

黄河三角洲湿地怪柳冠下“肥岛/谷”现象研究^①

陈永金 刘加珍 靖淑慧 张天举 张娟娟

(聊城大学 环境与规划学院, 山东 聊城 252059)

摘要 “肥岛”是土壤养分向植物冠下聚集的现象. 为探讨温带河口湿地盐生植物怪柳灌丛对土壤养分循环的影响, 2013年5月在黄河三角洲新生湿地的潮间带碱蓬群落和紧邻的潮上带怪柳群落分别选取长势良好, 株高和冠幅比较接近的3株怪柳, 分析土壤养分含量以及养分在怪柳灌丛下富集情况, 结果发现: 碱蓬群落养分平均含量、碳氮比都小于怪柳群落; 碱蓬群落中怪柳冠下土壤0-20 cm深度表现出“肥谷”效应, AP在土壤表层和次表层“肥岛”效应不明显, 4个养分指标都在30-50 cm土层表现出明显“肥岛”效应, 此为“肥岛”初始阶段; 怪柳群落中怪柳冠下土壤表层养分富集明显, 土层上部“肥岛”效应大于下部, 为“肥岛”发展阶段. 群落所处地理位置和受海水影响大小是影响怪柳冠下“肥岛”发育的重要因素, 而“肥岛”效应是推动河口湿地群落演替和湿地演化的主要动力之一.

关键词 湿地; 怪柳; 肥岛; 群落演替; 黄河三角洲

中图分类号 S156.4

文献标识码 A

“肥岛”是指多年生植物冠下土壤养分显著高于周围无植被覆盖裸地的现象, 是生物过程和非生物过程共同作用下造成的土壤养分空间分布异质性的集中表现^[1,2]. 在西北干旱荒漠区, 梭梭冠下土壤有机质(SOM)含量是周围裸地的10.18倍^[3]; 研究表明, 梭梭灌丛下0-10 cm土层土壤SOM、总氮(TN)、速效氮(AN)和速效钾(AK)含量比灌丛间分别高83.0%、113.5%、44.6%、111.8%^[4]. 美国西南荒漠中两种盐生植物 *Prosopis glandulosa* 和 *Larrea tridentata* 灌丛下土壤C、N、P的含量明显高于灌丛间裸地, 表现出明显肥岛现象^[5]. 怪柳作为荒漠区代表性灌木, 其肥岛效应受到广泛关注^[6-9], 甚至在温带河口湿地也发现怪柳灌丛下养分富集的“肥岛”现象^[10,11]. 有关怪柳灌丛肥岛效应的研究多集中在现象及其机理方面, 很少从“肥岛”发育过程及其对湿地群落演化的影响探讨. 本文通过对黄河三角洲新生湿地碱蓬和怪柳群落环境中怪柳灌丛下养分富集情况的分析, 探讨了怪柳灌丛对湿地土壤养分循环的影响, 揭示了肥岛形成发育过程及其主要影响因子, 这对进一步了解盐生植物在新生湿地群落演替中的地位 and 湿地生态系统保护具有积极意义.

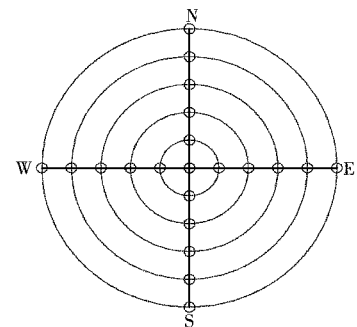


图1 柳灌丛土壤采样示意图

1 研究区概况

黄河三角洲湿地位于北纬 37°35'-38°12', 东经 118°33'-119°20', 总面积 747 139.4 hm²^[12]. 黄河三角洲地区在地质构造上处于渤东拗陷(莱州湾拗陷)、济阳拗陷与渤中隆起

① 收稿日期: 2018-01-09

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC15B02); 国家自然科学基金项目(40901276, 40871239); 聊城大学自然科学基金项目资助

通讯作者: 陈永金, 男, 汉族, 博士, 副教授, 研究方向: 自然地理与生态环境等, E-mail: chen Yongjin@lcu.edu.cn.

的交错地带^[13].地貌类型主要为河成高地、微斜平地、洼地等;潮滩地貌分高潮带、潮间带两种;潮下带地貌由河口水下三角洲与废弃河口水下崖坡等组成^[14].

黄河三角洲土壤形成时间短,物质组成以粉砂为主,沙黏层次变化复杂.土壤类型以潮土和盐土为主^[15].新生湿地植被呈斑块状分布,以耐盐植物为主^[16,17],优势种为盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)、芦苇(*Phragmites communis*)、白茅(*Imperata cylindrical var. major*)和獐茅(*Aeluropus litoralis*)^[18].

2 研究方法

2.1 土壤采集

在黄河三角洲自然保护区南侧 1 km 潮间带上的碱蓬群落(海拔 1 m 左右)和潮上带的怪柳群落(海拔 2 m 左右)内各选取 3 株长势良好,冠幅接近的怪柳灌丛(周围 3 m 内无其他怪柳)为研究对象,两个群落中怪柳灌丛生态特征见表 1.每一怪柳灌丛冠下及周围土壤采样以主茎为中心,按照 0 m、0.5 m、1.0 m、1.5 m、2.0 m、2.5 m 的频率,沿东西南北四个方向分别设置土壤剖面取样,每个剖面则按照 0-5 cm、5-10 cm、10-20 cm、20-30 cm、30-40 cm 的分层采取.将同一群落距离怪柳相同位置和相同土层的土样混合密封后带回实验室处理分析.

