昌邑海洋生态特别保护区土壤养分的空间异质性与植物群落的分布

汤爱坤[1], 刘汝海[1], 许廖奇[1], 王金玉[1], 刘 一霆[2]
(1. 海洋环境与生态教育部重点实验室 中国海洋大学, 山东 青岛 266100; 2. 国家海洋局 北海环境监测中心, 山东 青岛 266033)

摘 要: 2009 年 9 月对昌邑海洋生态特别保护区进行调查研究, 分析了土壤水分、盐分、养分(有机质、氮和磷)等要素的空间异质性及其与植被群落生态分布的相互关系。结果表明, 土壤含水率与可溶性盐、有机质之间, 以及可溶性盐和有机质之间均在 0.01 水平上显著相关; 有机质与全氮在 0.05 水平上显著正相关, 与全磷的相关性不显著。从陆向海方向, 土壤含水率和可溶性盐含量升高, 有机质含量降低, 群落组成种类减少, 群落盖度降低; 由以狗尾草为优势种多种植物伴生的杂草群落演变成单一的柽柳、碱蓬群落, 最后耐盐大的翅碱蓬成为群落的单优势种, 物种的丰富度和多样性均显著降低。

关键词: 昌邑海洋生态特别保护区; 土壤养分; 空间异质性; 植被分布
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2011)03-0088-06 中图分类号: S158.3, S152.7+5

Spatial Heterogeneity of Soil Nutrients and Distribution of Plant Community in Changyi Marine Ecological Special Protection Area

TANG A-i-kun[1], LIU Ru-hai[1], XU Liao-qi[1], WANG Jin-yu[1], LIU Y-i-ting[2]
(1. *Key Laboratory on Marine Environment and Ecology of Education Ministry, Ocean University of China, Qingdao, Shandong* 266100, *China*; 2. *North China Sea Environment Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong* 266033, *China*)

Abstract: In order to study the relationship between spatial heterogeneities and distribution of plant community, the soil moisture, salt, organic carbon, total nitrogen and total phosphorus were investigated in the Changyi Marine Ecological Special Protection Area in September, 2009. The results show that, the water content closely related with dissolved salt content and organic carbon with high co-efficiencies($p < 0.01$). Meanwhile, the organic carbon significantly co-related with total nitrogen($p < 0.05$), but not with the total phosphorus. The soil water content and salt content increased from the land to the sea, while the organic carbon, vegetation composition and coverage decreased at the same time. Moving seaward, the species abundance and diversity of plant decreased, evolving from diversified shrubs and herbs dominated by *Setaria viridis* to predominantly salt-tolerant community of *Tamarix chinensis* Lour., *Suaeda glauca*, and then to mono-species of *Suaeda salsa*(L.) Pall.

Keywords: Changyi Marine Ecological Special Protection Area; soil nutrient; spatial heterogeneity; vegetation distribution

植被与环境的关系一直是生态学研究的重点问题。自然群落中的物种组成是物种对环境长期适应的结果[1]。土壤是植物群落发生、发展的物质基础, 对植物群落结构和功能产生着重要的影响, 其理化性质的不同, 土壤母质的不同都会影响到生长于其中的植物[2], 从而会导致群落演替过程中物种多样性的变化, 同时, 植物群落又反过来会影响着土壤的性质和肥力状况[3]。因此, 不同区域的植被特征和土壤环境的关系是生态学研究的重要领域。有研究表明, 植物物种的多样性指数与所在区域土壤中的养分和有机

收稿日期: 2010-07-24 修回日期: 2010-11-18
资助项目: 海洋局公益性专项"基于生态需水的黄河口滨海湿地与近岸海域综合承载力研究"(20080508006); 国家重大专项"典型北方缺水城市湖泊水质水量保障与生境改善技术"(2009ZX07106-003)
作者简介: 汤爱坤(1984—), 女(汉族), 山东省临清市人, 在读工学硕士, 主要从事湿地生物地球化学方面的研究。E-mail: tangkun0635@ouc.edu.cn。
通信作者: 刘汝海(1975—), 男(汉族), 山东省青岛市人, 博士, 副教授, 主要从事湿地生态学方面的研究。E-mail: ruhai@ouc.edu.cn。

