足1%。但是在较小的分布面积中,其物种种类达到45种,生物多样性较高,且绝大部分为原生滨海盐沼种类。据林鹏^[4]的不完全统计,我国滨海盐沼植物种类约有18个科,100多种以上,那么广西滨海盐沼植物种类所占比例高达45%(以100种计),凸显广西滨海盐沼的丰富与多样。从研究地点上看,我国的滨海盐沼湿地主要集中在北部和东部沿海,有关南部沿海滨海盐沼湿地的研究明显偏少。从研究的物种上看,北部沿海以芦苇为主,东部沿海集中在互花米草。原生盐沼植物是未来生态保护和恢复的重要选择,然而至今中国南部沿海有关原生盐沼植物的研究仍然较少,这不利于挖掘和发挥原生盐沼植物与生态资源优势为可持续发展服务。

3 展望

由于潮间带生态系统的特殊生境,有关滨海盐沼及红树林植物群落生态学的研究一直是群落生态学研究的热点。滨海盐沼和红树林生态系统均为海岸带重要的生态系统,两者的生态功能因其中低纬度地区的生态位重叠具有互补性,如提高净初级生产力、降低污染、促淤沉积、消浪护堤等。同时,对滨海盐沼与红树林生态系统等海岸带蓝碳的研究已经成为生态学领域中的研究热点之一^[48-50]。滨海盐沼与红树林生态系统两者所形成的生态交错带的研究也在近几年中逐渐得到重视^[51-53],滨海盐沼-红树林交错带的存在同样为蓝碳研究提供新的案例^[14,54],在全球气候变化背景下,红树林及滨海盐沼的演替也出现一定的变化^[55-57]。

广西滨海盐沼生态系统物种多样性较高,原生种类丰富,分布范围较广,大面积的滨海盐沼集中分布于南流江、钦江和茅岭江河口区潮间带,通常形成单种群落或与红树林形成滨海盐沼-红树林生态交错带。近年来的研究更多的是揭示广西滨海盐沼的生态现状,未来则需要深入探索其机理,尤其是天然存在的滨海盐沼-红树林生态交错带的研究。系统深入地认识滨海盐沼-红树林生态交错带的生态格局和过程,将为全球气候变化、生物入侵及人为干扰下滨海盐沼生态学的研究提供良好的对象,为滨海盐沼生态系统的管理和恢复提供有益的经验。

参考文献:

[1] ADAM P. Salt marsh ecology[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
 [2] 杨世伦. 海岸环境和地貌过程导论[M]. 北京: 海洋出版社, 2003.

YANG S L. Introduction to coastal environment and geomorphology[M]. Beijing: Ocean Press, 2003.
 [3] 贺强, 安渊, 崔保山. 滨海盐沼及其植物群落的分布与多样性[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 657-664.
 HE Q, AN Y, CUI B S. Coastal salt marshes and distribution and diversity of salt marsh plant communities [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(3): 657-664.
 [4] 林鹏. 海洋高等植物生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
 LIN P. Marine higher plant ecology[M]. Beijing: Science Press, 2006.
 [5] BERTNESS M D. Atlantic shorelines: Natural history and ecology[M]. Princeton: Princeton University Press, 2007.
 [6] TEAL J M, HOWES B L. Salt marsh values: Retrospection from the end of the century[M]//WEINSTEIN M P, KREEGER D A (eds.). Concepts and controversies in tidal marsh ecology. Dordrecht: Springer, 2002: 9-19.
 [7] 陆健健, 何文珊, 童春富, 等. 湿地生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
 LU J J, HE W S, TONG C F, et al. Wetland ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
 [8] 于长斌, 孙嘉祺, 李艳, 等. 苇田生态循环经济现状及发展对策[J]. 湿地科学与管理, 2013, 9(3): 37-38.
 YU C B, SUN J B, LI Y, et al. Current status and development strategy of ecological circular economy in reed field[J]. Wetland Science & Management, 2013, 9(3): 37-38.
 [9] MCLEOD E, CHMURA G L, BOUILLON S, et al. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2011, 9(10): 552-560.
 [10] DUARTE C M, LOSADA I J, HENDRIKS I E, et al. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation[J]. Nature Climate Change, 2013, 3(11): 961-968.
 [11] DUKE N C, BALL M C, ELLISON J C. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves[J]. Global Ecology and Biogeography Letters, 1998, 7(1): 27-47.
 [12] LONG S P, MASON C F. Saltmarsh ecology[M]. Glasgow: Blackie, 1983.
 [13] CHAPMAN V J. Ecosystems of the world, volume 1. Wet coastal ecosystems [M]. Amsterdam: Elsevier, 1977.
 [14] KELLEWAY J J, SAINTILAN N, MACCREADIE P I, et al. Seventy years of continuous encroachment sub-