表 1 碱蓬和怪柳群落怪柳灌丛平均特征比较

所属群落	平均株高/cm	平均冠幅/cm		基茎/cm
		长	宽	
碱蓬群落	170	310	285	5/6/9
怪柳群落	205	290	305	5/4/4

2.2 样地调查

2013 年 5 月,在东营市大汶流管理站南,选择位于潮间带碱蓬群落和潮上带的怪柳群落建立植物调查样地.样地大小为 20 m×20 m,样地被分为 10 m×10 m 的灌木样方,记录各个样方内灌木的种类、数量、株高、冠幅等指标.同时,在大样方内设置 2 m×2 m 的小样方,用来记录草本植物的种类、个体数、高度等指标.

2.3 实验分析

野外取回的土样经自然风干,去除植物残体与石块,磨细过 18 目与 60 目筛后进行室内分析.室内实验分析在聊城大学环境与规划学院生态实验室完成,实验方法详见参考文献[19,20].

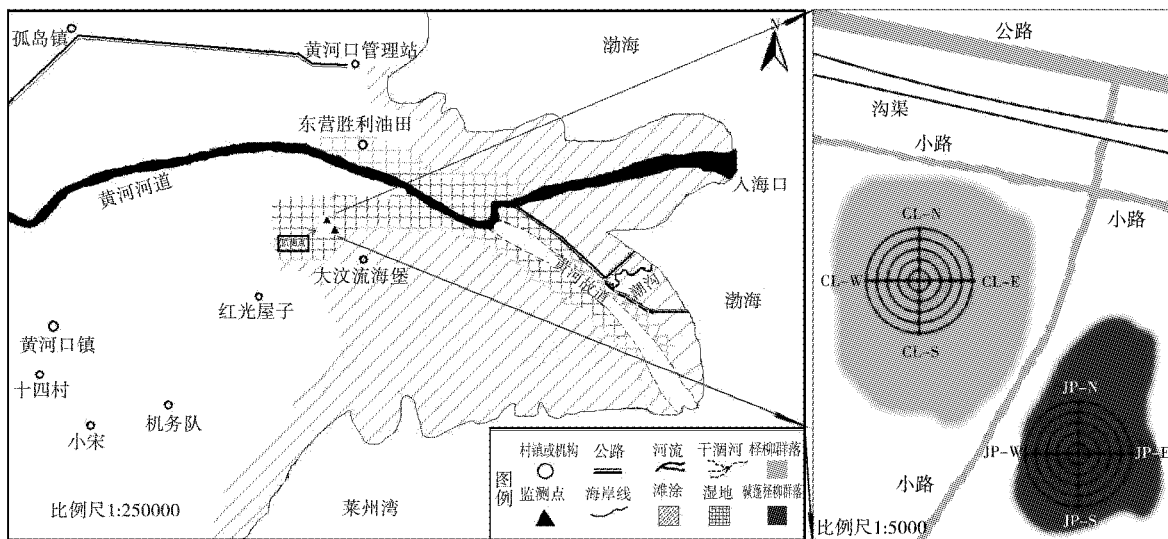


图 2 研究区采样点示意图

2.4 数据处理

根据野外实地调查数据计算各群落内每一物种的盖度、密度及重要值(P_i)。重要值(P_i)为物种相对盖度、相对密度和相对盖度的均值,指示该物种在群落中的地位、作用及重要性。选用物种多样性指数 Shannon-Weiner、Simpson、Menhinick、Margalef 以及均匀度指数 Pielou 来测量黄河三角洲碱蓬群落和柽柳群落的物种多样性水平,公式见文献[21]。群落物种多样性用 Shannon-Weiner 指数和 Simpson 指数进行评价。

Shannon-Wiener 指数

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln(P_i), \quad (1)$$

Simpson 指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n P_i^2, \quad (2)$$

式中 i 为某种植物; P_i 为相对重要值。

群落丰富度用 Menhinick 指数和 Margalef 指数进行评价。

Menhinick 丰富度指数为

$$D = \frac{S}{\text{SQRT}(N)}, \quad (3)$$

Margalef 丰富度指数为

$$D = \frac{S-1}{\ln(N)}, \quad (4)$$

式中 S 为种 i 所在样方的物种总数; N 为种 i 所在样方的每个种的重要值的和。

群落均匀度使用 Pielou 指数进行评价,其定义如下

Pielou 均匀度指数为

$$E1 = \frac{- \sum_{i=1}^n P_i \ln(P_i)}{\ln(S)}, \quad (5)$$

式中 i 为某种植物; P_i 为相对重要值; S 为种 i 所在样方的物种总数。

2.5 “肥岛”数据计算方法

将柽柳灌丛下土壤分为三种生境,即灌幅中心、冠缘、灌丛间地,其中灌下土壤养分、盐分数据取自距灌丛中心 0、50 cm 处土样均值,冠缘数据取自 100 cm、150 cm 处土样均值,灌丛间取自 200 cm、250 cm 处土样均值。利用 SPSS12.0 软件对各土层深度下不同采样位置的土壤盐分、养分数据进行分析。

