

DOI: 10.11929/j.swfu.201903139

引文格式: 章志琴, 林勇明, 王宛茜, 等. 无锡城市绿地凋落物数量特征及其影响因素研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2020, 40(1): 69–76.

## 无锡城市绿地凋落物数量特征及其影响因素研究

章志琴<sup>1,2</sup> 林勇明<sup>3</sup> 王宛茜<sup>2</sup> 陈一昊<sup>2</sup>

(1. 无锡环境科学与工程研究中心, 江苏 无锡 214153; 2. 无锡城市职业技术学院, 江苏 无锡 214153;

3. 福建农林大学, 福建 福州 350002)

**摘要:** 以无锡市6类城市绿地为研究对象, 测定2017年3月—2018年2月各类城市绿地的凋落物量和年凋落物现存量, 分析绿地凋落物存留特征的影响因子, 探讨无锡城市绿地凋落物存留特征和影响因子的相关性。结果表明: 无锡6类城市绿地年凋落物量表现为森林公园>生产绿地>防护绿地>公园绿地>居住区绿地>道路绿地; 年凋落物现存量表现为森林公园>防护绿地>道路绿地>居住区绿地>公园绿地~生产绿地。年凋落物量和凋落物现存量与绿地绿地率、乔木层盖度、灌木层盖度呈正相关, 年凋落物现存量与地被层盖度呈正相关。

**关键词:** 城市; 绿地; 凋落物; 凋落物量; 无锡

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2020)01-0069-08

## The Quantitative Characteristics and Impact Factors of Litterfall in Urban Green Space of Wuxi

Zhang Zhiqin<sup>1,2</sup>, Lin Yongming<sup>3</sup>, Wang Wanqian<sup>2</sup>, Chen Yihao<sup>2</sup>

(1. Wuxi Environmental Science and Engineering Research Center, Wuxi Jiangsu 214153, China; 2. Wuxi City College of Vocational Technology, Wuxi Jiangsu 214153, China; 3. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, China)

**Abstract:** In this study, surveys on 6 different urban green spaces in Wuxi were conducted. At the same time, the litterfall production and yearly standing crops were measured from March 2017 to February 2018. The influencing factors of litterfall characteristics in green spaces were analyzed, and the correlation with the litterfall characteristics were also discussed. The results showed that the litterfall production of forest park is highest in 6 major urban green spaces in Wuxi City, then the following high is production green space, protection green space, park green space, resident area green space and road green space in orders. Furthermore, yearly litterfall standing crops of forest park were highest and then the crops in orders from protection green space, road green space, resident area green space, park green space and production green space. The yearly litterfall production and standing crops were positively correlated with green space coverage, the tree layer and the shrub layer coverage. The yearly standing crops were also positively correlated with the litter layer coverage.

**Key words:** city; green space; litterfall; amount of litterfall; Wuxi

收稿日期: 2019-03-28; 修回日期: 2019-07-21

基金项目: 江苏省社科应用研究精品工程(15SYC-174)资助; 江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目(201613748004Y, 201813748009Y)资助。

第1作者: 章志琴(1979—), 女, 副教授。研究方向: 园林生态。Email: zq219@163.com。

当前,随着我国新型城镇化的发展与推进,城市绿地在城市生态环境中发挥着重要的生态功能与生态服务价值<sup>[1-3]</sup>,城市绿地是构筑和支撑城市生态环境的自然基础。因此,促进城市绿地的健康发展、维护城市绿地的生态平衡对于改善人类的生存环境具有广泛而积极的意义<sup>[2,4-5]</sup>。然而,随着城市绿地的飞速增加,由此产生的城市绿地凋落物也迅速增加。城市绿地凋落物由绿地生态系统内生物组分产生并归还到地表,是分解者的物质和能量的来源,对于增加城市土壤肥力,维护土壤自维持系统具有极其重要的生态功能<sup>[2]</sup>。然而,据初步调查和文献调研,当前我国大部分城市绿地的枯枝落叶往往被视为城市固体废弃物,为追求整洁美观,常成为绿地养护管理的直接清除对象<sup>[6]</sup>,这不仅增加了绿地养护投入和市容环境管理压力,更破坏了城市绿地生态系统物质循环和能量流动,使得城市土壤贫瘠化加剧,制约了城市绿地生产力的提高,增加了城市绿地生态风险<sup>[1]</sup>。城市绿地凋落物能否快速分解、能否增加土壤养分,促进绿地自维持功能等这些生态意义被忽视<sup>[6-7]</sup>。因此,系统研究城市绿地凋落物存留特征及其影响因素,对于今后如何合理处理城市绿地凋落物,构建具有生态稳定性、生态效益好和自维持性强的城市绿地具有重要的现实意义。

