洞庭湖湿地柳属木本植物与藁草属草本植物群落土壤与水环境特征^{*}

李有志^{1,2}, 李锡泉^{2**}, 张灿明², 马丰丰², 徐佳雯²

(1: 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128)

(2: 湖南省林业科学院, 长沙 410004)

摘 要: 木本与草本植物存在的两种主要生活型, 生态功能差异明显, 尤其在植物被周期性洪水淹没的湿地生态系统中. 为此, 以洞庭湖湿地二门闸、五门闸、藕池河口、白沙大桥 4 个研究点的原生柳属木本植被与藁草属草本植被为研究对象, 通过对枯水期土壤理化性质与汛期水流速度、水环境的对比监测, 揭示两者生态防护功能的差异. 对土壤粒径组成而言, 在二门闸与白沙大桥 2 个研究点, 木本与草本植物群落土壤样本之间无显著差异; 而在五门闸与藕池河, 与草本植物相比, 木本植物导致土壤上层(0~30 cm)与下层(60~90 cm)粉粒含量降低, 砂粒含量增加, 中层(30~60 cm)黏粒与粉粒含量增加, 砂粒含量降低. 对土壤化学性质而言, 木本植物总体上导致土壤有机质与全氮含量升高, 而对全磷与全钾含量无显著影响. 与草本植物相比, 木本植物能显著减缓水流速度, 提高水体氧化还原电位与溶解氧浓度, 而对水温与 pH 值无明显影响. 可见, 洞庭湖湿地木本与草本植物生活型的差异, 是导致二者土壤与水环境特征差别的主要原因, 与草本植物相比, 木本植物具有更强的生态防护功能.

关键词: 木本植物; 草本植物; 洞庭湖湿地; 土壤理化性质; 水环境

Characteristics of soil and water environments between ligneous plants (*Salix*) and herbaceous plants (*Carex*) communities in the Lake Dongting wetlands

LI Youzhi^{1,2}, LI Xiquan², ZHANG Canming², MA Fengfeng² & XU Jialuan²

(1: College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, P. R. China)

(2: Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, P. R. China)

Abstract: The functions of ligneous and herbaceous plants were different due to their differences in life forms, especially in wetland ecosystems in which plants were inundated by periodic flooding. In this study, two native plants of ligneous (*Salix*) and herbaceous (*Carex*) at four areas (Ermenzha, Wumenzha, Ouchihekou and Baishadaqiao) in the Lake Dongting wetlands were selected as the study objects. The physical and chemical characteristics of the soil in dry seasons, and flow velocity and water environments in flood seasons were investigated. In Ermenzha and Baishadaqiao, the compositions of soil particle-size were not significantly different between ligneous and herbaceous plant areas. However, in Wumenzha and Ouchihekou, sediments in ligneous plant area had a lower percentage of silt but a higher percentage of sand in topsoil (0–30 cm) and subsoil (60–90 cm), and a lower percentage of sand but higher clay and silt in medium soil (30–60 cm) compared to sediments from the herbaceous plant areas. For soil chemical characteristics, ligneous plants were benefited to increase soil organic carbon and total nitrogen contents compared with that of herbaceous plants. Total phosphorus and total potassium from the sediments were not different between the two vegetation types. Ligneous plant areas had created lower flow velocity, higher water redox potential and higher dissolved oxygen content compared with herbaceous plant areas. However, there was no difference in water temperature and pH values between the two vegetation type areas. These data indicated that great differences in life forms contributed to different ecological functions between the

^{*} 国家林业公益性行业专项(201104065)、国家国际科技合作专项(2012DFB30030)、湖南省林业科技计划项目(XLK201409)和湖南省科技计划项目(2012WK4013, 2013WK4012, 2013FJ6048, 2013ZK2040)联合资助. 2014-07-28收稿; 2015-01-29收修改稿. 李有志(1981~), 男, 博士, 副研究员; E-mail: liyouzhi2004@163.com.

