

徐欢,李红. 南京城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的健康效益评估[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):271-275.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.064

南京城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的健康效益评估

徐欢,李红

(江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院,江苏徐州 221116)

摘要:以江苏省南京市为研究对象,通过收集分析数据信息和前人的研究成果,测算出南京市城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的总量;然后运用环境健康风险评估模型和环境健康价值评估方法,对其健康效益进行评估,并且比较分析了不同类型绿地单位面积的健康效益。研究表明,南京市城市绿地全年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的总量为 23.94 t,日均可减少病例总数为 249.9 例;每年产生的健康效益约为 51.74 亿元,约占南京市 2014 年 GDP 总量的 0.59%;乔灌木结构绿地单位面积健康效益值最高,为 21.8 元,草坪最低,为 0.1 元。建议适当减小草坪面积,将部分草坪改造成灌木、乔木等复合绿地结构,有助于改善城市空气质量和提高城市绿地的健康效益。

关键词:城市绿地; $\text{PM}_{2.5}$;健康效益;阻滞吸附

中图分类号: TU986 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)19-0271-04

细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 指环境空气中空气动力学当量直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物。它能较长时间悬浮于空气中,具有粒径小、含有大量有毒有害物质且输送距离远等特点,是危害人体健康和大气环境质量的最主要空气污染物之一,甚至已经成为影响城市发展、人民幸福生活的首要环境限制。已有研究证明,细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 可以损害呼吸系统和免疫系统,引发呼吸系统、心脑血管疾病和其他疾病,从而增加死亡率^[1-2], $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每升高 $10 \mu\text{g}$,肺癌死亡率、心脏病死亡率和全死因死亡率的危险性将分别增加 8%、6% 和 4%^[3]。

植物对空气中的颗粒物有明显的阻滞^[4]和吸附^[5]作用,现阶段关于城市公园绿地植物、道路绿带的滞尘能力、效率等已有较多研究^[6-8],对城市绿地阻滞吸附细颗粒物的相关量化研究中,Nowark 等估算出每年美国的城市植被吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的总量为 214 900 t^[9];Powe 等估测出每年英国植物吸收 $\text{PM}_{2.5}$ 约为 85 695 ~ 596 916 t 和 SO_2 约为 7 715 ~ 11 215 t^[10];童明坤等估算出北京市道路绿地每年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的总量为 1.09 t^[11]。但是城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 总量与健康效益方面的研究还比较少,因此,本研究在总结分析城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的实测成果基础上,采用泊松回归相对风险度模型和环境健康价值评估方法,定量测算了南京市城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 总量并对其健康效益进行了评估,以期为提高城市绿地的健康效益和区域大气雾霾治理提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江苏省南京市位于长江下游中部地区($31^{\circ}14' \sim 32^{\circ}37'N$, $118^{\circ}22' \sim 119^{\circ}14'E$),属亚热带季风气候,四季分明,年平均温度 15.4°C ,年主导风为东风,静风频率年均 16.7%。年均降水 1 106 mm,降水量多集中在春夏季,秋冬季降水较少。截至 2014 年年底,全市建成区面积为 734 km^2 ,常住人口为 821.6 万人,其中城镇常住人口为 665 万人^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 总量测算 绿地植物对 $\text{PM}_{2.5}$ 的阻滞吸附作用主要通过停着、附着和黏附 3 种方式^[13]进行。由于城市绿地中的植物主要是以群落形式存在的,不同类型植物间阻滞吸附颗粒物的效果差异较大,因此基于城市绿地群落结构特征和在无风条件下的研究结果^[14-16],得出南京市城市绿地年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 总量的计算公式为:

$$M_i = S_i \cdot H_i \cdot C_i; \quad (1)$$

$$SM = D \cdot \sum_{i=1}^7 M_i. \quad (2)$$

式中: M_i 为第 i 种绿地类型每天阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的量, μg ; S_i 为第 i 种绿地类型面积, m^2 ; H_i 为第 i 种绿地类型的有效高度, m ; C_i 为第 i 种绿地类型在无风条件下 $\text{PM}_{2.5}$ 的阻滞吸附值, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; SM 为南京市城市绿地 1 年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的总量, μg ; D 为有效天数, d ; i 为绿地结构类型。