目前针对城市绿地凋落物的特征研究主要集中在城市市区或城郊地区的森林绿地群落凋落物生理特性及其生态作用<sup>[8-11]</sup>,不同绿化树种凋落物的养分残留特征及其养分循环<sup>[12]</sup>,绿地凋落物对城市环境重金属污染物的消解作用<sup>[13-16]</sup>和城市绿地凋落物对其土壤的蓄水作用等<sup>[17-18]</sup>。近年来,国内外学者在城市绿地凋落物的资源化再利用、产业化模式开发等方面进行了一些尝试性的研究<sup>[19-21]</sup>。针对城市绿地凋落物生态习性和存留特征等方面研究较少,仅见张璇等<sup>[22]</sup>对深圳绿地植被凋落物存留特征及其影响因素进行了相关研究;刘顿等<sup>[23]</sup>对海口城区不同地面类型(水泥地,透空砖、草地)上树木凋落叶的分解速率和养分释放快慢的规律方面做了初步研究。这些研究对一些大中城市绿地凋落物残留特征、分解影响因子和养分释放等进行了初步解析,研究成果为探究新二线热点城市绿地凋落物残留特征的研究提供重要的参考依据<sup>[6]</sup>。无锡作为国家生态和园林城市,已经初步形成了完善的绿地生态系统结构,拥有不同类型的公园绿地、生产绿地、防

护绿地、居住区绿地、道路绿地和森林公园,是研究城市绿地凋落物存留特征及养分循环机理的典型样地。为系统了解不同绿地凋落物在城市环境下的存留特征,本研究拟以无锡市不同类型的城市绿地为研究对象,调查不同城市绿地凋落物量和凋落物现存量,同时分析其与样地生态因子相关性,进而为深入研究不同城市绿地凋落物的存留特征提供参考依据,为生态园林城市的构建提供数据支撑。

## 1 研究区概况

无锡地处江苏省东南部,位于北纬 $31^{\circ}07' \sim 32^{\circ}02'$ 、东经 $119^{\circ}31' \sim 120^{\circ}36'$ ,东邻苏州,南濒太湖,西接常州,北临长江,包括梁溪、滨湖、惠山、新吴和锡山5个行政区和江阴、宜兴2个县级市,建成区面积 $522 \text{ km}^2$ 。无锡市属亚热带湿润季风气候区,平均气温 $16.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,降水量 $1121.7 \text{ mm}$ ,有自然分布于地区内以及外来归化的野生维管束植物共141科、497属、950种、75变种,草本植物有744种,占总数的78.32%;木本植物(包括竹类)有206种,占总数的21.68%。主要用材林有竹(*Bambusaceae* spp.)、松(*Pinus* spp.)和杉(*Cunninghamia* spp.),优良用材的树种有杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、檫树(*Sassafras tsumu*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、紫楠(*Phoebe sheareri*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、锥栗(*Castanea henryi*)和榆树(*Ulmus pumila*)等<sup>[24]</sup>。植物群落以壳斗科(*Fagaceae*)树种为基本建群种,以亚热带常绿阔叶、落叶阔叶林混交林为主。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择与采样

以《城市绿地分类标准》(CJJ/T 85—2017)<sup>[25]</sup>为基础,结合城市绿地使用特点,分别为公园绿地、生产绿地、防护绿地、道路绿地、居住区绿地和森林公园各设置3个样地,分别在每个样地(表1)中随机布点,放置6~10个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的方形凋落物收集器。为避免收集装置在城市高干扰环境中被风吹倒或被人、动物撞倒,甚至遗失的问题,本研究中凋落物收集器采用《1种城市绿地植被凋落物收集装置》<sup>[26]</sup>。于2017年3月—2018年2月每月月底,收集落在收集器上的凋落物,装入塑料袋带回实验室,在 $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱内烘干24 h以上至恒质量后称量,记录每月凋落物

量，并计算每个季度凋落物量和年凋落物量，季度凋落物量为每个季度对应月份的凋落物量总和，年凋落物量为整个研究期内各月份的凋落物量总和。此外，于 2017 年 5 月、8 月、11 月和 2018 年 2 月每月月底，在样地中以梅花形布点分

别设定 10~15 个 1 m×1 m 的样方，收集样方内的凋落物，测定春（3—5 月）、夏（6—8 月）、秋（9—11 月）、冬（12—次年 2 月）的凋落物现存量，取冬季的数据作为绿地的年凋落物现存量。

