

文章编号:1001—7380(2020)05—0022—06

## 南京市风景林凋落物现存量及其 与土壤主要物理性质的关系

周忠胜<sup>1</sup>, 张文豹<sup>1</sup>, 曾 雷<sup>1</sup>, 王津宁<sup>1</sup>, 李冬林<sup>2\*</sup>

(1. 南京滨江公园管理有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153)

**摘要:**对南京中国绿化博览园8种城市风景林群落凋落物现存量及其与土壤主要物理参数进行了研究,结果表明:不同风景林群落凋落物厚度、现存量之间呈现显著差异( $P<0.05$ )。风景林凋落物厚度变化区间为2.10—5.24 cm,大小顺序依次为樟树林>乐昌含笑林>大叶女贞林>马褂木林>淡竹林>朴树林>大叶榉林>槭树林,总现存量指标也呈现类似的序列变化。不同风景林群落,以及同一风景林不同层次的土壤容重之间呈现显著差异( $P<0.05$ )。相关性分析表明,风景林凋落物厚度、现存量与土壤容重之间相关性不显著。研究表明,城市风景林在外界多种因素的综合影响下,林下凋落物对土壤物理性质的影响作用不明显。

**关键词:**城市风景林;凋落物;土壤;物理性质;南京

**中图分类号:**S714.2;S714.45<sup>+</sup>5;TU986.5

**文献标志码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2020.05.005

## Accumulation amount of litter and relationship with soil physical property in landscape forest in Nanjing

Zhou Zhongsheng<sup>1</sup>, Zhang Wenbao<sup>1</sup>, Zeng Lei<sup>1</sup>, Wang Jinning<sup>1</sup>, Li Donglin<sup>2\*</sup>

(1. Nanjing Binjiang Park Management Limited Company, Nanjing 210019, China;

2. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

**Abstract:** Accumulation amount of litter and physical property of the soil beneath in eight landscape forests were studied in Nanjing, Jiangsu. Results showed that the litter thickness and storage volume had significant difference among communities ( $P<0.05$ ). The litter thickness ranged from 2.10 to 5.24 cm, with thickness order as *Cinnamomum camphora* forest, *Michelia chapensis* forest, *Ligustrum lucidum* forest, *Liriodendron chinense* forest, *Phyllostachys glauca* forest, *Celtis sinensis* forest, *Zelkova serrata* forest, and *Acer palmatum* forest, and with their extant accumulation amount in the same order. There were significant differences among different forest types and different soil levels in even same forest types on bulk density ( $P<0.05$ ). Analysis showed that correlation between the litter thickness, accumulation amount and the soil bulk density was not significant. So, we concluded that the effect of litter in man-made forests on soil physical properties was not obvious acted with many external factors.

**Key words:** Landscape forest; Litter; Soil; Physical property; Nanjing

城市森林广泛分布于城市之中,由绿色植物形成的森林系统在海绵城市体系建设中承担着重要角色<sup>[1]</sup>。研究表明,城市森林的枯枝落叶作为植被对降雨2次分配的第2个作用层,比土壤拥有更多更大的孔隙,拦截雨水、保持水土、抑制地表水分蒸

发和促进雨水下渗的作用<sup>[1-2]</sup>。与此同时,林地凋落物层为植物残落物的混合物,具有强大的吸水、滞留和拦蓄能力,对于林地增强水土保持功能,减少土壤侵蚀,预防自然灾害具有重要作用<sup>[3]</sup>。但是,不同植物群落由于其组成成分的不同,其生态

收稿日期:2020-06-01;修回日期:2020-06-25

基金项目:南京市建设行业科研项目“城市内河退化河岸生态修复植物优选与新型护坡材料研发”(Ks2042)