利用富集率(enrichment ratio, E)来表征土壤养分富集程度。

冠下

$$EA = A/C, \quad (6)$$

冠缘

$$EB = B/C, \quad (7)$$

其中 A 、 B 、 C 分别表示冠幅中心、冠丛边缘与丛间空地的平均盐分或养分含量。

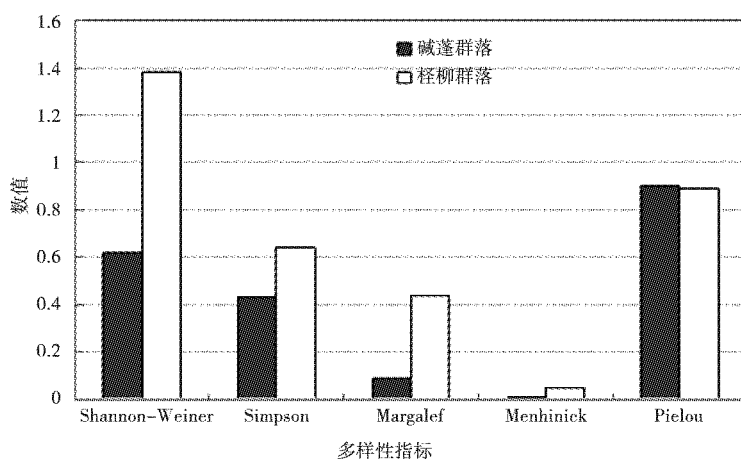


图 3 碱蓬群落与柽柳群落物种多样性

3 结果分析

3.1 物种多样性

物种多样性指数是反映一个群落物种组成的指标,湿地生态系统演化总是沿着从低等到高等,从简单到复杂方向进行.比较碱蓬和柽柳两个群落物种多样性指数,可以明显看出碱蓬群落物种多样性低于柽柳群落(图 3).事实上,碱蓬群落中仅有碱蓬、柽柳和中华补血草三个物种.而柽柳群落除以上三个物种外还有芦苇、鹅绒藤和獐茅.两个群落物种的相似性和差异性反映了两个群落的时空分布上的连续性,即柽柳群落是碱蓬群落自然演替的结果.

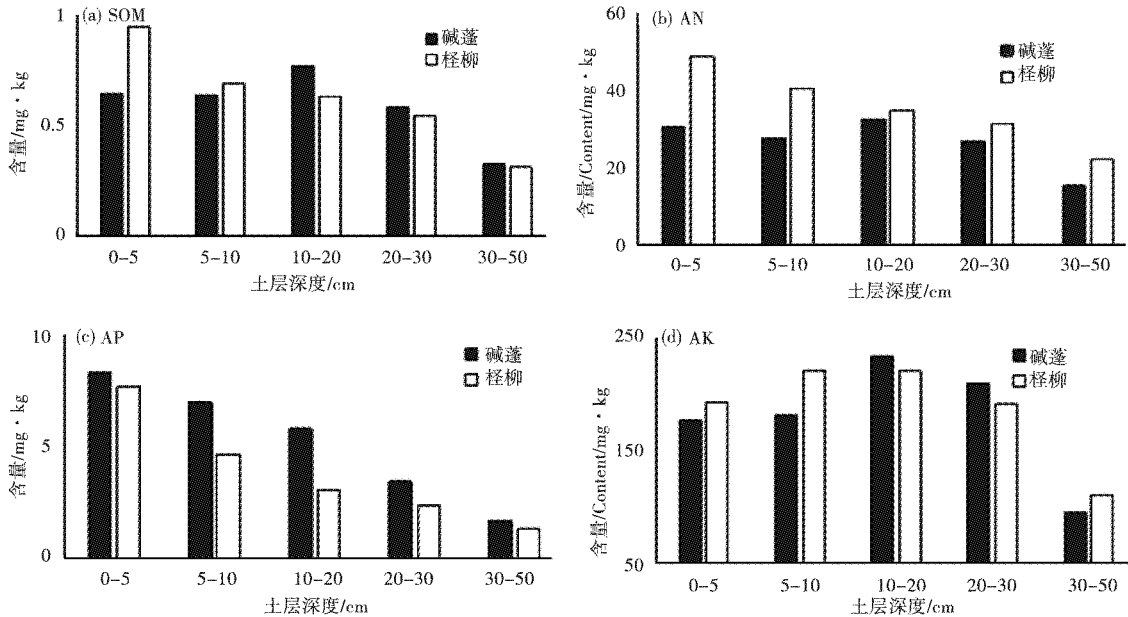


图 4 碱蓬群落和柽柳群落土壤养分含量

3.2 土壤养分特征

作为黄河三角洲湿地代表性物种的碱蓬和柽柳同属于盐生植物,有比较接近的生境,但由于耐盐性和其他生活习性的差异,分别形成了不同的群落环境,有着不同的群落组成和生境特征.群落的物种组成在前面已经分析,在生境条件方面,主要从养分含量比较两个群落的异同.