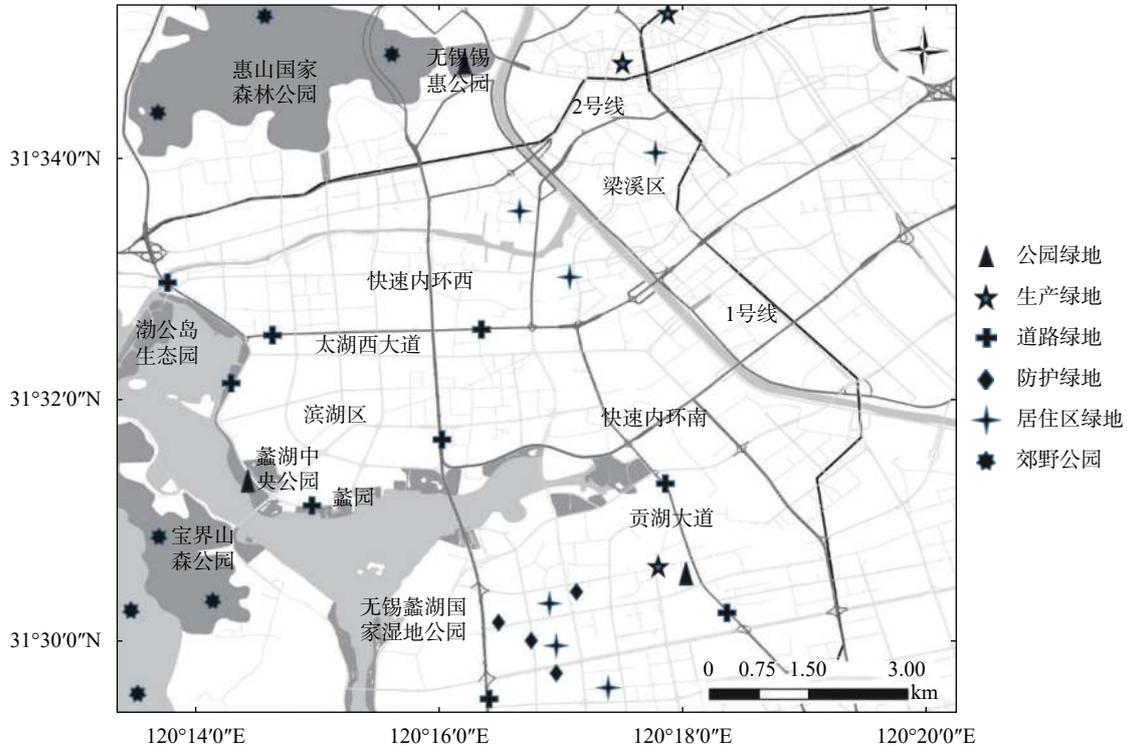


图 1 无锡市城市绿地凋落物采样点设置

Fig. 1 Sampling sites of litterfall in Wuxi urban green space

### 2.2 样地影响因子测定

城市绿地凋落物存留特征受样地生态因子的影响<sup>[27]</sup>。因此，在每个选定的典型样地内分别调查样地的植物物种组成、常绿落叶比、绿地率、乔木层、灌木层和草本层的盖度这 6 个生态因子。根据样地规模和植物配置特征，按照随机加局部控制原则，在样地中选择集中成片的代表性植物群落，设立 3~9 个 400 m<sup>2</sup> 标准样方，对每个标准样方进行生态指标的调查与测量。乔木层和大灌木中胸径大于 6 cm 的物种进行每木检尺，记录每种乔灌木的种名、胸径、树高、冠幅和数量；对成片种植的灌木层和草本层记录每种植物的种名、盖度和平均高度。以此调查数据，按公式（1）~（11）计算每个标准样方的绿地率、常绿落叶比、乔木层盖度、灌木层盖度、地被层盖

度以及样地植物的重要值。各样地的生态因子值以各自标准样方数据的均值表示。表 1 中居住区 3 个样地的绿地率数据为通过文献查阅所得，其余样地均通过样方法测量统计所得。

$$\text{绿地率} = \frac{\text{样方内绿地占地面积}}{\text{样方面积}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{常绿落叶比} = \frac{\text{样方内常绿植物个体数量}}{\text{落叶植物个体数量}} \quad (2)$$

$$\text{乔木层盖度} = \frac{\text{样方内乔木层冠幅垂直投影面积}}{\text{样方面积}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{灌木层盖度} = \frac{\text{样方内灌木层冠幅垂直投影面积}}{\text{样方面积}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{地被层盖度} = \frac{\text{样方内地被占地面积}}{\text{样方面积}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{乔木层重要值} = \frac{\text{乔木层相对多度} + \text{乔木层相对频度} + \text{乔木层相对显著度}}{3} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{灌木层重要值} = \frac{\text{灌木层相对多度} + \text{灌木层相对盖度} + \text{灌木层相对频度}}{3} \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{相对多度} = \frac{\text{某一种植物的个体总数}}{\text{同一生活型植物个体总数}} \times 100\% \quad (8)$$

$$\text{相对频度} = \frac{\text{一个种的频度}}{\text{所有种的频度总和}} \times 100\% \quad (10)$$

$$\text{相对盖度} = \frac{\text{某个种的盖度}}{\text{所有种盖度之和}} \times 100\% \quad (9)$$

$$\text{相对显著度} = \frac{\text{所有个体胸面积之和}}{\text{所有种个体胸面积总和}} \times 100\% \quad (11)$$