^{**} 通信作者; E-mail: li5578761@126.com.

two vegetation types; higher in ligneous plant areas and lower in herbaceous plant areas.

Keywords: Ligneous plants; herbaceous plants; Lake Dongting wetlands; physical and chemical characteristics of soil; water environments

植物是生态系统基础性的生态要素之一,对生态功能的维持具有重要作用.由不同生活型植物所构建的植被群落生态功能差异明显,如在丘陵地,与木本植物湿地松(*Pinus massoniana*)相比,草本植物百喜草(*Paspalum natatu*)土壤养分含量高^[1].导致土壤理化性质变化的主要原因可能是不同生活型植物凋落物量以及根系分泌物的差异^[2-3].然而,不同于森林生态系统,湿地生态系统中植被周期性地被水淹没,木本植物树冠大、枝叶粗的形态特性,致使水流速度减缓,泥沙沉积量增加,水环境变化明显^[4-5].因此,湿地生态系统中木本植物与草本植物两种生活型对土壤与水环境的影响可能更为复杂.然而,很少有此类研究的相关报道.

洞庭湖是我国第二大淡水湖泊,长江中下游最为重要的通江湖泊,在维持区域生态平衡、保持生物多样性、蓄洪防旱、涵养水源、净化水质等方面具有重要的生态功能^[6-7].受长江与湘、资、沅、澧“四水”来水的影响,洞庭湖湿地水位变化明显,呈现出“涨水为湖,落水为洲”的水文格局^[8],为研究木本与草本植物两种生活型植物群落生态功能提供了极为有利的条件.在自然与人为活动的双重影响下,洞庭湖湿地植被以草本植物为主、木本植物为辅^[9].旱柳(*Salix matsudana*)、三蕊柳(*Salix triandroides*)等柳属植物是洞庭湖湿地唯一的原生木本植物类群,分布面积逐年减少,濒危化趋势明显^[10].因此,本研究以洞庭湖湿地柳属木本植被与藁草属草本植被为研究对象,通过对枯水期植物群落土壤理化性质的分析与对洪水期水流速度、水环境的对比监测,揭示两种植被群落的生态防护功能,加深对洞庭湖湿地植物生态功能的认识,为湿地的保护与管理提供决策依据.

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

洞庭湖(28°38′~29°45′N, 111°40′~113°10′E)高程为28~35 m,属于典型的亚热带湿润季风气候区^[11].热量丰富,雨量充沛,多年平均气温16.2~17.8℃,极端高温39.3℃,极端低温-11.8℃.年平均降水量1200.7~1414.6 mm,年辐射总量418.7~455.6 kJ/(cm²·a),年平均风速2.0~3.0 m/s,年平均蒸发量1270 mm^[12].

在洞庭湖湿地,由于旱柳与三蕊柳大多混生,且不易区分,因此木本植物以混生柳属植被群落为研究对象,而藁草属草本植物以洞庭湖湿地典型的湿地植物——短尖藁草(*Carex breviscuspis*)群落为研究对象.在洞庭湖湿地的华容县幸福乡藕池河口、华容县团洲乡二门闸、南县金盆镇五门闸、沅江市白沙大桥4个研究点(表1),选取地势平坦、土壤质地均匀、彼此相连(间距约为20~30 m)的木本与草本植物群落开展土壤理化性质与水环境功能的对比研究.

1.2 野外调查

2013年11月(枯水期),洞庭湖洲滩裸露,4个研究点的木本与草本植物均完全显露.在植物群落中央,设置3个面积为20 m×20 m的重复样地,对木本植物群落的植被类型、树龄、密度、树高、胸径、冠幅进行调查(表1).在每一植被类型样地,采用五点取样法与原状土壤取样器,按上(0~30 cm)、中(30~60 cm)、下(60~90 cm)3层对土壤进行分层取样.同一地点,每一植被类型共采集土壤样点15个,用全球定位系统对每个采样点进行准确定位,记录经纬度及高程.将同一地点、同一植物群落分层后的土样混合后用自封袋装好,带回实验室.