1.2.2 健康效益评估方法 基于环境健康价值评估理论,阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 所带来的健康效益评估方法分为 2 个步骤,首先分析测算 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度降低所带来的各个健康终端的健康风险变化,然后对其进行货币化评估,测算健康改善带来的经济效益。各个健康终端的健康风险变化量通过环境健康风险评估方法来计算,通常结合流行病学研究得到污染物浓度和健康效应之间的暴露-反应关系,使用 Poisson 回归相对风险度模型来估算健康风险变化量^[17]。评估模型为:

收稿日期:2016-05-04

基金项目:国家自然科学基金(编号:31500575、31500579);江苏省自然科学基金(编号:BK20150231)。

作者简介:徐欢(1984—),男,山东菏泽人,博士,讲师,主要研究方向为园林绿地生态效应与评价。E-mail: xuhuan84@126.com。

通信作者:李红,博士,讲师,主要研究方向为城市生态与屋顶绿化。E-mail: lihong8303@126.com。

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n E_i \cdot L_{pi}; \tag{3}$$

$$E_i = P \left[1 - \frac{1}{\exp(\beta \cdot \Delta C)} \right] e_i. \tag{4}$$

式中: L 为城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 健康效益总和,万元; L_i 为健康终端 i 对应的健康效益,万元; E_i 为健康终端 i 的健康风险变化量; L_{pi} 为健康终端 i 的单位健康风险变化对应的价值,万元/例; P 为常住居民数量,万人; β 为暴露-反应关系系数; ΔC 为城市绿地所引起的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化量, $\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; e_i 为实际浓度下健康终端 i 的健康效应; n 为健康终端数。

计算城市绿地阻滞吸附作用所引起的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化量 ΔC 时,参考王蕾等^[18]、Nowak 等^[19] 的研究方法,计算公式为:

$$\Delta C = \frac{SM}{BA \cdot AT \cdot D}^\circ \tag{5}$$

式中: ΔC 为城市绿地阻滞吸附作用引起的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化量, $\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; SM 为南京市城市绿地 1 年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的总量, μg ; BA 为南京市建成区面积, m^2 ; AT 为 $\text{PM}_{2.5}$ 污染浓度较高的大气层厚度, m ; D 为 1 年天数, d 。

2 结果与分析

2.1 城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 总量

根据南京市统计年鉴和绿化园林局的统计信息,南京市建成区绿化覆盖率为 44.1%,建成区绿地面积为 3.24 万 hm^2 ,绿地的组成呈多样化,包括乔灌木结构、乔灌结构、乔草结构、灌木结构、单一乔木、单一灌木和草坪共 7 种结构类型(表 1),其中以乔灌木结构为主,其次为草坪和灌木,单一灌木类型的面积最少。

表 1 南京市城市绿地组成类型

组成类型	面积 (hm^2)	比例 (%)
乔灌木	19 806.12	61.13
乔灌	1 992.60	6.15
乔草	628.56	1.94
灌木	3 751.92	11.58
单乔	1 778.76	5.49
单灌	567.00	1.75
草坪	3 875.04	11.96

参考张灵芝等^[4]、王国玉等^[14]、赵晨曦^[16]、吴志萍等^[20]、Erisman 等^[21] 对不同结构类型绿地植物阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的研究成果,总结出不同结构类型绿地对 $\text{PM}_{2.5}$ 的阻滞吸附值和有效高度(表 2)。由于现有研究成果中缺乏对乔灌和单一灌木的研究数据,加上这 2 个结构类型的面积较少,而且乔灌和单一灌木结构与乔灌木和灌木结构类似度较大,所以使用乔灌木和灌木结构的数值乘以 0.8 来确定乔灌和单一灌木结构的数值。