质含量, 与土壤含水率都有一定的相关性[4-6]。昌邑海洋生态特别保护区位于潮间带, 属于滨海湿地, 受潮汐的影响, 其水分和盐分含量也在变化, 从而进一步影响到植被生长分布, 这与陆地生态系统有明显的差异。因此, 本文基于对昌邑海洋生态特别保护区内土壤的理化性质和植物群落生态分布规律的分析, 讨论了土壤养分的空间异质性及其与植物群落生态分布的相互关系, 以期为滨海湿地生态系统的恢复及保护提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区域概况

昌邑海洋生态特别保护区位于山东省昌邑市, 莱州湾南岸, 防潮坝以北, 东起国防大学盐场西防潮坝, 西至堤河, 北至浅海增养殖区, 东西长 5 000 m, 南北长 7 000 m, 总面积 29.3 km^2, 中心坐标为 37°06′15″ N, 119°22′00″E。保护区在 2007 年 10 月获得国家海洋局批准建立, 主要保护以柽柳为主的多种滨海湿地生态系统和各种海洋生物, 是我国惟一以柽柳为主要保护对象的国家级海洋特别保护区, 同时也是在山东省设立的首个国家级海洋特别保护区。保护区包括柽柳林、滩涂湿地、浅海等多种生态类型。保护区内生物种类繁多, 生长着大片茂盛的柽柳, 有天然柽柳林面积 2 070 hm^2, 其规模和密度在全国滨海盐碱地区罕见。

保护区所在区域属于温带半湿润季风性大陆性气候, 气候温和, 光照充足, 热量丰富, 四季分明。多年平均气温 11.9 ℃, 多年平均降水量为 628.6 mm, 降水多集中在 7, 8 月, 降水量约占全年降水量的 52%, 年平均总蒸发量远大于年平均降水量。保护区所在的莱州湾南岸, 呈东西带状分布。地势呈南高北低, 地面坡降 0.27‰~ 0.31‰, 地质构造属于华北地台渤海凹陷的一部分, 地层为第四纪堆积层, 地势平坦, 地貌形态属堆积平原海岸, 土壤母质为近代黄河冲积物。莱州湾属正规半日潮, 并受风暴潮影响, 滨海湿地在抵御风暴潮有重要的作用。

1.2　研究方法

1.2.1　样地调查　于 2009 年 9 月实地取样, 垂直于海岸线设置了 A, B 两条纵剖面, 均穿过保护区的开发利用区、资源恢复区、生态保护区、开发利用区; 平行于海岸线设置了一条横断面(由 A_4, B_4, B_7, B_8 这 4 个采样点, A_{4-1}, A_{4-2}, B_{4-1}, B_{4-2}, B_{7-1}, B_{7-2}, B_{8-1} 这 7 个样方点构成, 见图 1)。A, B 断面均布设了 6 个采样点, 每个样地分别布设 1~ 2 个样方, 共调查样方 26 个, 其中灌木样方大小 10 m × 10 m, 草本样方 1 m × 1 m。分别调查每个样方中灌木的种类、数量、高度、盖度、密度、生长状况, 以及草的种类、优势植物、高度、密度、盖度、分布特点。群落的名称依据样方中群落的优势物种来确定。若群落中有分层现象, 如灌木层、草本层等, 则各层取其主要者命名; 同层中种名与种名之间用“ + ”连接, 异层中种名与种名之间用“ – ”连接。

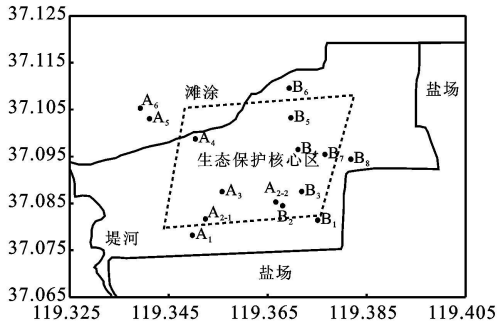


图 1　昌邑海洋生态特别保护区采样点位图

1.2.2　土壤调查　在每一个样方中随机采集 5 个表层土壤样品(0—20 cm), 充分混合后用四分法取部分土样装入袋中, 同时用铝盒采集样品以测定土壤含水率(WC); 将采集的土壤样品自然风干、研磨、过筛等预处理后, 测定可溶性盐、有机质、全氮、全磷的含量。采用重量法测定土壤可溶性盐含量(SC); 水土比 5∶1 测定 pH 值; 凯氏蒸馏法测定全氮(TN); 钼锑抗比色法测定全磷(TP); 重铬酸钾容量法测定有机质(TOM)[7]。