碱蓬群落土壤 SOM 平均含量是 0.59%,柽柳群落是 0.71%;AN 平均含量在碱蓬和柽柳群落分别为 26.11 mg/kg 和 34.86 mg/kg,AP 分别为 3.7 mg/kg 和 5.2 mg/kg,AK 分别为 183 mg/kg 和 202 mg/kg.在垂直分布上,碱蓬群落 SOM 和 AN 含量随土壤深度的增加先增加后降低,柽柳群落则表现为随土层深度的增加逐渐降低;两个群落 AP 含量都表现为随土层深度的增加而降低的变化趋势;AK 含量在两个群落环境中也呈一致的变化:先增加后降低(图 4).

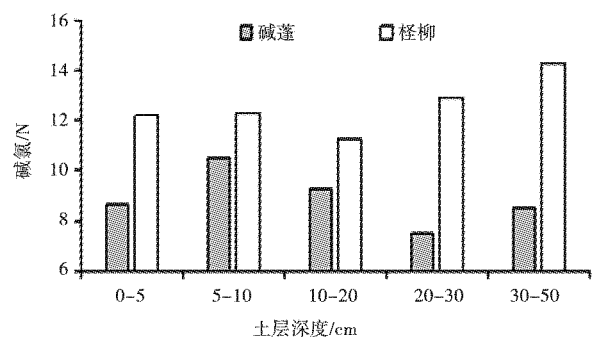


图 5 碱蓬与柽柳群落不同深度土壤碳氮比的变化

土壤碳氮比(C/N)是土壤质量的敏感指标,是衡量土壤 C、N 营养平衡状况的指标^[22].图 5 是碱蓬和柽柳群落不同深度土层碳氮比的变化情况,碱蓬群落 C/N 为 8.9,柽柳群落 12.6.两个群落不同土层 C/N 变化各异:碱蓬群落 5-10 cm 土层 C/N 最高,20-30 cm 最低,整体趋势为上层土壤大于下层;柽柳群落则表现为随着土层深度的增加 C/N 略有下降,但 C/N 最高值出现在 30-50 cm 土层.从两个群落 C/N 的垂直变异看,碱蓬群落不同土层 C/N 变化大,而柽柳群落不同土层之间 C/N 差异则较小.

3.3 土壤养分富集状况

3.3.1 养分富集率的群落差异. 0-50 cm 土层 SOM、AN、AP、AK 4 个养分指标平均富集率都大于 1, 表明碱蓬群落和柽柳群落环境下柽柳灌丛对周围养分的集聚作用明显, 表现出“肥岛”效应. 但两个群落各养分指标的富集率变化又有所不同, 碱蓬群落 SOM 富集率最低, AK 最高; 而柽柳群落 AN 富集率最低, AK 最高. 而就各养分指标平均富集率来看, 碱蓬群落明显高于柽柳群落(图 6).

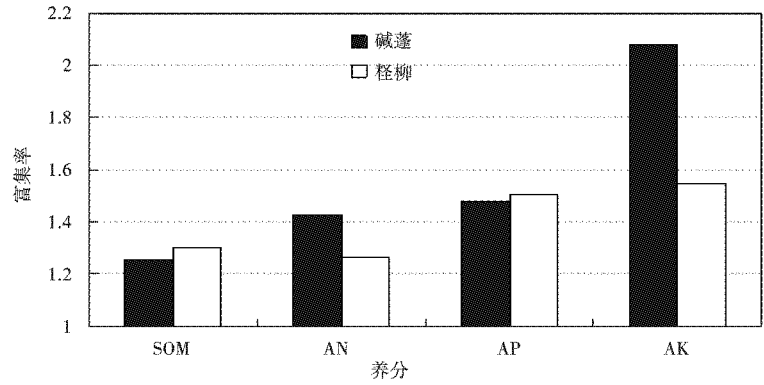


图 6 碱蓬和柽柳群落不同养分指标富集率比较

黄河三角洲湿地形成时间短, 土壤有机质含量低, 碱蓬群落 AK 的富集率超过 2.0, 其它三个指标的富集率都在 1.6 以下; 柽柳群落各养分指标的富集率相对差异不大. 比较两个群落对养分富集的差异, 碱蓬群落环境下柽柳冠下养分富集率高于柽柳群落. 而比较两个群落下养分平均含量可知, 碱蓬群落养分平均含量低于柽柳群落. 可见, “肥岛”效应是植物在贫瘠环境中的一种生理适应, 也是植物对环境能动作用的体现.

