

惠东港口海龟国家级自然保护区土壤理化性质*

端金霞¹ 李海文² 李志文¹ 何汝蜜²
王付民¹ 朱奕秀²

(1. 广东惠东海龟国家级自然保护区管理局, 广东 惠州 516359; 2. 岭南师范学院 生命科学与技术学院, 广东 湛江 524048)

摘要 采用经典的土壤理化性质测定和滨海植被调查方法, 对惠东港口海龟国家级自然保护区湿地表层土壤理化性质及其与植被相关性展开研究。结果表明: 湿地的表层土壤质地主要是砂土。盐度、含水量、比重、容重以及孔隙度的变化范围分别是: 0.13%~0.26%、1.61%~9.33%、1.46~2.84、1.14~1.57 g·cm⁻³、1.00%~54.00%。pH 均为 7.00~7.50。有机质、有机碳、碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钠的变化范围分别为 1.60~22.93 g·kg⁻¹、0.88~13.30 g·kg⁻¹、13.80~155.70 mg·kg⁻¹、0.60~8.20 mg·kg⁻¹、1.17~12.24 mg·kg⁻¹ 和 9.12~32.31 mg·kg⁻¹。表层土壤的盐度与交换性钠呈极显著的正相关性。比重与孔隙度呈极显著正相关性。容重与碱解氮、速效钾、有机质和有机碳呈现显著负相关性。同时有机碳与有机质、碱解氮和速效钾呈现极显著正相关性。有机质与碱解氮和速效钾呈现极显著正相关性。碱解氮与速效钾呈现极显著正相关性, 而速效钾与交换性钠表现出显著正相关性。湿地植被的丰富度指数乔木层最高, 草本层其次, 灌木层最低。土壤有机质含量、有机碳含量与灌木层 Shannon-Wiener 多样性指数呈显著正相关。

关键词 海龟湾; 湿地; 土壤理化性质; 相关性分析; 植物-土壤反馈

中图分类号: S153 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 05-0021-08

Soil Physicochemical Properties Analysis of Huidong Harbor Sea Turtle National Nature Reserve

DUAN Jinxia¹ LI Haiwen² LI Zhiwen¹ HE Rumi²
WANG Fumin¹ ZHU Yixiu²

(1. Huidong Sea Turtle National Reserve Management Bureau, Huizhou, Guangdong 516359, China; 2. School of Life Science and Technology, Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong 524048, China)

Abstract The physicochemical properties of the surface soil and their correlation with vegetation in Huidong Harbor Sea Turtle National Nature Reserve were studied in this paper by the classic assay method. The results showed that the surface soil texture was mainly sandy. The salinity, water content, specific gravity, bulk density and porosity of the surface soil varied from 0.13%-0.26%, 1.61%-9.33%, 1.46-2.84, 1.14-1.57 g·cm⁻³, 1.00%-54.00%, respectively. The value of pH was 7.00-7.50. The ranges of soil organic matter, organic carbon, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium and exchangeable sodium were 1.60-22.93 g·kg⁻¹, 0.88-13.30 g·kg⁻¹, 13.80-155.70 mg·kg⁻¹, 0.60-8.20 mg·kg⁻¹, 1.17-12.24 mg·kg⁻¹ and 9.12-32.31 mg·kg⁻¹, respectively. There was a significant positive correlation between salinity of soil and exchangeable sodium.

* 基金项目: 自然资源事务管理——生态林业建设专项资金 (2021-445986); 岭南师范学院红树林研究院开放课题 (ZDXM01)。

第一作者: 端金霞 (1980—), 女, 工程师, 主要从事海龟保育及其栖息地生境保护工作, E-mail: 103868025@qq.com。

The specific gravity correlated porosity with positive correlation. The bulk density was negatively correlated with alkali-hydrolyzed nitrogen, available potassium, organic matter and organic carbon. Furthermore, organic carbon and organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen and available potassium showed extremely significant positive correlations. Organic matter was significantly positive correlated with alkali-hydrolyzed nitrogen and available potassium. The alkali-hydrolyzed nitrogen was significantly positive correlated with available potassium. And available potassium showed a markedly positive correlation with exchangeable sodium. The richness of vegetation was highest in tree layer, followed by herb layer and lowest in shrub layer. Soil organic matter content and organic carbon content were positively correlated with Shannon-Wiener diversity index in shrub layer.