2　结果与讨论

2.1　土壤水、盐的分布

昌邑海洋特别保护区土壤的含水率在 2.44% ~ 18.3% 之间变化, 平均含水率为 7.85%, 变异系数为 0.711; 可溶性盐含量的变化范围为 0.019% ~ 1.137%, 平均含量为 0.272%, 变异系数为 1.296, 各采样点之间含量变化较大。土壤中含水量和可溶性盐含量之间相关系数 0.903($p < 0.01$, 表 1), 呈现显著正相关关系。

表 1　昌邑海洋生态特别保护区土壤中各环境因子的相关系数

相关系数	含水量	含盐量	有机质	全氮
WC	1			
SC	0.903**	1		
TOM	– 0.614**	– 0.550**	1	
TN	– 0.184	– 0.130	0.414*	1
TP	– 0.104	0.000 17	0.335	0.071 4

注: * 表示 $p < 0.05$ 水平显著; ** 表示 $p < 0.01$ 水平显著。

如图 2 所示, A, B 两个剖面中, 土壤中含水量和可溶性盐含量都是随着离海的距离的减小而增大的, 也就是距离海洋越近, 土壤含水率越高, 含盐量也越高。水平横断面上各采样点, 土壤的含水率和可溶性盐含量从西向东呈现出逐渐下降的趋势, 主要是其西部为堤河, 水量小, 主要是海水, 并受到潮水影响, 使堤河两侧土壤水分和盐度均较大。