表1 6种不同城市绿地样地基本概况

Table 1 Sampling sites status in 6 different urban green spaces

绿地类型	样地	主要树种重要值/%	常绿落叶比	绿地率/%	植物覆盖指标		
					乔木层盖度/%	灌木层盖度/%	地被层盖度/%
公园绿地	金匮公园	香樟18.69, 水杉10.89, 银杏9.64, 樱花10.26, 毛鹃33.21	0.84	70.0	45.1	34.8	22.1
	锡惠公园	香樟11.97, 枫香9.69, 榉树9.64, 桂花8.21, 鸡爪槭6.59	0.82	66.0	35.3	23.1	16.0
	蠡湖中央公园	香樟15.29, 垂柳9.81, 桂花15.28, 毛鹃12.69, 红叶石楠10.58	0.87	63.0	30.0	24.2	14.4
生产绿地	玛亚苗圃	香樟29.42, 广玉兰24.67, 无患子24.59, 金叶女贞51.24, 红叶石楠45.67	2.87	80.3	68.3	25.8	13.6
	胡埭苗圃	香樟69.67, 桂花33.21, 鸡爪槭29.26, 紫薇25.18, 红叶石楠34.29, 金叶女贞28.97	2.64	83.2	63.6	22.0	11.3
	龙山苗圃	广玉兰34.28, 桂花31.59, 五针松24.63, 樱花19.25, 红花檫木30.45, 南天竹24.58	2.69	82.6	66.1	28.4	15.4
防护绿地	万科魅力二区	银杏46.27, 香樟22.16, 黑松10.52, 樱花19.61, 二月兰32.37	0.75	88.0	42.9	31.7	32.6
	天鹅湖一区	香樟17.45, 雪松12.44, 夹竹桃9.83, 金叶女贞33.29, 八角金盘16.14	1.33	86.0	53.3	26.9	26.2
	太湖国际一区	加拿大杨48.28, 大叶女贞14.02, 水杉9.73	0.75	89.0	48.0	27.0	31.0
道路绿地	贡湖大道	香樟23.40, 栎树21.52, 朴树10.59, 桂花23.42, 红叶石楠45.25	0.85	30.6	29.7	27.1	26.3
	太湖大道	香樟38.84, 无患子32.17, 红叶石楠25.24, 红花檫木32.21, 金叶女贞23.34	0.91	32.5	32.4	31.0	29.5
	高浪路	香樟20.18, 无患子15.44, 银杏13.83, 桂花21.19, 毛鹃32.12	1.21	34.0	25.4	19.2	31.6
居住区绿地	万科魅力一区	香樟29.88, 无患子14.56, 榉树9.97, 桂花9.89, 毛鹃46.23	0.87	42.0	31.0	18.2	17.3
	万科魅力二区	香樟31.33, 榉树29.67, 无患子8.86, 桂花9.17, 毛鹃48.97	1.05	40.0	30.2	18.9	17.5
	太湖国际一区	香樟29.65, 无患子20.78, 法国梧桐10.69, 桂花10.24, 毛鹃36.67	1.09	42.0	31.4	23.6	24.0
森林公园	宝界山林公园	麻栎15.62, 锥栗10.36, 马尾松8.45, 黄山栎6.56, 樱花5.79	1.10	90.2	55.2	31.0	26.5
	锡惠森林公园	麻栎21.56, 锥栗18.47, 马尾松12.87, 枫香10.66, 香樟7.86	1.12	84.0	58.0	40.2	25.9
	唐城后山	麻栎19.51, 锥栗18.40, 榆树14.57, 马尾松12.49, 香樟8.83	0.91	92.0	75.1	45.7	27.1

### 3 结果与分析

#### 3.1 城市绿地凋落物的树种组成

由表1可知, 无锡公园绿地、居住区绿地、道路绿地的凋落物的乔灌木树种组成主要为香樟 (*Cinnamomum camphora*)、无患子 (*Sapindus mukorossi*)、榉树 (*Zelkova serrata*)、广玉兰 (*Magnolia grandiflora*) 和桂花 (*Osmanthus fra-*

*grans*), 其中香樟的重要值最高, 其次为无患子和桂花。地被植物树种主要以毛鹃 (*Rhododendron pulchrum*)、红叶石楠 (*Photinia fraseri*)、金叶女贞 (*Ligustrum vicaryi*) 和红花檫木 (*Loropetalum chinense var. rubrum*) 为主。生产绿地植物树种以香樟, 广玉兰和桂花为主; 防护绿地树种根据周边环境相应配置常绿和落叶树种; 森林公园的植物树种以自然分布于无锡地区的麻栎