Key words Turtle bay; wetland; soil physicochemical properties; correlation analysis; plant-soil feedback

湿地生态系统是水陆相互影响所形成的特殊复合型生态系统,为三大生态系统之一^[1]。兼具陆地和水生生态系统的共同特性,具有防风固岸、维持生物多样性和保护生物栖息地等多方面的生态服务价值^[2]。土壤是滨海湿地生态系统的组成部分,是湿地物质与能量的交换中心。滨海湿地土壤在形成和发展过程中受到了多重因素的影响,从而形成较为独特的土壤条件和理化性质,在维持生态系统的平衡中起着至关重要的作用^[3]。目前,对湿地的研究主要集中在合理科学利用湿地资源和修复提高湿地生态系统功能来实现湿地生态系统的可持续发展等方面^[4]。湿地土壤理化性质的变化反映了土壤内部环境的变化,湿地土壤理化性质的改变又会引起植被多样性的变化,久而久之,将会导致湿地生态系统的改变和退化^[5]。通过改善和修复湿地土壤来提高湿地生产力和服务功能一直是湿地研究的重点方向^[6]。

土壤理化性质和植被情况均是评价湿地生态环境的重要指标。众多学者认为,研究湿地土壤的物理性质和化学性质对湿地生态系统的恢复和重建及湿地的可持续发展具有指导作用和重要意义。目前,国内外研究土壤理化性质的指标主要集中于土壤容重、水分、密度、质地、机械组成等单个指标的分析^[7]。滨海滩涂湿地受潮汐影响,其生境异质性程度较高,与潮汐作用相关的土壤因子主要包括土壤盐份、湿度、有效成分、pH、以及土壤粒度和容重等,且受高程影响较大^[8]。Rokosch 等^[9]认为湿地土壤理化性质中的有机质、土壤质地、土壤养分(速效磷、速效钾、碱解氮)能够反映湿地生境条件,是评价湿地恢复程度的重要指标。Axt 等^[10]认为土壤理化性质中的有机质是湿地土壤恢复的评价指标。Meyer 等^[11]认为

衡量湿地生态恢复的重要指标是土壤理化性质中的有机质和容重。指标之间相关性分析研究也可以较好地反映土壤理化性质特征^[12]。土壤与植被在湿地生态系统中相伴存在,相互制约,同时植物多样性与土壤理化性质的相关性是复杂的^[13]。

惠东港口海龟国家级自然保护区国际重要湿地是中国 18 000 km 海岸线上国家一级保护动物绿海龟 *Chelonia mydas* 唯一的按期洄游产卵地^[14],但随着该湿地周边旅游业和房地产发展,湿地生态环境遭受干扰破坏的可能性增大、面临生态功能退化的风险越来越高^[15]。前期对该湿地的研究主要集中在生态补偿制度、海龟保护体系的完善、海龟的生态生物学特性等方面,缺少对湿地表层土壤理化性质特征以及植被与土壤的相关性报道^[15-16]。本研究结果将为该湿地的科学管护提供前期数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

惠东港口海龟国家级自然保护区国际重要湿地(总面积 18 km²)位于大亚湾和红海湾交界处的惠东县港口滨海旅游度假区内大星山南麓,主要为海拔 25 m 等高线以下丘地与低潮水位线的滩涂,包括沿海海岸的丘岗、沙滩及滩涂水域,属滨海湿地,主要湿地类型包括沙滩、砾石与卵石滩、滩涂和永久性浅海水域^[17]。地貌属沉降山地溺谷湾。陆地为花岗岩丘陵山地,呈东西走向的不规则半月形。东部是以花岗岩为主形成的荒山。海岸以花岗岩为主。

1.2 土壤样品的采集、测定及指标等级评定

2021 年 5 月 27-29 日取 12 个表层土壤取样点(图 1),编号为 1 到 12。每个样点设置 1 m ×

1 m 的样方，土壤样品的采集按照对角线法在每个样方中选取 5 个点（4 个角和样方中心）利用 100 cm³ 的环刀来采集土壤表层 0~20 cm 的土壤混合样品，装入聚乙烯自封袋运回实验室用于相关指标测定。

土壤湿度和含水量采用烘干法，土壤质地采用比重计法，土壤盐度用盐度计法、土壤 pH 采用 pH 计法，土壤有机质和有机碳采用重铬酸钾法，土壤碱解氮用扩散吸收法，土壤速效磷用紫外分光光度计法，速效钾和交接性钠采用原子吸收光谱仪法（NovAA350，德国耶拿），以上具体操作方法以及土壤容重、比重和孔隙度的测定参照行业标准^[18-19]。土壤湿度等级和土壤质地评定根据土壤环境监测技术规范（HJ/T166-2004）^[19]进行评定。其它指标根据海洋沉积物质量标准（GB8668-2002）^[20]进行评定。根据 pH 值对土壤酸碱度强弱进行分级：强酸性 pH<4.5，酸性 pH4.5~6.5，中性 pH6.5~7.5，碱性 pH7.5~8.5，强碱性 pH>8.5^[21]。