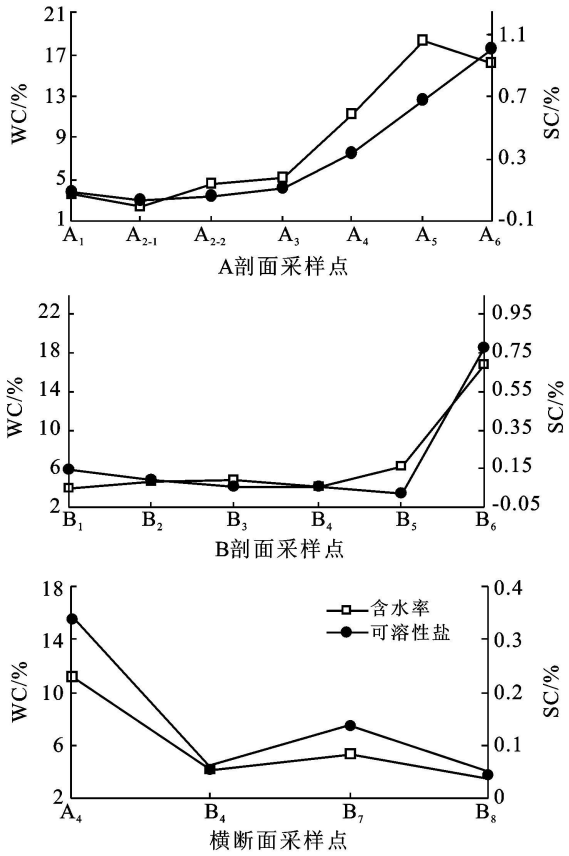


图 2 昌邑海洋生态特别保护区土壤含水率(WC)和可溶性盐含量(SC)分布

2.2 土壤养分含量的空间变化

土壤有机质含量是土壤肥力的一个重要指标, 是土壤养分的重要组成部分。由图 3 可见, 保护区土壤有机质含量低, 小于 1%, 最低的含量只占 0.054%, 最高的为0.831%, 平均含量为 0.420%, 变异系数为 0.498。土壤中全氮、全磷的含量也不高, 含量分别在 64.8~ 666 和 377~ 596 mg/ kg 范围内变化, 平均含量分别为 284 和 487 mg/ kg, 变异系数分别为 0.503 和0.110, 全氮含量分布的差异性大于全磷。总体来说, 土壤养分偏贫乏, 主要原因是水分的含量会影响到土壤中有机物的分解矿化。在距海近的滩涂, 周期性被海水淹没, 植物生长情况受到淹水时间长短和波浪的影响, 使得有机物不容易累积; 而在潮上带受拦潮坝的影响, 缺乏径流输入, 尽管植被生长较好, 但干旱和较高温度使有机物易于矿化分解, 土壤中有机质含量积累较少。土壤中氮素的输入主要依赖植物残体的归还及生物固氮, 植被的有无, 初级生产力大小以及植被向土壤的返还, 受外界影响较大, 所以变异系数也较大; 而土壤中的全磷在没有外源污染的情况下, 主要来源于成土母质, 来源相对单一, 所以总体看来, 土壤中全磷的含量变化不大。

从土壤中各环境因子的相关系数来看(表 1), 土壤含水率、可溶性盐含量与有机质含量均在 $p < 0.01$ 水平上呈现出显著的负相关关系, 保护区土壤中水分含量越大, 可溶性盐含量越高, 土壤中有机质的含量越低, 养分越少。

从 A, B 两个剖面土壤有机质的分布图(图 3) 也可以看出, 距离海洋越近, 海水对土壤表层的冲刷侵蚀越严重, 造成有机质的流失, 有机质含量越低。

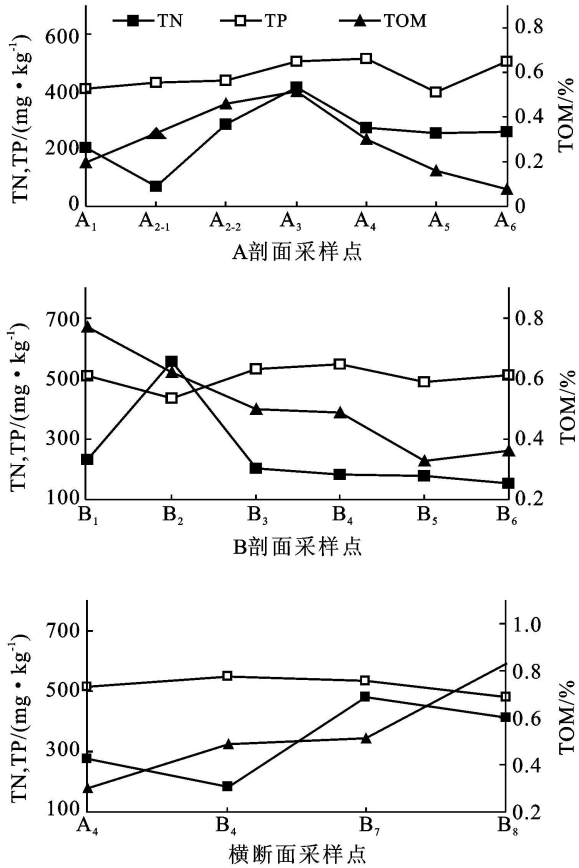


图 3 昌邑海洋生态特别保护区土壤有机质(TOM)、总氮(TN)、总磷(TP)含量水平分布

横断面土壤养分的含量与含水率及可溶性盐的变化趋势相反, 从西向东呈显著逐渐增加的趋势, 这与该区域植被的分布特点存在很大的相关性。全氮含量与有机质在 $p < 0.05$ 水平上呈显著正相关关系, 这是由于土壤沉积物中的氮主要以有机氮的形式存在的[8], 有机质含量高, 其中的氮含量也会越高。土

壤中全氮、全磷的含量与可溶性盐含量之间没有显著的相关性。

2.3 土壤理化性质的空间异质性与植被群落生态分布的关系

植被群落的演替过程, 是植物对土壤不断适应和改造的过程, 也是植被和土壤协同作用的结果。在气候条件相同的区域中, 非生物因子的土壤理化性质的空间异质性决定了植被空间分布的差异[9], 其表现在土壤水分, 盐分, 养分条件的改变所引起的植物群落的生长和分布, 植物群建群种和优势种的变化, 以及植被物种丰富度的改变。反过来, 地上植被的生长分布和物种组成也会对土壤特性产生影响[10]。植被类型及土壤养分差异, 反映了土壤特性与其成土母质、气候和自然理化性质密切, 并相互影响相互制约。相关的研究表明, 无盐渍化的样地植被种类多, 植被覆盖率大, 盐分梯度不仅引起多样性的变化, 而且是植物群落分布和演替的重要影响因素[11]。在干旱的环境中, 水分和营养物质是制约植物生长的最普通的非生物因素[12]。

