

洞庭湖湿地杨树人工林对土壤理化性质的影响

李有志^{1,2,3}, 谢永宏^{2,4**}, 李峰^{2,4}, 邹冬生¹

(1. 湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南长沙 410128; 2. 中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态过程重点实验室, 湖南长沙 410125; 3. 湖南省林业科学院, 湖南长沙 410004; 4. 中国科学院洞庭湖湿地生态系统观测研究站, 湖南岳阳 414005)

摘要:近几十年来的杨树大面积种植引发了人们对洞庭湖湿地生态系统生态环境恶化的担忧。本研究以 11 龄与 5 龄杨树林为对象, 以邻近的典型湿地植被南荻为对照, 拟阐明杨树人工林对土壤理化性质的影响。结果表明, 对土壤物理特性而言, 杨树的种植加速了土壤水分的散失, 对水分改变的趋势随林龄的增加而增大; 杨树人工林改变了土壤粒径组成, 致使粘粒与粉粒的降低、砂粒的增加, 砂粒化趋势随林龄的增大而增强; 对土壤化学特性而言, 杨树人工林导致土壤中层(20-60 cm)电导率的降低, 以及下层(60-100 cm)pH 值的升高, 对土壤全磷含量无明显影响, 总体上降低了土壤全钾含量; 引起土壤 40-60 cm 全氮含量的降低, 降低趋势随林龄的增加而增大。此外, 两种杨树林对土壤全碳的影响不同, 低林龄能降低土壤全碳含量, 而高林龄有利于碳的增加。可见, 大规模种植杨树导致土壤特性的重要改变必将将对湿地生态系统产生深远的影响。

关键词:洞庭湖; 杨树人工林; 土壤理化特性; 湿地; 林龄; 南荻

中图分类号: S714.3

文献标识码: B

文章编号: 1000-0275(2014)02-0234-05

Effects of Poplar Plantations on Soil Physical and Chemical Characteristics in Dongting Lake Wetlands

LI You-zhi^{1,2,3}, XIE Yong-hong^{2,4**}, LI Feng^{2,4}, ZOU Dong-sheng¹

(1. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Key Laboratory for Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan 410125, China; 3. Hunan Academy of Forestry, Changsha, Hunan 410004, China; 4. Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Observation and Research, Chinese Academy of Sciences, Yueyang, Hunan 414005, China)

Abstract: In recent decades, large-scale poplar plantations have caused great concerns about their negative effects on ecological environments in the Dongting Lake wetlands. In this paper, five and eleven years of poplars were chose to study the effects of poplar plantation on soil physical and chemical characteristics in comparison with adjacent *Miscanthus sacchariflorus*, an indigenous vegetation of the Dongting Lake. For soil physical properties, soil water content was lowest in *M. sacchariflorus* and highest in 11-year poplars. Poplar plantation changed soil particle-size distribution and decreased the percentage of clay and silt but increased that of sand. The increased percentage of sandy was increased with increased stand age. For soil chemical properties, poplar plantation decreased electrical conductivity in middle soil (20-60 cm), total potassium in all layers of soil, but increased pH in subsoil (60-100 cm). There was no difference in phosphorus among three vegetations. Additionally, poplar plantations also decreased total nitrogen in soil layer of 40-60 cm, and the effect was increased with increased stand age. Finally, both poplars have different effects on total carbon, resulting in a lower carbon in 5-year poplars but a higher in 11-year poplars compared to *M. sacchariflorus*. Therefore, the changes of soil properties in poplar plantation would have further effects on wetland ecosystems.

Key words: Dongting Lake; poplar plantation; soil physical and chemical characteristics; wetlands; stand age; *Miscanthus sacchariflorus*

洞庭湖为长江中下游最为典型的通江湖泊, 在维持区域生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种资源以及蓄洪防旱、涵养水源、降解污染等方面起着重要作用^[1,2]。洞庭湖以草本植物为主, 从空间格局上呈现出明显的与高程对应的带状分布特点, 对生境的维持与功能的维护具有重要意义^[3]。近 30 年来, 在全球气候变化和人为干扰的双重影响下, 洞庭湖湿地的植被格局发生了重大变化^[2,3], 其中最为引人关注的是杨树的大面积种植, 从上世纪 70 年代为了抑制洞庭湖区血吸虫危害开始引种种植, 致使洞庭湖湿地的林地面积由 1983 年的 87 km² 发展为 2007 年的 640 km²。种植区域也从堤垸转

向洲滩, 从高位洲滩转向中低位洲滩, 挤占了南荻 (*Miscanthus sacchariflorus*)、红穗薹草 (*Carex argyi*)、短尖薹草 (*Carex brevicuspis*) 等原生湿地植被的生存空间。洞庭湖区种植的主要为美洲黑杨无性系 (*Populus deltoides*), 生长快, 能耐一定时间和深度的水淹, 在空间、营养、光照等方面比其他湿地草本植物具有明显的竞争优势, 杨树的大面积入侵对本地区生态环境产生了重大的影响^[4]。