作者简介:周忠胜(1971—),男,安徽全椒人,高级工程师,从事园林工程建设管理。E-mail:577309708@qq.com。

\* 通信作者:李冬林(1969—),男,河南睢县人,研究员,博士。E-mail:704020830@qq.com。

功能存在一定差异。因此,研究不同森林群落凋落物的现存量及其功能异同,为城市园林建设科学构建风景林,提高城市生态系统功能具有重要意义。

城市风景林建设是城市绿地系统的重要组成部分,是城市园林建设的重要方向,并对城市生态环境的改善起到极其重要的作用。目前,国内外学者对天然林、山地人工林枯落物及水文效应研究颇多,并针对不同森林群落类型凋落物组成成分、季节动态,以及对水源涵养、固土防蚀,以及凋落物在群落更新及植被恢复中的重要作用进行了系统研究,并取得一定研究成果<sup>[4-5]</sup>。但是,以城市风景林为研究对象,分析人为适度干预作用下风景林凋落物数量与林下土壤物理性质的关系文献报道较少。本文选取位于江苏省南京市的8种人工风景林群落为研究对象,对其林地凋落物现存量和地表土壤主要物理指标进行了定量分析研究,阐明了2者之间的相互关系,旨在为我国城市生态风景林的构建,以及城市人工林的科学管理,提供一定的参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区域位于江苏省南京市建邺区,地处我国北亚热带边缘,土壤为淤积性壤土,气候特征为夏季炎热多雨、冬季寒冷干燥,充足的降水雨量为各

种植物生长繁衍提供了优越条件。研究区为南京市免费开放森林公园——南京中国绿化博览园(简称绿博园)。该公园创建于2005年,为我国首届绿化博览会举办地,是南京河西滨江风光带的示范段。东靠扬子江大道,西滨长江,园区总面积达77 hm<sup>2</sup>。经过十几年的自然生长和精心管养,公园内树木葱茏,百草丰茂,森林群落趋于稳定。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地布设与取样方法 本研究于2017年11—12月进行。在对公园风景林全面踏查的基础上,在园区核心位置选取群落组成均一、年龄相当、人为干扰较轻的人工风景林群落作为调查林分。林分内设置典型的调查样地3块,面积为20 m × 20 m,对调查林分的树木平均高、平均胸径、平均冠幅、平均枝下高和郁闭度等本底特征进行详细调查,其调查结果见表1。

林地凋落物及土壤取样方法均依照参考文献[3]进行。在调查样地植被特征的同时,在群落内选定于样地的对角线位置设置的调查小样方4块,应用特制的取样框(正方形边长30 cm)进行凋落物取样,并原位取土进行土壤分析。依据凋落物组成颜色和分解程度,将其分为未分解层(凋落物基本保持原状,无大的颜色变化)和半分解层(颜色黑褐色,叶片部分已腐烂)2个层次进行分析。

表1 不同风景林群落特征

指标	樟树林 (I)	乐昌含笑林 (II)	大叶女贞林 (III)	马褂木林 (IV)	朴树林 (V)	槭树林 (VI)	大叶榉林 (VII)	淡竹林 (VIII)
平均树高/m	15.23	12.35	7.20	10.20	9.60	4.50	12.60	7.50
平均胸径/cm	18.70	17.40	16.3	18.40	18.20	12.00	29.10	—
平均冠幅/m	5.20	0.65	4.30	2.80	4.80	3.60	5.10	—
平均枝下高/m	3.60	3.50	3.80	3.20	3.90	1.60	3.80	1.70
郁闭度	0.95	0.90	0.90	0.85	0.85	0.75	0.90	0.85

1.2.2 指标测定 土壤物理性质指标测定方法依据参考文献[6]。凋落物厚度测定采用直接量测法,现存量测定采用烘干法。先应用直尺量测凋落物存积厚度,后进行现存量收集,收集过程中尽量保持原样,在实验室内80℃下烘干后称重,获得烘干质量,经过换算获得调查单位面积林地凋落物的质量(t/hm<sup>2</sup>)和凋落物厚度(cm)。林地土壤物理性质测定采用环刀法取样(环刀容积100 cm<sup>3</sup>),在实验室内分析的指标包括土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度等。各指标均重复测定3次。

1.2.3 数据分析 实验室测定数据均采用 Excel

2003 进行统计,借助软件 SPSS 2017 进行方差分析和相关分析,多重比较采用 *t* 检验(T-test, LSD)法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同风景林林地凋落物厚度及现存量