2.3.1 *土壤水分和盐度对植被分布的影响*　昌邑海洋生态特别保护区主要分布着盐生植被, 盐生植物群落种类组成和分布都深受土壤水分和含盐量的影响, 随着水分和含盐量的变化, 同一时间内不同空间有着明显的生态系列, 沿海岸线呈带状分布。随土壤含盐量的增加, 群落的组成种类减少, 耐盐强度大的翅碱蓬〔*Suaeda salsa* (L.) Pall.〕则逐渐增多, 最后成为群落的单优势种, 在强度耐盐的群落中, 植物种类仅 1 ~ 3 种, 翅碱蓬的盖度高达 90%, 盐生植被分布与土壤盐分具有密切关系[13]。在岸边随盐度降低, 植物种类增加, 最多能达到 8 种, 丰富度增加, 生物的多样性增大。

由植被统计(表 2) 可以看出, 靠近海洋的潮间带滩涂 A_{6-1}, A_{6-2} 点位, 碱蓬呈现簇状, 分布稀疏。由于滩涂开发力度的增大, 特别是拦潮坝的建设, 使翅碱蓬等潮滩植被阻拦在次级坝外, 受海水冲刷影响, 簇状分布。翅碱蓬属于黎科碱蓬属, 一年生草本植物, 一般生于海滨、湖边、荒漠等处的盐碱荒地上, 在含盐量高达 3% 的潮间带也能稀疏丛生, 是一种典型的盐碱指示植物, 也是由陆地向海岸方向发展的先锋植物。从海向陆, 土壤含水率降低, 盐度减小, 碱蓬分布越来越稀疏, 密度也越来越小。在 A_{5-2}, B_{6-2} 点处, 土壤盐度高达 0.94% ~ 1.14%, 碱蓬分布占 90% 以上, 生长最为茂密, 形成滨海湿地特有的红海滩景观。在 A_{4-1}, B_{6-1} 点位处, 土壤盐度约为 0.6%, 碱蓬依然是优势草本植物, 但开始伴生有二色补血草(*Limonium bicolor*)、马绊草(*Aeluropus littoralis*) 等植物, 而且开始出现柽柳(*Tamarix chinensis* Lour.)。二色补血草、马绊草均是多年生草本植物, 耐旱耐盐碱, 主要生存在北方沿海盐渍土地带, 是盐渍土的指示植物。柽柳属于落叶灌木或小乔木, 极耐盐碱, 能在含盐碱 0.5% ~ 1% 的盐碱地上生长, 是改造盐碱地的优良树种, 特别是沿海重盐碱地带呈灌木丛状大片分布, 为海滩自然形成灌木林的先锋树种。随着含水率及盐度的降低, 可溶性盐含量降低到 0.1% 以下时, 茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb.)、狗尾草〔*Setaria viridis* (L.) Beauv.〕逐步成为优势草本植物物种, 并且伴生有碱蓬〔*Suaeda glauca* Bge.〕、虎尾草(*Chloris virgata* Swartz)、中亚滨藜(*Atriplex centralasiatica* Hjin)、芦苇(*Phragmites australis* Trin.)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense* R. Br.) 等轻度耐盐的植物群落, 并出现了大片的柽柳林。柽柳是保护区内惟一的一种灌木, 柽柳林盖度较大的区域, 土壤的可溶性盐含量都比较低, 主要是盐生植物的生长也逐渐使其生境条件发生变化, 如盐生植物根系的发育与扩展, 改变了土壤物理性质, 改善了土壤的持水力和通气性; 还可形成群落小环境, 改善群落内温度、湿度、光照等生境条件。由于耐盐植物的生长与覆盖, 植物的蒸腾作用代替了地表水分的蒸发, 限制了地下水中盐分在地面的积累, 从而也促进了植被的演替。平行于海岸线的断面上各样地, 含水率和盐度从西向东呈现出逐渐下降的趋势, 植被群落类型也由单一耐盐的柽柳、碱蓬群落演变成以狗尾草为优势草本植物, 伴生有中亚滨藜、野塘蒿(*Erigeron bonariensis* L.)、鹅绒藤等植物的杂草群落。

