

# 榆林市绿地生态系统土壤水文调控过程及 土壤微生物群落特征

李晨

(西京学院, 西安 710123)

**摘要:**为了探究榆林市绿地系统生态水文效应以及绿地土壤微生物群落特征,调查研究了榆林市东沙生态公园绿地土壤理化性质和养分状况,分析了土壤水文调节功能以及土壤微生物群落丰富度、多样性和均匀度,检测分析了绿地不同区域枯枝落物的持水能力和持水过程。结果显示:(1)东沙生态公园不同区域土壤理化性质与营养状况差别较大,土壤容重变化范围为 $0.41\sim 1.34\text{ g/cm}^3$ ,总孔隙度变化范围为 $42\%\sim 71\%$ ,有机质、全氮、全磷、全钾变化范围分别是 $9.93\sim 17.69\text{ g/kg}$ , $0.97\sim 2.37\text{ g/kg}$ , $2.31\sim 6.67\text{ g/kg}$ , $23.6\sim 58.12\text{ g/kg}$ ;(2)东沙生态公园不同区域绿地土壤微生物群落特征不一致,停车场区和公园干扰区绿地人流量大,显著影响该区域土壤微生物的丰富度和多样性,公园等人员较少干扰绿地土壤中微生物丰富度和多样性较高;(3)单一因素差异性分析和PCA分析表明东沙生态公园绿地土壤微生物群落结构与是否晴/雨天无关。(4)东沙生态公园不同区域绿地枯枝落物储量具有显著差异性,停车场区和公园干扰区绿地表层枯枝落物厚度最大,公园附近绿地枯枝落物厚度最小,并且枯落物储量也具有相似的规律。综上所述,城市绿地生态水文的优良,土壤和表层枯落物尤为重要,为了防治城市内涝,需要加强城市绿地土壤环境的保护,以及减少人为对绿地的干扰。

**关键词:**绿地系统;生态水文;土壤微生物;持水能力

中图分类号:S158.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0080-06

## Ecological Hydrology and Characteristics of Microbial Community of Soil in Green Space System of Yulin City

LI Chen

(Xijing University, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** To explore the Yulin City green space system of effects of ecological hydrology and characteristics of microbial community, soil physical and chemical properties and nutrient status had been investigated in Dongsha Park, the adjusting function of soil hydrological and richness, diversity and evenness of soil microbial community had been analyzed, water-holding capacity and retention of litter mass had been tested. Results show that:(1) there is a greater difference of nutrition and physical and chemical properties of soils in different areas of Dongsha Park, the bulk densities range from  $0.41\text{ g/cm}^3$  to  $1.34\text{ g/cm}^3$ , the total porosity variation is ranges from  $42\%$  to  $71\%$ , the contents of organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium were  $9.93\sim 17.69\text{ g/kg}$ ,  $0.97\sim 2.37\text{ g/kg}$ ,  $2.31\sim 6.67\text{ g/kg}$ ,  $23.6\sim 58.12\text{ g/kg}$ , respectively; (2) characteristics of microbial community was in conformity, tourists area in Dongsha Park significantly impact on the abundance and diversity of soil, the abundance and diversity of Dongsha Park with no disturbance area was higher; (3) soil microbial community structure has nothing to do with sunny or rainy days; (4) reserves of litter mass of different areas have significant differences in the green space of Dongsha Park, the thickness of litter mass was the largest in the green space surface of parking area and disturbance area, the thickness of litter mass was the minimum in pavement, reserves also had similar discipline. To sum up, it is important for favorable city ecology to maintain soil and litter mass, it needs to strengthen the protection of environment, and reduce human interference and damage of green space.