2014年7月(汛期),洞庭湖湿地洲滩被淹,4个研究点的草本植物完全被淹没,而木本植物枝叶被淹,树梢显露.采用2台便携式YSI6820水质分析仪分别对木本与草本植物群落内水环境进行直接测定,测定深度为水面以下0.2 m与2.5 m,每一研究点的同一植被类型在同一测定深度下测定50次,2台便携式水质分析仪同时记数.水环境测定参数包括温度、pH值、氧化还原电位、溶解氧.同时,采用2台便携式LGY流速仪分别对木本与草本植物群落水面以下0.2 m处水流速度(m/s)进行测定,每一研究点的同一植被类型测定

50 次,2 台流速仪同时记数.

表 1 洞庭湖湿地木本植物群落特征
Tab. 1 Characteristics of ligneous plants in the Lake Dongting wetlands

研究点	地理位置	水文状况	植被类型	树龄/ a	密度/ (株/m ²)	高度/ m	胸径/ cm	冠幅/ m
二门闸	29°25′54″N,112°48′43″E	属洞庭湖核心区,水位变化较小	原生型	25	416	7.8	44.4	5.5
五门闸	29°06′26″N,112°42′17″E	属洞庭湖核心区,水位变化较小	原生型	20	294	11.7	30.1	4.3
藕池河口	29°16′41″N,112°47′24″E	属藕池河东支冲积型区,水位变化较大	人工种植型	6	555	9.8	7.1	2.4
白沙大桥	28°50′58″N,112°19′54″E	属沅江滩地,水位变化较大	人工种植型	5	833	5.5	5.6	2.7

1.3 室内分析

将带回实验室的新鲜土样仔细剔除可见动植物残体,自然风干后用于测定土壤粒径组成及化学特性.其中,用于测定土壤粒径组成的样品过 2 mm 孔径筛,用于测定有机质、全氮、全磷与全钾含量的土样过 0.149 mm 孔径筛,彻底混匀后备用.土壤粒径分析采用英国马尔文激光粒度分析仪(Mastersizer 2000),依照土壤粒径分级标准将土壤分为 3 个等级:黏粒(<2.0 μm)、粉粒(2.0~20.0 μm)、砂粒(>20.0 μm);有机质含量测定采用重铬酸钾氧化-外加热法^[13],全氮含量测定采用扩散法,全磷含量测定采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法,全钾含量测定采用氢氧化钠碱熔-火焰光度法^[14].

1.4 数据处理

采用软件 SPSS 17.0 对同一研究点的木本与草本植物群落 3 层土壤(0~30、30~60、60~90 cm)粒径组成与化学性质,以及两种水深(水面以下 0.2、2.5 m)的水环境参数进行 Tukey 多重比较,显著水平为 0.05.对同一研究点 2 种植物群落的水流速度进行方差分析,显著水平为 0.05.

2 结果与分析

2.1 土壤粒径组成

在二门闸与白沙大桥研究点,同一植物群落的上、中、下 3 层土壤黏粒、粉粒、砂粒含量无显著差异($P>0.05$);同一土层,木本与草本 2 种植物群落的土壤粒径组成也无显著差异($P>0.05$)(表 2).

在藕池河口与五门闸,同一植物群落 3 层土壤粒径组成差异显著($P<0.05$),总体上随着土壤深度的增加,粉粒含量逐渐增加,砂粒含量逐渐降低.对上层土壤而言,与草本植物相比,木本植物群落的土壤粉粒含量较低,砂粒含量较高;而对中、下层土壤而言,2 种植物群落间的差异性因研究地点而异,如在藕池河口,木本植物群落中层土壤黏粒与粉粒含量较高,砂粒含量较低,而 2 种植物群落间下层土壤粒径组成无显著差异.可见,与草本植物相比,木本植物导致上、下层土壤粉粒含量降低,砂粒含量增加,中层土壤黏粒与粉粒含量增加,砂粒含量降低(表 2).