- stantially increases ‘blue carbon’ capacity as mangroves replace intertidal salt marshes [J]. *Global Change Biology*, 2016, 22(3):1097-1109.
- [15] 邓超冰. 北部湾儒艮及海洋生物多样性[M]. 南宁:广西科学技术出版社, 2002.
- DENG C B. Dugong and marine biodiversity in Beibu Gulf[M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2002.
- [16] 邓晓玫, 宋书巧. 广西海岸带研究现状及展望[J]. *海洋开发与与管理*, 2011(7): 32-35.
- DENG X M, SONG S Q. Status and overview of research in Guangxi coastal zone[J]. *Ocean Development and Management*, 2011(7): 32-35.
- [17] 国家林业局. 中国湿地资源: 总卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- State Forestry Administration. China wetlands resources: Master volume [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015.
- [18] 何斌源, 潘良浩, 王欣, 等. 乡土盐沼植物及其生态恢复[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- HE B Y, PAN L H, WANG X, et al. Indigenous salt marsh plants and their restorations[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2014.
- [19] 梁士楚. 广西湿地植物[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- LIANG S C. Wetland plants of Guangxi[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [20] 梁士楚. 广西湿地与湿地生物多样性[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- LIANG S C. Wetland and its biodiversity in Guangxi [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [21] 吴征镒, 王荷生. 中国自然地理: 植物地理: 上册 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- WU Z Y, WANG H S. China’s physical geography—plant geography—Volume 1 [M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [22] 吴征镒. 论中国植物区系的分区问题[J]. *云南植物研究*, 1979, 1(1): 1-20.
- WU Z Y. On the division of flora in China[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1979, 1(1): 1-20.
- [23] 王文卿, 陈琼. 南方滨海耐盐植物资源(一)[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2013.
- WANG W Q, CHEN Q. Salt-tolerant plant resources from coastal areas of South China[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2013.
- [24] 国家林业局. 中国湿地保护行动计划[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- State Forestry Administration. China national wetlands conservation action plan [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000.
- [25] 国家林业局. 中国湿地资源: 广西卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- State Forestry Administration. China wetlands resources: Guangxi volume [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015.
- [26] 潘良浩, 史小芳, 陶艳成, 等. 广西海岸互花米草分布现状及扩散研究[J]. *湿地科学* 2016, 14(4): 464-470.
- PAN L H, SHI X F, TAO Y C, et al. Distribution and expansion of *Spartina alterniflora* in coastal tidal zone, Guangxi [J]. *Wetland Science*, 2016, 14(4): 464-470.
- [27] 赵魁义. 中国沼泽志[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- ZHAO K Y. Chinese swamp [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [28] 潘良浩. 广西茅尾海荻茆种群生理生态学研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011.
- PAN L H. Ecophysiological research on *Cyperus malaccensis* Lam. populations in Maowei Hai Bay, Guangxi, China [D]. Nanning: Guangxi University, 2011.
- [29] 潘良浩. 广西茅尾海荻茆生物量研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(22): 13481-13483.
- PAN L H. Study on biomass of *Cyperus malaccensis* Lam. at Maowei Hai in Guangxi [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(22): 13481-13483.
- [30] 潘良浩, 史小芳, 范航清. 荻茆 (*Cyperus malaccensis* Lam.) 生物量估测模型[J]. *广西科学院学报*, 2015, 31(4): 259-263.
- PAN L H, SHI X F, FAN H Q. Research on biomass estimate model of *Cyperus malaccensis* Lam. [J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2015, 31(4): 259-263.
- [31] 潘良浩, 韦江玲, 陈元松, 等. 茅尾海荻茆及沉积物有机碳、全氮、全磷分布特征与季节动态[J]. *湿地科学*, 2012, 10(4): 467-473.
- PAN L H, WEI J L, CHEN Y S, et al. Distribution characteristics and seasonal dynamics of organic carbon, total nitrogen, total phosphorus of *Cyperus malaccensis* and sediments in Maowei Hai Bay [J]. *Wetland Science*, 2012, 10(4): 467-473.
- [32] 陈元松. 盐度胁迫对荻茆·短叶荻茆萌芽的影响[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(17): 10396-10397.
- CHEN Y S. Effects of salinity stress on germination of two *Cyperus malaccensis* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(17): 10396-10397.
- [33] 韦江玲, 潘良浩, 陈元松, 等. 重金属 Cr⁶⁺ 胁迫对荻茆生理生态特征的影响[J]. *广西植物*, 2014, 34(1): 89-94.
- WEI J L, PAN L H, CHEN Y S, et al. Physiological and ecological characteristics of *Cyperus malaccensis* to