调查结果表明,不同森林群落凋落物的厚度指标变化较大,其结果见表2。统计分析表明,不同森林群落凋落物的总厚度及现存量均存在显著差异( $P < 0.05$ )。从不同森林群落的凋落物厚度的绝对值来看,以樟树林的凋落物厚度最大(5.24 cm),其次是乐昌含笑林(4.92 cm),槭树林凋落物厚度最

小(2.10 cm),大叶榉树林凋落物厚度较小(2.38 cm),其余群落凋落物厚度中等。从不同森林群落总现存量变化来看,同样是槭树林现存量最小(4.42 t/hm<sup>2</sup>),而樟树林为最高(8.14 t/hm<sup>2</sup>),其他几种群落现存量自大到小依次是大叶女贞林(7.53 t/hm<sup>2</sup>)、乐昌含笑林(7.43 t/hm<sup>2</sup>)、马褂木林(7.31 t/hm<sup>2</sup>)、淡竹林(4.87 t/hm<sup>2</sup>)、大叶榉林(4.86 t/hm<sup>2</sup>)、朴树林(4.59 t/hm<sup>2</sup>)。

表 2 不同风景林凋落物厚度及现存量

指标		群落							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
凋落物 厚度/cm	未分解层	3.82±0.21 a	3.17±0.14 a	2.86±0.12 b	2.63±0.09 b	1.68±0.02 c	1.75±0.15 c	1.76±0.12 c	2.31±0.18 b
	半分解层	1.42±0.11 b	1.75±0.15 a	1.52±0.10 b	1.65±0.12 a	1.57±0.10 b	0.35±0.11 c	0.62±0.10 c	1.62±0.18 a
	总计	5.24±0.28 a	4.92±0.19 a	4.38±0.21 b	4.28±0.18 b	3.25±0.12 c	2.10±0.16 c	2.38±0.20 c	3.93±0.21 b
凋落物 现存量	未分解层/ (t/hm <sup>2</sup> )	6.30±0.34 a	5.29±0.28 b	4.86±0.24 c	4.47±0.28 c	2.85±0.19 d	2.97±0.21 d	2.99±0.17 d	3.27±0.18 d
	比例/%	77.40	71.49	64.54	61.15	62.09	67.19	61.52	67.15
	半分解层/ (t/hm <sup>2</sup> )	1.84±0.13 c	2.11±0.21 b	2.67±0.10 a	2.84±0.09 a	1.74±0.10 c	1.45±0.08 d	1.87±0.09 c	1.60±0.11 c
	比例/%	22.60	28.51	35.46	38.85	38.85	32.81	38.48	32.85
	总计/ (t/hm <sup>2</sup> )	8.14±0.41 a	7.43±0.37 b	7.53±0.29 b	7.31±0.32 b	4.59±0.28 c	4.42±0.27 d	4.86±0.31 c	4.87±0.34 c

注:表中数据为样品测定平均值±标准误;同行数据后不同小写字母表示显著性差异(P<0.05)。

从不同层次凋落物的变化来看,所有群落的未分解层厚度显著高于半分解层的凋落物厚度(见表2);而林地凋落物现存量的变化也表现为未分解层现存量大于半分解层现存量。这种趋势的变化可能与当年的天气状况以及不同群落树木叶片的结构和成分有关。

2.2 不同风景林土壤物理参数的变化

2.2.1 土壤容重 土壤容重是土壤紧实度的敏感性指标,用来表征土壤的通透性和土壤质量<sup>[6]</sup>。一般而言,土壤容重的大小取决于土壤质地、土壤结构、有机质含量,以及土壤的紧实度等指标,并受到人为干扰和外界因素的深刻影响<sup>[7]</sup>。表3为不同样地土壤容重及孔隙度测定结果。结果显示,不同风景林群落和同一风景林群落不同层次土壤的土壤容重变化均显著(P<0.05)。这应该与各个风景林群落的森林组成、群落受干扰程度,以及林地凋落物结构等因素紧密有关。从各不同群落的变化情况来看,II,VII群落的地表土壤容重显著大于I,III,IV,V,VI,VIII群落,而尤以群落III的土壤容重偏小。方差分析表明,不同群落土壤容重差异达极显著水平(P<0.01)。从同一风景林不同层次土壤容重比较来看,表层土壤(0—10 cm)的容重普遍低于下层(10—20 cm),表明表层土壤较为疏松,这与部分天然林土壤垂直结构的变化相一致<sup>[8-9]</sup>。

