

潮间带贝克喜盐草土壤种子库空间分布及其生物影响因素*

Spatial Distribution of the Soil Seed Banks of Seagrass *Halophila beccarii* at Intertidal Zone and the Biological Influential Factors

韦梅球^{1,2}, 招礼军¹, 邱广龙^{2**}, 苏治南^{1,2}, 谈思泳³

WEI Meiqiu^{1,2}, ZHAO Lijun¹, QIU Guanglong², SU Zhinan^{1,2}, TAN Siyong³

(1. 广西大学林学院, 广西南宁 530004; 2. 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; 3. 广西师范学院地理科学与规划学院, 广西南宁 530001)

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China; 3. School of Geography and Planning, Guangxi Teachers Education University, Nanning, Guangxi, 530001, China)

摘要:【目的】为探讨贝克喜盐草 (*Halophila beccarii* Ascherson) 种群更新及濒危机制, 研究其土壤种子库空间分布特征及其生物影响因素。【方法】对广西合浦榕根山、防城港交东、防城港山心 3 个贝克喜盐草典型分布点进行调查取样, 统计(或称量)样品种子、直立茎、雌花、果实数量、地上部分生物量和地下部分生物量。【结果】从水平方向分布来看, 相同方向上不同距离处贝克喜盐草土壤种子库密度差异不显著, 海草场潮沟、外海、海岸方向一侧的土壤种子库密度在榕根山和交东分别为 271 粒/m²、180 粒/m²、52 粒/m²和 52 粒/m²、23 粒/m²、16 粒/m², 差异显著, 可见该海草种子水平空间分布格局受到落潮水流与落潮后流向潮沟的微水流的影响, 受距离影响较弱; 垂直方向上, 上层(0~4 cm)、中层(4~8 cm)、下层(8~12 cm)土壤底质中贝克喜盐草种子数量分别占总量的 73.0%、20.8%和 6.2%, 上层土壤中种子数量显著高于中层和下层 ($P < 0.05$), 表明绝大部分的种子分布于土壤表层(0~8 cm); 贝克喜盐草海草场土壤种子库密度与其种群雌花密度、直立茎密度存在极显著线性正相关关系, 其相关系数 r 分别为 0.722 9 ($P < 0.01$)、0.845 1 ($P < 0.01$), 与果实密度、地上部分生物量及总生物量呈多项式曲线关系。【结论】贝克喜盐草土壤种子库的水平空间分布受潮沟、入海河流等外界环境和地上植被的种群属性、种子自身特性等因素的影响, 垂直方向上主要分布在表层底质中, 且地上植被的种群属性是决定土壤种子库密度的关键因素。

关键词: 贝克喜盐草 土壤种子库 种群更新 海草保护

中图分类号: Q178 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2017)02-0093-09

Abstract: 【Objective】In order to explore the population regeneration and the cause of endangerment of *Halophila beccarii*, the spatial distribution characteristics of soil seed banks and its biological influential factors were studied. 【Methods】Sediment including seagrass plants were

收稿日期: 2017-02-10

修回日期: 2017-03-11

作者简介: 韦梅球 (1990—), 女, 硕士研究生, 主要从事海草生态学 Research。

* 广西红树林保护与利用重点实验室系统性课题(GKLMC-14A02, GKLMC-15A01)资助。

** 通信作者: 邱广龙 (1978—), 男, 副研究员, 主要从事海草生态与红树林生态研究, E-mail: qalong@163.com。

sampled from three typical sites of seagrass *H. beccarii* in Guangxi at Ronggenshan of Hepu, Jiaodong and Shanxin of Fangchengang. The number of seagrass seeds, shoots, female flowers, and fruits in the samples were analyzed statistically and the seagrass biomass of above ground and below ground were weighed in the laboratory. **【Results】** We got the results in 3 aspects: Horizontally, there was no significant difference of the soil seed banks density among the distances at the same direction. The soil seed densities of the seagrass at the side to open sea, tidal creek, land at Ronggenshan and Jiaodong were significantly different at $271/\text{m}^2$, $180/\text{m}^2$, $52/\text{m}^2$ and $52/\text{m}^2$, $23/\text{m}^2$, $16/\text{m}^2$ respectively, revealing that the horizontal distribution patterns of *H. Beccarii* seeds were affected by both tidal flow of ebb tide and the thin flow of seawater down to tidal creeks and were weakly affected by distance; Vertically, 73.0% of the seeds of *H. Beccarii* were found in the upper layer of sediment (0–4 cm), 20.8% in the middle layer (4–8 cm) and 6.2% in the lower layer (8–12 cm), the number of the seagrass seeds in the upper layer was significantly higher than those in the middle and the lower layers ($P < 0.05$), showing that most of the seeds distributed in the surface layer of the soil (0–8 cm); The soil seed densities of *H. Beccarii* were significantly linearly dependent on the densities of female flowers and shoots of the seagrass population. The correlation coefficients r was 0.722 9 ($P < 0.01$) and 0.845 1 ($P < 0.01$) respectively, and the fruit density, the above ground biomass and total biomass were in the polynomial curve. **【Conclusion】** Horizontal distribution of the soil seed banks of *H. beccarii* were mostly affected by some environmental factors such as tidal creeks and seagoing rivers, and the population attributes of above ground vegetation and seed properties. Population attributes of above-ground vegetation were the key influential factors that affected the densities of soil seed banks of *H. Beccarii*.