**Keywords:** green space system; ecological hydrology; soil microbes; water-holding capacity

随着城市生态概念的发展,研究城市绿地生态系统具有重要的意义和价值,然而工业化给城市绿地生态系统环境造成了潜在的威胁,水与社会、水与生态、水与环境之间的关系越来越复杂,为了解决自然变化和人类活动影响下的水问题,出现了城市水文学与生态学、环境学以及社会科学的交叉研究<sup>[1]</sup>。广义的生态水文是指在一系列环境条件下研究干旱地区、湿地、森林、河流和湖泊等对象的生态与水文相互作用的过程<sup>[2]</sup>,其研究的是陆地表层系统生态格局与生态过程变化的水文学机理,揭示陆生环境和水生环境植物与水的相互作用关系,解释水循环过程相关的生态环境变化的原因<sup>[3]</sup>。城市绿地作为“城市的肺”,在一定的时空范围内发挥重要的生态效应,如维持碳氧平衡、杀菌抑菌、合成有机物、保持生物多样性、涵养水源、调节气候、防止水土流失、保护土壤与维持土壤肥力、净化环境、贮存必要的营养元素、促进元素循环、维持大气化学的平衡与稳定等<sup>[4-6]</sup>。作为改善和美化城市生态环境的重要载体,城市绿地生态系统由各类草地、耕地、林地、公园等相互联系组合,具有一定的自净能力、自动调节能力和生命力,并且在调节城市生态环境平衡中发挥着重要作用<sup>[6]</sup>;近年来大量的研究表明,城市绿地生态系统可作为研究城市对全球气候变化的响应并预测未来城市生态系统的发展趋势<sup>[7]</sup>,通过对城市绿地生态系统土壤水文及微生物群落特征的研究,能够预测和评估绿地生态系统在城市中所发挥的作用<sup>[7]</sup>;然而,我国城市绿地生态系统关于这方面的研究仍然处于萌芽阶段;欧美等国家已有大量关于城市绿地生态系统功能的研究,并且在其相关领域也取得了一定的成果,发展中国家也在逐步重视城市绿地生态系统对于城市生态系统的重要性;由此可知,我国城市绿地生态系统发挥着重要的理论和实践意义。

土壤是复杂的自然综合体,在生态系统的物质循环和能量流动方面起着重要作用<sup>[7]</sup>。它作为 SPAC (土壤—植被—大气连续体)系统是主要蓄存库、调节器,直接影响着生态系统的水文调节过程<sup>[8-9]</sup>。土壤物理性质是结构状况、持水性能、养分状况、渗透能力及保水能力的综合反映,影响土壤中的水分转移方式和途径,决定土壤层水文生态功能<sup>[10-11]</sup>。土壤微生物参与土壤有机质分解、腐殖质形成、土壤养分转化和循环等过程,土壤微生物群落结构组成及活性变化是衡量土壤质量、维持土壤肥力和作物生产力的一个重要指标<sup>[12]</sup>。土壤微生物群落影响了土壤的物理化学结构,一定程度上增加了城市绿地系统区域不透水性表面面积及增强了土壤的滞水能力,改变了生态水文效应,增加了城市绿地的水文效益。目前大多数学者单方面关注城市绿地土壤—土壤微生物的生态效应,而较少研究水文—土壤—微生物三者之间的循环关

联性。鉴于此,本文通过对榆林市公园绿地系统下垫面以及土壤层生态水文效应、土壤理化性状以及土壤微生物群落特征的研究,以期阐明水文—土壤—微生物之间的关联性,为城市绿地系统水源涵养功能的进一步研究提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

榆林市位于陕西省最北部,历史悠久、文化底蕴深厚,是我国著名的革命老区,它地处中国中西部结合地带,滔滔黄河环绕而过,万里长城横跨东西,东望山西,西连宁夏、甘肃,南邻延安,北接内蒙。全市辖 1 区 11 县,总面积 43 578 km<sup>2</sup>,人口 353 万,其中农业人口 292 万。地貌大体以古长城为界,北部为风沙草滩区,南部为黄土丘陵沟壑区,分别占总面积的 42% 和 58%。在这片广阔的土地上,农牧资源十分丰富,羊、枣、薯、豆等农副产品,质地优良、享誉国内外,也是全国生态环境建设重点地区。属于暖温带半湿润的季风气候,气候温和,四季分明,雨量适中,春季温暖干燥多风,夏季炎热多雨,秋季凉爽,冬季寒冷多雾,无霜期 227 d,年平均气温 13.6℃,年极端最低气温 -20.6℃,年极端最高气温 43.4℃,年降水量 507.7~719.8 mm,集中在 7—9 月。年平均湿度 69.6%,年平均降雪日为 13.8 d,年日照时数 1 983~2 267 h。土壤类型复杂多样,多由石灰岩、玄页岩、武岩等成土母岩发育而成,主要有棕壤、红壤、石灰岩土、水稻土、黄棕壤、沼泽土等,多呈弱酸性,红壤为基带土壤。经过多年建设大部分区域均进行了绿化,人均公共绿地面积大约 6.23 m<sup>2</sup>,建成区绿地率约 18.56%,建成区绿化覆盖率 26.78%。