外来种对土壤理化性质的影响是导致植被组成、生物多样性及物质循环过程变化的基础, 是评价入侵植物生态学效益的基本方面, 也是当前湿地生态研究的热点之一^[5,6]。外来

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 31170342); 国家国际科技合作专项资助项目(编号: 2012DFB30030); 中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目(编号: KZCX2-YW-435); 国家林业局公益性行业专项(编号: 201104065)。

作者简介: 李有志(1981-), 男, 湖南邵东人, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事湿地生态研究; 通讯作者: 谢永宏(1973-), 男, 湖南永兴人, 博士, 研究员, 主要从事湿地生态研究。

收稿日期: 2013-09-12, **修回日期:** 2014-01-24

种可能对土壤水分、颗粒组成、营养成分等理化性质产生重要影响^[6-7]。如互花米草(*Spartina alterniflora*)的引种能改变土壤结构,增加土壤有机质含量^[8]。近20年来,国内外学者从地力维持、可持续经营的角度开展了一些关于杨树种植后土壤理化性质变化的初步研究,表明杨树种植导致了土壤水分的散失,土壤有效磷的降低及有效钾的升高^[9-11]。然而,相关研究主要集中于干旱与半干旱区域^[10,11],在原生湿地生态系统中大面积种植杨树除洞庭湖外,其他区域(包括鄱阳湖)却很少见,因此,洞庭湖为评价杨树人工林对湿地土壤理化性质影响的研究提供了理想区域。为此,本研究以不同林龄的杨树人工林为对象,以邻近的典型湿地原生植被南荻为对照,对土壤基本理化性质,包括含水量、pH值、电导率、粒径组成、全碳、全氮、全磷、全钾等进行比较分析,旨在阐明杨树人工林对洞庭湖湿地土壤理化性质的影响,为湿地系统的资源管理与规划提供理论依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

研究区域位于湖南省岳阳市君山区广兴洲镇长江防洪堤外滩地(29°32' N, 112°55' E),属于典型的亚热带湿润季风气候区。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℃。年降水量1200.7–1414.6 mm,年蒸发量1270 mm,年辐射总量418.7–455.6 kJ/cm²·a,

年平均风速2.0–3.0 m/s。海拔为28–32 m,水文季节差异明显,其中在雨季(6–8月),洪水淹没深度为1.0–3.5 m。在杨树引种前,优势植物为短尖藎草、南荻、芦苇(*Phragmites australis*)、藨草(*Phalaris ayuyldinacea*)、辣蓼(*Polygonum flaccidum*)、水芹(*Oenanthe javanica*)等,现杨树已成为该区域主要的优势植物。

1.2 野外取样

2011年10月,以2000年与2006年在滩地上直接扦插种植的杨树人工林为研究对象,以邻近的典型原生湿地植被南荻(每年11–12月被收割用于造纸)为对照,三种植物群落均分布于广兴洲镇长江防洪堤外滩地,地势平坦(高程为30 m),群落面积分别约为3×10⁴ m²、3×10⁴ m²、8×10⁴ m²,且相互相连,间隔距离约30–40 m,土壤均为沉积物,质地均一,构成了理想的起源基本一致的对照试验地。依据典型性和代表性原则,在杨树2000、杨树2006、南荻三种植物群落中央各设置3个重复样地,面积为20 m×30 m,对杨树密度、树高、胸径、郁闭度进行群落调查。在每个样地,采用五点取样法进行土壤取样^[12],用原状土壤取样器按0–20 cm、20–40 cm、40–60 cm、60–100 cm对土壤进行分层,采样过程中用全球定位系统对每个样点准确定位,记录经纬度及高程。将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。三种植被区域的基本特征见表1。

表1 三种植被区域的基本特征

植被类型	纬度	经度	林龄(y)	密度(株/hm ²)	株高(m)	胸径(cm)	郁闭度
杨树2000	29°32'38"	112°55'07"	11	833±13 a	20.1±2.9 c	18.4±0.5	0.69±0.4 b
杨树2006	29°32'41"	112°55'00"	5	1666±22 a	10.5±1.0 b	11.1±2.2	0.57±0.2 a
南荻	29°32'39"	112°54'52"	/	148000±23000 b	3.7±0.6 a	/	0.96±0.6 c

注:不同小写字母表示差异达到显著水平(P<0.05)。

1.3 室内分析

将带回实验室的新鲜土壤仔细除去可见动植物残体,混合均匀后将土样平均分为两份,一份为鲜样,用于测定土壤含水量;一份为干样,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、pH值与电导率的样品过2 mm孔径筛,用于测定全氮、全碳、全磷、全钾的土样过0.149 mm孔径筛,彻底混匀后备用。土壤含水量采用经典的称重法^[13];土壤粒径分析采用英国马尔文激光粒度分析仪(Mastersizer 2000)测定,依照土壤粒径分级标准将土壤分为9个等级,从小到大依次为粘粒(<1 μm)、细粉粒(1–5 μm)、中粉粒(5–10 μm)、粗粉粒(10–50 μm)、极细砂(50–100 μm)、细砂(100–250 μm)、中砂(250–500 μm)、粗砂(500–1000 μm)、极粗砂(1000–2000 μm);pH值采用pH计测定;电导率采用电导率仪测定;全氮与全碳用德国碳氮分析仪(Elementar Vario MAX CN)测定;全磷采用氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法测定,全钾采用氢氧化钠碱熔—火焰光度法测定^[14]。