Key words: *Halophila beccarii*, soil seed bank, population regeneration, seagrass conservation

0 引言

【研究意义】 贝克喜盐草 (*Halophila beccarii* Ascherson) 是一年或多年生的海草, 雌雄同株, 分布于印度、马来西亚、菲律宾、越南、孟加拉、中国等南、东南亚国家的浅海或河口环境^[1]。2012年, 该种被国际自然保护联盟 (The International Union for Conservation of Nature, IUCN) 列入渐危 (VL) 物种名录^[2]。土壤种子库是植物种群自然更新与拓展物质的基础^[3], 它作为潜在的植被, 预示着种群的自我恢复能力^[4]。研究贝克喜盐草土壤种子库的分布有助于了解该植物种群结构与动态, 也为深入剖析该种群更新、拓展及其濒危机制提供基础数据。**【前人研究进展】** 国外关于贝克喜盐草的研究主要集中于物种形态^[5]、物候^[6-8]、群落分布^[9-10]、耐盐性^[10-13]、生理生态^[14-15]等方面。国内对贝克喜盐草的研究起步较晚且匮乏, 1978年该种在香港作为新记录种被发现^[16], 此后还有少量关于其分布^[17]、种

群动态^[18]、分子遗传^[19-21]等方面的报道。邱广龙等^[18, 22]曾对广西和海南贝克喜盐草的土壤种子库储量进行研究, 但未对其分布做进一步探讨。**【本研究切入点】** 据 IUCN 的估算, 全球贝克喜盐草分布面积已不足 $2\ 000\ \text{km}^2$ ^[2]。贝克喜盐草衰退形势严峻, 其衰退机制、生理生化、保护恢复等方面都亟待研究。本研究以贝克喜盐草的土壤种子库为切入点, 对广西合浦榕根山、防城港交东村、山心村的贝克喜盐草海草场开展调查。**【拟解决的关键问题】** 探明贝克喜盐草土壤种子库的空间分布规律及其主要影响因素。

1 材料与方 法

1.1 研究地概况

研究地位于广西贝克喜盐草的主要分布区, 即合浦的榕根山贝克喜盐草海草场、防城港珍珠港的交东贝克喜盐草海草场和山心贝克喜盐草海草场。各个海草场种群特征及地理自然环境概况见表 1。

表 1 各研究地概况

Table 1 General situation of each study sites

研究地 Study sites	纬度 Latitude	经度 Longitude	海草覆盖特点 Seagrass vegetation coverage characteristics	物候期 Phenological period	有无河流影响 Affected by the river or not	年均温 Mean annual temperature (°C) ^[23]	年均风速 Mean annual wind speed (m·s ⁻¹) ^[23]	年均海水盐度 Mean annual seawater salinity (‰) ^[23]
榕根山海草场 Ronggenshan meadow	21°29'46"N	109°40'55"E	连续 Continuous	花果期 Flowering and fruiting	无 No	22.9	3.7	26
交东海草场 Jiaodong meadow	21°36'20"N	108°11'56"E	破碎化斑块状 Patchy	花果期 Flowering and fruiting	有 Yes	22.5	5.1	29.1
山心海草场 Shanxin meadow	21°34'44"N	108°9'45"E	地表当前无海草植被,但半年前曾有海草覆盖 Seagrass plants were covered before but no seagrass vegetation is found	无植被覆盖 No seagrass	无 No	22.5	5.1	29.1

1.2 采样方法及样品处理

为调查贝克喜盐草土壤种子库水平分布特征,采样分别在榕根山、交东 2 个海草场的潮沟、外海、陆岸 3 个方向进行,在每个方向距离草场边缘的 0 m、1 m、2 m、4 m 处随机采集含草的沉积物样品,采样面积为 50 cm×50 cm,采样深度为 10 cm。为调查贝克喜盐草土壤种子库的垂直空间分布特征,于防城港珍珠港交东贝克喜盐草海草场内 10 个长期定位监测站位(所有监测站位都有贝克喜盐草植被生长或曾经有贝克喜盐草植被生长)^[16]附近(半径 1.5 m 范围内),用直径 7 cm 的柱状采草器于分别随机采集 3 个 12 cm 深的沉积物样品。采集后对沉积物样品进行分层处理,表层为 0~4 cm,中层 4~8 cm,下层 8~12 cm,共采集 90 份样品。