1.3 植物多样性调查

按照国家标准“滨海湿地生态监测技术规程”（HY/T 080-2005）^[18]执行。2021 年 2 月 24—27 日，8 月 16—19 日在广东惠东海龟国家级自然保护区调查 6 个乔木样方（10 m×10 m），8 个灌木样方（5 m×5 m）和 15 个草本样方（1 m×1 m）。植物多样性分析物种丰富度指数（*S*），Simpson 优势度指数（*D*），Shannon-Wiener 指数（*H'*）和 Pielou 均匀度指数（*E*）^[13]。

1.4 数据分析

用 SPSS 软件进行显著性分析，Pearson 相关分析法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 湿地表层土壤物理性质

2.1.1 土壤质地 根据我国的土粒质地分类标准^[19]，湿地研究区域的土壤质地分为砂土和壤土，除 8 号采样点为壤土外，其余均为砂土。

2.1.2 土壤盐度 湿地表层土壤盐度含量变化幅度较大（表 1），变化范围为 0.13%~0.26%。其

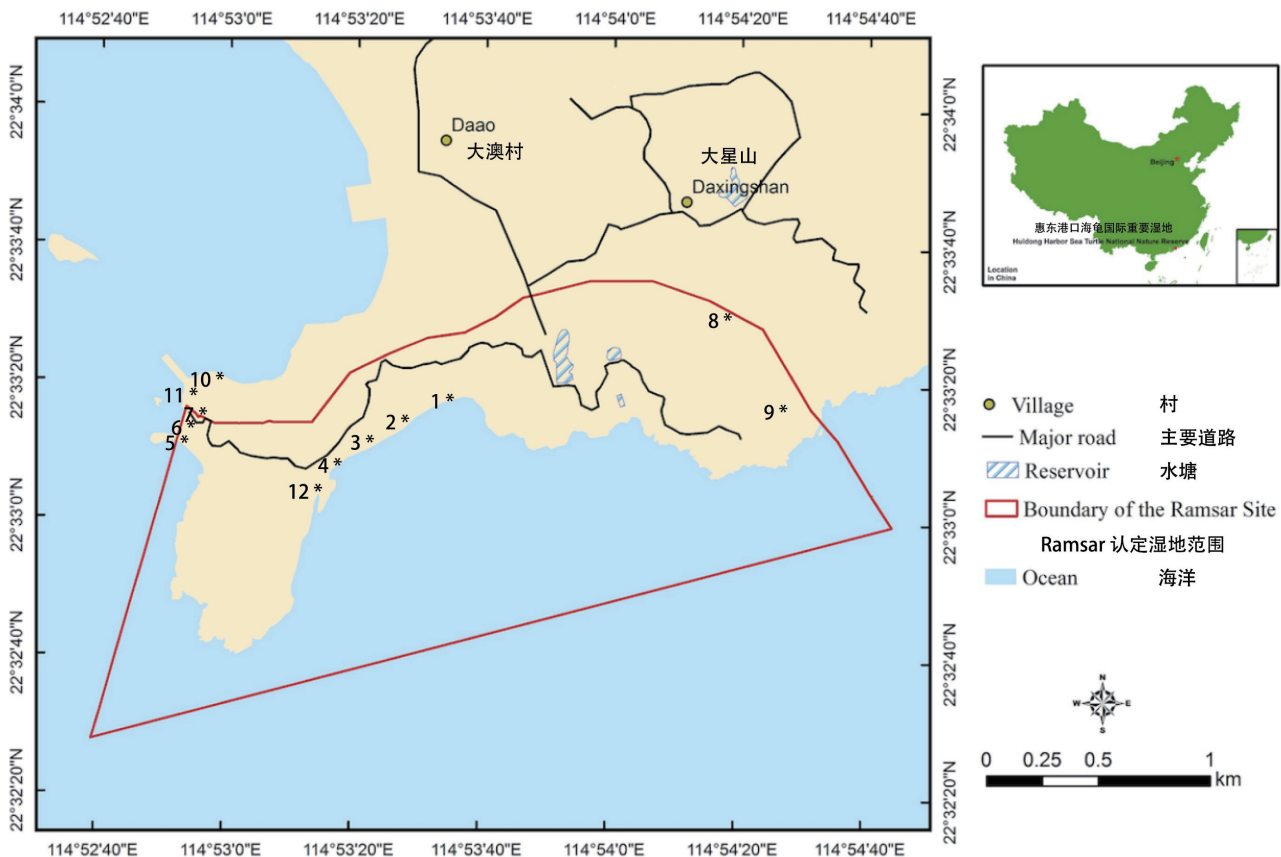


图 1 湿地表层土壤采样点分布

Fig.1 Distribution of wetland surface soil sampling points

表 1 湿地表层土壤物理性质
Table 1 The physical properties of wetland surface soil

采样点 Sampling sites	pH pH value	盐度 / % Salinity	含水量 / % Water content	比重 Specific gravity	容重 / (g · cm ⁻³) Bulk density	孔隙度 / % Porosity
1	7.00~7.50	0.13 ± 0.00	2.75 ± 0.10	2.66 ± 0.01	1.28 ± 0.05	52.00 ± 0.10
2	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	4.78 ± 0.05	2.63 ± 0.02	1.34 ± 0.05	49.00 ± 0.05
3	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	1.61 ± 0.20	1.46 ± 0.01	1.36 ± 0.05	7.00 ± 0.05
4	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	1.78 ± 0.10	1.58 ± 0.05	1.57 ± 0.01	1.00 ± 0.05
5	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	2.95 ± 0.10	2.19 ± 0.02	1.36 ± 0.01	38.00 ± 0.05
6	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	2.76 ± 0.15	2.08 ± 0.01	1.30 ± 0.02	38.00 ± 0.00
7	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	5.01 ± 0.10	2.10 ± 0.01	1.22 ± 0.02	42.00 ± 0.00
8	7.00~7.50	0.13 ± 0.00	2.76 ± 0.20	2.83 ± 0.02	1.31 ± 0.05	54.00 ± 0.05