2.3.2 *土壤养分与植被分布的关系*　土壤养分是植物赖以生存的物质基础。土壤养分含量的多少, 不仅影响植物个体的生长状况[14], 而且影响整个群落的组成和生产力的高低[15]。从空间尺度上来看, 植被群落的不同会对土壤养分的积累产生重要的影响, 植物群落的演替进程增加了土壤养分的空间异质性, 而土壤养分的空间异质性对物种种间关系、种的分布格局以及群落物种多样性的维持至关重要[16]。

从不同植被群落类型的土壤中有机质、总氮、总磷的平均含量分布(表 3) 中可以看出, 柽柳—蒿、柽柳—茵陈蒿和柽柳—野塘蒿 3 种群落类型的土壤中有机质、总氮、总磷的含量均较高。这 3 种群落类型均分布在距海较远的区域, 且主要集中于 B 剖面, 离海远, 除柽柳外, 草本植物群落的种类较多, 丰富度增大, 样地最多能达到 8 种植物, 植物的生长促进了表层土壤的养分。柽柳—狗尾草群落重要集中于 A_1,

A_2, A_3, B_4, B_5, B_7 点位, 土壤养分含量低于柽柳—蒿、柽柳—茵陈蒿和柽柳—野塘蒿 3 种群落类型的土壤, 这些区域柽柳覆盖率都较大, 主要为柽柳群落, 草本植物的盖度较小, 仅占 10% ~ 20%, 生物多样性较低, 土壤养分积累较少。柽柳—碱蓬及碱蓬群落分布于距海较近的滩涂上, 碱蓬茎叶肉质, 群落地上部分净生产力小, 受到海水周期性冲刷, 土壤有机质不易累积, 土壤养分含量低。