样品以 50 目标准筛筛洗后,将剩余土壤中海草种子及植物挑出,海草样品经去离子水冲洗干净后分为地上部分(叶、叶柄以及花果等繁殖器官)和地下部分(根状茎与根),统计贝克喜盐草雌花、雄花、直立茎、果实和土壤中的种子数量,并将海草植物的地上部分与地下部分分别烘干至恒重,用万分之一电子天平称重^[16]。

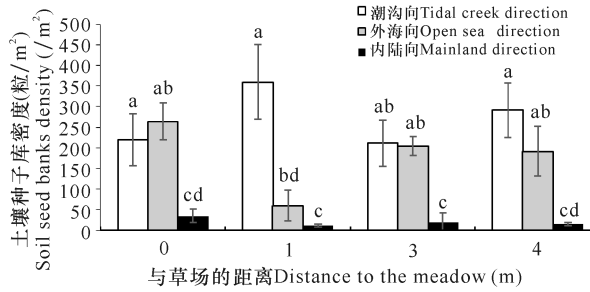
1.3 数据处理

使用 Excel2010 制作图表,用 SPSS19.0 软件对数据进行方差分析、相关分析、线性及非线性拟合等统计分析, $P < 0.05$ 被认为差异显著, $P < 0.01$ 被认为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 贝克喜盐草海草场不同水平方向、距离处的土壤种子库密度

土壤种子库是群落中植物种群自然更新的物质基础,它的水平分布格局是影响种群原地更新与向外拓展建立新种群能力的重要因素。与陆地森林、草地等生态系统中的植物种群不同,海草是水媒传粉的海洋沉水植物^[24-25],水是其种子传播的主要媒介^[26]。海草种子散布后部分种子由于水流的作用被带离原草场。调查结果表明,榕根山、交东海草场相同水平方向的 0 m、1 m、2 m、4 m 处的土壤种子库密度均未见显著差异($P > 0.05$)(图 1,图 2),可见在贝克喜盐草草场边缘周围 4 m 范围内,距离对土壤种子库密度分布的贡献不大。在植物群落内,由于环境的异质性和“安全地”的存在,植物群落土壤种子库通常倾向于集群分布^[27]。Orth 等^[26]曾对大叶藻(*Zostera marina*)进行种子播种实验,发现其种子成熟散布后会迅速沉入底质,致使 80% 的种子分布于草场周围 5 m 之内。据室内观察,贝克喜盐草种子密度远高于海水密度,放入海水(盐度约为 30)即立刻下沉。散布后难以随海水进行远距离漂流。贝克喜盐草种子表面具有网纹^[28],不利于种子在底质中移动。这些特性使贝克喜盐草种子更容易产生集群分布。贝克喜盐草土壤种子库密度不随距离增大而呈现规律性变化的原因可能是因为集群分布作用已远远超过距离对土壤种子库密度分布的影响。

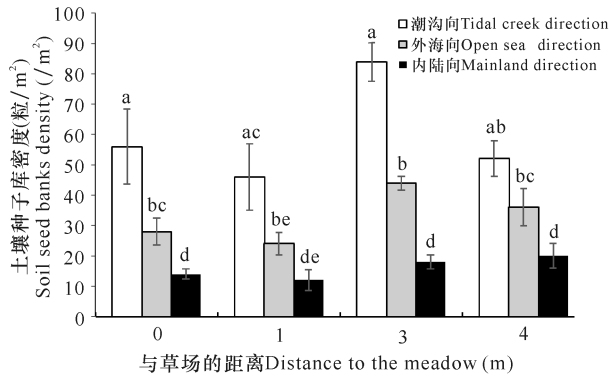


不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)

Different letter means significant differences ($P < 0.05$)

图1 榕根山贝克喜盐草土壤种子库密度在不同距离处的分布

Fig. 1 Distribution of *H. beccarii* soil seed banks in different distance at Ronggenshan meadow



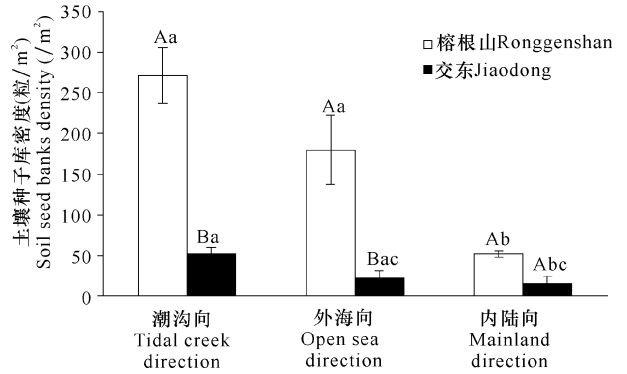
不同字母代表差异显著 ($P < 0.05$)

Different letter means significant differences ($P < 0.05$)

图2 交东贝克喜盐草土壤种子库密度在不同距离处的分布

Fig. 2 Distribution of *H. beccarii* soil seed banks in different distance at Jiaodong meadow