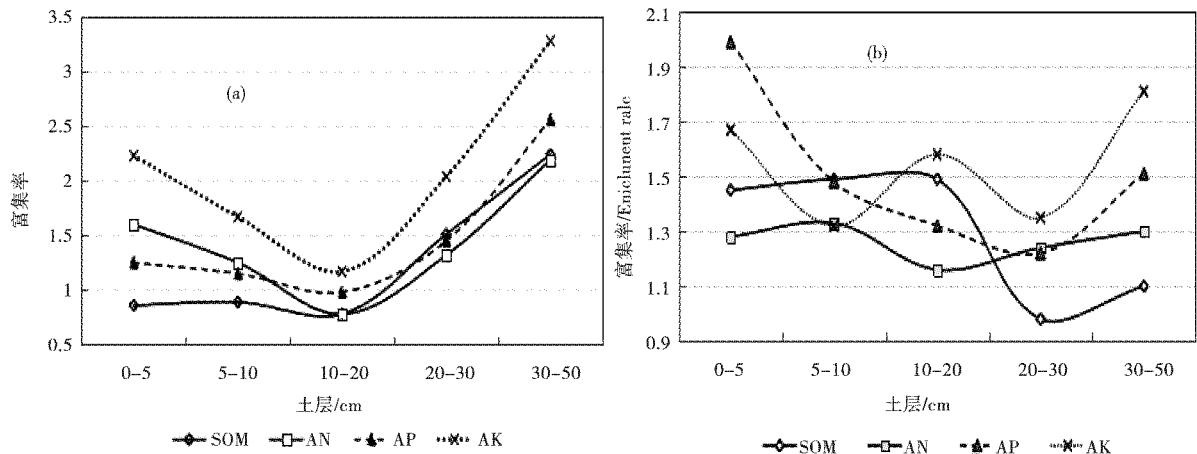


图 7 碱蓬群落(a)和柽柳群落(b)柽柳灌丛养分富集率垂直方向变化比较

3.3.2 富集率垂向变化. 碱蓬群落柽柳冠下土壤从 0-5 cm、5-10 cm 以及 10-20 cm 深度 SOM 的富集分别是 0.86、0.89 和 0.78, 没有肥岛效应; 在 20-50 cm 之间的两个土层 SOM 富集率在 1.5-2.3 之间, 富集作用明显. AP 在 0-5 cm、5-10 cm 以及 10-20 cm 深度富集率分别是 1.25、1.15 和 0.98, “肥岛”效应微弱; 20-30 cm 和 30-50 cm 两个土层富集率较高, 表现出明显“肥岛”效应. AN、AK 两个指标除了在 10-20 cm 土层富集现象不明显外, 在其他土层都表现出显著“肥岛”效应(图 7a). 将 4 个养分指标结合在一起看, 浅层土壤中富集率低于深层土壤, 10-20 cm 土层是富集率最低的土层.

与碱蓬群落不同, 柽柳群落 SOM 在 0-20 cm 深度各土层的富集率均在 1.45 到 1.49 之间, 表现出明显肥岛效应; 20 cm 以下两个土层富集率分别为 0.98 和 1.10, “肥岛”效应微弱. AN, AP, AK 富集率在各土层都大于 1, 表现出明显“肥岛”效应(图 7b).

两个群落种柽柳冠下 0-50 cm 土层养分出现了富集现象, 从不同土层的对比看, 碱蓬群落中肥岛现象出现了底层土壤, 且 SOM 在上层土壤富集率小于 1, 为“肥谷”效应, AP 在上层土壤肥岛效应微弱, 但在底层土壤都表现出肥岛效应; 柽柳群落中, 柽柳冠下各养分指标都表现出明显肥岛效应, 且表层强于底层.

3.3.3 养分指标间相关性分析. “肥谷”现象的出现与柽柳灌丛所在的地理环境密切相关, 柽柳所属的碱蓬群落位于黄河三角洲新生湿地的潮间带, 在上潮的时候, 碱蓬群落土壤含水率明显上升, 走在上面有松

软感觉,地势较低洼地带出现积水,潮水退去,土壤含水率下降,土壤变得坚硬结实.因此,规律性海水海水运动将积聚在灌丛下的有机质带走或淋溶到下层土壤,而作为根系集中的表层和次表层土壤仅有的有机质又被植物根系吸收运送到植物体其他器官,以满足其生长的需要,这样就在冠下出现了“肥谷”现象.作为温带河口湿地,土壤盐分含量高,养分含量低,只有耐盐碱和贫瘠的盐生植物才能生存.盐生植物的生长,降低了土壤盐分,同时也通过肥岛效应,增加了土壤养分含量,为其他物种的生长生存提供了生境.只有表层土壤养分富集率高,才能为其他物种的种子萌发成苗以及生长提供条件,而观察到的碱蓬群落环境下柽柳灌丛养分富集率集中表现在 20-50 cm 深度土层,这不利于其他物种的落种生长.而柽柳群落表层(0-5 cm)和次表层(5-10 cm)养分富集率有了较大提高,“肥岛”效应显著,为其他物种生长生存提供了养分条件.

表 2 碱蓬群落下柽柳土壤养分因子相关性

土壤因子	SOM	AN	AP	AK
SOM	1			
AN	0.693**	1		
AP	0.489	0.685**	1	
AK	0.493	0.744**	0.386	1

注: * 表示 $P < 0.05$ 水平上显著(双侧检验); ** 表示在 $P < 0.01$ 水平上显著(双侧检验).

碱蓬群落环境下柽柳灌丛土壤 SOM 与 AN 呈极显著正相关($P < 0.01$),但 SOM 和 AP、AK 相关性不具有统计学意义(表 2).柽柳群落中柽柳灌丛“肥岛”土壤 SOM 与 AN、AP 达到极显著正相关,与 AK 之间也达到显著相关(表 3).一般来说,土壤有机质是土壤肥力高低的标志,是土壤中其他营养元素尤其是氮磷的主要来源,土壤中有机质含量应该和氮磷呈显著相关.但黄河三角洲湿地是黄河河水携带的泥沙在海水顶托下沉积而成,碱蓬群落是黄河三角洲湿地形成后的先锋群落,距海岸最近,依然受海水潮起潮落的影响.柽柳群落虽然与碱蓬群落相距不远,但因海拔相对较高,海潮影响减弱,群落内物种丰富度大增,枯枝落叶以及其他动植物残体的分解成为土壤养分的主要来源.因此,柽柳群落有机质和氮磷钾都具有极显著相关性.