一般而言,土壤容重小,土壤质地较为疏松,结构趋于良好,有机质含量丰富;相反,土壤容重大,土壤质地较为紧实,结构较差,有机质含量缺乏。土壤群落土壤物理性状的变化,在一定程度上,也反映了不同风景林土壤结构的变化以及遭受外界不同程度的影响。城市风景林不同于山区丘陵,因为城市风景林往往是城市公园和休闲绿地,地表土壤性质除了取决于施工初期人为的整地因素外,还要承受季节性降水,以及游人观光、游赏的强度干扰,这就使得城市风景林的土壤结构、层次、质地、孔隙状况呈现不规律的变化特征。

试验结果表明,同一风景林群落表层土壤容重普遍低于下层土壤容重,但部分风景林群落上下层之间土壤容重趋于接近(群落III,VI,VII)。从垂直结构的变化来看,表层土壤受外界干扰强度较大,土壤容重偏高,土壤变得紧实。由于高容重通常是土壤板结的象征,土壤结构趋于退化,所以相对而言,城市风景林受到人为活动的强烈干扰,土壤结构相对天然林表现不良<sup>[10-11]</sup>。

2.2.2 土壤孔隙性指标 土壤孔隙度指示土壤孔隙状况,并与土壤透气性、透水性密切相关<sup>[6-7]</sup>。不同群落类型之间的毛管孔隙度与非毛管孔隙度指标的差异见表3。不同风景林群落土壤的总孔隙度及非毛管孔隙度和毛管孔隙度,因群落类型不同而

有较大的差异( $P<0.05$ )。这是由各风景林群落类型中土壤结构、质地的差异所引起。就表层土壤(0—10 cm)总孔隙度而言,群落Ⅳ和群落Ⅰ表层土壤的总孔隙度最高(47.47%,47.09%),显著大于群落Ⅲ(46.15%),Ⅵ(46.23%),Ⅴ(43.70%),Ⅱ(43.28%),Ⅶ(40.60%),Ⅷ(45.92%)。而表层土壤的总孔隙度,普遍大于下层土壤(10—20 cm)的总孔隙度。

表 3 不同风景林地表土壤容重及孔隙度

群落编号	取样深度 /cm	土壤容重 /(g/cm <sup>3</sup> )	总孔隙度 /%	毛管孔隙度 /%	非毛管孔隙度 /%
Ⅰ	0—10	1.402±0.12 d	47.09±3.89 a	38.82±0.04 b	8.27±1.21 b
	10—20	1.592±0.11 B	39.92±2.98 B	32.46±0.25 B	7.46±1.03 D
Ⅱ	0—10	1.503±0.21 b	43.28±3.78 cd	40.62±0.11 a	2.68±0.89 e
	10—20	1.710±0.31 A	35.47±3.21 C	26.28±1.15 D	9.27±1.89 C
Ⅲ	0—10	1.427±0.12 c	46.15±4.12 b	39.62±2.04 a	6.55±1.02 c
	10—20	1.475±0.21 E	44.34±3.89 A	31.15±7.05 C	13.24±2.89 A
Ⅳ	0—10	1.392±0.18 d	47.47±4.61 a	32.89±4.23 c	14.58±2.10 a
	10—20	1.573±0.14 C	40.64±3.18 B	30.19±2.46 C	10.45±1.98 B
Ⅴ	0—10	1.492±0.20 b	43.70±2.99 c	33.89±3.28 c	9.81±1.78 b
	10—20	1.557±0.18 C	41.25±2.19 B	29.34±2.98 C	11.91±2.09 A
Ⅵ	0—10	1.425±0.09 c	46.23±3.12 b	38.12±3.87 b	8.11±1.61 b
	10—20	1.514±0.12 D	42.87±4.21 A	35.12±2.99 A	7.75±1.03 D
Ⅶ	0—10	1.574±0.21 a	40.60±3.09 d	32.11±1.78 c	8.49±1.45 b
	10—20	1.593±0.21 B	39.89±4.10 B	33.82±2.32 A	6.07±1.26 E
Ⅷ	0—10	1.433±0.31 c	45.92±5.11 c	41.13±3.21 a	4.79±1.11 d
	10—20	1.688±0.18 A	36.30±3.20 C	29.11±2.11 D	7.19±1.21 D