2.2 土壤化学性质

2.2.1 土壤有机质与全氮含量 在同一研究地点,2 种植物群落土壤有机质含量总体上均随着土壤深度的增加而降低($P<0.05$).同一土层,两种植物群落土壤有机质含量差异显著($P<0.05$).与草本植物相比,白沙大桥木本植物群落的上层土壤有机质含量较高,中层较低,下层无显著差异,而其他 3 个研究地点的木本植物群落的上、中层土壤有机质含量较高,下层较低(表 2).因此,与草本植物相比,木本植物总体上能导致上、中层土壤有机质含量增加,下层土壤有机质含量降低.

与土壤有机质含量相似,在同一研究地点,2 种植物群落的土壤全氮含量总体上随着土壤深度的增加而显著降低($P<0.05$).同一土层,与草本植物群落相比,五门闸与藕池河口的木本植物群落上、中、下 3 层土壤全氮含量均较高,而二门闸与白沙大桥的木本植物群落上层土壤全氮含量较高,中层土壤全氮含量较

低(表2). 可见, 与草本植物相比, 木本植物总体上能导致土壤全氮含量增加.

2.2.2 土壤全磷与全钾含量 在同一研究地点, 木本与草本植物群落土壤全磷含量总体上随着土壤深度的增加而降低($P < 0.05$). 对同一土层而言, 与草本植物群落相比, 五门闸与白沙大桥的木本植物群落中、下层土壤全磷含量较高, 藕池河口的木本植物群落中、下层土壤全磷含量较低, 而二门闸的木本与草本植物群落土壤全磷含量无显著差异(表2). 因此, 草本与木本植物群落土壤全磷含量总体上无显著差异.

同一植物群落, 3 层土壤全钾含量差异显著($P < 0.05$), 如二门闸的木本植物群落以中层土壤全钾含量最高. 对同一土层而言, 与草本植物群落相比, 二门闸的木本植物群落中层土壤全钾含量较高, 五门闸的下层土壤含量较高, 而藕池河口的上、下层土壤全钾含量较低(表2). 可见, 木本与草本植物群落的土壤全钾含量总体上无显著差异.

表2 洞庭湖湿地植物群落土壤理化性质*

Tab. 2 Soil physical and chemical characteristics of plant communities in the Lake Dongting wetlands