表 3 柽柳群落下柽柳土壤养分因子相关性

土壤因子	SOM	AN	AP	AK
SOM	1			
AN	0.943**	1		
AP	0.907**	0.939**	1	
AK	0.618*	0.632*	0.621*	1

注: * 表示 $P < 0.05$ 水平上显著(双侧检验); ** 表示在 $P < 0.01$ 水平上显著(双侧检验).

4 讨论

4.1 养分分布的影响因子

湿地土壤养分含量变化受湿地生态系统的水文过程^[23]、植被类型^[24]、土壤理化性质^[25]等多种因素的影响.土壤、植被、水文、气候等因素在不同时空尺度上相互作用,共同影响着湿地生态系统类型的特征和湿地植被群落的形成过程;同样,湿地植被群落的变化也显著影响着湿地生态系统的各种生态过程^[26].湿地土壤有机质的来源主要是动植物残体的分解^[27],并在土壤表层聚集分解.因此,土壤中有机质、有机碳的含量随土层深度增加而降低^[28].比较碱蓬和柽柳两个群落土壤有机质的垂直分布,柽柳群落表层土壤有机质含量最高,随土层深度的增加而降低,而碱蓬群落有机质含量最高的土层出现在 10-20 cm 土层,这与其所处的地理位置密切相关,碱蓬群落距离海岸线较近,地势较低,大潮涨落都会影响到碱蓬群落,随着潮水的到来,分解的有机质有可能被带到土壤深处,留在表层的有机质则有可能被退去的潮水带走一

部分,因此出现表层土壤有机质含量不是最高含量了. 柽柳群落虽然距离碱蓬群落仅一路之隔,但因海拔稍高一些,海潮的进退对其影响很弱,有机质含量表现为常态分布.

黄河三角洲新生湿地碱蓬群落和柽柳群落土壤 C/N 分别为 8.9 和 12.6,远小于我国湿地 18.22 的平均值^[29]. 土壤碳氮比还常用于辨别有机质是来自陆源还是海源;海中水草由于含有丰富蛋白质,其碳氮比通常为 4-10;而陆地植物由于富含纤维素而比值较高,往往高于 20^[30]. 因此,碱蓬群落和柽柳群落不同碳氮比的变化反应了距离海岸线远近的变化,以及受海水影响程度的大小.

4.2 “肥谷”与“肥岛”的形成

碱蓬群落 SOM 富集率在不同深度土层变化明显:0-5、5-10 以及 10-20 cm 深度土层富集率共同表现为冠下低于冠缘,且都小于 1,表现出“肥谷”现象. 而在 20-50 cm 深度,冠下富集率显著大于冠缘,肥岛效应明显.

如前所述,碱蓬群落海拔高度较低,经常受到海水涨潮落潮的影响,表层土壤积累的有机质或者被淋洗或者被海水带走,导致表层养分富集率低,甚至出现“肥谷”的主要原因. 而柽柳群落由于地势较高,受海水影响较小,养分能够在表层或次表层积累,所以“肥岛”效应显著. 因此,可以把碱蓬群落和柽柳群落中柽柳灌丛的“肥岛”效应划分为初始阶段和发展阶段两个阶段:碱蓬群落环境下“肥岛”效应为初始阶段;柽柳群落环境下土壤表层养分富集率有显著提升的现象为肥岛效应的发展阶段. 初始阶段,柽柳冠下土壤养分有了富集,但由于受到海潮影响,养分的富集主要在深层土壤,这就限制了其他物种落种与生长,是碱蓬群落物种多样性低,群落结构简单的主要原因之一;发展阶段,虽然养分富集率最高的土层不是最表层,但表层和次表层养分富集率比碱蓬群落有了很大提高,有机质和其他养分含量也明显大于碱蓬群落,“肥岛”效应从土壤深层移到了浅层,为其他物种的移居提供了基本条件.

4.2 “肥岛”与植物群落演替

植物从周围和深层土壤吸收养分,积累在体内供地上部分生长,地上部分枯落后在土壤表层集聚分解,而植物残体的分解是陆地生态系统土壤有机质的主要来源^[31],植物对周围和深层土壤养分的富集作用与植物根系的“营养泵”功能作用密切相关^[32],植物根系不断的代谢活动,活跃的向根外分泌着各种无机和有机物质,同时根表皮层物质的衰老以及毛细根系的死亡也分解转化为营养物质^[1],沉积在根际环境中,促进肥岛的发育^[33]. 随着到灌丛中心距离的增大,其根系逐渐减少,植物的吸收累积作用减弱,富集率逐渐减小. 植物灌丛不仅冠下土壤养分有影响,而且对温湿度等环境因子也有较大影响,成为一些野生动物提供天然庇护所,进一步促进“肥岛”的发育^[9,34]. 这是,河口新生湿地盐生植物灌丛“肥岛”效应在遵循“肥岛”形成的基本原理的同时,还有自己的独特之处:

