

南方滨海地区盐雾沉降的时空分布 ——以福建古雷半岛为例

侯梦莹¹ 李芊芊¹ 袁甜甜¹ 王文卿^{1*} 范志阳² 洪赐在²

(¹福建省滨海湿地保护与生态恢复工程技术研究中心; 厦门大学环境与生态学院, 福建厦门 361102; ²福建春天生态科技股份有限公司, 福建漳州 363000)

摘要 研究滨海地区盐雾沉降的时空分布及其影响因素, 以为滨海绿化植物的选择与配置提供依据。以福建省古雷半岛为研究站点, 设置盐雾沉降缸研究离海岸线距离和防护林对盐雾沉降量的影响; 同时模拟不同生活型植物的高度, 研究不同高度盐雾沉降量的差异。结果表明: 春夏秋冬四季, 盐雾沉降量均表现出随离海距离的增加逐渐降低的趋势, 冬季盐雾沉降量在离海岸线 500 m 内快速下降, 在 500 m 以外则下降速度趋缓; 防护林的存在能减少盐雾沉降量, 这种效果在盐雾危害严重的冬季更明显, 可使盐雾沉降量降低 15.4%; 在无防护林遮挡条件下, 盐雾沉降量在不同高度上差异不显著; 主成分分析(PCA)和冗余分析(RDA)显示, 离海距离、平均风速和东北风向频率是 3 个影响盐雾沉降量的主要环境因子。南方沿海地区盐雾沉降量存在明显的时空变化, 离海 500 m 范围为盐雾危害重点防范区域, 防护林或类似遮挡物的存在, 可以显著减少盐雾沉降量。

关键词 盐雾; 时间动态; 离海距离; 影响因子

Spatiotemporal distribution of salt spray deposition in the coastal areas of South China: A case study of the Gulei Peninsula, Fujian. HOU Meng-Ying¹, LI Qian-Qian¹, YUAN Tian-Tian¹, WANG Wen-Qing^{1*}, FAN Zhi-Yang², HONG Ci-Zai² (¹Engineering Research Center of Fujian Province for Coastal Wetland Protection and Ecological Restoration; College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China; ²Fujian Spring Ecology and Technology Co., Ltd., Zhangzhou 363000, Fujian, China).

Abstract: Salt spray is one of the main factors affecting plant growth in coastal areas. This study aimed to investigate the spatial and temporal distribution of salt spray deposition and its driving factors, and provide scientific basis for the selection and configuration of coastal greening plants. The experiment was conducted along the coast of the Gulei Peninsula, Fujian. The experimental sites were divided into zones with and without shelterbelts. Cylinders were used to measure salt spray deposition at a variety of distances from the shoreline. Cylinders were installed at different heights in shelterbelt-free areas to measure the salt spray deposition variation. Our results showed that salt spray deposition decreased as the distance from the shoreline increases. During the winter, salt spray deposition decreased rapidly with distance closer than 500 m from the shoreline. The rate of decrease finished at longer distances. The shelterbelt significantly reduced salt spray deposition, with a 15.4% decrease in winter. At the sites without shelterbelt, there was no significant difference in deposition among locations at different heights. Results from the principal component and redundancy analyses showed that distance from the shoreline, wind speed, and frequency of a northwest wind were key factors driving salt spray deposition. We concluded that shelterbelt construction was an effective measure to protect plants from ocean salt water vapor.

Key words: salt spray; time dynamics; distance from the shoreline; impact factor.

国家重点研发计划项目子课题(2016YFC0502904)资助。

收稿日期: 2018-12-24 接受日期: 2019-05-10

* 通讯作者 E-mail: mangroves@xmu.edu.cn

沿海地区由于受大风和海浪的动力作用,形成无数含有盐离子的水滴(盐雾),在风力和重力的作用下,沉降于树木和农作物的茎秆和枝叶上,造成生理脱水,严重时枯萎渍死,造成减产,这一现象被称为海煞(王述礼等,1995)。盐雾危害主要症状是叶尖和叶缘枯焦(王文卿等,2013)。盐雾是滨海地区植物生长发育的最重要限制因素之一(Griffiths, 2006),直接影响滨海植物的存活、分布和形态(Lin *et al.*, 2017)。

滨海地区绿化植物普遍存在盐雾危害。我国北至辽宁,南至海南岛,西至广西,都有相关报道,如辽宁滨海大道(苏畅,2012)、山东烟台海岸(衣华鹏等,2008)、江苏连云港、启东、盐城海岸带(闵剑勇等,2013)、浙江舟山海岛(贺位忠等,2008)、福建晋江深沪湾(姚培森,2016)、福建厦门海湾大道(卞阿娜等,2009)、广东阳江海陵岛(谭广文等,2013)等地的绿化植物都受到不同程度的盐雾危害。台湾北部及澎湖地区防护林秋冬季出现季节性灼伤,也是盐雾危害的结果(李载鸣,2005)。广东珠海情侣路土壤含盐量虽然只有0.22‰,60.5%的园林绿化植物出现典型盐害症状,推测其主要原因也是盐雾危害(苏凤秀等,2007)。