图3结果显示,不同水平方向的土壤种子库密度变化显著。榕根山海草场潮沟方向、外海方向土壤种子库密度分别为 271 粒/ m^2 、180 粒/ m^2 ,均远高于内陆方向(52 粒/ m^2) ($P < 0.01$)。交东海草场潮沟方向(52 粒/ m^2)也高于内陆方向(16 粒/ m^2) ($P < 0.05$)。外海方向是落潮时潮水退去的方向,而潮水退去时有可能携带海草种子往更深的外海方向或潮沟方向散布。可见贝克喜盐草种子向外传播时受到落潮水流与落潮后流向潮沟的微水流的影响,其草场外土壤种子库主要沿外海与潮沟两个方向分布。Inglis^[29]也发现,在二药藻(*Halodule uninervis*)海草场的浅滩、凹槽中的土壤种子库储量远远高于底质凸丘中的土壤种子库储量。



不同大写字母代表草场之间差异显著 ($P < 0.05$),不同小写字母代表方向之间差异显著 ($P < 0.05$)

Different capitals mean significant differences among meadow ($P < 0.05$), different lowercases mean significant differences between directions ($P < 0.05$)

图3 贝克喜盐草土壤种子库各水平方向的分布

Fig. 3 Distribution of soil seed bank in each direction of *H. beccarii*

2.2 贝克喜盐草土壤种子库密度在不同土壤层中的分布

贝克喜盐草土壤种子库的垂直方向分布总体上表现为上层(0~4 cm) > 中层(4~8 cm) > 下层(8~12 cm),其土壤底质中各层种子数量分别占总量的 73.0%、20.8%和 6.2%,上层与中层、下层之间差异均达显著水平 ($P < 0.05$) (表 2)。除 W5 站位外,在具有较高海草覆盖度(用直立茎密度表示,下同)的西部区域,上层底质的种子数量占总数量的比例均高于 66%,最高达 88% (W3),远高于中层与下层土壤的种子数量 ($P < 0.01$)。但海草覆盖度低时各层土壤之间种子分布较均匀,地上植被已经衰败的 W5、E3 及 E4 站位中层与下层的土壤种子密度甚至略高于上层。土壤种子垂直分布格局与植被繁殖体形态、重量等自身生物特征及土壤结构、干扰等因素密切相关。有研究发现,种子偏大或偏小均会阻碍其向深层土壤分布^[30-32]。贝克喜盐草种子偏小,长度仅为 0.5~1 mm^[28],且种皮表面具网纹,这可能是交东海草场东部草斑土壤种子主要分布于上层的重要影响因素。造成 W5 与西部各草斑中下层土壤种子库密度略高于上层,可能的原因有如下 2 点:(1) W5、E3、E4、E5 草斑位于潮沟下游的边缘,泥质底质松软易陷,且地表无任何海草植物覆盖,其土壤上层种子易被潮汐带走,或易被沉积物覆盖而深埋;(2) W5 与西部各草斑海草覆盖度极低(表 2),其种子散布后,表层土壤中的种子由于缺乏稳定海草场微环境结构的“保护”而丧失^[28](例如水流作用、动物啃食、干扰等)。Morita 等^[33]对大叶藻土壤

种子分布深度的研究也发现,72%的大叶藻种子会消失,而只有28%的种子因被深埋而留存于原草场。因此,研究区贝克喜盐草种子散布后,高于

90%的种子埋藏于0~8 cm土壤底质中,但受环境因素的影响,该深度范围底质中的种子可能逐渐被深埋或丧失。

表2 交东贝克喜盐草海草场各站位土壤种子库密度及显著性检验结果

Table 2 Soil seed density and significance test of variation for each sampling station in Jiaodong *H. beccarii* meadow

站点 Sampling stations	各层土壤种子库密度(粒/m ²) Soil seed density (/m ²)			直立茎密度 (茎/m ²) Shoot density (/m ²)	相对潮沟的位置 Position relative to tidal creek	方差分析结果(P值) Results of variance analysis (P value)		
	上层	中层	下层			上层-中层 Upper layer-middle layer	上层-下层 Upper layer-lower layer	中层-下层 Middle layer-lower layer
W1	1 467±352	777±440	0	0	上游,5 m外 Upstream,greater than 5 m	0.007**	0.041*	0.217
W2	4 230±373	1 726±577	518±423	12 604±5 200	中上游,5 m外 Upper and middle reach,greater than 5 m	0.021*	0.004**	0.185
W3	8 029±866	863±343	173±141	22 187±3 103	中游,5 m外 Midstream,greater than 5 m	0.003**	0.002**	0.681
W4	1 381±407	691±186	0	9 928±3 436	中游,2 m内 Midstream,less than 2 m	0.000**	0.000**	0.000**
W5	0	86±70	345±141	0	中下游,2 m内 Middle and lower reach,less than 2 m	0.447	0.117	0.349
E1	172±141	259±122	173±141	432±254	中下游,5 m外 Middle and lower reach,greater than 5 m	0.725	1.000	0.725
E2	0	0	0	259±122	下游,5 m外 Downstream,greater than 5 m	—	—	—
E3	86±70	0	0	0	下游,5 m内 Downstream,less than 5 m	0.267	0.267	1.000
E4	0	86±70	0	0	下游,5 m外 Downstream,greater than 5 m	0.267	1.000	0.267
E5	0	0	0	0	下游,2 m内 Downstream,greater than 2 m	—	—	—
平均 Average	1 537±836	449±179	121±58	—	—	0.031*	0.050*	0.643
合计 Total	15 365	4 488	1 209	—	—	—	—	—
百分比 Percentage (%)	73.0	20.8	6.2	—	—	—	—	—