9	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	2.98 ± 0.15	2.00 ± 0.00	1.14 ± 0.02	43.00 ± 0.05
10	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	1.62 ± 0.10	2.38 ± 0.01	1.30 ± 0.01	46.00 ± 0.05
11	7.00~7.50	0.26 ± 0.00	1.61 ± 0.05	2.84 ± 0.05	1.36 ± 0.01	52.00 ± 0.05
12	7.00~7.50	0.13 ± 0.00	9.33 ± 0.05	1.71 ± 0.02	1.46 ± 0.01	15.00 ± 0.05

中 1、8 和 12 号采样点表层土壤含盐量为 0.13%，其它采样地土壤含盐量均为 0.26%。

2.1.3 土壤含水量 研究区内各采样点的表层土壤湿度均为潮，从表 1 中可以看出研究区的表层土壤含水量有一定差别，波动范围为：1.61%~9.33%。12 号采样点的土壤含水量最高，为 9.33%，3 号和 11 号的表层土壤含水量最低，为 1.61%。

2.1.4 土壤容重、比重、孔隙度 从表 1 中可见，各样点土壤容重、比重的变化幅度均不大，土壤容重变化在 1.14~1.57 g · cm⁻³ 范围内，土壤比重变化范围为 1.46~2.84；而孔隙度变化幅度较大，变化范围在 1.00%~54.00% 之间。

2.2 湿地表层土壤化学性质

2.2.1 土壤 pH 1~12 号采样地表层土壤的 pH 均为 7.00~7.50，根据土壤 pH 分级标准，说明该湿地的土壤主要是中性土壤。

2.2.2 土壤有机质含量 湿地表层土壤的有机质含量变化范围为：1.60~22.93 g · kg⁻¹，变化幅度比较大（表 2）。其中 8 号采样点的土壤有机质含量最高，达 22.93 g · kg⁻¹，8 号采样点的土壤质地为壤土，其兼具砂土类土壤和粘土类土壤的特点，不仅有良好的通透性，还有较好的保肥性和肥效性。

2.2.3 土壤有机碳 研究区湿地表层土壤的有机碳的含量的变化范围为 0.88~13.30 g · kg⁻¹（表 2），

其中含量最高的采样地是 8 号，这与有机质含量分析结果相一致。

2.2.4 土壤碱解氮、速效磷和速效钾 从表 2 可见，湿地表层土壤碱解氮含量的变化幅度较大，变化范围为：13.80~155.70 mg · kg⁻¹，8 号采样点土壤碱解氮含量为 155.70 mg · kg⁻¹，显著高于其它采样点。速效磷的含量变化范围为：0.60~8.20 mg · kg⁻¹。速效钾含量变化范围为：1.17~12.24 mg · kg⁻¹，变化幅度较大，8 号采样点速效钾含量为 12.24 mg · kg⁻¹，显著高于其它采样点。

2.2.5 土壤交换性钠 表 2 所示，湿地表层土壤的交换性钠的含量变化为：9.12~32.31 mg · kg⁻¹。其中砂土采样点之间的交换性钠的含量差异也较大。

2.3 湿地表层土壤理化性质相关性分析

对湿地表层土壤的容重、孔隙度、含水量、土壤养分（氮、磷、钾）等指标进行 Pearson 相关性分析如表 3 所示。惠东港口海龟国际重要湿地表层土壤的盐度与交换性钠呈极显著正相关性。土壤比重与孔隙度呈极显著正相关性。土壤容重与有机质、有机碳、碱解氮、速效钾呈显著负相关性。有机碳与有机质、碱解氮、速效钾呈现极显著正相关性。有机质与碱解氮、速效钾呈现极显著正相关性，与速效磷、交换性钠没有呈现显著相关性。碱解氮与速效钾呈现极显著正相关性。速效钾与交换性钠呈显著正相关性。其它指标之