(*Quercus acutissima*)、锥栗(*Castanea henryi*)和榆树(*Ulmus pumila*)等为主。

### 3.2 城市绿地凋落物量的特征

#### 3.2.1 城市绿地凋落物量季节变化

由表2可知, 6类城市绿地的凋落物量在1a的研究期内, 均出现双峰特征, 基本出现在4月中旬和11月中下旬, 每类绿地凋落物量之和均占年凋落物量的50%以上, 其中生产绿地4月份凋落物量接近其年凋落物量的40%。6类绿地在2月、6月、7月和8月的凋落物量均最少,

4个月凋落物量仅占全年凋落物量的9.5~24.6%, 生产绿地最少, 仅为9.5%。6类城市绿地的春、秋季节凋落物量都显著( $P<0.05$ )高于夏、冬季节凋落物量。公园绿地的四季凋落物量存在显著差异( $P<0.05$ ), 生产绿地也表现出同样的规律; 防护绿地、道路绿地、森林公园和居住区绿地春、秋两季的季节凋落物量都基本一致, 森林公园的夏季凋落物量显著( $P<0.05$ )低于冬季, 而其他5类绿地夏季和冬季凋落物量无显著差异。

表2 6类城市绿地凋落物量差异性分析

Table 2 Difference analysis of litterfall total amount in 6 types of urban green space

绿地类型	凋落物量/(g·cm <sup>-2</sup> )				
	春季	夏季	秋季	冬季	年凋落物量
公园绿地	258±44 <sup>ab</sup>	141±17 <sup>ba</sup>	346±39 <sup>ac</sup>	169±38 <sup>aa</sup>	914±24 <sup>bd</sup>
生产绿地	1 993±117 <sup>dc</sup>	157±99 <sup>bcA</sup>	499±34 <sup>bb</sup>	233±25 <sup>ba</sup>	2 883±165 <sup>cd</sup>
防护绿地	1 057±130 <sup>bb</sup>	279±57 <sup>ca</sup>	975±101 <sup>cb</sup>	328±46 <sup>ca</sup>	2 650±212 <sup>cc</sup>
道路绿地	238±51 <sup>ab</sup>	81±12 <sup>aa</sup>	222±66 <sup>ab</sup>	92±33 <sup>aa</sup>	633±179 <sup>ac</sup>
居住区绿地	302±71 <sup>ab</sup>	76±3 <sup>aa</sup>	290±73 <sup>ab</sup>	88±37 <sup>aa</sup>	756±142 <sup>abc</sup>
森林公园	1 430±34 <sup>cc</sup>	490±41 <sup>da</sup>	1 508±82 <sup>dc</sup>	776±70 <sup>db</sup>	4 204±8 <sup>dd</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 同行不同大写字母表示差异显著( $P<0.01$ )。

#### 3.2.2 城市绿地凋落物量差异分析

由表2可知, 森林公园和防护绿地每月的凋落物量显著高于公园绿地、道路绿地和居住区绿地( $P<0.05$ ); 公园绿地、道路绿地和居住区绿地各个月份的凋落物量无显著差异。生产绿地在3—5月的凋落物量显著高于其他绿地( $P<0.05$ )。公园绿地、道路绿地和居住区绿地春、秋、冬3个季度的凋落物量均无显著差异, 公园绿地夏季凋落物量略高于其他绿地。可见, 这3种类型的城市绿地凋落物量呈现类似的存留特征。公园绿地、道路绿地和居住区绿地4个季度凋落物量均显著低于防护绿地、生产绿地和森林公园的相应季度的凋落物量( $P<0.05$ )。从年凋落物量的变化特征可以看出, 森林公园年凋落物量达4 204 g/cm<sup>2</sup>, 显著大于其他5类绿地( $P<0.05$ ), 是生产绿地和防护绿地绿地的2倍, 是公园绿地、居住区绿地和道路绿地的5~7倍。生产绿地和防护绿地年凋落物量显著高于公园绿地、居住区绿地和道路绿地( $P<0.05$ ), 是3种绿地的3~4倍; 公园绿地、居住区绿地和道路绿地凋落

物量基本一致, 在6类绿地中凋落物量最低。

#### 3.3 城市绿地凋落物现存量特征

由表3可知, 6类城市绿地中, 森林公园和防护绿地在春、夏、秋、冬的凋落物现存量中均显著高于道路绿地、居住区绿地、生产绿地和公园绿地对应季度的现存量( $P<0.05$ )。森林公园和防护绿地凋落物四季度的现存量比较发现, 森林公园的春、秋和冬季的现存量都显著高于防护绿地凋落物的现存量( $P<0.05$ ), 二者在夏季的现存量差异不显著。道路绿地的四季凋落物的现存量显著高于居住区绿地、公园绿地和生产绿地( $P<0.05$ )。公园绿地和生产绿地4个季度凋落物的现存量均无显著差异。总体来说, 6类绿地凋落物现存量比较发现, 森林公园>防护绿地>道路绿地>居住区绿地>公园绿地~生产绿地。此外, 6类城市绿地四季的凋落物现存量也存在一定的差距, 所有绿地凋落物现存量均呈现春秋季节最多, 冬季其次, 夏季最少, 其变化规律与凋落物量的季节变化规律基本一致。