由于南京市绿地中常绿树种大概占比 40%,落叶树种为 60%。落叶树种冬季叶片干枯掉落,自然状态下阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的量极少^[22],同时冬季植物群落中常绿树种的阻滞吸附能力也有所减弱,而且降雨和雾霾组成成分有显著的负相关性,可以有效降低 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度,因此把春夏秋冬三季中非降雨的日数和冬季中非降水日数的 20% 作为城市绿地阻滞吸

表 2 不同结构绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的值

组成类型	有效高度 (m)	阻滞吸附值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
乔灌木	7.0	70.10
乔灌	7.0	56.08
乔草	6.5	47.16
灌木	3.0	43.53
单乔	6.0	37.10
单灌	3.0	34.82
草坪	0.1	23.20

附 $\text{PM}_{2.5}$ 的有效时间。根据南京市气象局的多年统计资料分析(表 3),南京市春夏秋冬三季(3—11 月)平均降水天数为 83.2 d,有效时间为 191.8 d;冬季(12—2 月)平均降水天数为 21.6 d,有效时间为 13.7 d,全年有效时间为 205.5 d。

表 3 南京市基本气候情况统计

月份	天数 (d)	平均温度 ($^\circ\text{C}$)	平均降水天数 (d)
1 月	31	3.0	7.5
2 月	28	5.0	8.0
3 月	31	9.5	13.6
4 月	30	15.5	11.2
5 月	31	21.0	13.0
6 月	30	25.0	11.0
7 月	31	28.5	7.6
8 月	31	28.0	7.7
9 月	30	23.0	9.4
10 月	31	17.5	4.2
11 月	30	11.5	5.5
12 月	31	5.5	6.1

注:以上数据根据 2005—2014 年南京市气象局资料统计。

由式(1)和式(2)计算得知,南京市城市绿地年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 总量为 23.94 t(表 4),其中乔灌木结构绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 能力最强,消减总量最大,达到 19.97 t,占总量的 83.44%;乔灌结构和灌木结构分别为 1.61 t 和 1.01 t,占总量的 6.72% 和 4.21%;单乔结构(0.81 t)和乔草结构(0.40 t)分别占吸附总量的 3.40% 和 1.65%;单灌结构(0.12 t)和草坪(0.02 t)所占比重较小,分别为 0.51% 和 0.08%。以上结果表明,就阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的效果来说,城市绿地应以乔灌木结构或是乔灌、灌木复合结构为主。

2.2 阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的健康风险变化量

参照 ICD-10 国际疾病分类编码和国内已报道的 $\text{PM}_{2.5}$ 健康效益的研究,综合考虑国内流行病学的研究现状及数据的可获取性,分别从患病、门诊、住院和早逝四大类中选取与 $\text{PM}_{2.5}$ 污染相关的人体健康效应终点,其中,患病包括哮喘、慢性支气管炎和急性支气管炎;门诊包括内科门诊和儿科门诊;住院包括心血管疾病和呼吸系统疾病,为避免重复计算,呼吸系统疾病不包括哮喘、急性慢性支气管炎患病;早逝包括急性死亡、心血管疾病死亡(慢性)和呼吸系统疾病死亡(慢性)。综合谢鹏等^[1]、阚海东等^[23]、刘晓云等^[24]、谢元博等^[25] 对中国地区 $\text{PM}_{2.5}$ 健康效益评估的研究成果,提取出各个健康效应终点的暴露-反应系数和基准发生率(表 5)。

首先由式(5)计算城市绿地阻滞吸附作用引起的 $\text{PM}_{2.5}$

表 4 不同结构绿地阻滞吸附 PM_{2.5} 总量

组成类型	日吸附量 (kg)	年吸附总量 (t)
乔灌木	97.19	19.97
乔灌	7.82	1.61
乔草	1.93	0.40
灌木	4.90	1.01
单乔	3.96	0.81
单灌	0.59	0.12
草坪	0.09	0.02
总计	116.48	23.94