注:同列中数据后不同小写字母表示不同群落类 0—10 cm 土壤指标存在显著性差异( $P<0.05$ );同列中数据后不同大写字母表示不同群落类 10—20 cm 土壤指标存在显著性差异( $P<0.05$ )。

2.3 不同风景林林地凋落物现存量与土壤容重的相关分析

为了解不同风景林群落凋落物数量与地表土壤物理性质的关系,将测得的凋落物厚度和现存量分别与土壤容重进行直线回归和相关分析(见图 1, 2)。结果显示,林地凋落物厚度与表层土壤容重的回归方程为  $y=0.0205x+1.529$  (取样深度 0—10 cm),  $y=0.0241x+1.5018$  (取样深度 10—20 cm), 其相关性指标分别为  $R^2=0.1868$ ,  $R^2=0.1563$ 。经显著性检验,表明其相关性均不显著( $P>0.05$ ) (见图 1)。

林地凋落物现存量与表层土壤容重的直线回归方程为  $y=0.0187x+1.5637$  (取样深度 0—10 cm),  $y=0.0135x+1.5103$  (取样深度 10—20 cm), 其相关性指标分别为  $R^2=0.3063$ ,  $R^2=0.0957$ , 经显著性检验,表明其相关性也不显著( $P>0.05$ ) (见图 2)。可见,调查地森林群落凋落物数量对林地土壤孔隙状况参数的影响较小,城市风景林依赖林地

凋落物来改善孔隙状况,其直接作用有限,在短期内对土壤物理性质的改良作用不明显。

3 讨论

森林凋落物是森林资源的重要组成部分。森林林地凋落物的存在,不仅能促进森林生态系统的物质循环和养分平衡,而且在水土保持、水源涵养、净化水体等方面都具有较大作用<sup>[11-12]</sup>。因此,研究森林凋落物对森林环境土壤的影响,一直为生态学家研究的热点<sup>[1,13-14]</sup>。尤其是近年来,随着城市扩张速度的日益加快,城市建设及城市旅游资源的开发,对森林环境的影响日益凸现。而作为城市风景林资源重要组成部分的凋落物,多被移除或清扫,成为城市风景林群落的重要干扰。城市风景林林下调落物的生态功能如何,其现存数量及其与林下土壤质量的关系如何,林中凋落物要不要有限保留,成为城市管理者和园林学者关注的焦点。