地点	群落类型	土层/ cm	有机质含量/ (g/kg)	全氮含量/ (g/kg)	全磷含量/ (g/kg)	全钾含量/ (g/kg)	粒径组成/%		
							黏粒	粉粒	砂粒
二门闸	木本	0~30	15.49±0.44 ^f	1.07±0.05 ^d	1.70±0.01 ^c	16.73±0.35 ^a	15.04±0.25 ^{ab}	64.76±0.42 ^a	20.20±0.67 ^a
		30~60	5.42±0.06 ^c	0.37±0.01 ^b	1.53±0.04 ^b	18.78±0.41 ^b	19.13±1.86 ^b	71.46±1.42 ^a	9.41±3.26 ^a
		60~90	1.55±0.08 ^a	0.17±0.01 ^a	1.46±0.02 ^a	17.14±0.20 ^a	18.82±1.26 ^b	73.01±2.38 ^a	8.17±3.56 ^a
	草本	0~30	11.96±0.43 ^c	0.82±0.03 ^c	1.62±0.04 ^{bc}	17.96±0.35 ^{ab}	13.61±0.58 ^a	67.40±1.50 ^a	19.00±2.06 ^a
		30~60	4.04±0.10 ^b	0.39±0.01 ^b	1.49±0.02 ^b	16.52±0.41 ^a	13.92±0.50 ^a	65.61±2.78 ^a	20.47±3.06 ^a
		60~90	7.23±0.12 ^d	0.37±0.01 ^b	1.35±0.01 ^a	22.88±0.35 ^c	16.16±0.53 ^{ab}	72.06±1.99 ^a	11.78±2.39 ^a
五门闸	木本	0~30	26.76±0.29 ^d	1.85±0.01 ^c	1.97±0.01 ^c	23.80±0.18 ^c	13.83±0.08 ^{ab}	61.51±0.57 ^a	24.66±0.63 ^c
		30~60	11.49±0.32 ^{ab}	1.01±0.03 ^c	1.79±0.13 ^b	23.19±0.35 ^{bc}	15.36±0.18 ^{bc}	67.79±0.48 ^{bc}	16.75±0.62 ^{ab}
		60~90	10.59±0.12 ^a	0.91±0.02 ^{bc}	1.80±0.01 ^b	21.96±0.17 ^{ab}	16.15±0.62 ^c	69.64±0.53 ^c	14.21±1.01 ^a
	草本	0~30	14.07±0.12 ^c	1.19±0.03 ^d	1.96±0.03 ^c	22.06±0.20 ^{ab}	12.44±0.34 ^a	68.78±0.38 ^{bc}	18.78±0.30 ^b
		30~60	10.46±0.43 ^a	0.67±0.03 ^a	1.61±0.01 ^a	21.44±0.73 ^a	14.30±0.51 ^{abc}	67.38±0.52 ^b	18.31±0.22 ^b
		60~90	12.03±0.43 ^b	0.89±0.01 ^b	1.57±0.03 ^a	21.86±0.20 ^{ab}	12.94±0.68 ^a	72.30±0.23 ^d	14.76±0.56 ^a
藕池河口	木本	0~30	17.43±0.03 ^d	1.19±0.03 ^d	1.64±0.17 ^d	20.32±0.27 ^a	14.44±0.19 ^a	61.56±0.59 ^a	23.99±0.78 ^c
		30~60	11.39±0.01 ^c	0.95±0.03 ^c	1.44±0.01 ^{ab}	21.96±0.18 ^b	16.85±0.17 ^b	70.51±0.40 ^c	12.63±0.57 ^a
		60~90	9.83±0.16 ^a	0.93±0.23 ^{bc}	1.39±0.01 ^a	22.16±0.21 ^b	15.66±0.16 ^{ab}	69.04±0.20 ^{bc}	15.29±0.11 ^{ab}
	草本	0~30	10.59±0.32 ^b	0.82±0.01 ^{ab}	1.57±0.02 ^{cd}	24.73±0.71 ^c	15.75±0.86 ^{ab}	66.76±0.67 ^b	17.49±1.49 ^b
		30~60	10.35±0.20 ^{ab}	0.74±0.03 ^a	1.62±0.01 ^{cd}	22.06±0.41 ^b	14.05±0.29 ^a	61.44±1.21 ^a	24.50±1.40 ^c
		60~90	11.31±0.12 ^c	0.83±0.02 ^{ab}	1.51±0.05 ^{bc}	24.73±0.01 ^c	13.97±0.36 ^a	66.95±0.51 ^b	19.08±0.59 ^b
白沙大桥	木本	0~30	16.39±0.19 ^d	1.46±0.35 ^d	1.44±0.03 ^d	23.91±0.82 ^{bc}	22.49±0.28 ^a	70.72±0.56 ^a	6.79±0.83 ^a
		30~60	13.84±0.43 ^c	0.97±0.06 ^{ab}	1.21±0.02 ^b	22.26±0.62 ^b	22.43±0.48 ^a	69.26±0.76 ^a	8.31±1.14 ^a
		60~90	9.27±0.21 ^a	0.84±0.03 ^a	0.86±0.04 ^a	18.98±0.41 ^a	22.23±1.56 ^a	69.89±2.03 ^a	7.88±3.59 ^a
	草本	0~30	12.59±0.32 ^b	1.26±0.02 ^c	1.41±0.02 ^d	23.29±0.39 ^{bc}	21.94±0.20 ^a	70.41±0.86 ^a	7.65±0.67 ^a
		30~60	12.09±0.33 ^b	1.07±0.54 ^b	1.34±0.01 ^{cd}	25.55±0.59 ^c	21.36±0.15 ^a	71.61±0.15 ^a	7.03±0.10 ^a
		60~90	8.82±0.18 ^a	0.89±0.04 ^a	1.23±0.02 ^{bc}	23.5±0.01 ^{bc}	21.61±0.26 ^a	71.87±0.01 ^a	6.52±0.26 ^a