1.4 数据处理

采用软件SPSS15.0对土壤含水量、粒径组成、电导率、pH、全碳、全氮等理化性质进行Tukey式多重比较,显著水平为0.05。其次,采用双变量分析法对土壤理化性质进行了相

关分析。

2 结果与分析

2.1 土壤物理性质

2.1.1 水分 杨树2000、杨树2006、南荻三种植物群落土壤含水量位于13.93%–29.20%之间(图1)。同一植被类型,不同土壤深度之间含水量差异显著,均以0–20 cm表层土壤含水量最高。以杨树2000为例,各层土壤含水量从小到大依次

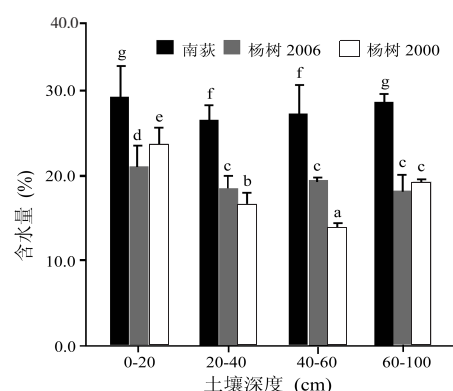


图1 三种植被类型土壤含水量

注:图中数据为平均数±标准差,不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同。

为:40-60(13.93%) < 20-40(16.70%) < 60-100(19.16%) < 0-20 cm(23.60%)。同一土壤深度下,各群落之间土壤含水量差异显著,均以南荻土壤含水量最高。以 0-20 cm 表层土为例,土壤含水量从小到大依次为:杨树 2006(21.00%) < 杨树 2000(23.60%) < 南荻(29.20%)。可见,杨树的种植导致了土壤含水量的降低,与低林龄相比,高林龄总体上加速了土壤水分的散失。

2.1.2 粒径组成及分布 三种植物群落土壤粒径的组成以细粉粒、中粉粒、粗粉粒为主,三者之和占土壤总量的 76.57%~90.78%(表 2)。多重比较结果表明,群落类型对粘粒、细粉粒、中粉粒、粗粉粒、极细砂、细砂、中砂 7 种粒度影响显著,

而对粗砂、极粗砂 2 种粒度影响不显著;土壤深度对粘粒、细粉粒、中粉粒、粗粉粒 4 种粒度影响显著,而对极细砂、细砂、中砂、粗砂、极粗砂 5 种粒度影响不显著。三种植物群落对土壤主要粒径的影响为:对粘粒、细粉粒、中粉粒三种粒径而言,群落之间 0-20 cm 与 20-40 cm 无显著差异,而 40-60 cm 与 60-100 cm 杨树均显著高于南荻;对粗粉粒、细粉粒与极细砂三种粒径而言,群落之间 0-20 cm、20-40 cm、60-100 cm 无显著差异,而 40-60 cm 杨树 2000 均显著高于南荻。可见,杨树的种植导致土壤粘粒、细粉粒与中粉粒的降低,粗粉粒、极细砂、细砂的增高;与低林龄相比,高林龄促进了土壤进一步砂粒化。