河口湿地处于海洋和陆地之间,是河流所携带泥沙在海水顶托作用下沉积并出露海面而成. 此时,只有极其耐盐的真盐生植物才能生长. 盐生植物的生长繁育,进一步促进了泥沙淤积,使湿地海拔高度增加,改变了湿地受潮水淹没时间和淹没范围,土壤盐分含量在生物和非生物因素影响下逐渐降低^[35],土壤中养分在盐生植物富集作用下逐渐向植物周围集中,为其他耐盐性低的植物生长创造了条件,使群落演替由盐生植物向中生植物方向推进. 在河口湿地盐生植物灌丛不断从周围和土壤深层吸取养分向树冠中心聚集过程中,受到海水运动的影响,土壤表层聚集的养分不断被淋甚至带到海洋,导致某些养分指标的肥岛效应不明显,甚至出现富集率低于 1 的肥谷现象,肥岛现象出现在观察土层底部. 当湿地植物不断拦截泥沙,湿地海拔高度不断抬升最终使湿地从潮间带进入潮上带后,海水的潮涨潮落对湿地的影响逐渐降低,表层土壤聚集的养分被带走的几率降低,肥岛效应彰显出来,为其他耐盐性和耐贫瘠性较低的物种生长提供了适宜生境,物种多样性提高,群落建群种也由碱蓬转变为柽柳,植物群落得到演替,湿地生态系统演化顺利实现.

碱蓬群落和柽柳群落土壤养分碳氮比以及养分指标间的相关性进一步佐证了碱蓬群落受海水影响较大,碳氮比低,有机质与其他指标之间相关性小. 而柽柳群落土壤养分中的碳氮比升高,有机质与其他指标之间的相关性增加,说明受陆地环境影响加强.

由此可见,河口湿地土壤养分状况、盐生灌丛下土壤养分的肥岛效应一方面表现出与干旱半干旱区域植物灌丛肥岛效应相似的机制,另一方面也表现出植物灌丛所在群落的地理位置与距海远近密切相关。

5 结论

(1) 黄河三角洲新生湿地位于潮间带和潮上带的碱蓬群落和柽柳群落物种多样性相差悬殊,柽柳群落物种多样性大于碱蓬群落。

(2) 黄河三角洲新生湿地土壤养分含量相对贫瘠,碱蓬群落土壤养分含量低于柽柳群落;碳氮比低于我国湿地平均水平,且碱蓬群落小于柽柳群落,这与碱蓬群落地理位置更靠近海岸线,受海水影响更深所致。

(3) 整体上,碱蓬群落和柽柳群落环境下柽柳灌丛都表现出对养分富集的肥岛效应。但碱蓬群落的肥岛效应为肥岛初始阶段,冠下养分富集情况在所观察土层的底部比上部更明显,而且0-10 cm土层SOM出现“肥谷”现象;柽柳群落环境柽柳灌丛下土壤肥岛效应更突出,为肥岛发展阶段。肥岛初始阶段受海水涨落潮影响显著,肥岛发展阶段则由于距离海岸线更远,海拔高度增加,受海水影响较小。

(4) 盐生植物及其盐生植物冠下的肥岛效应改善了湿地生境,是湿地植物群落的演替的重要推动力量,在湿地生态系统演化过程中起着举足轻重的作用。

参 考 文 献

- [1] 李从娟,李彦,马健. 古尔班通古特沙漠土壤化学性质空间异质性的尺度特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 302-310.
- [2] 楚新正,马倩,马晓飞,等. 梭梭(*Haloxyylon ammodendron*)主根周围土壤特征[J]. 中国沙漠, 2014, 34(1): 170-175.
- [3] 刘发民,金燕. 梭梭林“肥岛”效应的初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(3): 86-88.
- [4] 任雪,褚贵新,宋日权,等. 准噶尔盆地南缘绿洲-荒漠过渡带梭梭“肥岛”效应特征[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 100-104.
- [5] Virginia R A, Jarrell W M. Soil properties in a mesquite-dominated Sonoran Desert ecosystem[J]. Soil Science Society of America Journal, 1983, 47: 138-144.
- [6] 尹传华,冯固,田长彦,等. 塔克拉玛干沙漠北缘柽柳灌丛肥岛效应的变化规律及其生态学意义[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 52-57.
- [7] Li Jun, Zhao Chengyi, Zhu Hong, et al. Effect of plant species on shrub fertile island at an oasis-desert ecotone in the South Junggar Basin, China[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 71: 350-361.
- [8] 雷金银,班乃荣,张永宏,等. 柽柳对盐碱土养分与盐分的影响及其区化特征[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 73-76.
- [9] 徐文轩,刘伟,杨维康,等. 大沙鼠在柽柳沙包“肥岛”形成过程中的作用[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1756-1762.
- [10] 张立华,陈小兵. 盐碱地柽柳“盐岛”和“肥岛”效应及其碳氮磷生态化学计量学特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 653-658.
- [11] 张立华,陈沛海,李健,等. 黄河三角洲柽柳植株周围土壤盐分离子分布[J]. 生态学报, 2016, 36(18): 5741-5749.
- [12] 张晓龙,李培英,刘月良等. 黄河三角洲湿地研究进展[J]. 海洋科学, 2007, 31(7): 81-85.
- [13] 安乐生,刘贯群,叶思源,等. 黄河三角洲滨海湿地健康条件评价[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(4): 1157-1165.
- [14] 张绪良,肖滋民,徐宗军,等. 黄河三角洲滨海湿地的生物多样性特征及保护对策[J]. 湿地科学, 2011, 9(2): 125-131.
- [15] 丁秋祎,白军红,高海峰,等. 黄河三角洲湿地不同植被群落下土壤养分含量特征[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2092-2097.
- [16] Wang H, Wang R, Yu Y, et al. Soil organic carbon of degraded wetlands treated with freshwater in the Yellow River Delta, China[J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92: 2628-2633.
- [17] Xie T, Liu X H, Sun T. The effect of groundwater table and flood irrigation strategies on soil water and salt dynamics and reed water use in the Yellow River Delta, China [J]. Ecological Modeling, 2011, 222: 241-252.
- [18] 吴大千,刘建,王炜,等. 黄河三角洲植被指数与地形要素的多尺度分析[J]. 植物生态学报, 2009, 33(2): 237-245.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [20] 杨玉海,陈亚宁,李卫红. 新疆塔里木河下游土壤特性及其对物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 602-611.
- [21] 李军,张秋良,高润宏,等. 额济纳绿洲胡杨种群结构与分布格局研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 2(2): 187-190.
- [22] 张春华,王宗明,居为民,等. 松嫩平原玉米带土壤碳氮比的时空变异特征[J]. 环境科学, 2011, 32(5): 1407-1414.
- [23] Tanner C C, D'eugenio J, McBride G B, et al. Effect of water level fluctuation on nitrogen removal from constructed wetland mesocosms[J]. Ecological Engineering, 1999, 12(1): 67-92.