表 **2** 昌邑海洋生态特别保护区群落类型与群落特征

样方号	群落名称	群落特征
A_{1-1}	柽柳—虎尾草	柽柳盖度小于 30%; 以虎尾草为优势, 盖度达 20%, 伴有猪毛菜(*Salsola collina* Pall)、狗尾草
A_{1-2}	柽柳—狗尾草	柽柳为主, 盖度大于 60%; 狗尾草为优势草本, 盖度大于 10%, 伴有中亚滨藜、鹅绒藤、猪毛菜、升马唐〔*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel〕
A_{2-1}	狗尾草	以狗尾草为优势, 伴生有中亚滨藜、补血草
A_{2-2}	柽柳—狗尾草	柽柳盖度 90% 以上, 成片分布, 生长茂密; 狗尾草为优势草本, 约有 10%, 伴生中亚滨藜、虎尾草、升马唐
A_{3-1}	柽柳—狗尾草	柽柳较少, 盖度小于 10%; 狗尾草为优势, 伴有虎尾草(分布较少, 长的矮小)、中亚滨藜(柽柳周围, 较少), 偶见补血草、碱蓬
A_{3-2}	柽柳—狗尾草	柽柳覆盖大于 90%; 狗尾草为优势草本, 中亚滨藜较少, 偶见补血草、鹅绒藤、芦苇
A_{4-1}	柽柳—碱蓬	柽柳盖度 20% 左右; 碱蓬为优势草本, 颜色发红, 伴生补血草
A_{4-2}	柽柳—碱蓬	柽柳盖度大于 50%, 长势良好; 碱蓬为优势草本, 颜色发绿, 密度大, 单一, 约有一半已经枯萎
A_{5-1}	碱 蓬	碱蓬为优势草本, 盖度大于 90%, 分布很密, 有分支
A_{5-2}	碱 蓬	碱蓬为优势草本, 盖度大于 90%, 形成红地毯, 没有分支
A_{6-1}	碱 蓬	碱蓬簇状, 分布稀疏, 盖度小于 30%
A_{6-2}	碱 蓬	碱蓬簇状, 分布较少, 盖度小于 15%
B_{1-1}	柽柳—蒿	柽柳盖度 40% 左右, 蒿为优势草本, 伴生狗尾草、补血草、茵陈蒿、中亚滨藜、翅果菊〔*Pterocypsela indica* (L.) Shih〕
B_{1-2}	柽柳—茵陈蒿	柽柳盖度大于 30%; 茵陈蒿为优势草本, 伴生狗尾草、芦苇、白茅〔*Imperata cylinderica* (L.) Beauv〕、翅果菊
B_{2-1}	柽柳—狗尾草	柽柳盖度大于 70%, 密度大, 生长良好; 狗尾草为优势草本, 伴生鹅绒藤、补血草、中亚滨藜、茵陈蒿、虎尾草、蒿草、碱蓬
B_{2-2}	柽柳—茵陈蒿	柽柳盖度大于 90%; 茵陈蒿为优势草本, 分布较多, 伴有狗尾草、中亚滨藜
B_{3-1}	柽柳—茵陈蒿	柽柳盖度小于 10%; 茵陈蒿盖度大于 80%, 为优势种, 伴有野塘蒿、鹅绒藤、翅果菊
B_{3-2}	柽柳—茵陈蒿	柽柳盖度小于 30%; 茵陈蒿为优势草本, 伴有翅果菊、狗尾草、白茅、芦苇、鹅绒藤、虎尾草、补血草
B_{4-1}	柽柳—狗尾草	柽柳盖度大于 80%; 狗尾草盖度大于 50%, 伴有中亚滨藜、芦苇、鹅绒藤
B_{4-2}	柽柳—狗尾草	柽柳盖度在 90% 左右; 以狗尾草为优势, 伴有芦苇、中亚滨藜、鹅绒藤
B_{5-1}	柽柳—狗尾草	柽柳盖度小于 10%; 狗尾草为优势草本, 覆盖率较大, 伴生种有碱蓬、中亚滨藜、牛筋草、鹅绒藤、虎尾草
B_{6-2}	碱 蓬	碱蓬为优势种, 覆盖率达 90%, 伴生有补血草、马绊草
B_{7-1}	柽柳—狗尾草	柽柳盖度小于 20%; 狗尾草占优势, 盖度大于 60%, 伴有中亚滨藜、野塘蒿、鹅绒藤
B_{7-2}	柽柳—狗尾草	柽柳覆盖率大于 90%; 狗尾草为优势草本, 盖度 10%, 伴有鹅绒藤、翅果菊、野塘蒿
B_{8-1}	柽柳—野塘蒿	柽柳盖度在 30% 左右, 属于人工种植, 生长良好; 野塘蒿为优势种, 伴生种有狗尾草、茵陈蒿、鹅绒藤

表 **3** 昌邑海洋生态特别保护区不同群落类型土壤有机质(**TOM**)、总氮(**TN**)、总磷(**TP**)的平均含量

主要群落类型	TOM/%	TN/(mg·kg^{-1})	TP/(mg·kg^{-1})
柽柳—蒿	0.731	415	474
柽柳—茵陈蒿	0.633	369	511
柽柳—野塘蒿	0.831	410	481
柽柳—狗尾草	0.454	330	496
柽柳—碱蓬	0.300	274	515
碱 蓬	0.170	240	463

3 结 论

(1) 土壤含水率与可溶性盐和有机质均在 $p < 0.01$水平上显著相关, 相关系数分别为 0.903 和 −0.614。土壤有机质与可溶性盐在 $p < 0.01$ 水平上呈现出显著负相关, 相关系数为− 0.550; 与全氮在 $p < 0.05$水平上显著正相关, 相关系数为 0.414; 与全磷的相关性不显著。

(2) 垂直于海岸线的 A, B 纵剖面, 从陆到海, 土

壤含水率和可溶性盐含量升高, 有机质含量降低; 平行于海岸线的横断面, 受西部河流的影响, 从西向东土壤含水率和可溶性盐含量降低, 有机质含量增加。

(3) 植被群落的分布受土壤盐度和水分的影响较大, 随着土壤含盐量及水分的增加, 群落的组成种类减少, 耐盐翅碱蓬增多, 成为单优势种。

(4) 柽柳—蒿群落土壤营养物质含量要高于柽柳—狗尾草群落, 碱蓬群落最低, 反映了群落对土壤营养物质归还作用的差异。

[参 考 文 献]

[1] 宋理明, 娄海萍. 环青海湖地区天然草地土壤水分动态研究[J]. 中国农业气象, 2006, 27(2): 151-155.