表 2 三种植被类型土壤粒径组成

植被类型	土层(cm)	粒径组成(±SD, %)								
		粘粒 (<1μm)	细粉粒 (1-5μm)	中粉粒 (5-10μm)	粗粉粒 (10-50μm)	极细砂 (50-100μm)	细砂 (100-250μm)	中砂 (250-500μm)	粗砂 (500-1000μm)	极粗砂 (1000-2000μm)
杨树 2000	0-20	3.88 ± 0.18abc	17.98 ± 0.78abc	17.31 ± 0.45ab	49.11 ± 1.12b	9.05 ± 0.45abc	2.08 ± 0.23abc	0.44 ± 0.11ab	0.17 ± 0.06a	0a
	20-40	4.10 ± 0.39abcd	17.55 ± 0.82ab	16.25 ± 1.26a	48.10 ± 2.08b	11.18 ± 1.97abc	2.38 ± 1.19abc	0.38 ± 0.27ab	0.08 ± 0.04a	0a
	40-60	3.80 ± 0.48ab	15.68 ± 3.62a	14.48 ± 3.93a	46.41 ± 6.89b	14.79 ± 8.88c	4.32 ± 2.09c	0.37 ± 0.31ab	0.14 ± 0.21a	0a
	60-100	4.06 ± 0.08abcd	17.55 ± 1.02ab	16.60 ± 1.70a	48.70 ± 1.88b	10.54 ± 3.37abc	2.06 ± 1.09abc	0.38 ± 0.14ab	0.10 ± 0.05a	0a
	合计	15.84	68.76	64.64	192.32	45.56	10.84	1.57	0.49	0
杨树 2006	0-20	3.98 ± 0.47abcd	23.33 ± 1.50def	20.69 ± 0.23bc	43.70 ± 1.37ab	6.19 ± 0.52ab	1.54 ± 0.21abc	0.46 ± 0.05ab	0.12 ± 0.01a	0a
	20-40	4.77 ± 0.24cde	20.87 ± 0.28bcd	17.95 ± 0.32ab	45.66 ± 0.66ab	9.25 ± 0.21abc	1.45 ± 0.16abc	0.05 ± 0.09a	0	0a
	40-60	3.63 ± 0.25a	17.32 ± 1.08ab	15.99 ± 0.92a	44.63 ± 0.68ab	13.75 ± 1.85bc	3.80 ± 1.22bc	0.58 ± 0.08ab	0.28 ± 0.23a	0.02 ± 0.02a
	60-100	4.90 ± 0.31de	21.55 ± 0.75cde	17.94 ± 0.65ab	44.29 ± 1.23ab	9.20 ± 0.78abc	1.73 ± 0.45abc	0.25 ± 0.26ab	0.15 ± 0.17a	0a
	合计	18.28	83.07	72.57	177.28	38.39	8.52	1.34	0.55	0.02
南荻	0-20	4.58 ± 0.41bcde	20.52 ± 1.14bcd	18.32 ± 0.20ab	45.04 ± 1.45ab	8.48 ± 0.10abc	2.20 ± 0.21abc	0.66 ± 0.03b	0.20 ± 0.07a	0a
	20-40	4.67 ± 0.12bcde	20.00 ± 0.41bcd	18.03 ± 0.17ab	47.47 ± 0.40b	8.16 ± 0.24abc	1.20 ± 0.01ab	0.38 ± 0.07ab	0.05 ± 0.02a	0a
	40-60	5.89 ± 0.16f	26.40 ± 0.76f	22.56 ± 0.81c	39.62 ± 0.70a	4.32 ± 0.62ab	0.91 ± 0.21ab	0.49 ± 0.14ab	0.11 ± 0.13a	0a
	60-100	5.23 ± 0.57ef	24.76 ± 1.31ef	23.40 ± 0.62c	42.62 ± 1.47ab	3.26 ± 0.04ab	0.52 ± 0.06a	0.21 ± 0.13ab	0a	0a
	合计	20.47	91.68	82.31	174.75	24.22	4.83	1.74	0.36	0

注:表中数据为平均数 ± 标准差,不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

2.2 土壤化学性质

2.2.1 电导率与 pH 三种植物群落土壤电导率位于 146.67-317.00 μS/cm 之间(图 2)。对同一群落类型而言,四种土壤深度之间电导率差异显著,其中南荻随着土壤深度的增大呈现出先升高,后降低的变化趋势;杨树 2000 呈现出先升高,后降低,再升高的变化趋势;杨树 2006 则呈现出先升高,后平

稳的变化趋势。同一土壤深度而言,三种植物群落之间土壤电导率差异显著,其中 0-20 cm 土层,杨树 2000 > 南荻 > 杨树 2006;20-40 cm 与 40-60 cm 土层,南荻 > 两杨树群落,60-100 cm,杨树 2006 > 南荻 > 杨树 2000。可见,杨树种植导致 20-60 cm 土层电导率的降低。

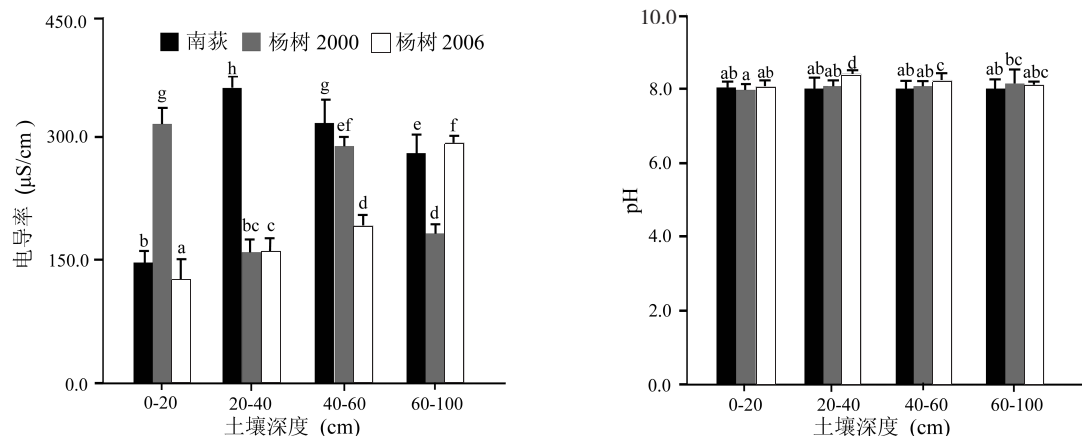


图 2 三种植被类型土壤电导率与 pH

三种植被类型土壤 pH 值位于 7.95-8.38 之间(图 2),呈弱碱性。同一植物群落而言,四种土壤深度之间 pH 变化明显,其中杨树 2000 中,0-20 cm、20-40 cm、40-60 cm 三层土壤 pH 值无显著变化,而 60-100 cm 显著增大;杨树 2006 中,