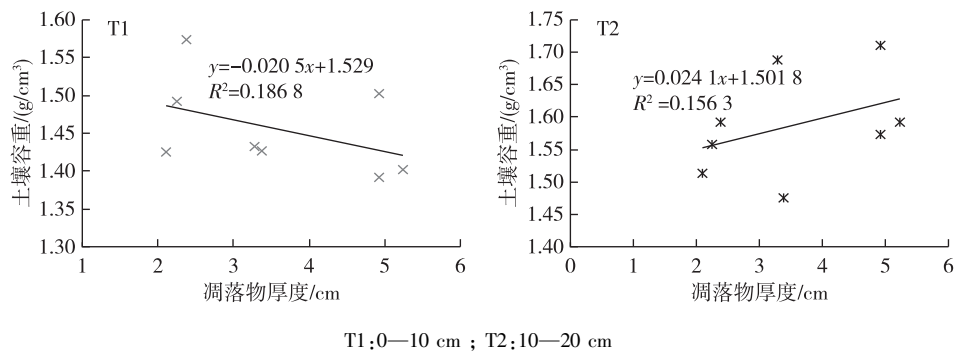


图 1 林地凋落物厚度与土壤容重的相关性

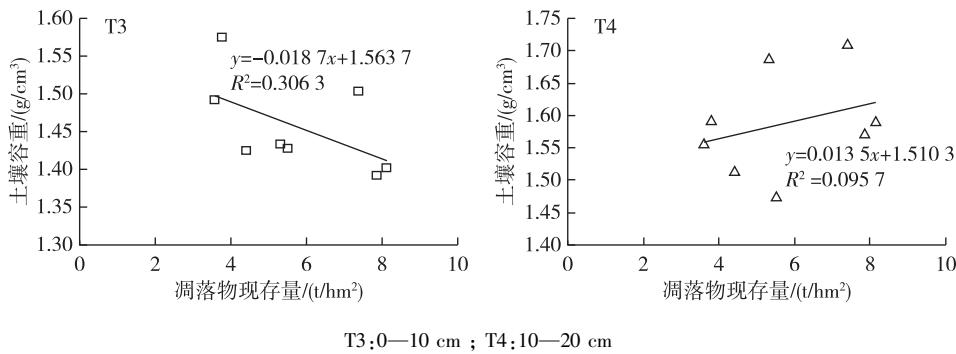


图 2 林地凋落物现存量与土壤容重的相关性

我国学者对天然林凋落物的累计效应及水文功能研究颇多,并获得一定的研究成果。徐旺明等<sup>[15]</sup>研究了我国亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征,结果表明:不同森林类型之间凋落物的年凋落量及其组成明显不同,樟树-马尾松林的年凋落物量最大(4.30 g/m<sup>2</sup>),其次为枫香树林、马尾松林和樟树林;黄石德等<sup>[16]</sup>通过沿武夷山海拔梯度 3 种典型森林凋落物及养分归还动态研究,指出常绿阔叶林(645 m)、针阔混交林(1028 m)和针叶林(1442 m)的凋落物总量分别为 471.25,453.77,409.84 g/m<sup>2</sup>,森林凋落物总量随海拔升高呈减少的趋势;俞国松等<sup>[17]</sup>通过连续的野外观测研究了茂兰喀斯特森林主要演替群落的凋落物动态,得出茂兰喀斯特原生乔木林、次生林和灌木林的年平均凋落物量分别为 4.503,3.505,2.912 t/hm<sup>2</sup>。这些研究结果都表明,天然林具有很高的凋落物量现存量 and 养分归还量,而且森林凋落量与所处地带性、森林结构、气候条件、植被类型和组成林木的生理特征等一系列因素密切相关。

人工林一般都要受到极其严重的人类干扰活动的影响,与天然林相比,其森林结构、森林组成,及群落演替有相当大的不同。本文研究的对象为城市风景林,尽管也存在一定的人为干扰活动,但

该公园被严格区划,并作为自然风景林开展管护,相对普通公园的人工林来说干扰程度相对较轻,对其结构、群落动态进行一定的研究分析具有一定的代表性。当前现代城市园林建设中,往往森林树种的选择十分慎重,因为树种选择对森林生态环境的影响十分久远。同时,森林群落建成后的管养和抚育对森林生态系统功能的影响直接相关,应该受到高度重视,而这一方面又恰恰是城市生态园林建设中容易被忽视的内容。本研究表明,不同风景林群落凋落物厚度和现存量都有显著差异( $P<0.05$ ),不同群落凋落物的厚度变化区间为 2.10—5.24 cm。树种结构不同其凋落物厚度和现存量也均存在显著差异( $P<0.05$ ),这种差异将对不同人工林群落的水土保持功能及森林土壤环境产生重要影响。而林分的树种结构及其现存量,往往可以通过人为的合理搭配和有效种植加以改善。所以,城市风景林建设中树种的选择,是影响城市风景林群落稳定和土壤环境质量的重要条件。

我国各地区土壤研究报告指出,城市土壤质量在不断下降<sup>[18-19]</sup>。土壤质量下降导致森林植物生长受阻,对环境的净化功能减弱,进而影响到城市生态系统的和谐发展。为了避免这一现象的严峻化,有人提出运用化学方法——土壤改良剂来改良