- Cr⁶⁺ stress[J]. Guihaia, 2014, 34(1): 89-94.
- [34] 李武峥. 山口红树林保护区互花米草分布调查与评价[J]. 南方国土资源, 2008(7): 39-41.
LI W Z. Investigation and evaluation of *Spartina alterniflora* distribution in Shankou mangrove nature reserve[J]. Southern Land Resources, 2008(7): 39-41.
- [35] 覃盈盈, 梁士楚. 外来种互花米草在广西海岸的入侵现状及防治对策[J]. 湿地科学与管理, 2008, 4(2): 47-50.
QIN Y Y, LIANG S C. Current status and eradication strategy of invasive alien plants *Spartina alterniflora* in Guangxi[J]. Wetland Science & Management, 2008, 4(2): 47-50.
- [36] 莫竹承, 范航清, 刘亮. 广西海岸潮间带互花米草调查研究[J]. 广西科学, 2010, 17(2): 170-174.
MO Z C, FAN H Q, LIU L. Investigation on smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) along Guangxi coastal tidal zone[J]. Guangxi Sciences, 2010, 17(2): 170-174.
- [37] 覃盈盈. 红树林生境中互花米草的生态学研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2009.
QIN Y Y. Ecological study of *Spartina alterniflora* in mangroves habitats[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2009.
- [38] 覃盈盈, 甘肖梅, 蒋潇潇, 等. 红树林生境中互花米草气孔导度的动态变化[J]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 1991-1995.
QIN Y Y, GAN X M, JIANG X X, et al. Dynamics in leaf stomatal conductance of *Spartina alterniflora* in mangrove habitats [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(10): 1991-1995.
- [39] 覃盈盈, 蒋潇潇, 李峰, 等. 互花米草在不同生境中的形态可塑性与生物量分配[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(6): 657-659, 667.
QIN Y Y, JIANG X X, LI F, et al. Morphological plasticity and biomass allocation of *Spartina alterniflora* lossel in different habitats [J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(6): 657-659, 667.
- [40] 覃盈盈, 蒋潇潇, 李峰, 等. 山口红树林区互花米草有性繁殖期的生物量动态[J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2083-2086.
QIN Y Y, JIANG X X, LI F, et al. Biomass dynamics of *Spartina alterniflora* at its sexual propagation stage in Shankou mangrove area of Guangxi, China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(12): 2083-2086.
- [41] 覃盈盈, 梁士楚. 红树林保护区中互花米草结实器官数量特征研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(8): 3516-3517, 3575.