日均浓度变化量,其中城市绿地年阻滞吸附 PM_{2.5} 总量为 23.94 t,大气层中 PM_{2.5} 污染浓度较高的厚度根据江苏省环保厅的研究数据为 350 m,1 年天数为 365 d,南京市建成区面积为 734 km²,日均浓度变化量计算结果为 0.255 3 μg/(m³·d)。

使用 Poisson 回归相对风险度模型式(4)计算城市绿地阻滞吸附 PM_{2.5}引起的健康风险变化量,其中南京市城镇常住人口为 665 万人,β 值和 e_i 值由表 4 代入,计算结果如表 6 所示。城市绿地阻滞吸附 PM_{2.5}对南京市居民健康影响较为显著,日均可减少受危害总数为 249.9 例,其中早逝 1.9 例,哮

表 6 各健康效应终点的健康风险变化量、单位经济损失价值和健康效益

类别	健康效应终点	健康风险变化量 (例)	单位经济损失(万元/例)		健康效益 (万元)
			北京(2012 年)	南京(2014 年)	
患病	哮喘	42.4(31.6,51.4)	1.06	1.24	52.5(39.14,63.65)
	慢支	11.7(7.7,12.4)	53.80	62.82	733.85(482.27,779.44)
	急支	60.0(34.5,66.7)	0.52	0.61	36.44(20.94,40.51)
门诊	儿科门诊	37.1(13.9,57.2)	0.06	0.07	2.6(0.97,4.01)
	内科门诊	88.1(49.9,122.6)	0.06	0.07	6.17(3.49,8.59)
住院	心血管	2.9(1.9,3.8)	2.87	3.35	9.62(6.28,12.76)
	呼吸系统	5.7(0,10.0)	1.86	2.17	12.29(0.00,21.82)
早逝	急性死亡	1.0(0.5,1.6)	238.80	278.83	290.97(141.92,438.78)
	心血管	0.6(0.2,1.0)	238.80	278.83	176.53(52.41,286.35)
	呼吸系统	0.3(0.2,0.5)	238.80	278.83	96.55(61.58,126.71)
总计		249.9(140.3,327.3)			1 417.53(808.99,1 782.63)

注:北京市 2013 年和 2014 年人均可支配收入增长率分别为 10.6% 和 8.9%,北京市和南京市 2014 年城镇人均可支配收入分别为 43 910 元和 42 568 元。

2.3 阻滞吸附 PM_{2.5} 的健康经济效益

目前国际国内相关研究主要采用人力资本法(HCA)、支付意愿法(WTP)或疾病成本法(COI)将大气污染引起的健康影响进行货币化。本研究参考刘晓云等^[24]、Zhang 等^[26]的研究方法和数据,依据北京市 2013 年、2014 年人均可支配收入增长率和 2014 年南京市与北京市人均可支配收入的比值,经过收入水平调整将现有北京市 2012 年的研究成果最终修正为南京市 2014 年各健康效应终点的单位经济损失(表 6)。

将各健康效应终点的健康风险变化量进行货币化后,南京市城市绿地阻滞吸附 PM_{2.5}的健康效益日均约为 1 417.53 万元,每年的健康效益约为 51.74 亿元,约占南京市 2014 年 GDP 总量(8 820.75 万亿元)的 0.59%。其中减少患病产生的健康效益为 30.03 亿元(58.04%),减少早逝产生的健康效益为 20.59 亿元(39.79%),减少住院产生的健康效益为 0.8 亿元(1.55%),减少门诊产生的健康效益为 0.32 亿元(0.62%)。由此看来城市绿地对于减少居民患急慢性支气