表3 6类城市绿地凋落物现存量差异性分析

Table 3 Difference analysis of the litterfall standing crop in 6 types of urban green space

处理	凋落物现存量/(g·cm <sup>-2</sup> )			
	春季	夏季	秋季	冬季
公园绿地	211±11 <sup>aC</sup>	97±2 <sup>aA</sup>	216±9 <sup>aC</sup>	147±23 <sup>aB</sup>
生产绿地	297±25 <sup>aC</sup>	118±21 <sup>aA</sup>	238±20 <sup>aB</sup>	200±10 <sup>abB</sup>
防护绿地	946±70 <sup>dB</sup>	671±11 <sup>dA</sup>	959±91 <sup>dB</sup>	820±5 <sup>dB</sup>
道路绿地	583±24 <sup>aB</sup>	290±22 <sup>aA</sup>	539±70 <sup>aB</sup>	359±56 <sup>aA</sup>
居住区绿地	393±20 <sup>bC</sup>	206±8 <sup>bA</sup>	388±9 <sup>bC</sup>	250±40 <sup>bB</sup>
森林公园	1 237±81 <sup>aC</sup>	639±90 <sup>dA</sup>	1 261±36 <sup>aC</sup>	937±39 <sup>aB</sup>

注：同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )，同行不同大写字母表示差异显著 ( $P<0.01$ )。

### 3.4 城市绿地年凋落物量和现存量的影响因子

由表4可知，年凋落物量与绿地率、乔木层盖度、灌木层盖度呈正相关，其中，与绿地率和乔木层盖度的相关系数较大，均达到极显著水平 ( $P<0.01$ )；与常绿落叶比和地被盖度没有相关性。年凋落物现存量与绿地率、乔木层盖度、灌木层盖度和地被盖度均呈正相关。年凋落物现存量与绿地率、乔木层盖度和灌木层盖度相关系数均达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。说明城市绿地年凋落物量和凋落物现存量均与绿地的生态因子相关。

表4 年凋落物量和凋落物现存量与各影响因子之间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis among the influence factors and the yearly litterfall production /standing crops

影响因子	年凋落物量	年凋落物现存量
常绿落叶比	0.356	-0.265
绿地率	0.734	0.720
乔木层盖度	0.757**	0.780**
灌木层盖度	0.618	0.734
地被盖度	0.077	0.511

注：\*\*表示极显著相关 ( $P<0.01$ )。

## 4 结论与讨论

本研究中6类城市绿地年凋落物量表现为森林公园>生产绿地>防护绿地>公园绿地>居住区绿地>道路绿地。森林公园年凋落物量 ( $4\ 204\text{ g/cm}^2$ ) 的变化规律与浙江天童常绿阔叶林年凋落物量的变化规律类似<sup>[27]</sup>，这可能是因为无锡森林公园的林地地貌和生态因子接近天然常绿阔叶林<sup>[24]</sup>。进一步查阅资料和样地调查发现，本研究样地的

3个森林公园前身均为天然常绿落叶混交阔叶林，现仅在原来的基础上增加园路和少量的游憩空间。生产绿地和防护绿地显著大于公园绿地、居住区绿地和道路绿地，这可能与绿地的绿地率有关，绿地率越高，植物种植密度越高，植物数量越多，凋落物量也因此越高<sup>[8-9]</sup>。本研究中，凋落物量与影响因子相关性研究的研究结果进一步证实了城市绿地凋落物存留特征变化规律的类似特征。

年凋落物现存量呈现森林公园>防护绿地>道路绿地>居住区绿地>公园绿地~生产绿地的变化特征。向环卫工人和环卫管理单位对凋落物管理方式进行问卷调查发现，无锡市区的森林公园凋落物以接近自然状态寄存和分解，一般不会人为处理；防护绿地凋落物处理频率较低，一般每年清扫1~2次；生产绿地凋落物处理与经营者有关，没有固定的清扫频率，这也可能是本研究中，生产绿地凋落物现存量与公园绿地相当，在6类绿地中凋落物现存量最少的原因。道路绿地、居住区绿地和公园绿地凋落物清扫视凋落地点而定，对硬质铺装上的凋落物处理得较为彻底，每天1~2次或8h内随时清扫；对于群落结构比较复杂的道路绿化带、城市公园的绿化群和低矮的地被绿地，其处理频率较低，一般是1个月或更长时间进行不完全的收集处理；对于落在居住区、校园、医院等单位附属绿地内的绿化群落，为预防蚊虫滋生和凋落物分解的异味给人们带来不便，一般隔周进行不完全的收集；对于落在公共绿地的绿化草坪内的凋落物，以不影响视觉美观为标准，不定期的进行清扫。说明城市绿地凋落物现存量与凋落物处理频率和人为干扰密切相关，凋落物处理频率和人为干扰越低，城市绿地凋落物现存量则越高。因此，城市绿地凋落物管理方式和人为干扰模式可能是影响城市绿地凋落物现存量的关键因子之一，其具体的影响机制有待后期深入研究。