注:表中数据为均值±标准误;*为0.05>P>0.01,差异显著;**为P<0.01,差异极显著

Note:Data in the table are means ±SE,* significant difference,** extremely significant difference

2.3 贝克喜盐草土壤种子库密度与地上植被种群特征的关系

对于陆地森林、草地等生态系统,土壤种子库与地上植被的关系主要指它们土壤种子库的物种组成与地上植被物种组成之间的相似性与差异性。相比陆地生态系统丰富的植物多样性,海草床生态系统

植物种类组成单一,通常为一种或两种,其土壤种子库物种组成亦然。本研究在贝克喜盐草海草场全部的土壤样品中,仅发现2粒矮大叶藻(*Zostera japonica*)种子(在距取样地点约1 km处有该种海草分布)。故本研究所述土壤种子库密度与地上植被的关系侧重于土壤种子库与地上植物种群雌花密

度、果实密度、海草直立茎密度、地上部分生物量及总生物量等种群属性之间的关系。对土壤种子库密度与种群各属性数据进行拟合发现,贝克喜盐草海草场土壤种子库密度与该种群雌花密度、直立茎密度在极显著水平下线性正相关 ($P < 0.01$), 相关系数 r 分别为 0.722 9, 0.845 1 (图 4, 图 5); 与果实密度、地上部分生物量及总生物量呈多项式曲线关系 (图 6~8)。对比雌花密度、果实密度与土壤种子库密度的相关程度及数据拟合度可看出 (图 4 和图 6), 种群果实密度对土壤种子库密度预测的准确性更高, 其原因可能是, 有部份雌花未能成功授粉, 或授粉后受精卵在发育成果实的过程中因自然死亡、被动物取食、随海水流走等因素而丧失。Hootsmans 等^[34] 也曾报道大叶藻与诺氏大叶藻 (*Zostera noltii* Hornem) 实际土壤种子库密度远低于基于花序密度计算而得的密度。从图 5 可以看出, 贝克喜盐草土壤种子库密度随着海草直立茎密度增加而呈线性增加, 单位面积内直立茎密度高的海草植被意味着有更多的机会形成过多的器官 (雄花和雌花), 从而产生更多的海草种子, 散播在底质中, 形成高密度的土壤种子库。但直立茎密度低时种群所处时期则有两种可能: 生长初期与末期。海草种群历经繁殖期后进入发育末期, 地上植被的衰败导致种群植被覆盖度降低, 而此时种群繁殖期所散布的种子仍被埋于底质中, 其土壤种子库密度较高。待时机成熟, 埋藏的种子萌发建立新的海草种群, 此时土壤种子库密度由于种子的萌发或在埋藏过程中自然死亡、丧失而急剧降低。前文所述, 未见海草覆盖的贝克喜盐草海草场也可能存在高密度土壤种子库, 亦印证了此结果。

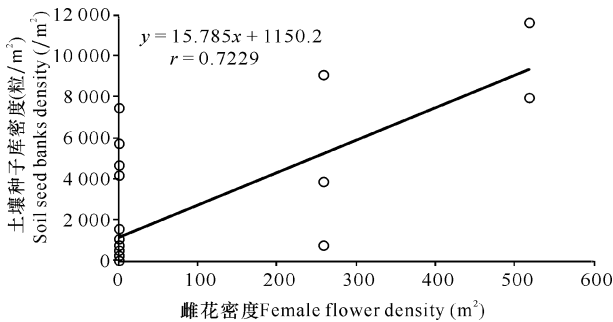


图 4 贝克喜盐草土壤种子库密度与地上植被雌花密度的关系 ($P < 0.01$)

Fig. 4 Relationship between soil seed banks density and female flower density of *H. beccarii* ($P < 0.01$)

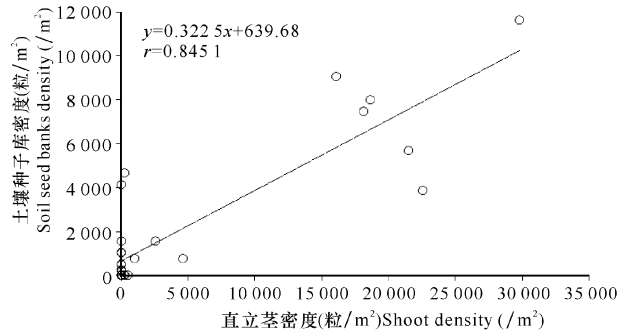


图 5 贝克喜盐草土壤种子库密度与地上植被直立茎密度的关系 ($P < 0.01$)