### 1.2 样品采集

于 2015 年 8 月份的晴天进行采样标记,榆林市东沙生态公园设置 5 个监测点,分别为 T<sub>1</sub>(东沙生态公园中心区)、T<sub>2</sub>(公园停车场区)、T<sub>3</sub>(公园干扰区)、T<sub>4</sub>(公园周边区域)和 T<sub>5</sub>(公园绿地),以上每个样地重复 3 次,每个样地视地形变化设 1 m×1 m=1 m<sup>2</sup> 样方 5 个,合计样方 5×5×3=75,调查样方内枯落物层厚度及蓄积量,钢板尺对枯落物的未分解层厚度、半分解层厚度进行测量并记录,同时用尼龙网兜收集样方内的未分解层和半分解层枯落物,带回实验室称重,风干后再称重,以干物质重计算蓄积量。在每个样方内用五点取样法取 0—10 cm 土层的土壤(分为 3 份)带回实验室,除去土壤中杂质以及表层枯枝落物,分装在塑料样品袋中;同时用环刀和小铝盒测定每个样方的容重和含水率。所取的三份样品一份进行土壤水文参数的测定;一份自然风干后测定土

壤养分和理化性质,一份土壤-80℃保存,测定土壤微生物群落特征。于2015年8月份的雨天按照上述土壤微生物的采样方法进行相同的土壤采样测定晴天和雨天土壤微生物群落特征差异。

### 1.3 研究方法

1.3.1 土壤水文物理参数的测定 采用烘干法和浸水法测定土壤的自然含水量、土壤的容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度等各项指标,土壤入渗采用环刀法浸水法<sup>[13]</sup>。

土壤持水性能的测定<sup>[14]</sup>:

土壤最大持水量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ) =  $10000 \text{ m}^2 \times$  土壤总孔隙度%  $\times$  土层厚度(m)

土壤有效持水量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ) =  $10000 \text{ m}^2 \times$  土壤非毛管孔隙度%  $\times$  土层厚度(m)

土壤持水量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ) =  $10000 \times$  土壤非毛管孔隙度%  $\times$  土层厚度(m)

1.3.2 枯落物储量和持水能力的测定 枯落物自然状态下称重  $w_1$ ,然后将枯落物样品自然状态下装入尼龙袋浸水24 h后取出,静放至无水滴滴下时称重  $w_2$ ,于75℃下烘干至恒重,冷却后称重  $w_3$ ,计算枯落物储量,自然持水率、最大持水率和最大持水量<sup>[13,15]</sup>。

枯落物持水量和吸水速率的测定采用室内浸泡法:分别测定其在浸泡1,2,4,6,12,18,24 h的重量变化(以无水滴滴下为标准,笔者在进行预试验时发现36 h时的持水量与24 h时的持水量十分相近,几乎保持不变,因此将24 h时的持水量作为最大持水量),重复3次,研究其吸水速度和吸水过程。每次取出称重后所得的枯落物湿重与其风干重的差值,即为枯落物不同浸水时间的持水量。

通常采用有效拦蓄量来估算枯落物对降雨的实际拦蓄量,具体计算公式如下<sup>[16-17]</sup>:

$$P = 0.85R_m - R_0$$

$$M = (0.85R_m - R_0) \times W$$

枯落物最大持水率 = (浸泡后的枯落物质量 - 干质量) / 干质量  $\times 100\%$

枯落物有效拦蓄量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ) =  $(0.85R_m - R_0) \times M$

式中: $P$ 为有效拦蓄率(%); $R_m$ 为最大持水率(%); $R_0$ 为自然持水率(%); $M$ 为有效拦蓄量( $\text{t}/\text{hm}^2$ ); $W$ 为枯落物储量( $\text{t}/\text{hm}^2$ )。

1.3.3 土壤养分及理化性质测定 土壤样品经自然风干20 d后,pH值采用电极电位法(1:2.5土水比);土壤有机碳采用重铬酸钾氧化外加加热法;土壤全磷用NaOH熔融—钼锑抗比色法;土壤全氮用全自动凯氏定氮法;全钾采用火焰分光光度法<sup>[18]</sup>。