无锡城市绿地凋落物量季节变化具有双峰特征，分别出现于4月中旬和11月中下旬。实地调查发现，无锡地区每年春季4月是常绿植物凋落高峰，11月中旬到12月初为落叶树种凋落高峰。城市绿地凋落物量的变化出现双峰的季相变化特征，一方面可能与绿地中常绿落叶植物配置比值有关<sup>[9]</sup>，如果绿地中常绿植物比值大，则春季凋落物量大，冬季凋落物量少，反之冬季凋落物量大，春季凋落物量少。本研究中的生产绿地

在春季的凋落物量显著高于其他绿地, 与其常绿落叶比值均值 (2.73) 较高有关; 但是, 如果常绿、落叶植物配置比例相当, 则可能出现春秋两季凋落物量相当的现象, 本研究中公园绿地、防护绿地、道路绿地、居住区绿地以及森林公园 5 类绿地的凋落物春秋两季凋落物量接近, 可能与 5 类绿地的常绿落叶比值的平均值较低接近 1 有关。另一方面, 树种组成和城市绿地凋落物量季相变化具有直接的相关关系<sup>[8]</sup>。无锡城市绿地中常绿乔灌木以香樟、桂花和广玉兰为主要绿化树种。调查发现, 3 种植物的凋落物高峰集中在春季的 3 月下旬至 4 月下旬 1 个月内; 落叶树种以无患子和榉树为主要树种, 这 2 种植物的凋落物高峰集中出现在 11 月中下旬, 这一调查结果与无锡城市绿地凋落物峰值出现在 4 月中旬和 11 月中下旬的结果高度吻合。此外, 生产绿地春季凋落物量显著高于秋季, 产生这种结果的原因可能是这些城市绿地种植的植物乔灌木绝大部分为香樟、广玉兰和桂花; 地被植物主要为毛鹃、金叶女贞、红花檵木和红叶石楠等常绿植物品种。

由于植物的枯枝落叶产生与植物的生物学习性密切相关, 绿地的绿地率越高, 乔、灌木层盖度越高, 植物总体数量相应越多, 新存代谢物也相应增大, 由此产生的凋落物量相应越高<sup>[27]</sup>。本研究结果进一步证实, 绿地率、乔木层盖度、灌木层盖度与年凋落物量呈正相关性; 其中绿地率、乔木层盖度与二者均具有极显著性, 说明绿地率和乔木层盖度与城市绿地凋落物的存留密切相关, 绿地率越大, 乔木层盖度越大, 绿地凋落物量越高。徐文铎等<sup>[8]</sup>认为森林凋落物量随气候、温度、降雨量和树种组成不同, 凋落物量也相应产生变化, 此研究结论是否适用于城市绿地凋落物量特征, 有待后期进行深入研究。本研究中的相关性研究结果表明凋落物现存量也与绿地率、乔木层盖度等生态因子呈正相关。此外, 地被盖度与年凋落物现存量显著相关, 表现为地被盖度越高, 凋落物现存量也越高, 这可能与凋落物处理方式有关<sup>[22]</sup>, 在对环卫工人凋落物清扫的调查中了解到, 他们对落入绿地地被层下的凋落物一般不清扫或半年以上清理 1 次; 甚至时常把其他区域清扫的凋落物倒入地被层下。可见, 城市绿地凋落物现存量既与生态因子有关, 也可能与凋落物的人为处理方式有关, 其相关性也有待后续进一步研究。此外, 此次研究期仅为 1a, 对