表 5 各健康效应终点的暴露-反应系数和基准发生率

类别	健康效应终点	β 值(95% 置信区间) (%)	e 值 (‰)
患病	哮喘	2.10(1.45,2.74)	0.153 698 6
	慢性支气管炎	10.09(3.66,15.59)	0.019 013 7
	急性支气管炎	7.90(2.7,13)	0.104 109 6
门诊	儿科门诊	0.56(0.2,0.9)	0.419 178 1
	内科门诊	0.49(0.27,0.7)	1.126 164 4
住院	心血管疾病	0.68(0.43,0.93)	0.027 090 4
	呼吸系统疾病	1.09(0.2,2.21)	0.035 041 1
早逝	急性死亡	0.40(0.19,0.62)	0.016 164 4
	心血管疾病死亡	0.53(0.15,0.9)	0.007 523 0
	呼吸系统疾病死亡	1.43(0.85,2.01)	0.001 702 5

注:β 值为 PM_{2.5} 浓度每增加 10 μg/m³ 导致的人群发病率和死亡率增加的百分数(%);e 值是通过将年死亡率和发病率统计值折算成日均死亡率和发病率而成。

喘 42.4 例,慢性支气管炎 11.7 例,急性支气管炎 60 例,儿科门诊 37.1 例,内科门诊 88.1 例,心血管疾病住院 2.9 例,呼吸系统疾病住院 5.7 例。由此可见,城市绿地可以一定程度上减轻城市居民急性支气管炎和哮喘的发病率,对于儿科门诊和内科门诊影响也较大。

管炎和哮喘的效益最为明显,早逝由于单位经济损失价值较高,所以健康效益总值也比较高,虽然减少门诊的病例数是最多的,但是由于单位经济损失价值最低,所以效益总值也最低。

2.4 综合分析

从不同结构类型绿地产生的健康效益看,南京市乔灌木结构绿地效益最高,为 43.17 亿元,其次是乔灌结构绿地,效益值为 3.47 亿元,然后依次是灌木结构(2.81 亿元)、单乔结构(1.76 亿元)、乔草结构(0.86 亿元);单灌结构和草坪的健康效益值最低,分别为 0.26 亿元和 0.04 亿元。将不同结构类型绿地产生的健康效益换算成单位面积健康效益(图 1),乔灌木结构绿地单位面积健康效益值最高,为 21.80 元,其次为乔灌结构和乔草结构,分别为 17.44 元和 13.62 元,然后依次是单乔结构(9.89 元)、灌木结构(5.80 元)、单灌结构(4.64 元),草坪的单位面积健康效益值最低,为 0.10 元。因此,适当减小草坪面积,将部分草坪改造成灌木、乔草等复合

绿地结构,提高城市绿地结构层次,有助于提高城市绿地阻滞吸附的效率,从而提高城市绿地的健康效益,较好改善城市空气质量。

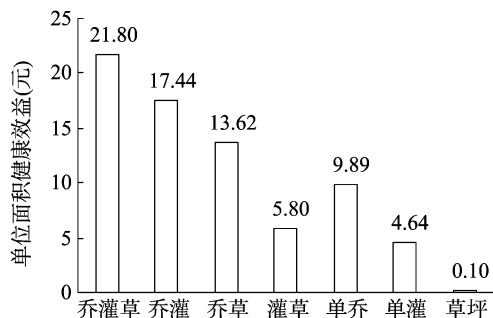


图1 不同结构绿地单位面积健康效益值

3 结论

本研究通过收集分析南京市统计局、园林局和气象局等部门发布的数据信息,以及总结不同结构类型绿地植物阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的研究成果,计算出南京市城市绿地全年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的有效时间为 205.5 d,年阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 总量为 23.94 t,其中乔灌草结构绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 能力最强,占总量的 83.44%,然后依次为乔灌结构(6.72%)、灌草结构(4.21%)、单乔结构(3.40%)、乔草结构(1.65%)、单灌结构(0.51%)和草坪(0.08%)。从阻滞吸附的效果看,城市绿地应以乔灌草结构或是乔灌、灌草复合结构为主。