1.3.4 土壤微生物多样性测定 土壤微生物群落特

征分析采用PLFA(磷脂脂肪酸)方法测定<sup>[19]</sup>。利用PLFA生物标记的丰富度指数(SR)、Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )和均匀度指数( $J$ )来评估东沙生态公园绿地土壤微生物群落特征。具体计算公式如下:

$$SR = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

$$H' = - \sum P_i \times \ln P_i \quad (2)$$

$$P_i = N_i / N \quad (3)$$

$$J = H' / H'_{\max} \quad (4)$$

$$H'_{\max} = \ln S \quad (5)$$

式中: $S$ 为每个样品中出现的磷脂脂肪酸种类数; $N_i$ 为第*i*种磷脂脂肪酸含量; $N$ 为每个样品中所有磷脂脂肪酸的含量总和。

用Excel 2003软件进行数据统计,SPSS 20.0软件进行数据分析以及PCA统计分析,并进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著法(LSD)检验其差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水文效应

2.1.1 土壤理化性质与养分状况 城市绿地土壤储水能力和透气性很大程度上依赖于土壤容重和孔隙度。调查分析了榆林市东沙生态公园绿地土壤物理性状(图1),发现东沙生态公园内不同区域绿地土壤容重和孔隙度差异显著( $p < 0.05$ ),土壤容重范围为 $0.41 \sim 1.34 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,总孔隙度范围为 $42\% \sim 71\%$ 。其中公园停车场绿地和公园干扰区土壤容重最大,土壤孔隙度最小;公园附近绿地土壤容重最小,公园附近绿地与公园中心绿地土壤孔隙度最大。表明停车场附近绿地和公园干扰区土壤持水能力最弱,公园附近绿地土壤具有最强的持水能力。由表1可知,东沙生态公园不同区域绿地土壤养分表现出不一致性,有机质、全氮、全磷、全钾变化范围分别是 $9.93 \sim 17.69 \text{ g}/\text{kg}$ , $0.97 \sim 2.37 \text{ g}/\text{kg}$ , $2.31 \sim 6.67 \text{ g}/\text{kg}$ , $23.6 \sim 58.12 \text{ g}/\text{kg}$ ,公园停车场区、公园干扰区与公园周边区域、公园中心区与公园绿地之间差异性显著( $p < 0.05$ )。

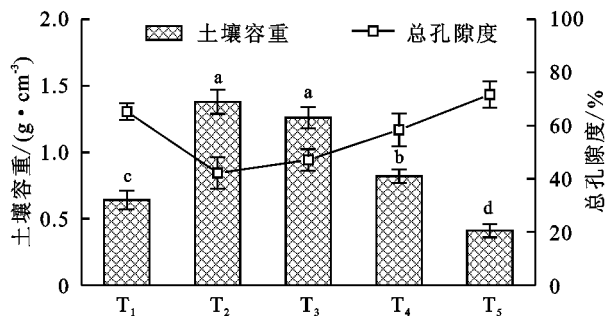


图1 土壤容重和总孔隙度

表 1 东沙生态公园不同区域土壤养分状况

区域	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub>	10.16±1.03c	1.04±0.13c	0.98±0.35c	27.73±2.19c
T <sub>2</sub>	17.69±3.44a	2.37±0.09a	1.23±1.04a	58.12±3.71a
T <sub>3</sub>	15.12±2.91b	1.49±0.21b	1.06±0.79b	41.64±1.66b
T <sub>4</sub>	14.98±1.67b	1.41±0.16b	1.04±0.46b	39.29±4.02b
T <sub>5</sub>	9.93±1.24c	0.97±0.08c	0.92±0.19c	23.60±1.98c

注:T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>,T<sub>3</sub>,T<sub>4</sub>,T<sub>5</sub> 分别表示东沙生态公园中心区、公园停车场区、公园干扰区、公园周边区域和公园绿地,下同。

2.1.2 土壤水文调节功能 土壤持水性能是评价不同植被土壤涵养水源、调节水循环的重要指标,它反映了土壤持水、供水与调蓄能力,可用来评价土壤层的水文功能,包括最大持水量、毛管持水量和田间(最小)持水量<sup>[13,20-21]</sup>。对东沙生态公园土壤水文调节功能的分析对理解榆林市城市绿地生态水文具有重要参考意义。东沙生态公园土壤平均雨季前期含水量、土壤平均饱和含水量、土壤平均有效调蓄水空间、土壤平均最大持水率、土壤平均最大持水量、土壤平均有效持水量以及土壤平均含水量分别为 567.3 g/kg,1 801.4 g/kg,1 234.1 g/kg,59.4%,1 123.21 t/hm<sup>2</sup>,304.1 t/hm<sup>2</sup>,15.91%。