Fig. 5 Relationship between soil seed banks density and shoot density of *H. beccarii* ($P < 0.01$)

贝克喜盐草海草场土壤种子库密度与地上部分生物量呈先升后降的曲线性关系 (图 8), 与总生物量、果实密度均呈“S”形增长 (图 6 和图 8)。海草植被生物量高, 此时土壤种子库密度与生物量、果实密度之间呈正相关。当土壤种子库密度增加至某一阈值后, 地上部分生物量呈现下降趋势而总生物量则继续增加, 其原因可能是, 此时植物体降低用于繁殖的能量比例, 而将更多能量投入建设地下根状茎等组织, 或地上部分开始衰败。邱广龙等^[18] 曾报道该种群地上直立茎等营养器官先于地下根状茎等组织形成, 故种群生长后期分配于地下根状茎的能量很可能来源于生物体对用于繁殖的能量的缩减。贝克喜盐草果实密度到达一定阈值后, 由于土壤种子库集群分布的存在, 可能导致形成高密度的土壤种子库而大幅度提高被捕食的概率, 使土壤种子库密度降低。贝克喜盐草土壤种子库密度数据与果实数据拟合图 (图 6) 亦显示, 果实密度达某一域值时, 土壤种子库密度不再与其呈正相关。但果实密度继续增加至更高值时, 土壤种子库密度又与其呈显著正相关, 这可能是因为此时果实密度增长率已远远超

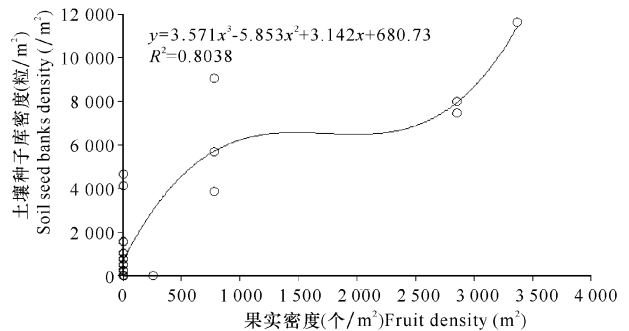


图 6 贝克喜盐草土壤种子库密度与地上植被果实密度的关系 ($P < 0.01$)

Fig. 6 Relationship between soil seed banks density and fruit density of *H. beccarii* ($P < 0.01$)

过种子的丧失率。

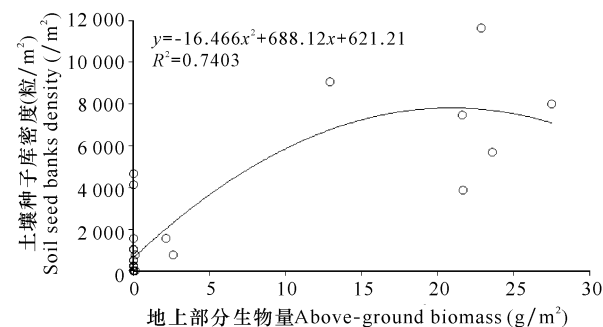


图7 贝克喜盐草土壤种子库密度与地上植被地上部分生物量的关系 ($P < 0.01$)

Fig. 7 Relationship between soil seed banks density and above-ground biomass of *H. beccarii* ($P < 0.01$)

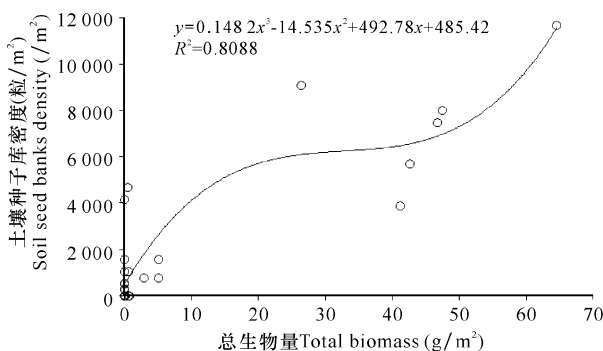


图8 贝克喜盐草土壤种子库密度与地上植被总生物量的关系 ($P < 0.01$)

Fig. 8 Relationship between soil seed banks density and total biomass of *H. beccarii* ($P < 0.01$)

3 结论

对广西合浦榕根山、防城港交东、防城港山心3个典型贝克喜盐草分布点进行调查取样,统计(或称量)样品种子、直立茎、雌花、果实数量、地上部分生物量和地下部分生物量,得到如下结论:

(1)在水平方向上,距离对贝克喜盐草土壤种子库分布格局贡献较小。该种海草种子向外传播同时受到落潮水流与落潮后流向潮沟的微水流的影响,在草场外,其土壤种子库主要沿外海与潮沟两个方向分布。