目前的研究集中于盐雾危害机理和耐盐雾植物资源的筛选与应用。盐雾对植物形态(Griffiths *et al.*, 2003; Ogura *et al.*, 2008; Sánchez-Vilas *et al.*, 2012; Lin *et al.*, 2017)、离子吸收与分布(Simini *et al.*, 1982; 林鸣等,2006; 赵颖等,2016)、光合作用(陈顺伟等,2001; 李芊芊,2017)等已经有不少研究。王文卿等(2013)根据植物的生长状况和离海岸线的距离于国内首次针对200种南方滨海植物的耐盐雾能力进行评级并具体阐述了植物受土壤盐胁迫和空气盐雾胁迫的症状差异。

已有研究表明,滨海地区盐雾沉降存在明显的时空变化,普遍认为,风浪越大,越靠近海,植物越高大,盐雾危害越严重,而秋冬季危害重于春夏季(王文卿等,2013)。同一种植物越靠近海边,受害越严重(谭广文等,2013)。盐雾一般在距海岸300~500 m范围内沉降量较大,而在向内陆大约80~1600 km内,其沉降量随距离的增加而减少(徐国葆,1994)。福建平潭秋冬季的东北季风夹杂盐分对绿化植物造成严重危害(苏燕苹,2013)。台湾澎湖是我国盐雾危害的重灾区,秋冬季的东北季风携带的盐雾给植物带来严重危害(李载鸣等,2005)。王文卿等

(2013)提出,耐盐雾植物的利用、障碍物的使用、微地形的改造和保证水分供应是预防绿化盐雾危害的主要措施。但是,除耐盐雾植物资源的选择和利用外,如何通过障碍物的使用和微地形的改造预防盐雾危害还有待进一步研究。同时,对盐雾沉降量的时空变化规律还缺乏数据支撑,滨海地区的城镇绿化和防护林建设因盐雾危害严重而困难重重(陈洋芳,2017)。针对我国滨海地区盐雾危害严重、防治盐雾危害技术严重匮乏的现状,本研究选择盐雾危害严重的福建省漳浦县古雷半岛为对象,从离海距离、植被的种植高度、障碍物的有无、季节等研究盐雾沉降的时空变化,并探究其影响因素,以为滨海绿化植物的选择与配置提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

古雷港疏港公路位于福建省漳浦县南端的古雷半岛(117°35'E—117°39'E, 23°42'N—23°54'N)。古雷半岛三面临海,东临台湾海峡,西靠东山湾,半岛呈条带状南北走向,向大海延伸约22 km,东西宽3~4 km(最窄处仅300 m),面积约40 km²,多为沙滩、沙丘及沙质地。由于古雷半岛特殊的地理位置和地形结构,加之台湾海峡的“狭管效应”(伍伯瑜,1982),成为福建省沿海著名的强风区。古雷半岛属亚热带海洋性季风气候,年平均气温21℃。古雷港疏港公路总长约17100 m,整体形态呈“C”字型,由北至南依次为路段K5~K22,其中从K16到K5路段,离海距离从100 m到1700 m不等,平均海拔约2.5 m。原生物种类多为典型的亚热带滨海植物,如海边月见草(*Oenothera drummondii*)、马鞍藤(*Ipomoea pes-caprae*)、匍枝栓果菊(*Launaea sarmentosa*)、蒺藜草(*Cenchrus echinatus*)等。2015年5月中旬种植的植物种类主要有:乔木:银海枣(*Phoenix sylvestris*)、黄槿(*Hibiscus tiliaceus*)、刺桐(*Erythrina variegata*)、糖胶树(*Alstonia scholaris*)、高山榕(*Ficus altissima*)、印度橡皮树(*Ficus elastica*)、菩提树(*Ficus religiosa*);灌木:灰莉(*Fagraea ceilanica*)、朱槿(*Hibiscus rosa-sinensis*)、黄金榕(*Ficus microcarpa cv. Golden Leaves*)、双荚决明(*Senna bicapsularis*);草本有:长春花(*Catharanthus roseus*)、翠芦莉(*Aphelandra Ruellia*)、细叶结缕草(*Zoysia tenuifolia*)。