2.2 土壤枯枝落物水文效应

2.2.1 枯枝落物储量 绿地枯枝落物的厚度和储量也能在一定程度上反映该片绿地的持水能力。由图 2 可知,东沙生态公园内不同区域绿地半分解层和未分解层枯枝落物厚度呈现差异性,半分解层枯枝落物厚度整体变化范围是10~48mm,未分解层枯枝落

物厚度变化范围为 6~15 mm,其中停车场附近绿地枯枝落物厚度最大,公园附近绿地枯枝落物厚度最小;表层枯枝落物总储量与枯枝落物厚度具有相似的变化规律,总储量变化范围是 6~27 t/hm<sup>2</sup>,储量最丰富是停车场区绿地,最稀疏的是公园绿地。

2.2.2 枯枝落物持水性能及有效拦蓄量 实验室条件下模拟自然降雨来分析枯枝落物持水性能以及对雨水的有效拦蓄量只反映了理想状态下枯枝落物持水量,与实际情况相比还是有差异,因此有效拦蓄量是切实反映枯落物层对降水拦蓄能力的指标<sup>[14-17]</sup>。通过对东沙生态公园绿地表层半分解层和未分解层枯枝落物持水性能分析表明(表 2),未分解层枯枝落物对雨水的有效拦蓄量为 11.43 t/hm<sup>2</sup> 要显著高于半分解层枯枝落物对雨水的有效拦蓄量(5.12 t/hm<sup>2</sup>),未分解层枯枝落物最大持水量、最大持水率、自然含水率、有效拦蓄率和有效拦蓄量深度也都显著高于半分解层枯枝落物。

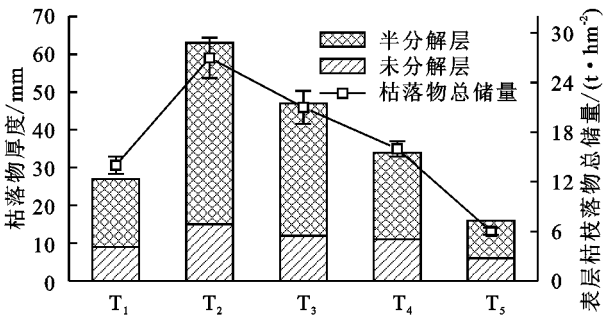


图 2 东沙生态公园内枯枝落物储量

表 3 东沙生态公园内枯枝落物持水性能及有效拦蓄量

项目	最大持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	最大 持水率/%	自然 含水率/%	有效 拦蓄率/%	有效拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	有效拦蓄量 深度/mm
半分解层	12.24	81.51	12.99	93.01	5.12	1.01
未分解层	18.66	94.89	15.18	98.73	11.43	1.86

2.2.3 枯枝落物持水过程 实验室条件下利用浸泡法分析公园不同区域绿地枯枝落物持水过程,由图 3 可知,在 1~2 h 内枯枝落物持水量变化幅度较小,2~6 h 枯枝落物持水量迅速增加,变化幅度最大,8 h 后持水量变化渐渐趋于缓慢。这一变化规律与自然降雨后,枯枝落物拦蓄绿地表层径流变化规律相似,即降雨初期,枯落物拦蓄地表径流能力较强,此后随枯落物湿润程度的增加,吸持能力降低。另外,到达 6 h,停车场区附近绿地枯落物持水量最大,为 1 679 g/kg;公园附近绿地枯落物持水量最小,为 789 g/kg,地表枯落物拦蓄雨水能力依次大小为 T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>5</sub>。

2.3 土壤微生物群落特征

通过单因素方差分析比较晴天和雨天两种情况下,公园不同区域绿地土壤微生物群落丰富度指数(Rich-

ness,SR)、多样性指数(Shannon-Wiener index,H')和均匀度指数(Evenness,J),由图 4 所示,晴天和雨天公园绿地土壤微生物群落丰富度、多样性和均匀度差异不显著( $p>0.05$ ),说明天气因素对土壤微生物群落影响较小。图 4A 和 4B 中,公园不同区域绿地土壤微生物群落丰富度和多样性表现出不一致性,其中停车场区和公园干扰区绿地土壤微生物群落丰富度和多样性最低,公园中心绿地和公园附近绿地土壤微生物和丰富度和多样性最高;图 4C 显示停车场区绿地土壤微生物群落均一度最大,微生物种类较单一,公园附近绿地土壤微生物均一度较低,微生物种类丰富。