20-40 cm 土层 pH 值显著高于其余三层;南荻四层土壤之间无显著差异。同一土壤深度而言,三种植物群落之间 pH 也差异显著,其中 20-40 cm、40-60 cm 两层土壤 pH 值均表现出杨树 2006 > 杨树 2000 与南荻,60-100 cm 土层为两杨树 >

南荻,而0-20 cm 土层三种群落之间无显著差异。因此认为,杨树种植导致土壤下层(60-100 cm)pH 值的升高。

2.2.2 全碳与全氮 同一植物群落下,不同土壤深度之间全碳含量差异显著,其中杨树 2000 群落中土壤碳含量为0-20 cm > 60-100 cm > 20-40 cm 与 40-60 cm(图3);杨树 2006 群落中,土壤全碳含量为0-20 cm > 40-60 cm > 20-40 cm > 60-100 cm;南荻群落中,土壤全碳含量为0-20 cm > 20-40

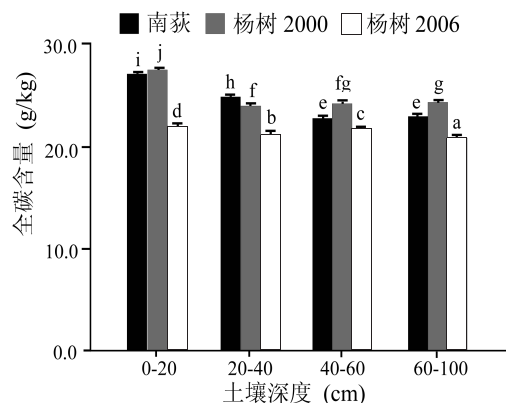


图3 三种植被类型土壤全碳与全氮

此外,同一植物群落下,四种土壤深度之间全氮含量差异显著(图3),其中两杨树群落土壤全氮含量为0-20 cm 高于其余三层,而南荻群落为0-20 cm > 40-60 cm 和 60-100 cm > 20-40 cm。同一土壤深度下,三种植物群落之间土壤全氮含量变化因土层深度而异,其中0-20 cm 土层,两杨树群落与南荻无显著差异,而杨树 2000 显著高于杨树 2006;40-60 cm 土层,南荻显著高于两杨树群落,而20-40 cm 和

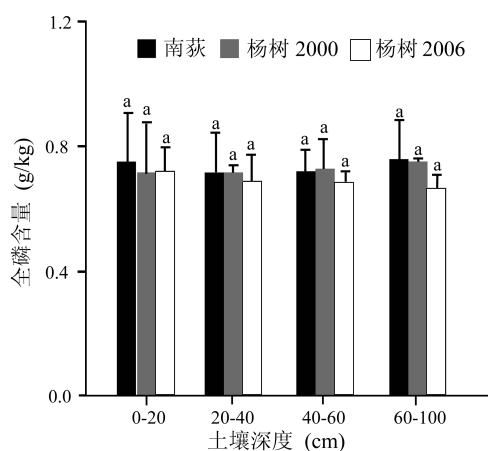
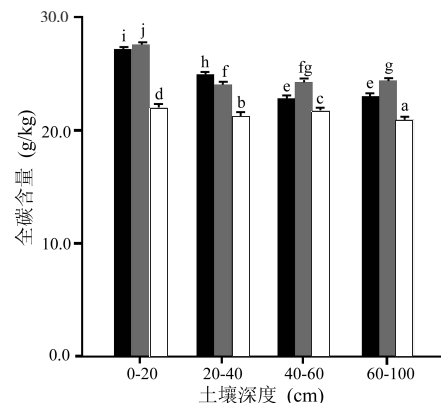


图4 三种植被类型土壤全磷与全钾

此外,同一植物群落下,四种土壤深度之间土壤全钾含量差异显著,其中杨树 2000 中,20-40 cm 显著高于 60-100 cm 外,其余各层之间无显著差异(图4);杨树 2006 中,0-20 cm 和 20-40 cm 显著高于 40-60 cm 和 60-100 cm;南荻群落中,而0-20 cm 和 20-40 cm 显著低于 40-60 cm 和 60-100 cm。同一土壤深度下,三种植物群落之间全钾含量也差异显著,其中0-20 cm、20-40 cm、40-60 cm 三层土壤中,南荻全钾含量显著低于两杨树群落,而60-100 cm 土层中,南荻显著高于杨树 2000,两杨树群落之间无显著差异。可见,杨树的种植总体上导致土壤全钾含量的降低,而林龄对全钾含量无明