使用 Poisson 回归相对风险度模型计算健康风险变化量得知,南京市城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 对城市居民健康影响较为显著,日均可减少受危害总数为 249.9 例。将各健康效应终点的健康风险变化量进行货币化后,南京市城市绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 的健康效益日均约为 1 417.53 万元,每年的健康效益约为 51.74 亿元,约占南京市 2014 年 GDP 总量的 0.59%。其中依次为患病 30.03 亿元(58.04%)、早逝 20.59 亿元(39.79%)、住院 0.8 亿元(1.55%)、门诊 0.32 亿元(0.62%)。由此看来城市绿地对于减少居民患急性慢性支气管炎和哮喘的效益最为明显。

从不同结构类型绿地单位面积的健康效益看,南京市乔灌草结构绿地单位面积健康效益值最高,为 21.80 元,然后依次为乔灌结构(17.44 元)、乔草结构(13.62 元)、单乔结构(9.89 元)、灌草结构(5.80 元)、单灌结构(4.64 元)、草坪(0.10 元)。因此,适当减小草坪面积,将部分草坪改造成灌草、乔草等复合绿地结构,有助于提高城市绿地阻滞吸附的效率,改善城市空气质量,从而提高城市绿地的健康效益。

需要说明的是,不同结构类型绿地阻滞吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 值的准确性受气象条件、观测位置和仪器设备等多种因素影响,即便同一结构类型绿地的变化也很大,所以存在一定误差,在以后的研究中需要开展更多的实地观测,对不同结构类型绿地的 $\text{PM}_{2.5}$ 阻滞吸附值进行完善修正。健康风险变化量方面,当前有学者已提出分病因的暴露反应关系系数通常大于不分病因的暴露反应关系系数,但由于我国医疗机构在门诊、急诊登记时并未严格区分病种,以致门诊健康终点只能按年龄区分儿科门诊和内科门诊,因此本研究采用的数据有可能低估门诊

健康终点的健康风险变化量。此外在计算过程中,给出了暴露-反应关系系数的不确定性范围,使用 95% 置信区间来计算健康风险变化量和评估健康效益,以求较好地反映由于数据不确定性引入的误差范围。

参考文献:

- [1] 谢 鹏,刘晓云,刘兆荣,等. 我国人群大气颗粒物污染暴露-反应关系的研究[J]. 中国环境科学,2009,29(10):1034-1040.
- [2] 陈仁杰,陈秉衡,阚海东. 我国 113 个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价[J]. 中国环境科学,2010,30(3):410-415.
- [3] Pope I A, Burnett R T, Thun M J, et al. Lung Cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. Journal of the American Medical Association,2002,287(9):1132-1141.
- [4] 张灵艺,秦 华. 城市道路行道树绿带对 $\text{PM}_{2.5}$ 的滞尘效应及其变化分析[J]. 中国园林,2015,31(5):106-110.
- [5] 陈小平,焦奕雯,裴婷婷,等. 园林植物吸附细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)效应研究进展[J]. 生态学杂志,2014,33(9):2558-2566.
- [6] 王国玉,白伟岚,董 东,等. 城市绿地消减 $\text{PM}_{2.5}$ 污染植物配置技术的思考[J]. 农业科技与信息:现代园林,2014,11(2):23-29.
- [7] 肖 玉,王 硕,李 娜,等. 北京城市绿地对大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的削减作用[J]. 资源科学,2015,37(6):1149-1155.
- [8] 杨 貌. 城市道路绿地阻滞吸附大气颗粒物效益研究[D]. 北京:北京林业大学,2015.
- [9] Nowak D J, Crane D E, Stevens J C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2006,4(3/4):115-123.
- [10] Powe N A, Willis K G. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO_2 and PM_{10}) absorption attributable to woodland in Britain[J]. Journal of Environmental Management,2004,70(2):119-128.
- [11] 童明坤,高吉喜,田美荣,等. 北京市道路绿地消减 $\text{PM}_{2.5}$ 总量及其健康效益评估[J]. 中国环境科学,2015,35(9):2861-2867.
- [12] 南京市统计局. 南京统计年鉴 2015[M]. 北京:中国统计出版社,2015.
- [13] 张灵艺,秦 华. 城市园林绿地滞尘研究进展及发展方向[J]. 中国园林,2015,31(1):64-68.
- [14] 王国玉,白伟岚,李新宇,等. 北京地区消减 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物污染的绿地设计技术探析[J]. 中国园林,2014,30(7):71-76.
- [15] 李新宇,赵松婷,郭 佳,等. 公园绿地不同植物群落对细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响[J]. 农业科技与信息(现代园林),2014,11(11):11-13.
- [16] 赵晨曦. 基于不同尺度的植物对 $\text{PM}_{2.5}$ 的削减及滞留影响研究[D]. 北京:北京林业大学,2015.
- [17] 黄德生,张世秋. 京津冀地区控制 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的健康效益评估[J]. 中国环境科学,2013,33(1):166-174.
- [18] 王 蕾,刘连友,王 志,等. 北京市园林植物吸附 PM_{10} 与 SO_2 总量及其健康效益[J]. 环境科学与技术,2006,29(9):1-4.
- [19] Nowak D J, Hirabayashi S, Bodine A, et al. Modeled $\text{PM}_{2.5}$ removal by trees in ten U. S. cities and associated health effects[J]. Environmental Pollution,2013,178:395-402.
- [20] 吴志萍,王 成,侯晓静,等. 6 种城市绿地空气 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化规律的研究[J]. 安徽农业大学学报,2008,35(4):494-498.

杨好星, 酃永鑫, 陈思莉, 等. 华南地区水库消落带耐旱性草本植物的筛选[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(19): 275–279.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.065

华南地区水库消落带耐旱性草本植物的筛选

杨好星^{1,2}, 酃永鑫², 陈思莉², 易 皓², 张政科², 潘小康³, 谢武明¹, 魏清伟²

(1. 广东工业大学环境科学与工程学院, 广东广州 510006; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广东广州 510655;

3. 南华大学, 湖南衡阳 421000)

摘要:消落带出现在淹水之前及退水之后, 植物在干旱时期的生长状况将直接影响植物在淹没时期的耐淹性能以及退水之后的恢复能力。为筛选出适合华南地区水库消落带生长的耐旱草本植物, 选择铺地黍 (*Panicum repens*)、李氏禾 (*Leersia hexandra* Swartz)、香根草 (*Vetiveria zizanioides*)、狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、芦竹 (*Arundo donax*) 等消落带治理常用草本植物, 通过测定其在干旱胁迫 0、10、20、30 d 时脯氨酸 (proline, 简称 Pro) 含量、丙二醛 (malondialdehyde, 简称 MDA) 含量、叶片叶绿素含量、叶片含水量及干旱胁迫 30 d 时土壤含水量和植株株高等指标的变化幅度, 综合评定各植物的抗旱性能, 并将各指标相对值与抗旱隶属函数值进行关联度分析。结果表明, 在干旱 30 d 时, 狗牙根相对株高最高, 其次是铺地黍, 香根草株高最低; 植株基底土壤含水量以铺地黍最高, 其次是狗牙根, 芦竹基底土壤含水量最低, 且植株相对株高与土壤含水量具有一定相关性 ($P < 0.05$)。根据各植株在干旱阶段第 30 天时隶属函数组得出, 6 种植物的综合抗旱性能由高到低依次为铺地黍 > 狗牙根 > 芦竹 > 李氏禾 > 芦苇 > 香根草, 且各植物在不同的干旱程度下其抗旱表现不同; 各指标对干旱胁迫的敏感程度表现为叶片相对含水量与 Pro 含量对干旱有较高的敏感度, MDA 含量及叶片叶绿素含量对干旱胁迫的敏感度较低, 关联度大小依次为 0.863 9、0.839 7、0.765 8、0.765 4; 同时土壤含水量与抗旱隶属函数值关联度也较大, 高达 0.852 6, 显著相关 ($P < 0.05$), 说明某些植物可能通过本身的特点影响土壤水分蒸发强度, 从而间接影响自身的抗旱性能。