表 2 湿地表层土壤养分
Table 2 The soil nutrients of wetland surface soil

样点 Plots	有机质 / (g · kg ⁻¹) Organic matter	有机碳 / (g · kg ⁻¹) Organic carbon	碱解氮 / (mg · kg ⁻¹) Alkalize nitrogen	速效磷 /(mg · kg ⁻¹) Available phosphorus	速效钾 / (mg · kg ⁻¹) Available potassium	交换性钠 / (mg · kg ⁻¹) Exchangeable sodium
1	2.12 ± 0.10	1.23 ± 0.10	16.30 ± 0.10	5.80 ± 0.15	2.15 ± 0.05	9.12 ± 0.05
2	1.84 ± 0.10	1.07 ± 0.15	31.40 ± 0.20	8.20 ± 0.25	5.05 ± 0.05	32.31 ± 1.05
3	1.65 ± 0.20	0.96 ± 0.15	28.90 ± 0.10	0.60 ± 0.30	2.32 ± 0.01	26.73 ± 2.10
4	1.73 ± 0.15	1.00 ± 0.05	13.80 ± 0.50	8.10 ± 0.20	3.21 ± 0.01	22.75 ± 0.50
5	1.63 ± 0.00	0.95 ± 0.15	25.10 ± 0.20	7.50 ± 0.05	3.92 ± 0.10	30.02 ± 0.50
6	2.02 ± 0.50	1.76 ± 0.15	42.70 ± 0.10	5.30 ± 0.02	5.51 ± 0.50	31.97 ± 1.00
7	1.83 ± 0.50	1.17 ± 0.50	37.70 ± 0.10	2.60 ± 0.20	4.53 ± 0.50	29.70 ± 1.00
8	22.93 ± 1.75	13.30 ± 1.20	155.70 ± 0.20	7.10 ± 0.20	12.24 ± 0.25	16.18 ± 0.50
9	1.95 ± 0.10	1.13 ± 0.50	35.20 ± 0.10	7.00 ± 0.05	2.34 ± 0.10	26.02 ± 1.00
10	1.60 ± 0.10	0.93 ± 0.07	33.90 ± 0.10	7.30 ± 0.20	4.12 ± 0.40	27.69 ± 0.50
11	1.60 ± 0.10	0.88 ± 0.05	36.40 ± 0.50	5.90 ± 0.10	3.11 ± 0.15	24.08 ± 0.00
12	1.70 ± 0.00	0.97 ± 0.02	47.70 ± 0.20	5.20 ± 0.15	1.17 ± 0.15	14.63 ± 0.50

表 3 湿地表层土壤理化性质 Pearson 相关性分析
Table 3 The Pearson correlation analysis of soil physical and chemical properties in wetland

项目 Item	盐度 Salinity	含水量 Water content	比重 Specific gravity	容重 Bulk density	孔隙度 Porosity	有机碳 Organic carbon	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkalize nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	交换性钠 Exchangeable sodium
盐度 Salinity	1.000	-0.278	-0.271	-0.182	-0.205	0.204	0.203	0.125	0.229	0.509	0.879**
含水量 Water content		1.000	-0.404	0.061	-0.209	-0.036	-0.035	0.135	0.063	-0.075	-0.127
比重 Specific gravity			1.000	-0.25	0.913**	-0.134	-0.134	-0.177	0.042	-0.066	-0.135
容重 Bulk density				1.000	-0.574	-0.584*	-0.583*	-0.594*	-0.034	-0.674*	-0.307
孔隙度 Porosity					1.000	0.098	0.098	0.095	0.106	0.191	-0.013
有机碳 Organic carbon						1.000	1.000**	0.960**	0.187	0.899**	0.261
有机质 Organic matter							1.000	0.961**	0.187	0.899**	0.261
碱解氮 Alkalize nitrogen								1.000	0.08	0.862**	0.284
速效磷 Available phosphorus									1.000	0.285	0.091
速效钾 Available potassium										1.000	0.597*
交换性钠 Exchangeable sodium											1.000

注：* 表示 $P < 0.05$ ，** 表示 $P < 0.01$ 。Note: * indicated $P < 0.05$ ，** indicated $P < 0.01$ 。