- [24] Baer S G, Church J M, Williard W J, et al. Changes in intrasystem N cycling from N₂-fixing shrub encroachment in grassland: multiple positive feedbacks[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 115 (1-4): 174-182.
- [25] Lost S, Landgrat D, Makeschin F. Chemical soil properties of reclaimed marsh soil from Zhejiang Province, China[J]. *Geoderma*, 2007, 142 (3/4): 245-250.
- [26] 杨志峰, 崔保山, 黄国和, 等. 黄淮海地区湿地水生态过程、水环境效应及生态安全调控[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(11): 1119-1127.
- [27] Jabeobs T C, Gilliam J M. Riparian losses of nitrate from a cultural drainage waters[J]. *J Environ Qual*, 1985, 14: 472-478.
- [28] 王岩, 陈永金, 刘加珍. 黄河三角洲湿地土壤养分空间分布特征[J]. *人民黄河*, 2013, 35(2): 72-74.
- [29] 张仲胜, 吕宪国, 薛振山, 等. 中国湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征研究[J]. *土壤学报*, 2016, 5: 1160-1169.
- [30] Reddy K R, Diaz O A. Phosphorus dynamics in selected wetlands and streams of the lake Okeechobee Basin[J]. *Ecological Engineering*, 1995, 5(2/3): 183-207.
- [31] 于君宝, 陈小兵, 孙志高, 等. 黄河三角洲新生滨海湿地土壤营养元素空间分布特征[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(4): 855-861.
- [32] 陈广生, 曾德慧, 陈伏生, 等. 干旱和半干旱地区灌木下土壤/肥岛研究进展[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(12): 2295-2300.
- [33] 苏永中, 赵哈林, 张铜会. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥力影响机制的研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(7): 802-806.
- [34] 高军. 新疆典型荒漠植物胡杨“肥岛”特征与生态学意义[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [35] 王海洋, 陈家宽, 周进. 水位梯度对湿地植物生长、繁殖和生物量分配的影响[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(3): 269-274.

Study on “Fertile Island” and “Fertile Valley” Effects Beneath *Tamarix* Crown in the Wetland of Yellow River Delta

CHEN Yong-jin LIU Jia-zhen JING Shu-hui ZHANG Tian-ju ZHANG Juan-juan

(School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

Abstract “Fertile island” is the phenomenon of nutrients enrichment beneath shrubs related to the environment with limited resources. As a typical halophyte, *Tamarix* is the most popular shrub in the wetland of Yellow River Delta, and plays an important role in soil desalting and fertilizing. To figure out the impact of *Tamarix* on soil nutrients cycle, and plant communities succession, we compared the “fertile island” effects beneath *Tamarix* shrub between *Suaeda* and *Tamarix* communities, based on vegetation investment and soil sampling. The results show that (1) concentrations in soil organic matter (SOM), available nitrate (AN) and available potassium (AK) of *Suaeda* community are lower than that of *Tamarix* community, only available phosphorus (AP) of *Suaeda* community is higher than that in *Tamarix* community. Furthermore, the ratio of C/N in *Suaeda* community is lower than that in *Tamarix* community. (2) In *Suaeda* community, there is no enrichment of SOM in soil layers of 0-20 cm, and there is only slight enrichment of AP at layers of 0-10 cm, both AN and AP express “fertile valley” phenomena at layer of 10-20, and the “fertile island” effects of all the four nutrients indices are extremely prominent at the layers of 20-50 cm. So we named the “fertile island” effect in *Suaeda* community as Primary Stage of “fertile island”. In *Tamarix* community, “fertile island” effects at surface and sub-surface layers are more significant than deeper layers to all the four nutrients indices, it is named as Developing Stage of “fertile island”. Geographical position and the influence from seawater are important environmental factors to the develop of “fertile island”, and “fertile island” is one of driving forces to the plants communities succession and wetland evolution.

Key words wetland; *Tamarix*; fertile islands; communities succession; the Delta of Yellow River