QIN Y Y, LIANG S C. Study on the quantitative characteristics of *Spartina alterniflora* L. fructification in mangroves [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(8): 3516-3517, 3575.
- [42] 赵彩云, 柳晓燕, 白加德, 等. 广西北海西村港互花米草对红树林湿地大型底栖动物群落的影响[J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 630-639.
ZHAO C Y, LIU X Y, BAI J D, et al. Impact of *Spartina alterniflora* on benthic macro-invertebrates communities on mangrove wetland in Xicungang Estuary, Guangxi [J]. Biodiversity Science, 2014, 22(5): 630-639.
- [43] 宁秋云, 李英花, 莫珍妮, 等. 滨海盐沼生态修复工程效果评价——以广西竹山为例[J]. 泉州师范学院学报, 2014, 32(6): 25-29.
NING Q Y, LI Y H, MO Z N, et al. The evaluation on the effect of marine saltmarsh ecological restoration projects in Zhushan, Guangxi [J]. Journal of Quanzhou Normal University, 2014, 32(6): 25-29.
- [44] 林金兰, 刘昕明, 陈圆, 等. 广西北仑河口自然保护区生态恢复工程绩效评价[J]. 海洋开发与管理, 2015(10): 84-89.
LIN J L, LIU X M, CHEN Y, et al. Performance evaluation of ecological restoration engineering in Beilun Estuary Natural Reserve [J]. Ocean Development and Management, 2015(10): 84-89.
- [45] 何斌源, 赖廷和, 潘良浩, 等. 盐沼草-白骨壤混种减轻污损动物危害的生物防治效果研究[J]. 广西植物, 2014, 34(2): 203-211.
HE B Y, LAI T H, PAN L H, et al. Effect study on a biological prevention method applying mix-culturing of saltmarsh and *Avicennia marina* mangrove trees to reduce marine fouling fauna damage [J]. Guihaia, 2014, 34(2): 203-211.
- [46] 何斌源, 赖廷和, 王欣, 等. 盐沼草对桐花树人工林污损动物危害的生物防治研究[J]. 广西科学, 2013, 20(3): 185-192.
HE B Y, LAI T H, WANG X, et al. Biological prevention method for reducing the fouling fauna damage to the young transplanted *Aegiceras corniculatum* mangrove trees by mix-culturing with saltmarsh [J]. Guangxi Sciences, 2013, 20(3): 185-192.
- [47] 范航清, 阎冰, 吴斌, 等. 虾塘还林及其海洋农牧化构想[J]. 广西科学, 2017, 24(2): 127-134.
FAN H Q, YAN B, WU B, et al. A conception of developing farming of the sea through reconversion of shrimp ponds to mangroves [J]. Guangxi Sciences, 2017, 24(2): 127-134.
- [48] 王秀君, 章海波, 韩广轩. 中国海岸带及近海碳循环与蓝碳潜力[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1218-1225.