间的相关性不显著。

2.4 植被多样性指数差异及其与土壤因子的相关性

惠东港口海龟国际重要湿地植被的乔木层、灌木层和草本层的优势度指数和均匀度指数均差异不显著,但草本层 Shannon-Wiener 指数显著高于乔木层和灌木层。从丰富度指数来看,乔木层最高,草本层其次,灌木层最低(表 4)。由表 5 可知,土壤容重与乔木层均匀度指数以及草本层 Shannon-Wiener 指数及优势度指数呈显著正相关,与草本层均匀度指数呈极显著正相关。土壤孔隙度则与灌木层的均匀度指数呈显著负相关。土壤

有机质含量、有机碳含量与灌木层 Shannon-Wiener 多样性指数呈显著正相关,但交换性钠与灌木层多样性指数呈显著负相关。速效钾与草本层多样性指数和优势度指数呈显著负相关。

3 结论与讨论

惠东港口海龟国际重要湿地是国家一级重点保护动物绿海龟、玳瑁 *Eretmochelys imbricata*、太平洋丽龟 *Lepidochelys olivacea*、蠵龟 *Caretta caretta* 和棱皮龟 *Dermochelys coriacea* 的重要栖息地,更是绿海龟在中国大陆架唯一的产卵地,

表 4 湿地植被多样性指数
Table 4 The plant diversity indices of wetland

类型 Type	丰富度指数 Richness	香农 - 维纳指数 Shannon-Wiener	优势度指数 Simpson	均匀度指数 Pielou
乔木层 Tree layer	8.8 ± 2.5a	1.74 ± 0.26a	0.81 ± 0.05a	0.84 ± 0.08a
灌木层 Shrub layer	2.5 ± 1.2b	1.58 ± 0.18a	0.83 ± 0.15a	0.88 ± 0.24a
草本层 Herb layer	4.78 ± 2.9c	2.79 ± 0.54b	0.94 ± 0.25a	0.90 ± 0.24a

注:不同字母表示显著差异, $P < 0.05$ 。Note: different letters indicated significant difference, $P < 0.05$.

表 5 湿地表层土壤养分与植物多样性指数的 Pearson 相关性分析
Table 5 The Pearson correlation analysis of soil nutrients and plant diversity indices in wetland

类型 Type	指标 Index	盐度 Salinity	含水量 Water content	比重 Specific gravity	容重 Bulk density	孔隙度 Porosity	有机碳 Organic carbon	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkalize nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	交换性钠 Exchangeable sodium
乔木层 Tree layer	香农 - 维纳指数 Shannon-Wiener	0.271	0.224	0.153	-0.445	0.321	-0.454	-0.434	0.548	-0.052	0.292	0.486
	均匀度指数 Pielou	0.730	-0.426	-0.712	0.893*	-0.749	-0.766	-0.781	-0.222	0.233	0.182	0.454
	优势度指数 Simpson	0.518	0.067	-0.118	-0.177	0.040	-0.702	-0.686	0.531	-0.072	0.316	0.639
灌木层 Shrub layer	香农 - 维纳指数 Shannon-Wiener	-0.993	0.267	0.723	-0.993	0.657	0.997*	0.997*	-0.916	0.169	-0.664	-0.999*
	均匀度指数 Pielou	0.778	-0.875	-0.999*	0.778	-0.998*	-0.755	-0.758	0.928	-0.822	-0.069	0.677
	优势度指数 Simpson	-0.918	-0.024	0.492	-0.918	0.411	0.931	0.930	-0.760	-0.123	-0.852	-0.966
草本层 Herbal layer	香农 - 维纳指数 Shannon-Wiener	-0.358	0.149	-0.335	0.744*	-0.539	-0.271	-0.400	-0.483	0.173	-0.680*	-0.513
	均匀度指数 Pielou	-0.392	0.026	-0.359	0.792**	-0.572	-0.037	-0.132	-0.578	0.228	-0.612	-0.599
	优势度指数 Simpson	-0.435	0.138	-0.348	0.741*	-0.540	-0.196	-0.332	-0.536	0.202	-0.704*	-0.592

注: * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。Note: * indicated $P < 0.05$, ** indicated $P < 0.01$.

2002 年被列入《拉姆萨尔公约》国际重要湿地名录^[22]。土壤理化性质和植被特征是该湿地的重要监测对象。

在本研究中, 8 号采样点的各项土壤理化指标较明显地不同于其他采样点, 主要原因是 8 号采样点的表层土壤为壤土, 而其他采样点的表层土壤质地是砂土。从采样点的位置、地貌特征和生态环境情况来看, 尽管 8 号采样点位于岩石海岸区, 但其距离海域较其它采样点远, 其上有滨海植物长期覆盖生长, 从而形成了壤土质的表层土壤。有植物覆盖的土壤相比较而言有机质含量相对较高, 孔隙度相对发达, 结构相对稳定^[23]。而同位于岩石海岸区的 9 号采样点距离海域较近, 其上较少植物生长, 表层基本为裸露的由岩石长年风化形成的粗砂土, 其表层土壤理化性质和位于海滨沙滩区的其它采样点的性质相近。