土壤<sup>[20]</sup>,而另一种解决方案则为通过植树造林来改良土壤的理化性质<sup>[21-23]</sup>。本研究结果表明,凋落物对土壤通透性具有一定改良作用,但城市森林有别于天然林,在人为强烈干扰和不正确养护管理的大背景下,林下凋落物多被认为是一种固态废弃物而被移走或焚烧。本研究表明,在外界环境因素的多层次多角度影响下,风景林林下凋落物对土壤物理性质(土壤容重)的改良作用不明显。但是,从长远观点来看,由于凋落物有利于土壤动物的生存繁衍<sup>[24]</sup>,借助于土壤动物的改良作用,丰富的林地凋落物应该有利于城市土壤的疏透性,即孔隙状况的改善。因此,从这方面来说,林下凋落物的适当保留对城市风景林的生态维护是必要的,这方面还有待于今后长期的定量研究和探索。

#### 参考文献:

- [1] 李海梅,何兴元,陈 玮.中国城市森林研究现状及发展趋势[J].生态学杂志,2004,23(2):55-59.
- [2] 马正锐,程积民,班松涛,等.宁夏森林凋落物储量与持水性能分析[J].水土保持学报,2012,26(4):199-202.
- [3] 张振明,余新晓,牛健植.不同林分凋落物层的水文生态功能[J].水土保持学报,2005,19(3):139-143.
- [4] 林 波,刘 庆,吴 彦,等.森林凋落物研究进展[J].生态学杂志,2004,23(1):60-64.
- [5] 李 强,周道玮,陈笑莹.地上枯落物的累积、分解及其在陆地生态系统中的作用[J].生态学报,2014,34(14):3807-3819.
- [6] 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,1978.
- [7] 李冬林,韩 丽,阮宏华,等.秦淮河河岸带土壤理化性质分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2008,32(4):17-22.
- [8] 孙艳红,张洪江,程金花,等.缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J].水土保持学报,2006,20(2):106-109.
- [9] 陈永强,俞劲炎.不同利用方式下红壤内在性质的演化[J].土壤通报,2004,35(2):149-151.
- [10] 黄 宇,汪思龙,冯宗炜,等.不同风景林生态系统林地土壤质量评价[J].应用生态学报,2004,15(12):2199-2205.
- [11] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [12] SAYER E J. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems[J].Biological Reviews,2006,81(1):1-31.
- [13] 赵 煜,赵千钧,崔胜辉,等.城市森林生态服务价值评估研究进展[J].生态学报,2009,29(12):6723-6732.
- [14] 吴际友,王旭军,程 勇.城市森林植物生态功能研究——以长株潭城市群为例[J].中南林业科技大学学报,2008,28(4):101-106.
- [15] 徐旺明,闫文德,李洁冰,等.亚热带4种森林凋落物量及其动态特征[J].生态学报,2013,33(23):7570-7575.
- [16] 黄石德,黄雍容,高 伟,等.沿海拔梯度武夷山3种典型森林凋落物及养分归还动态[J].热带亚热带植物学报,2020,28(4):394-402.
- [17] 俞国松,王世杰,容 丽,等.茂兰喀斯特森林主要演替群落的凋落物动态[J].植物生态学报,2011,35(10):1019-1028.
- [18] 马 芊,张光辉,耿 韧,等.我国东部水蚀区坡耕地土壤质量现状分析[J].中国水土保持科学,2017,15(3):36-42.
- [19] 刘世梁,傅伯杰,刘国华,等.我国土壤质量及其评价研究的进展[J].土壤通报,2006,37(1):137.
- [20] 陈义群,董元华.土壤改良剂的研究与应用进展[J].生态环境,2008,17(3):1282-1289.
- [21] 贾志军,王 富,甄宝艳,等.坝上地区沙棘林凋落物层和土壤层的水文效应[J].南北水调与水利科技,2008,6(6):64-67.
- [22] 陈立新,陈祥伟,段文标.落叶松风景林凋落物与土壤肥力变化的研究[J].应用生态学报,1998,9(6):581-586.
- [23] 郝玉琢,周 磊,吴 慧,等.4种类型水曲柳人工林叶片-凋落物-土壤生态化学计量特征比较[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(4):101-108.
- [24] 殷秀琴,张桂荣.森林凋落物与大型土壤动物相关关系的研究[J].应用生态学报,1993,4(2):167-173.