WANG X J, ZHANG H B, HAN G X. Carbon cycle and "blue carbon" potential in China's coastal zone[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(10):1218-1225.

[49] 周晨昊, 毛覃愉, 徐晓, 等. 中国海岸带蓝碳生态系统碳汇潜力的初步分析[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(4):475-486.

ZHOU C H, MAO Q Y, XU X, et al. Preliminary analysis of C sequestration potential of blue carbon ecosystems on Chinese coastal zone[J]. Scientia Sinica Vitae, 2016, 46(4):475-486.

[50] THOMAS S. Blue carbon: Knowledge gaps, critical issues, and novel approaches[J]. Ecological Economics, 2014, 107:22-38.

[51] GUO H Y, WEAVER C, CHARLES S P, et al. Coastal regime shifts: Rapid responses of coastal wetlands to changes in mangrove cover[J]. Ecology, 2017, 98(3):762-772.

[52] SIMPSON L T, FELLER I C, CHAPMAN S K. Effects of competition and nutrient enrichment on *Avicennia germinans* in the salt marsh-mangrove ecotone[J]. Aquatic Botany, 2013, 104:55-59.

[53] HENRY K M, TWILLEY R R. Soil development in a

coastal Louisiana wetland during a climate-induced vegetation shift from salt marsh to mangrove[J]. Journal of Coastal Research, 2013, 29(6):1273-1283.

[54] YANDO E S, OSLAND M J, WILLIS J M, et al. Salt marsh-mangrove ecotones: Using structural gradients to investigate the effects of woody plant encroachment on plant-soil interactions and ecosystem carbon pools[J]. Journal of Ecology, 2016, 104(4):1020-1031.

[55] OSLAND M J, DAY R H, HALL C T, et al. Mangrove expansion and contraction at a poleward range limit: Climate extremes and land-ocean temperature gradients[J]. Ecology, 2017, 98(1):125-137.

[56] COLDREN G A, BARRETO C R, WYKOFF D D, et al. Chronic warming stimulates growth of marsh grasses more than mangroves in a coastal wetland ecotone[J]. Ecology, 2016, 97(11):3167-3175.

[57] SAINTILAN N, WILSON N C, ROGERS K, et al. Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits[J]. Global Change Biology, 2014, 20(1):147-157.

(责任编辑:米慧芝)

(上接第 452 页 Continue from page 452)

[40] FRANKLIN K A, DAVIS S J, STODDART W M, et al. Mutant analyses define multiple roles for phytochrome C in Arabidopsis photomorphogenesis[J]. Plant Cell, 2003, 15(9):1981-1989.

[41] RALPH P J, POLK S M, MOORE K A, et al. Operation of the xanthophyll cycle in the seagrass *Zostera marina* in response to variable irradiance[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2002, 271(2):189-207.

[42] WINTERS G, NELLE P, FRICKE B, et al. Effects of a simulated heat wave on photophysiology and gene expression of high- and low-latitude populations of *Zostera marina* [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2011, 435:83-95.

[43] REUSCH T B H, VERON A S, PREUSS C, et al. Comparative analysis of expressed sequence tag (EST) libraries in the seagrass *Zostera marina* subjected to temperature stress[J]. Mar Biotechnol, 2008, 10(3):297-309.

[44] BERGMANN N, WINTERS G, RAUCH G, et al. Population-specificity of heat stress gene induction in northern and southern eelgrass *Zostera marina* populations under simulated global warming[J]. Mol Ecol, 2010, 19(14):2870-2883.

[45] MASSA S I, PEARSON G A, AIRES T, et al. Expressed sequence tags from heat-shocked seagrass *Zostera noltii* (Hornemann) from its southern distribution range[J]. Mar Genomics, 2011, 4(3):181-188.

[46] WISSLER L, DATTOLO E, MOORE A D, et al. Dr. Zompo: An online data repository for *Zostera marina* and *Posidonia oceanica* ESTs [J]. Database, 2009, 2009:bap009.

[47] SWARBRECK D, WILKS C, LAMESCH P, et al. The Arabidopsis information resource (TAIR): Gene structure and function annotation[J]. Nucleic Acids Res, 2008, 36:D1009-D1014.

[48] PROOST S, VAN BEL M, STERCK L, et al. PLAZA: A comparative genomics resource to study gene and genome evolution in plants[J]. Plant Cell, 2009, 21(12):3718-3731.

[49] DASSANAYAKE M, HAAS J S, BOHNERT H J, et al. Comparative transcriptomics for mangrove species: An expanding resource[J]. Funct Integr Genomics, 2010, 10(4):523-532.

(责任编辑:米慧芝)