于城市绿地凋落物量和凋落物现存量是否存在年际变化在此无法做出相应分析, 是本研究的不足之处。

通过上述研究发现, 无锡市 6 种城市绿地年凋落物量表现为森林公园>生产绿地≥防护绿地>公园绿地≥居住区绿地≥道路绿地; 年凋落物现存量表现为森林公园>防护绿地>道路绿地>居住区绿地>公园绿地≈生产绿地。城市绿地凋落物量出现双峰现象, 无锡地区每年春季 4 月中旬是常绿植物凋落高峰, 11 月中下旬到 12 月初为落叶树种凋落高峰。城市绿地的常绿落叶植物比值和树种组成是城市绿地凋落物量季节变化的主要限定因素。绿地年凋落物量与绿地率、乔木层盖度和灌木层盖度呈正相关; 绿地凋落物现存量与绿地率、乔木层盖度、灌木层盖度和地被盖度呈正相关。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张高翔, 金涛, 张莹丽. 桃儿七凋落物对自身种子萌发及幼苗生理特性的影响 [J]. 西部林业科学, 2019, 48(4): 101-107.
- [2] 苏泳娴, 黄光庆, 陈修治, 等. 城市绿地的生态环境效应研究进展 [J]. 生态学报, 2011, 31(23): 302-315.
- [3] 郭伟, 申屠雅瑾, 郑述强, 等. 城市绿地滞尘作用机理和规律的研究进展 [J]. 生态环境学报, 2010, 19(6): 1465-1470.
- [4] 孟猛, 徐永艳. 海绵城市建设探讨 [J]. 西南林业大学学报(社会科学), 2018, 2(1): 92-95.
- [5] 马克明, 殷哲, 张育新. 绿地滞尘效应和机理评估进展 [J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4482-4491.
- [6] 章志琴, 高跃雯. 园林绿化废弃物处理研究进展 [J]. 上饶师范学院学报, 2016, 36(6): 87-92.
- [7] 钮子鹏, 章皖秋, 岳彩荣. 昆明市绿地斑块特征对地表降温的影响 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(6): 151-158.
- [8] 徐文铎, 陈玮, 何兴元, 等. 沈阳城市森林凋落物数量及动态 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 2931-2939.
- [9] 杨文龙, 邵棉丽, 黄慧, 等. 福州城市森林凋落物动态及其归还量 [J]. 亚热带资源与环境学报, 2013, 8(2): 49-55.
- [10] 郑路, 尹林克, 胡秀琴, 等. 克拉玛依不同配置模式防护绿地凋落物现存量及养分贮量 [J]. 林业科学, 2011, 47(4): 13-19.
- [11] 王璐, 张伟东, 王雪峰, 等. 土壤线虫群落对大连城市森林凋落物分解的影响 [J]. 应用与环境生物学报,

- 2015, 21(5): 933–939.
- [12] 高志红. 上海几种主要绿化树种枯枝落叶的特征及生态功能研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [13] Woodcock T S, Huryn A D. Leaf litter processing and invertebrate assemblages along a pollution gradient in a Maine (USA) headwater stream [J]. *Environmental Pollution*, 2005, 134(3): 363–375.
- [14] 阮宏华, 姜志林. 城郊公路两侧主要森林类型铅含量及分布规律 [J]. *应用生态学报*, 1999, 10(3): 362–364.
- [15] 张金屯, Pouyat R. 以纽约为案例的城市化对落叶阔叶林死地被层重金属含量的影响 [J]. *林业科学*, 2000, 36(4): 42–45.
- [16] 张银龙, 陈平, 王月菡, 等. 城市森林群落枯落物层中重金属的含量与储量 [J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2005, 29(6): 19–22.
- [17] 郑思俊, 张庆费, 吴海萍, 等. 上海外环线绿地群落凋落物对土壤水分物理性质的影响 [J]. *生态学杂志*, 2008, 27(7): 1122–1126.
- [18] 刘尚华, 冯朝阳, 吕世海, 等. 京西百花山区 6 种植物群落凋落物持水性能研究 [J]. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 179–183.
- [19] Boldrin A, Andersen J K, Christensen T H. Environmental assessment of garden waste management in the municipality of Aarhus Denmark [J]. *Waste Management*, 2011, 31(7): 1560–1569.
- [20] 吴卫红, 米锋, 张大红, 等. 园林绿化废弃物资源化利用产业发展模式: 以北京市为例 [J]. *世界林业研究*, 2010, 23(5): 77–80.
- [21] 王进丹, 张苏, 吴晓华. 园林绿化废弃物资源化利用的探讨 [J]. *浙江农业科学*, 2013, 54(8): 1034–1038.
- [22] 张璇, 唐庆龙, 张铭杰, 等. 深圳市绿地植被凋落物存留特征及其影响因素 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 2011, 47(3): 545–551.
- [23] 刘顿, 刘强. 海口城区绿地不同地面类型对凋落叶分解的影响 [J]. *海南师范大学学报 (自然科学版)*, 2014, 27(2): 175–181.
- [24] 无锡市统计局. 无锡统计年鉴 2017 年 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [25] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市绿地分类标准: CJJ/T 85—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [26] 章志琴, 王宛茜, 周敏. 一种城市绿地植被凋落物收集装置: 201720571646.4 [P]. 2018-01-09.
- [27] 邓秀秀, 王忠诚, 李程, 等. 浙江天童常绿阔叶林凋落物量季节动态及其与气象因子的关系 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(3): 73–78.

(责任编辑 冯 雪)