* 同一列上标不同小写字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$).

2.3 水流速度

在同一研究地点, 木本植物群落的水流速度均显著小于草本植物群落($P < 0.01$). 以藕池河口为例, 木本植物群落的水流速度(0.014 m/s)仅为草本植物群落(0.040 m/s)的35%(图1). 可见, 与草本植物相比, 木本植物能显著减缓水流速度.

2.4 水环境

2.4.1 水温与 pH 值 在同一地点, 同一植物群落水面以下 0.2 m 处的水温均显著高于 2.5 m 处($P < 0.05$). 如二门闸的木本植物群落水面以下 0.2、2.5 m 处的水温分别为 25.60、23.88℃(图2). 同一水面深

图1 洞庭湖湿地植物群落的水流速度

Fig. 1 Water velocity of plant communities in the Lake Dongting wetlands

度下,2种植物群落水温无显著差异($P>0.05$).

洞庭湖湿地水体pH值介于7.25~7.72之间,偏碱性.在五门闸,同一植物群落水面以下0.2 m处的pH值显著高于2.5 m处,而在其他3个研究点水面不同深度处pH值无显著差异($P>0.05$)(图2).2种植物群落同一水面深度下pH值总体上无显著差异($P>0.05$).

2.4.2 氧化还原电位与溶解氧 在同一研究点,同一植物群落水面以下0.2 m处的氧化还原电位均显著高于2.5 m处($P<0.05$).如五门闸,木本植物群落水面以下0.2 m处的氧化还原电位(−13.30 mV)远高于2.5 m处(−122.04 mV).同一水面深度下,木本植物群落水体氧化还原电位均显著高于草本植物群落水体($P<0.05$).以藕池河口为例,木本、草本植物群落水面以下0.2 m处氧化还原电位分别为−13.49、−31.42 mV(图3).可见,与草本植物相比,木本植物能提高水体氧化还原电位.

洞庭湖湿地木本植物群落水体溶解氧浓度为3.69~7.84 mg/L,草本植物群落为1.73~5.99 mg/L.同一研究地点,同一植物群落水面以下0.2 m处的溶解氧浓度显著高于2.5 m处($P<0.05$).如藕池河口,木本植物群落水面以下0.2 m处溶解氧浓度(6.57 mg/L)为2.5 m处溶解氧浓度(3.69 mg/L)的1.78倍(图3).同一水面深度下,4个研究点的木本植物群落水体溶解氧浓度均显著高于草本植物群落($P<0.05$).可见,与草本植物相比,木本植物能显著提高水体溶解氧浓度.

3 讨论

在湿地生态系统中,土壤理化性质主要受到植被与泥沙沉积的双重影响^[14].作为土壤养分的重要补给方式,植物凋落物主要分布在土壤表层,通过微生物的分解将养分向下运输,因此洞庭湖湿地两种不同生活型植物群落养分含量总体上随着土壤深度的增加而降低,尤其是土壤有机质与全氮含量^[15-16].研究结果表明,与草本植物群落相比,洞庭湖湿地木本植物群落土壤有机质与全氮含量较高,全磷与全钾含量无明显差

图2 洞庭湖湿地植物群落水温与 pH 值

Fig. 2 Water temperature and pH values of plant communities in the Lake Dongting wetlands