砂质海滩的土壤是海水冲积而成的砂质堆积物, 以砂粒为主, 又常伴有贝壳等物质, 透水性极强。影响沿海湿地土壤粒度的因素较多且比较复杂, 主要的因素包括地形地貌、水动力条件、风暴潮、沿岸输沙方向等^[24]。本湿地土壤是以砂土 ($0.74\text{ mm} > \text{粒径} > 0.063\text{ mm}$) 为主, 湿地海龟上岸产卵区沙滩 (1~4 号采样点) 坡度平缓、沙粒细小, 有利于海龟爬行、挖掘和产卵繁殖, 因此维护保护区海龟产卵核心区沙质类型的稳定是尤为重要内容。

滨海湿地土壤有机质含量很低, 通常为 $0.05\% \sim 0.17\%$, 一般不超过 0.2% ^[25]。本湿地表层土壤的有机碳和碱解氮、速效磷、速效钾的含量均较低, 有机质很大部分来源于陆生物质、养殖废水、生活污水以及其它人为干扰产生的影响, 使得营养元素与其相伴进入土壤和水体^[26]。同时, 由于是滨海潮汐环境, 必然会受到海浪的作用, 海水中有大量的悬浮物质, 这些悬浮物质对营养元素能产生很强的吸附作用; 另一方面在浅海区波浪可以搅动海底, 促使沉积物中的营养元素向海水中释放^[26]。

本湿地表层土壤容重与有机质、有机碳、碱解氮、速效钾呈显著负相关性, 这与祖元刚等^[27]对土壤的研究结论一致, 但有部分学者存在不同的结论^[28]。湿地土壤的有机碳与有机质、碱解氮、速效钾呈现极显著正相关性, 这与祁金虎^[29]、张慧东^[30]等对土壤研究的结论一致。研究区湿地的

土壤有机质与碱解氮、速效钾表现出极显著正相关性, 这与王勇辉^[31]、张发俊^[32]等众多学者的研究结论一致。张发俊^[32]、赵云^[33]、王倩^[34]等研究表明土壤的有机质与速效磷呈显著正相关性, 而本文中有机质与速效磷相关性不显著。本湿地的土壤速效钾与交换性钠呈显著正相关性。土壤有机质是土壤的基本组成成分以及氮、磷、钾等元素的重要来源, 不但能提供植物生长所需要的肥力基础, 而且能对土壤进行改良, 同时对土壤的生理特性也有深刻的影响^[35]。土壤速效养分 (速效磷、速效钾) 和碱解氮是三个衡量土壤肥力的重要指标, 在土壤中能够被植物直接转化吸收来促进生长发育, 通过测定速效磷、速效钾和碱解氮的含量, 能够判断土壤肥力和土壤质量的高低^[36]。而土壤有机碳是组成碳库的重要部分, 它的稳定性会对碳素的分解和蓄存产生影响, 从而进一步影响土壤的质量和土壤养分的循环, 它的微小波动, 都会使气候发生变化, 从而使得整个土壤环境发生改变^[37]。

从该湿地的植被 Shannon-Wiener 多样性指数来看, 总体偏低, 这与调查点主要是集中在滨海海龟上岸产卵区以及沿海礁石区有关, 但同时也反映出该湿地植被有一定的脆弱性。在一定尺度范围内, 植被类型是导致土壤养分变化的关键因子, 它既对土壤异质性有影响, 又对土壤的异质性作出响应^[13]。本研究中速效钾与草本层多样性指数和优势度指数呈显著负相关, 可能是因为钾元素限制了草本植物的生长, 降低了草本植物聚集的趋势, 但对于该湿地, 草本层是需要重点保护的植被类型。

参考文献

- [1] 李璐. 浅析湿地在生态环境保护中的功能价值[J]. 林业勘查设计, 2021, 50(6): 45-47.
- [2] 陆健健, 何文珊. 湿地生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 150-163.
- [3] 崔巍, 李伟, 张曼胤, 等. 湿地土壤生态功能研究概述[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 203-207.
- [4] 郑北鹰. 合理保护利用湿地生态系统 保持环境可持续发展[N]. 光明日报, 2006-04-17.
- [5] 熊汉锋, 廖勤周, 吴庆丰, 等. 湖北梁子湖湿地土壤养分的分布特征和相关性分析[J]. 湖泊科学, 2005(1): 93-96.