(2)垂直方向上,高于90%的贝克喜盐草种子分布于表层土壤(0~8 cm底质中)。

(3)贝克喜盐草土壤种子库密度与地上植物种群雌花密度、果实密度、直立茎密度、地上部分生物量及总生物量等种群特征之间均呈极显著的正相关。地上植被种群特征是影响贝克喜盐草土壤种子库空间分布的关键因素。

参考文献:

- [1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1992,8:188. Editorial Committee of Chinese Flora of the Chinese Academy Sciences. Flora of China[M]. Beijing: Science Press,1992,8:188.
- [2] SHORT F T, COLES R, WAYCOTT M, et al. *Halophila beccarii* [EB/OL]. [2017-01-24]. <http://www.iucnredlist.org/details/173342/0>.
- [3] MOLES A T, DRAKE D R. Potential contributions of the seed rain and seed bank to regeneration of native forest under plantation pine in New Zealand[J]. New Zealand Journal of Botany, 1999, 37(1): 83-93.
- [4] 于顺利, 蒋高明. 土壤种子库的研究进展及若干研究热点[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 552-560. YU S L, JIANG G M. The research development of soil seed bank and several hot topics[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(4): 552-560.
- [5] DEN HARTOG C. The sea-grasses of the world[M]. Amsterdam: North - Holland Publishing Company, 1970.
- [6] ZAKARIA M H, BUJANG J S, ARSHAD A. Flowering, fruiting and seedling of annual *Halophila beccarii* Aschers in peninsular Malaysia[J]. Bulletin of Marine Science, 2002, 71(3): 1199-1205.
- [7] ZAKARIA M H, SIDIK B J, HISHAMUDDIN O. Flowering, fruiting and seedling of *Halophila beccarii* Aschers. (Hydrocharitaceae) from Malaysia[J]. Aquatic Botany, 1999, 65(1/2/3/4): 199-207.
- [8] JAGTAP T G, UNTAWALE A G. Ecology of seagrass bed of *Halophila beccarii* (Aschers) in Mandovi estuary, Goa[J]. Indian Journal of Marine Sciences, 1981, 10(4): 402-404.
- [9] BUJANG J S. Status of seagrass resources in Malaysia [C]//Proceedings of the Third ASEAN - Australia Symposium on Living Coastal Resources. Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science, 1994: 283-289.
- [10] KANAL A H M, SHORT F. A new record of seagrass *Halophila beccarii* Ascherson in Bangladesh[J]. CMU Journal of Natural Sciences, 2009, 8(2): 201-206.
- [11] FAKHRULDDIN I M, SIDIK B J, HARAH Z M. *Halophila beccarii* Aschers (Hydrocharitaceae) responses to different salinity gradient[J]. Journal of Fisheries and Aquatic Science, 2013, 8(3): 462-471.
- [12] ABU HENA M K, SHORT F T, SHARIFUZZA-