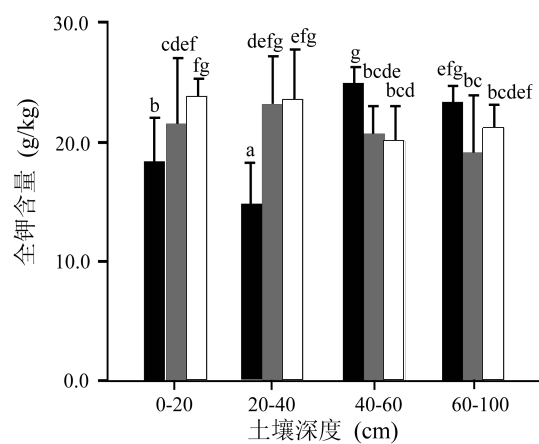
显影响。

cm > 40-60 cm 与 60-100 cm。同一土壤深度下,三种植物群落之间全碳含量也差异显著,其中0-20 cm、40-60 cm、60-100 cm 三层土壤全碳含量均表现出杨树 2000 > 南荻 > 杨树 2006,而20-40 cm 层为南荻 > 杨树 2000 > 杨树 2006。可见,三种植物群落土壤全碳含量以0-20 cm 表层土最高,低林龄能降低土壤全碳含量,而高林龄有利于土壤全碳含量的增加。



60-100 cm 两层,三种植物群落之间无显著差异。可见,三种植物群落全氮含量总体上呈现出随土壤深度增大而明显降低的趋势,且杨树的种植导致土壤40-60 cm 全氮含量的降低,降低趋势随林龄的增加而增大。

2.2.3 全磷与全钾 土壤全磷含量位于0.66-0.76 g/kg 之间,三种植物群落在四种土壤深度下,全磷含量无显著差异,表明杨树的栽种对土壤全磷含量无明显影响(图4)。



显影响。

2.3 土壤理化性质相关性

土壤含水量与粘粒、细粉粒、中粉粒、全碳、全氮呈显著正相关(表3),与pH、细砂、极细砂呈显著负相关;pH与电导率、全碳、全氮呈显著负相关;电导率仅与pH呈显著负相关,而与其他理化参数无相关性;土壤各粒径组成相关性差异明显,以粘粒为例,与含水量、细粉粒、中粉粒、全钾呈显著正相关,与粗粉粒、极细砂、细砂呈显著负相关;土壤营养元素全碳与全氮、含水量、粗粉粒、中砂呈显著正相关,与pH、全钾呈显著负相关;全氮与含水量、中粉粒、全碳呈显著正相关,

表 3 三种植被类型土壤理化性质相关性

参数	含水量	pH	电导率	粘粒	细粉粒	中粉粒	粗粉粒	极细砂	细砂	中砂	粗砂	极粗砂	全碳	全氮	全磷	全钾
含水量	1.00															
pH	-0.40*	1.00														
电导率	0.25	-0.45**	1.00													
粘粒	0.51**	-0.13	0.18	1.00												
细粉粒	0.59**	-0.12	0.13	0.94**	1.00											
中粉粒	0.65**	-0.19	0.12	0.77**	0.93**	1.00										
粗粉粒	-0.30	0.12	-0.04	-0.61**	-0.56**	-0.36*	1.00									
极细砂	-0.62**	0.17	-0.14	-0.73**	-0.87**	-0.95**	0.10	1.00								
细砂	-0.41*	-0.01	-0.11	-0.56**	-0.68**	-0.77**	-0.22	0.92**	1.00							
中砂	0.20	-0.29	-0.08	-0.11	-0.19	-0.28	-0.36*	0.36*	0.56**	1.00						
粗砂	-0.09	-0.01	-0.09	-0.29	-0.32	-0.41*	-0.20	0.48**	0.53**	0.63*	1.00					
极粗砂	-0.12	-0.28	-0.07	-0.17	-0.11	-0.11	-0.01	0.15	0.08	0.18	0.66**	1.00				
全碳	0.37*	-0.50**	0.16	-0.31	-0.32	-0.19	0.43*	0.05	0.07	0.35*	0.12	-0.19	1.00			
全氮	0.55**	-0.34*	-0.07	0.17	0.31	0.39*	-0.08	-0.41*	-0.24	0.22	0.06	-0.16	0.47**	1.00		
全磷	0.22	-0.29	-0.05	-0.05	0.02	0.19	0.20	-0.21	-0.21	-0.01	-0.15	-0.08	0.29	0.25	1.00	
全钾	-0.12	0.04	-0.22	0.35*	0.40*	0.37*	0.37*	-0.27	-0.14	-0.21	-0.21	-0.11	-0.39*	0.12	0.23	1.00

注: P < 0.05; ** P < 0.01。

与 pH、极细砂呈显著负相关;全磷与其他理化性质相关性均不显著;全钾与粘粒、细粉粒、中粉粒、粗粉粒呈显著正相关,与全碳呈显著负相关,而与其他理化性质相关性不显著。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1)对土壤物理性质而言,杨树 2000、杨树 2006、南荻三种植被群落土壤含水量均以 0-20 cm 表层土最高,杨树的种植导致了土壤含水量的降低,与低林龄相比,高林龄总体上加速了土壤水分的散失;杨树人工林改变了土壤粒径组成,致使粘粒与粉粒的降低、砂粒的增加,砂粒化趋势随林龄的增大而增强。