2.4 土壤微生物 PLFA 结构组成的 PCA 分析

在东沙生态公园绿地土壤微生物群落 PLFA 的 PCA 分析结果中,X 轴表示第一主成分,Y 轴表示第二

主成分,见图 5,晴天和雨天情况下,公园内 5 个不同区域绿地土壤微生物群落均未呈现离散状态,说明不同天气环境下不同区域绿地土壤微生物群落结构差异不显著,5 个区域土壤微生物群落变化也较小。

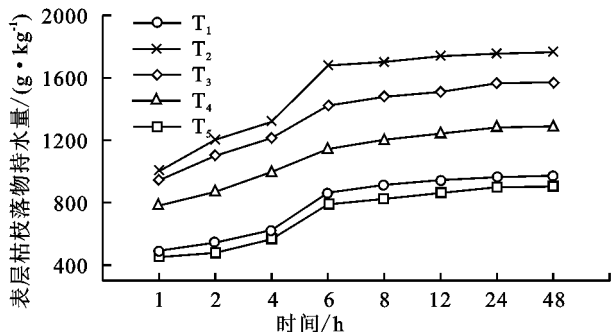


图 3 枯枝落物持水量变化

### 3 讨论

城市的发展与水资源的管理息息相关。雨水是自然界水循环系统中的重要一环,对调节、补充城市水资源和改善生态环境有重要作用<sup>[22-24]</sup>。土壤是布满大大

小小孔隙的疏松多孔体,当有水分进入时,这些孔隙可以蓄水并凭借部门孔隙的毛细管作用使水分比较长久地存储在土壤中<sup>[24]</sup>。容重和孔隙度等参数决定着土壤的导水性、保水性和透气性,也影响着土壤持水量和持水能力,容重小,孔隙度大有利于流水快速渗透到土壤中。例如本文所研究的东沙生态公园内停车场区和公园干扰区绿地容重大、孔隙度小,不利于土壤蓄水,即使同一质地的土壤随着容重增大,孔隙度减小,持水能力减弱。土壤质量最重要一项指标就是土壤养分状况,土壤中养分能维持植被良好生长,土壤养分最大的来源是表层枯枝落物的消解,文中东沙生态公园内停车场区和公园干扰区土壤有机质以及氮磷钾养分含量最低。通过比较分析不同区域绿地枯枝落物厚度及储量发现,东沙生态公园内停车场区和公园干扰区绿地枯枝落物最丰富,这与土壤养分状况的表现恰好相反,推测可能是由于枯枝落物过多,底层的枯枝落物没有经过完全的分解,不利于快速的养分循环,营养成分没有进入到土壤中。