- MAN S M, et al. Salt marsh and seagrass communities of Bakkhali Estuary, Cox's Bazar, Bangladesh [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 75(1/2): 72-78.
- [13] UNTAWALE A G, JAGTAP T G. A new record of *Halophila beccarii* Aschers from Indian coast [J]. *Mahasagar*, 1977, 10(1/2): 91-93.
- [14] PARTHASARATHY N, RAVIKUMAR K, RAMAMURTHY K. Floral biology and ecology of *Halophila beccarii* Aschers. (Hydrocharitaceae) [J]. *Aquatic Botany*, 1988, 31(1/2): 141-151.
- [15] JAGTAP T G. Metal distribution in *Halophila beccarii* (Aschers) and surrounding environment along the central west coast of India [J]. *Mahasagar*, 1983, 16(4): 429-434.
- [16] HODGKISS I J, MORTON B S. *Halophila beccarii* Ascherson (Hydrocharitaceae) - a new record for Hong Kong, with notes on other *Halophila* species [J]. *Memoirs of the Hong Kong Natural History Society*, 1978, 13: 28-32.
- [17] DEN HARTOG C, ZONGDAI Y. A catalogue of the seagrasses of China [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1990, 8(1): 74-91.
- [18] 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等. 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例 [J]. *生态学报*, 2013, 33(19): 6163-6172.
- QIU G L, FAN H Q, LI Z S, et al. Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass *Halophila beccarii* in Pearl Bay, Guangxi [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(19): 6163-6172.
- [19] 黄向旭, 严岳鸿, 易绮斐, 等. 香港喜盐草属植物的核型分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(4): 391-393.
- HUANG X X, YAN Y H, YI Q F, et al. Karyomorphological studies of *Halophila* (Hydrocharitaceae) from Hong Kong, China [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2010, 18(4): 391-393.
- [20] JIANG K, XU N N, TSANG P K E, et al. Genetic variation in populations of the threatened seagrass *Halophila beccarii* (Hydrocharitaceae) [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2014, 53: 29-35.
- [21] JIANG K, SHI Y S, ZHANG J, et al. Microsatellite primers for vulnerable seagrass *Halophila beccarii* (Hydrocharitaceae) [J]. *American Journal of Botany*, 2011, 98(6): e155-e157.
- [22] 邱广龙, 苏治南, 钟才荣, 等. 濒危海草贝克喜盐草在海南东寨港的分布及其群落基本特征 [J]. *广西植物*, 2016, 36(7): 882-889.
- QIU G L, SU Z N, ZHONG C R, et al. Distribution and community characteristics of threatened seagrass *Halophila beccarii* in Dongzhai Harbor, Hainan [J]. *Guihaia*, 2016, 36(7): 882-889.
- [23] 中国海湾志编委会. 中国海湾志: 第十二分册 广西海湾 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- Editorial Committee of Records of China Bays. Records of China bays - 12th fascicule: Guangxi Bays [M]. Beijing: Ocean Press, 1993.
- [24] COX P A. Hydrophilous pollination [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1988, 19(1): 261-279.
- [25] LES D H, CLELAND M A, WAYCOTT M. Phylogenetic studies in Alismatidae, II: Evolution of marine angiosperms (seagrasses) and hydrophily [J]. *Systematic Botany*, 1997, 22(3): 443-463.
- [26] ORTH R J, LUCKENBACH M, MOORE K A. Seed dispersal in a marine macrophyte: Implications for colonization and restoration [J]. *Ecology*, 1994, 75(7): 1927-1939.
- [27] HARPER J L. Population biology of plants [M]. London: Academic Press, 1977.
- [28] 范航清, 石雅君, 邱广龙. 中国海草植物 [M]. 北京: 海洋出版社, 2009.
- FAN H Q, SHI Y J, QIU G L. China seagrass plants [M]. Beijing: Ocean Press, 2009.
- [29] INGLIS G J. Disturbance-related heterogeneity in the seed banks of a marine angiosperm [J]. *Journal of Ecology*, 2000, 88(1): 88-99.
- [30] 张玲, 李广贺, 张旭. 土壤种子库研究综述 [J]. *生态学杂志*, 2004, 23(2): 114-120.
- ZHANG L, LI G H, ZHANG X. A review on soil seed banks study [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2): 114-120.
- [31] 于顺利, STERNBERG M, 蒋高明, 等. 地中海沿岸沙丘种子大小对植物及其种子多度的影响 [J]. *生态学报*, 2005, 25(4): 749-755.
- YU S L, STERNBERG M, JIANG G M, et al. The effects of seeds size on the distribution and abundances of plants and seed banks in a Mediterranean coastal sand dune [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 749-755.
- [32] 李吉玫, 徐海量, 张占江, 等. 塔里木河下游植物繁殖体形态对土壤种子库垂直分布的影响 [J]. *草业学报*, 2008, 17(6): 9-17.
- LI J M, XU H L, ZHANG Z J, et al. Influence of seed morphology on the vertical distribution of a soil seed bank in the lower reaches of the Tarim River [J]. *Acta*

Prataculturae Sinica, 2008, 17(6):9-17.

- [33] MORITA T, OKUMURA H, ABE M, et al. Density and distribution of seeds in bottom sediments in *Zostera marina* beds in Ago Bay, central Japan[J]. Aquatic Botany, 2007, 87(1):38-42.
- [34] HOOTSMANS M J M, VERMAAT J E, VAN VIERSSSEN W. Seed-bank development, germination and

early seedling survival of two seagrass species from the Netherlands: *Zostera marina* L. and *Zostera noltii* Hornem[J]. Aquatic Botany, 1987, 28(3/4):275-285.

(责任编辑:尹 闯)

(上接第 92 页 Continue from page 92)

- [20] 林承坤. 黄海粘土沉积物的来源与分布[J]. 地理研究, 1992, 11(2):41-51.
- LIN C K. A study on the source and the distribution of clay at the Yellow Sea[J]. Geographical Research, 1992, 11(2):41-51.
- [21] 赵一阳, 朴龙安, 秦蕴珊, 等. 南黄海沉积学研究新进展——中韩联合调查[J]. 海洋科学, 1998, 22(1):34-37.
- ZHAO Y Y, PIAO L A, QIN Y S, et al. Recent development in the southern Yellow Sea sedimentology - The China-Korea joint investigation[J]. Marine Sciences, 1998, 22(1):34-37.
- [22] 高全洲, 陶贞. 河流有机碳的输出通量及性质研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6):1000-1002.

GAO Q Z, TAO Z. Advances in studies on transported flux and properties of riverine organic carbon[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(6):1000-1002.

- [23] 王润梅, 唐建辉, 黄国培, 等. 环渤海地区河流河口及海洋表层沉积物有机质特征和来源[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(3):497-507.

WANG R M, TANG J H, HUANG G P, et al. Provenance of organic matter in estuarine and marine surface sediments around the Bohai Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(3):497-507.

(责任编辑:陆 雁)