- [6] 田应兵, 宋光煜, 天成. 湿地土壤及其生态功能[J]. 生态学杂志, 2002 (6): 36-39.
- [7] 李想. 盐城滨海滩涂湿地植物成分与土壤性质的对应分析[D]. 南京: 南京大学, 2020.
- [8] 许振伟, 宋慧佳, 李明燕, 等. 不同生态型芦苇种群对盐胁迫的生长和光合特性[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 147-154.
- [9] ROKOSCH A E, BOUCHARD V, FENNESSY S, et al. The use of soil parameters as indicators of quality in forested depressional wetlands [J]. Wetlands, 2009, 29(2): 666-677.
- [10] AXT J R, WALBRIDGE M R. Phosphate removal capacity of palustrine forested wetlands and adjacent uplands in Virginia [J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(4):1019-1031.
- [11] Meyer C K, Baer S G, Whiles M R. Ecosystem recovery across a chronosequence of restored wetlands in the Platte River Valley [J]. Ecosystems, 2008, 11(2): 193-208.
- [12] 王涛. 大山包不同退耕年限湿地土壤理化性质研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2015.
- [13] 赵晴, 甘先华, 刘梦芸, 等. 田头山市级自然保护区次生林与人工林植物多样性-土壤养分相关性研究[J]. 林业与环境科学, 2022, 38(2):102-105.
- [14] 罗茵. 广东惠东海龟国家级自然保护区中国大陆海岸线上的最后一张海龟“产床” [J]. 海洋与渔业, 2020 (5):26-29.
- [15] 谢坤锐. 广东惠东海龟国家级自然保护区生态补偿制度优化研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [16] 张金泉. 港口国家级自然保护区及其海龟的生态生物学特性[J]. 中国生物圈保护区, 1996 (4):3-5.
- [17] 陈广万. 广东大亚湾海岸、海岛资源的旅游开发与湿地保护探讨[J]. 广东园林, 2008(5):28-30.
- [18] 国家海洋局. 滨海湿地生态监测技术规程: HY/T 080-2005[S]. 北京: 国家海洋局出版社, 2005.
- [19] 国家环境保护总局. 土壤环境监测技术规范: HJ/T 166-2004[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [20] 国家海洋局. 海洋沉积物质量标准: GB8668-2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [21] 罗淑华. 土壤酸碱性[J]. 茶叶通讯, 1995(1):23-24; 28.
- [22] [作者不详]. 我国国际重要湿地名录[J]. 绿色科技, 2012(2):81.
- [23] 张旭升. 不同植被修复模式下土壤真菌的研究及纳米材料对土壤理化性质和酶活性的影响[D]. 太原: 山西大学, 2021.
- [24] 曹惠美, 蔡锋, 苏贤泽. 华南沿海若干砂质海滩沉积物粒度特征的分析[J]. 海洋通报, 2005(4):36-45.
- [25] 王惠, 张沁媛, 崔可宁, 等. 山东省海岸砂生植被基本特征及现状分析[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(3):300-313.
- [26] 袁旭音, 刘红樱, 王爱华, 等. 江苏沿海港口沉积物的营养元素及成因分析[J]. 资源调查与环境, 2004(3):197-204.
- [27] 祖元刚, 李冉, 王文杰, 等. 我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性[J]. 生态学报, 2011, 31(18):5207-5216.
- [28] 许仁智, 齐国翠, 谢彦军, 等. 广西东兰坡豪湖湿地表层土壤理化性质相关性分析[J]. 河池学院学报, 2019, 39(5):44-50.
- [29] 祁金虎. 辽东山区天然次生栎林土壤有机碳含量及其与理化性质的关系[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4):135-140;171.
- [30] 张慧东, 尤文忠, 魏文俊, 等. 辽东山区原始红松林土壤理化性质及其与土壤有机碳的相关性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(1):76-82.
- [31] 王勇辉, 董玉洁, 艾尤尔·亥热提. 艾比湖湿地泥炭土壤养分特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5):186-192.
- [32] 张发俊. 云南大山包黑颈鹤自然保护区退耕湿地土壤理化性质三年变化监测研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2018 :20-25, 30-47.
- [33] 赵云, 陈伟, 李春鸣, 等. 东祁连山不同退化程度高寒草甸土壤有机质含量及其与主要养分的关系[J]. 草业科学, 2009, 26(5):20-25.
- [34] 王倩. 大山包典型湿地土壤化学性质微梯度空间变化研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2016:50-69.
- [35] 王莹, 郑纪勇, 张兴昌, 等. 毛乌素沙区土壤养分对湿地退化的响应[J]. 草地学报, 2009, 17(2):250-254.
- [36] 陈贤源. 安吉道路土壤理化性质分析及对几种苗木生长影响的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2018:30-45.
- [37] 王文波, 白冰, 张鹏骞, 等. 若尔盖湿地土壤有机碳含量和密度的分布特征[J]. 生态学杂志, 2021, 40(11):3523-3530.