异. 对全磷与全钾而言, 2 种营养元素主要来自土壤矿化过程, 因此两种不同生活型植物群落土壤之间无显著差异^[17]. 对有机质与全氮而言, 洞庭湖湿地木本植物年生产力 (24.15 t/hm^2) 高于草本植物 (10.46 t/hm^2), 有利于植物对大气碳的固定, 而高土壤碳氮比加速了凋落物氮的分解, 导致土壤有机质与全氮含量升高^[18-19]; 另一方面, 与草本植物群落相比, 木本植物群落水流缓慢, 有利于泥沙的沉积, 致使土壤有机质与全氮含量增加.

在湿地生态系统中, 抗风浪能力不仅是影响植物能否存活的重要方面, 也是筛选岸带与消落带植物的重要依据, 尤其是在类似于洞庭湖此类淹水时间长、水位变化大的湖泊湿地^[20]. 与草本植物相比, 木本植物

图 3 洞庭湖湿地植物群落水体氧化还原电位与溶解氧浓度

Fig. 3 Water redox potential and dissolved oxygen concentrations of plant communities in the Lake Dongting wetlands

树冠高大,枝叶茂盛,对水流具有明显的减缓作用^[21].在洞庭湖湿地,柳属木本植物枝多而柔,且林下生长着芦荻与藁草等草本植物,能降低不同水位下的水流速度并消减波浪^[4,22].木本植物群落低水流速度一方面促进了泥沙沉积,导致表层土壤砂粒含量增加、黏粒含量减少、土壤呈现出砂化趋势^[5,23];另一方面致使水温、溶解氧以及营养物质的空间交换减慢,形成较为稳定的局部水环境.水温主要受太阳辐射影响,而随着水体深度的增大,太阳辐射急剧减弱,水温降低^[24].水体氧化还原电位与溶解氧密切相关,直接决定于水体氧气浓度,呈现出随水体深度增大而显著降低的垂直变化趋势^[24].此外,同一水深下,洞庭湖湿地木本植物群落水体氧化还原电位与溶解氧显著高于草本植物群落水体,产生这种结果的主要原因在于:(1)在汛期,木本植物外露的树梢可吸收氧气,弥补水体氧气的不足^[25];(2)柳属木本植物,尤其是三蕊柳,具有发达的气体

交换系统,当环境处于缺氧状态时,植物体内氧气释放,导致水体溶解氧浓度和氧化还原电位升高^[26]。

可见,与藁草属草本植物相比,洞庭湖湿地柳属木本植物能促进土壤有机质与全氮含量的提高,增加土壤砂粒含量,减缓水流速度,提高水体氧化还原电位和溶解氧浓度等,是生态防护林建设的首选植物。鉴于洞庭湖湿地柳属木本植物逐渐减少,呈现出濒危及这一趋势^[10],建议在洞庭湖湿地,尤其是岸带与消落带营建柳属木本植物群落,这不仅可保存这一重要物种资源,而且可提高洞庭湖湿地的生态防护功能。