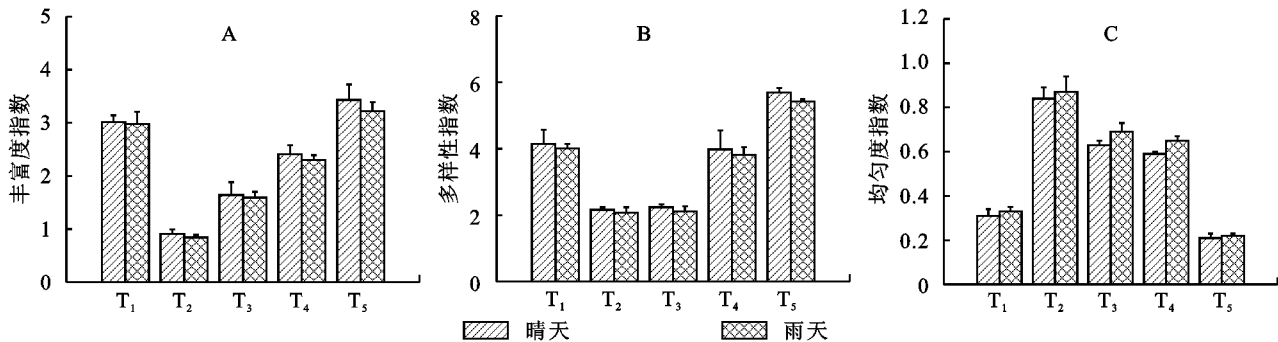


图 4 土壤微生物群落多样性指数变化

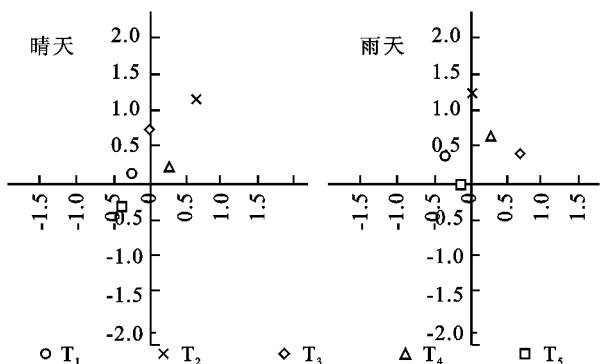


图 5 土壤微生物 PLFA 结构组成的 PCA 分析

枯枝落物是绿地地表的重要覆盖面,对拦截雨水,防止洪涝,水土保持以及改善土壤结构具有重要作用,目前国内外对森林河流等生态水文,特别是对枯枝落物持水能力的研究已有不少<sup>[25-28]</sup>,另外在枯落物的凋落量、凋落动态、分解速率、对土壤结构的改变、对养分元素循环的影响、截持降水、抑制土壤水分蒸发、增强土壤入渗、影响地表径流和土壤侵蚀机理等方面都取得了一定的进展<sup>[29]</sup>。美国水文学家

Richard Lee 等<sup>[30]</sup>提出城市绿地地被物对降雨的截留量大小取决于地被物的蓄水容量。对公园绿地不同分解层枯枝落物持水过程分析发现,由于大部分区域绿地枯枝落物未分解层要大于半分解层,所以未分解层枯枝落物对雨水有效拦截量要显著高于半分解层。再者,不同区域枯枝落物持水过程变化规律相似,地表枯落物拦蓄雨水能力和蓄水容量最大是停车场区附近绿地枯落物,这也与枯枝落物的量有关。

土壤微生物是生态系统的重要组成部分,研究其群落的结构和功能多样性,对于揭示微生物、环境、植物之间的关系意义重大<sup>[31]</sup>。土壤微生物群落对土壤温度和水分敏感,绿地生态水文的变化对微生物群落结构影响较大<sup>[31]</sup>,土壤水分的变化最大因素之一也是枯枝落物拦截水流和持水能力,而本研究中土壤微生物群落特征和 PCA 分析都表明晴天和雨天对土壤微生物群落结构影响较小,与朱小林等结果相反,这可能是由于观测的时间不够,亦或是与榆林市 7 月降雨量大有关,降雨大使得绿地枯落物和土壤蓄水足

够,因此对土壤微生物的影响较小。后期应对多种绿地(例如道路绿地等)以及其延长时间的监测分析,对城市绿地月前和月底生态水文效应和土壤中微生物群落特征进行分析,以期更深入地揭示城市绿地生态水文变化下土壤微生物多样性分布格局。

## 4 结论

(1) 东沙生态公园不同区域土壤理化性质与营养状况差别较大,停车场区和公园干扰区绿地土壤容重最大,总孔隙度最小。

(2) 东沙生态公园不同区域绿地枯枝落物储量具有显著差异性,停车场区和公园干扰区绿地表层枯枝落物厚度最大,公园附近绿地枯枝落物厚度最小,并且落物储量也具有相似的规律;停车场区绿地表层枯枝落物有效拦蓄能力最强,持水量最大;

(3) 东沙生态公园不同区域绿地土壤微生物群落结构不一致,停车场区和公园干扰区绿地人流量大,显著影响该区域土壤微生物的丰富度和多样性;另外单一因素差异性分析和 PCA 分析表明东沙生态公园绿地土壤微生物群落结构与是否晴/雨天无关。