[2] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems [J]. Nature, 1996, 379(22): 718-720.

[3] Tilman D. The resource-ratio of plant succession[J]. American Naturalist, 1985, 125(6): 827-852.

[4] 刘康, 王效科, 扬帆, 等. 红花尔基地区沙地樟子松群落及其与环境关系研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 858-862.

[5] 李军玲, 张金屯. 太行山中段植物群落物种多样性与环境的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(6): 766-771.

[6] 尚占环, 姚爱兴. 山地荒漠草原植物群落多样性与环境因子动态关系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(2): 163-168.

[7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977: 132-136.

[8] 杨洪, 易朝路, 谢平, 等. 武汉东湖沉积物碳氮磷垂向分布研究[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 507-514.

[9] 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁, 等. 艾比湖地区土壤异质性及其对植物群落生态分布的影响[J]. 干旱区地理, 2003, 26(3): 217-222.

[10] Chen J, Stark J M. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in a sagebrush-crested wheatgrass soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 47-57.

[11] 顾晓雪, 张远东, 潘晓玲, 等. 阜康绿洲土壤盐渍化与植物群落多样性的相关性分析[J]. 资源科学, 2002, 24(3): 42-48.

[12] Jonathan H T, Robert S N, Stanley D S. Soil resources heterogeneity in the Mojave Desert[J]. Journal of Environments, 2002, 52(3): 269-292.

[13] 吴志芬, 赵善伦, 张学雷. 黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 184-193.

[14] 汪建飞, 董彩霞, 谢越, 等. 铵硝比和磷素营养对菠菜生长、氮素吸收和相关酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 954-960.

[15] 诸清河, 潘根兴, 李典有, 等. 氮磷等比与以磷定氮条件下玉米的最大施肥量研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 1083-1089.

[16] 张凤杰, 乌云娜, 杨宝灵, 等. 呼伦贝尔草原土壤养分与植物群落数量特征的空间异质性[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 173-177.

(上接第 59 页)

[参 考 文 献]

[1] 王绍武, 龚道溢, 叶瑾琳, 等. 1880 年以来中国东部四季降水量序列及其变率[J]. 地理学报, 2000, 55(3): 281-292.

[2] 王宝灵, 孙国武, 张焕儒, 等. 中国西北地区月降水量的年际变化及分区研究[M]. 中国西北干旱气候研究, 北京: 气象出版社, 1997: 52-57.

[3] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 486-495.

[4] 匡正, 季仲贞, 林一骅. 华北降水时间序列资料的小波分析[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 312-317.

[5] 伍红雨, 王谦谦. 近 49 年贵州降水异常的气候特征分析[J]. 高原气象, 2003, 22(1): 65-70.

[6] 薛燕, 冯国华. 半个世纪以来新疆降水和气温的变化趋势[J]. 干旱区研究, 2003, 20(2): 127-130.

[7] 南庆红, 杨舵, 杨青. 应用 EOF 方法分析新疆降水变化特征[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 554-559.

[8] 许月卿, 李双成, 蔡运龙. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34(12): 1176-1183.

[9] 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴, 等. 西北地区近 40 a 年降水异常的时空特征分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 245-252.

[10] 秦爱民, 钱维宏. 近 41 a 中国不同季节降水气候分区及趋势[J]. 高原气象, 2006, 25(3): 495-502.

[11] 黄嘉宏, 李江南, 李白安, 等. 近 45 a 广西降水和气温的气候特征[J]. 热带地理, 2006, 26(1): 23-28.

[12] 高智, 谢双亭. 陕西汛期降水与前期大气环流遥相关型的联系[J]. 南京气象学院学报, 1992, 15(4): 574-583.

[13] 方建刚, 毛明策, 程肖侠. 陕西降水的正态分布特征分析[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2009, 39(1): 131-136.

[14] 孙娴, 魏娜, 肖科丽. 陕西秋季降水变化特征[J]. 应用气象学报, 2010, 21(3): 360-365.

[15] 屈振江, 鲁渊平, 雷向杰. 陕西近 45 a 各季气温和降水异常时空特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7): 110-114.

[16] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 82-88, 117-118.