4 参考文献

- [1] 李忠武,郭旺,王晓燕等. 南方红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤有机碳分布特征及其与草本生物量的关系. 应用生态学报, 2012, **23**(4): 867-874.
- [2] 薛建辉,王智,吕祥生. 林木根系与土壤环境相互作用研究综述. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, **26**(3): 79-84.
- [3] Jiang L, Han X, Dong N *et al.* Plant species effects on soil carbon and nitrogen dynamics in a temperate steppe of northern China. *Plant Soil*, 2011, **346**: 331-347.
- [4] 李锡泉,吴敏,汤玉喜. 洞庭湖区防浪林分林冠结构的研究. 湖南林业科技, 2007, **34**(1): 5-7.
- [5] Amandine E, Lauric C, Eric R *et al.* Morphological diversity of plant barriers does not increase sediment retention in eroded marly gullies under ecological restoration. *Plant and Soil*, 2013, **370**: 653-669.
- [6] 谢永宏,王克林,任勃等. 洞庭湖生态环境的演变、问题及保护措施. 农业现代化研究, 2007, **28**(6): 677-681.
- [7] 李有志,张灿明,刘芬. 洞庭湖湿地水环境变化趋势及其成因分析. 生态环境学报, 2011, **20**(8/9): 1295-1300.
- [8] 侯志勇,陈心胜,谢永宏等. 洞庭湖湿地土壤种子库特征及其与地表植被的相关性. 湖泊科学, 2012, **24**(2): 287-293. DOI 10.18307/2012.0218.
- [9] 谢永宏,陈心胜. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响. 农业现代化研究, 2008, **29**(6): 684-687.
- [10] 李有志,李锡泉,张灿明. 洞庭湖湿地柳属木本植物变化趋势及成因. 湿地科学, 2014, **12**(5): 646-649.
- [11] 任勃,李峰,谢永宏等. 洞庭湖区不同退田还湖模式下湿地植被恢复特征的比较. 湖泊科学, 2011, **23**(3): 389-394. DOI 10.18307/2011.0311.
- [12] Cui M, Zhou JX, Huang B. Benefit evaluation of wetlands resource with different modes of protection and utilization in the Dongting Lake region. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, **13**: 2-17.
- [13] 杨刚,谢永宏,黄继山等. 洞庭湖区农田生态系统与自然生态系统中土壤养分空间分布格局的比较研究. 农业现代化研究, 2008, **29**(2): 213-215.
- [14] 李有志,谢永宏,李峰等. 洞庭湖湿地杨树人工林对土壤理化性质的影响. 农业现代化研究, 2014, **35**(2): 234-239.
- [15] 董国涛,杨胜天,白娟等. 海南岛中部山区热带天然林与人工橡胶林土壤特性对比研究. 热带地理, 2012, **32**(1): 11-15.
- [16] 邵学新,杨文英,吴明等. 杭州湾滨海湿地土壤有机碳含量及其分布格局. 应用生态学报, 2011, **22**(3): 658-664.
- [17] Turner BL, Engelbrecht BMJ. Soil organic phosphorus in lowland tropical rain forests. *Biogeochemistry*, 2011, **103**: 297-315.
- [18] Nicolardot B, Recous S, Mary B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant and Soil*, 2001, **228**: 83-103.
- [19] 袁正科. 洞庭湖湿地资源与环境. 长沙: 湖南师范大学出版社, 2008: 107-108.
- [20] 刘旭. 三峡库区消落带植物材料筛选研究[学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2008.
- [21] 吉红香,黄本胜,邱秀云等. 滩地植物对波浪变形及消浪效果影响试验研究. 广东水利水电, 2008, **36**(8): 14-18.
- [22] 张灿明,李锡泉,田育新等. 洞庭湖湿地天然川三蕊柳林群落学特征. 湖南林业科技, 2008, **35**(6): 11-12.
- [23] Ziegler AD, Negishi J, Sidle RC *et al.* Reduction of stream sediment concentration by a riparian buffer: filtering of road runoff in disturbed headwater basin of Montane Mainland Southeast Asia. *Journal of Environmental Quality*, 2006, **35**: 151-162.
- [24] Luoto TP, Nevalainen L, Kultti S *et al.* An evaluation of the influence of water depth and river inflow on quantitative Cladocera-based temperature and lake level inferences in a shallow boreal lake. *Hydrobiologia*, 2011, **676**: 143-154.
- [25] 陈鹭真,林鹏,王文卿. 红树植物淹水胁迫响应研究进展. 生态学报, 2006, **26**(2): 586-593.
- [26] 刘丽莹,付祥钊,罗志强等. 小叶榕气生根气体交换特征及影响因子研究. 热带亚热带植物学报, 2011, **19**(1): 45-50.