(2)对土壤化学性质而言,杨树的种植引起电导率的降低与 pH 值的升高,导致土壤全氮与全钾含量的降低;而杨树人工林对土壤全碳含量产生不同的影响,低林龄能降低土壤全碳,而高林龄有利于碳的积累。

3.2 讨论

水是湿地关键性的生态环境因子,对生态系统的维持具有重要意义^[15,16]。本研究结果表明,杨树人工林土壤含水量显著低于原生植被南荻。可见,杨树的种植加速了土壤水分的散失,可能进一步导致湿地的旱化。相关研究也表明,在干旱半干旱地区,大规模杨树的栽种将引起土壤水分的过度散失,干旱化趋势加剧^[10,17]。有学者认为,在年降雨量小于 400-500 mm 的地区,不宜种植杨树^[11]。植被对土壤水分的影响与植物蒸腾作用密切相关,因植物蒸腾作用散失的水分将占地面总蒸发散的 60%以上^[18,19]。吴立勋等^[9]的研究也表明,当林地叶面积指数为 4-5 时,每平方米林地每日的蒸腾量达 17.6-22.0 L,折算水柱高度为 1.8-2.2cm,对地下水位有显著的降低作用。高林龄所形成的高叶面积指数导致了土壤水分降低趋势随林龄的增大而增强^[20]。其次,土壤物理结构也是影响土壤水分的重要因素^[21]。作为构成土壤结构体的基本单元,粒径组成能影响土壤的持水性与渗水性,从而影响土壤水分的平衡^[22]。本研究结果表明,杨树的种植导致了土壤粘粒与粉粒的降低、砂粒的增加,以及土壤含水量与粘粒、粉粒呈正相

关,与砂粒呈负相关。因此,杨树种植导致土壤粒径组成的变化可能是导致土壤含水量降低的又一主要原因。对由同一母质发育而成的土壤,粒径组成主要受到土地利用方式的影响^[23]。研究区域的土壤均由洪水冲击而成,因此粒径组成可能主要受植被类型、人为干扰的影响。由于杨树为速生型乔木,根系深,能分泌较多的代谢物质进入土壤而改变土壤的物理性质,加之人类对杨树林地的过度干扰,导致黏粒流失,土壤砂砾化^[24]。高林龄人工林形成的庞大根系所产生的大量代谢物导致土壤砂粒趋势随林龄增加而增强^[24]。

养分是土壤重要的化学特性之一,是决定地力的主要因素^[25]。在林地中,土壤养分主要受到所归还凋落物质量的影响,由于大部分植物凋落物主要分布在表层,通过微生物的分解过程释放养分再向下运输,因此,土壤表层养分一般高于中下层^[26]。本研究结果也表明,三种植物群落土壤表层(0-20 cm)碳氮含量均显著高于中下层。对全碳含量而言,南荻总体上显著高于杨树 2006,低于杨树 2000,对全钾而言,南荻总体上高于两杨树群落,产生这种结果可能与植物的养分归还能力相关。南荻作为造纸的原材料,地上部分被割走,地下根茎成为了土壤营养的重要补给,研究表明,10 月份南荻地下部分生物量高达 2.1 kg/m²,占总生物量的 25%以上^[27],是土壤养分的主要补充。杨树作为落叶树种,年凋落物量大,为 1.12-1.38 kg/m²,且随着林龄的增大而增多^[28]。因此,植物物种特性的不同导致了土壤养分含量的差异。其次,对两杨树群落而言,杨树 2000 密度小(833 株/hm²),植株生长快,凋落物量大,而杨树 2006 密度大(1666 株/hm²),生长缓慢,凋落物相对较小,从而导致杨树 2000 土壤全碳含量明显高于杨树 2006,因此,杨树栽种方式也是影响土壤特性的重要方面。对全氮而言,杨树导致土壤中层土壤全氮显著低于南荻,且降低趋势随林龄的增加而增大,产生这种结果的可能原因是:①南荻根系相对浅,主要分布于土壤中层,是土壤氮的有力补给;②杨树群落中土壤水分含量低,有利于有机氮的矿化与分解^[29]。其次,杨树种植导致土壤中层电导率的降低以及下层 pH 值的升高。对电导率而言,与土壤盐分含量密切相关,由于南荻的根系主要分布于土壤中层,所分泌的代谢物

质多,从而导致南获土壤中电导率高于杨树。对 pH 值而言,通常与土壤有机质含量呈负相关,即随着有机质含量的升高而降低^[30],本研究结果也表明两者呈极显著负相关($r^2=-0.50$)。

参考文献:

- [1] 谢永宏,陈心胜.三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响[J].农业现代化研究,2008,29(6):684-687.
- [2] 侯志勇,谢永宏,陈心胜,等.洞庭湖湿地的外来入侵植物研究[J].农业现代化研究,2011,32(6):744-747.
- [3] 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[J].湖泊科学,2012,24(2):287-293.
- [4] 吴立勋.洞庭湖区杨树造林及其对生态环境的影响[J].中国林业产业,2006,3(11):27-29,32.
- [5] Boxell J, Drohan P J. Surface soil physical and hydrological characteristics in Bromus tectorum L. (cheatgrass) versus Artemisia tridentata Nutt. (big sagebrush) habitat [J]. Geoderma, 2009, 149 (3-4): 305-311.
- [6] Jackson R B, Jobb á gy E G, Avissar R, et al. Trading water for carbon with biological carbon sequestration [J]. Science, 2005, 310 (5756): 1944-1947.
- [7] Berthrong S T, Jobb á gy E G, Jackson R B. A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, carbon and nitrogen with afforestation[J]. Ecology Applications, 2009, 19(8): 2228-2241.
- [8] 曾艳,田广红,陈蕾伊,等.互花米草入侵对土壤生态系统的影响[J].生态学杂志,2011,30(9):2080-2087.
- [9] 朱延林,俞超,赵蓬晖.杨树人工林土壤生态环境分析[J].上海农业学报,2010,26(2):53-57.
- [10] Liang Z S, Yang J W, Shao H B, et al. Investigation on water consumption characteristics and water use efficiency of poplar under soil water deficits on the Loess Plateau[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2006, 53(1): 23-28.
- [11] Wilske B, Lu N, Wei L, et al. Poplar plantation has the potential to alter the water balance in semiarid Inner Mongolia[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(8): 2762-2770.
- [12] Pobel D, Robin J, Humbert J F. Influence of sampling strategies on the monitoring of cyanobacteria in shallow lakes: Lessons from a case study in France[J]. Water Research, 2011, 45(3): 1005-1014.
- [13] Dobriyal P, Qureshi A, Badola R, et al. A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management [J]. Journal of Hydrology, 2012, 458-459(21): 110-117.
- [14] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996:38-40.
- [15] Jutras S, Plamondon A P, Hökkä H, et al. Water table changes following precommercial thinning on post-harvest drained wetlands [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 235(1-3): 252-259.
- [16] Pezeshki S R, Li S, Shields J F D, et al. Factors governing survival of black willow (*Salix nigra*) cuttings in a streambank restoration project[J]. Ecological Engineering, 2007, 29(1): 56-65.
- [17] 杨建伟,梁宗锁,韩蕊莲,等.不同干旱土壤条件下杨树的耗水规律及水分利用效率研究[J].植物生态学报,2004,28(5):630-636.
- [18] Arain M A, Black T A, Barr A G. Year-round observations of the energy and water vapor fluxes above a boreal black spruce forest[J]. Hydrological Process, 2003, 17(18): 3581-3600.
- [19] Rollenbeck R, Anhu D. Characteristics of the water and energy balance in an Amazonian lowland rainforest in Venezuela and the impact of the ENSO-cycle[J]. Journal of Hydrology, 2007, 337(3-4): 377-390.
- [20] Köstner B, Falge E, Tenhunen T D. Age-related effects on leaf area/sapwood area relationships, canopy transpiration and carbon gain of Norway spruce stands (*Picea abies*) in the Fichtelgebirge, Germany[J]. Tree Physiology, 2002, 22(8): 567-574.
- [21] 熊远清,吴鹏飞,张洪芝,等.若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能[J].生态学报,2011,31(19):5780-5788.
- [22] 谢贤健,韦方强.泥石流频发区不同盖度草地土壤颗粒的分形特征[J].水土保持学报,2011,25(4):202-206.
- [23] 杨刚,谢永宏,陈心胜,等.退田还湖后洞庭湖区土壤颗粒组成和化学特性的变化[J].生态学报,2009,29(12):6392-6400.
- [24] Børja I, Dewit H A, Steffenrem A, et al. Stand age and fine root biomass, distribution and morphology in a Norway spruce chronosequence in southeast Norway [J]. Tree Physiology, 2008, 28 (5): 773-784.
- [25] Hope G D. Changes in soil properties, tree growth, and nutrition over a period of 10 years after stump removal and scarification on moderately coarse soils in interior British Columbia [J]. Forest Ecology and Management, 2007, 242(2-3): 625-635.
- [26] 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[J].应用生态学报,2011,22(3):658-664.
- [27] 胥肖肖,徐宾铎,任一平,等.青岛大沽河河口湿地芦苇的生长及生物量动态研究[J].中国海洋大学学报,2011,41(1):27-33.
- [28] 万猛,田大伦,樊巍.豫东平原杨—农复合系统凋落物的数量、组成及其动态[J].生态学报,2009,29(5):2507-2513.
- [29] 孙志高,刘景双,丁君宝,等.模拟湿地水分变化对小叶章枯落物分解及氮动态的影响[J].环境科学,2008,29(8):2081-2093.
- [30] Abbasi M K, Zafar M, Khan S R. Influence of different land-cover types on the changes of selected soil properties in the mountain region of Rawalakot Azad Jammu and Kashmir [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2007, 78(1): 97-110.