### 参考文献:

- [1] 夏军,左其亭. 国际水文科学研究的新进展[J]. 地球科学进展,2006,21(3):256-261.
- [2] Zalewski M. Ecohydrology: A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources, international hydrological programme[Z]. IHP-V,1997;NO. 7.
- [3] 王根绪,刘桂民,常娟. 流域尺度生态水文研究评述[J]. 生态学报,2005,25(4):892-902.
- [4] 石雪梅,姜忠林,隋静坤. 浅谈城市绿地系统的生态功能[J]. 黑龙江环境通报,2007,31(2):18-19.
- [5] 高红列,孙东. 浅谈城市绿地系统的功能[J]. 现代园艺,2012(14):176-178.
- [6] 杜婧文,王兴博. 以西溪国家湿地公园为例浅谈湿地在城市绿地系统中的作用[J]. 城市建设理论研究,2015,5(7):1-2.
- [7] 杨颂宇. 模拟酸雨及氮磷添加对浙江天童土壤性质及其与凋落物关系的影响[D]. 上海:华东师范大学,2014.
- [8] 刘峻杉,高琼,朱玉洁,等. 土壤—根系统水分再分配:土壤—植物—大气连续体中的一个小通路[J]. 植物生态学报,2007,31(5):794-803.
- [9] 阳园燕,郭安红,安顺清,等. 土壤—植物—大气连续体 (SPAC)系统中植物根系吸水模型研究进展[J]. 气象科技,2004,32(5):316-321.
- [10] 张保华. 长江上游典型区不同林地土壤结构—水分特性及生态环境效应[D]. 北京:中国科学院研究生院,2004.
- [11] 庞学勇,包维凯,江元明,等. 九寨沟和黄龙自然保护区原始林与次生林土壤物理性质比较[J]. 应用与环境生物学报,2009,15(6):768-773.

- [12] 孙凯,刘娟,凌婉婷. 土壤微生物量测定方法及其利弊分析[J]. 土壤通报,2013(4):1010-1016.
- [13] 刘少冲. 莲花湖库区水源涵养林水文效应研究[J]. 东北林业大学学报,2005,19(5):26-30.
- [14] 徐学华,崔立志,王锡武,等. 不同经营措施对冀北山地华北落叶松林枯落物持水性能的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(3):157-161.
- [15] 董伯骞,黄选瑞,夏明瑞. 退化华北落叶松林枯落物对近自然经营的短期响应[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):52-58.
- [16] 陈文静. 榆林市城市森林的结构特征与效益评价研究[D]. 福州:福建农林大学,2007.
- [17] 何艾雯,于法展,于晨阳,等. 江西庐山自然保护区不同森林植被下土壤的持水性能分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(30):18573-18575.
- [18] 孙鸿烈,刘光崧. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [19] Olsson P A. Signature fatty acids provide tools for determination of the distribution and interactions of mycorrhizal fungi in soil[J]. FEMS Microbiology Ecology, 1999,29(4):303-310.
- [20] 陈水莲. 广东林地枯落物与土壤持水性能研究[D]. 广州:华南农业大学,2009.
- [21] 沈泉,刘振勇,朱炜,等. 潮州市主要林分类型枯落物和土壤持水能力[J]. 林业科技开发,2014,28(4):68-71.
- [22] 杨清海,吕淑华,李秀艳,等. 城市绿地对雨水径流污染物的削减作用[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2008(2):41-47.
- [23] 袁宏林,魏颖,谢纯德. 土壤对城市雨水径流中污染物的削减作用[J]. 水土保持通报,2015,35(3):112-115.
- [24] 李卓,吴普特,冯浩,等. 容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J]. 土壤学报,2010,47(4):611-620.
- [25] 杨吉华,张永涛,李红云,等. 不同林分枯落物持水性能及对表层土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报,2003,17(2):141-144.
- [26] 吴建平,袁正科,田育新. 湖南省主要森林类型林地土壤持水功能及其改良技术[J]. 水土保持通报,2000,20(6):30-32.
- [27] 刘世容,孙鹏森,温远光. 中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J]. 植物生态学报,2003,27(1):16-22.
- [28] 程金花,张洪江,史玉虎,等. 三峡库区几种林下枯落物的水文作用[J]. 北京林业大学学报,2003,25(2):8-13.
- [29] 朱丽晖,李冬. 辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J]. 辽宁林业科技,2001(1):77-82.
- [30] Richard L, Granillo A B. Soil protection by natural vegetation on clear cut forest land in Arkansas [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1985,40(4):379-382.
- [31] 朱小林,梁辰飞,蔡锡安,等. 尾叶桉林下5种木本植物土壤微生物群落特征[J]. 生态环境学报,2015,24(4):617-623.