关键词: 华南地区; 消落带; 耐旱性; 草本植物; 干旱胁迫; 植被恢复

中图分类号: Q945.79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)19-0275-05

消落带 (water-level-fluctuation-zone) 是伴随蓄水建坝而形成的水陆交叉生态系统, 周期性水位涨落是其主要特点, 同时也是这种特点导致消落带植被的萎缩甚至消失^[1-2]。如何减缓和阻止消落带自然植被的退化和萎缩, 恢复和重建受损的消落带生态系统成为目前讨论的热点, 也是国内外学者主要关注的方向^[3-7]。虽然植被恢复工作已在多种退化生态系统中开展, 但周期性水位涨落造成生态环境的极端变化,

使库岸消落带植被恢复成为世界性的难题^[8-11]。

华南地区水库型消落带具有独特热带亚热带特性。以广东省为例, 全境属于东亚季风区, 从北向南分别为中亚热带、南亚热带和热带气候, 通常高降水量的背后是高温天气, 高温造就土壤水分的高蒸发量和土壤贫瘠无植被的特点, 从而形成了保水性能低下的消落带, 干旱也就成为华南地区消落带的常态, 而一定时间内植株的耐旱性能直接关系到植株的生长及生存甚至整个消落带植被的生存。华南地区水库消落带植被恢复的重中之重同样是适生性植物的遴选, 草本植物作为消落带生态系统重要的组成部分, 尤其是许多多年生草本植物拥有发达的匍匐茎和根状茎, 具有广泛适应性和强大的恢复生长能力, 可以迅速覆盖地面, 可作为消落带植被恢复的先锋植物, 抗旱性草本植物的筛选也就成为华南地区消落带植被恢复研究中关键的环节^[12-14]。付奇峰等在进行华南地区水库消落带适生植物筛选研究中得出, 铺地黍 (*Panicum repens*) 是消落带生境的适生植物^[15]; 方华等长期针对新丰江

收稿日期: 2016-05-03

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 50908095); 广东省自然科学基金 (编号: 9451065501002521)。

作者简介: 杨好星 (1990—), 男, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 主要从事水库湖泊植被恢复及水土流失治理研究。E-mail: 738912472@qq.com。

通信作者: 魏清伟, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事环境应急与风险管理研究、环境工程研究与设计。E-mail: guoqingwei@scies.org。

[21] Erisman J W, Draaijers G J. Atmospheric deposition: in relation to acidification and eutrophication[M]. [S. l.]: Elsevier, 1995.

[22] 季 静, 王 昱, 杜希龙, 等. 京津冀地区植物对灰霾空气中 PM_{2.5} 等细颗粒物吸附能力分析[J]. 中国科学 (生命科学), 2013, 43(8): 694–699.

[23] 阚海东, 陈秉衡. 我国大气颗粒物暴露与人群健康效应的关系[J]. 环境与健康杂志, 2002, 19(6): 422–424.

[24] 刘晓云, 谢 鹏, 刘兆荣, 等. 珠江三角洲可吸入颗粒物污染急

性健康效应的经济损失评价[J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2010, 46(5): 829–834.

[25] 谢元博, 陈 娟, 李 巍. 雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J]. 环境科学, 2014, 35(1): 1–8.

[26] Zhang M, Song Y, Cai X. A health-based assessment of particulate air pollution in urban areas of Beijing in 2000–2004[J]. Science of the Total Environment, 2007, 376(1/2/3): 100–108.