1.2 研究方法

1.2.1 盐雾沉降收集装置的安装 古雷疏港公路

K16-K5 离海距离从 100 m 到 1700 m 不等,在 K16、K15、K14、K13、K10、K9、K8、K7 和 K5 等路段设置盐雾沉降监测点。K5 路段离海 1700 m,所有绿化植物没有盐雾危害症状且长势良好,设置沉降缸作为对照。除 K14 路段外,所有路段东侧均无高大的建筑或防护林。K14 路段靠东侧有长约 70 m、宽约 30 m、高约 10 m 的木麻黄防护林带,在防护林后 30 m 内设置沉降缸,可与无防护林且离海距离相同的 K13 路段形成对照,用以研究有无防护林遮挡对盐雾沉降量的影响。

盐雾沉降量的收集装置采用直径 15 cm,高度 30 cm 的 PVC 管作为沉降缸,并在每个沉降缸中加入 50 ml 的乙二醇(防止藻类和细菌生长)。综合考虑古雷绿化植物的实际高度,沉降缸的高度设为 3 m。此外,在 K13 路段,除设置高 3 m 的盐雾沉降缸外,另增设高 1.5 m 和 0.5 m 的沉降缸,用以研究垂直方向上盐雾沉降量的差异。每个监测点均设置 3 个平行于海岸的盐雾沉降缸作为重复。盐雾沉降缸的布设均选择周围空旷或无高大遮挡物的地点。每月采集一次盐雾沉降量,用蒸馏水冲洗每个监测点架设的盐雾沉降缸重复 3 次,记录其体积并收集部分溶液装入 50 ml 离心管,带回实验室备用,测定沉降缸所收集溶液的电导率,做标准曲线将电导率换算为水体盐度,再换算为 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,保留小数点后两位。

1.2.2 测量指标 离海距离、植株高度、有无防护林遮挡等数据通过实测方式获得;气温、降水、相对湿度通过气象局获得;盐雾沉降量的测定选用电导率法,用雷磁电导率仪(DDSJ-318型)测定;风速和风向等气象资料通过设置的自动风速仪型号为 S-WSET-B(美国 HOBO 新型风速风向传感器)获得。

1.2.3 数据处理 用 Excel 2016 软件进行数据初步处理和作图,采用 SPSS 20.0 软件进行数据统计、Pearson 相关性分析和主成分分析(PCA),采用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行有无防护林以及不同的高度对盐雾沉降量差异显著性比较, $P < 0.05$ 代表差异显著,使用 Canoco 5.0 进行冗余分析(RDA)和主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 降雨量对盐雾沉降量的影响

2016 年 5 月至 2017 年 3 月试验期间,古雷半岛月均相对湿度 81.70%。月均降雨量 102.50 mm,最

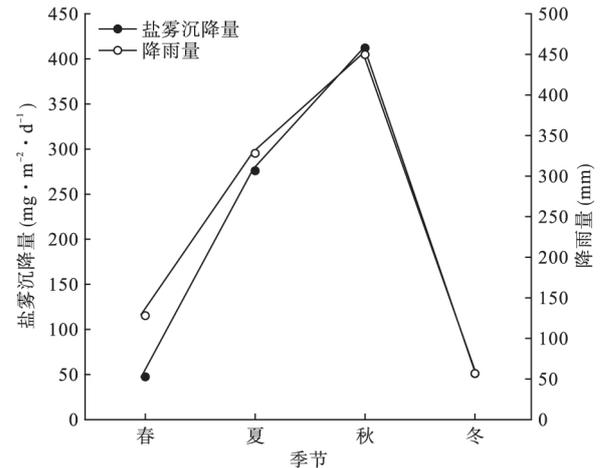


图1 盐雾沉降量和降雨量的季节变化

Fig.1 Seasonal change of salt spray deposition and rainfall

大降雨量出现在 8 月份,达 285.90 mm。旱季与雨季分明,6—10 月为雨季,11 月—翌年 3 月为旱季。

从春季到秋季盐雾沉降量逐渐增大,直至冬季开始降低。对盐雾沉降量和降雨量进行 Pearson 相关性分析发现,盐雾沉降量与降雨量有显著正相关关系($R = 0.99$, $P < 0.05$),盐雾沉降量随降雨量的增大而增大(图 1),盐雾沉降量的大小显著受降雨量的影响。

2.2 离海距离对盐雾沉降量的影响

通过回归分析(图 2),春(A)、夏(B)、秋(C)、冬(D)的盐雾沉降量都有随离海距离的增加而逐渐下降的趋势。Pearson 相关性分析发现,除春季盐雾沉降量与离海距离相关性不显著外($R^2 = 0.22$, $P > 0.05$),夏季、秋季、冬季盐雾沉降量与离海距离均存在显著负相关($P < 0.05$)。需要特别指出的是,在离海距离 500 m 范围内,冬季盐雾沉降量随离海距离的增加急剧下降,超过 500 m 盐雾沉降量下降趋缓。从离海距离 100 m 增加到 1700 m,盐雾沉降量从 $98.37 (\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$ 降至 $58.14 (\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$,降低了 40.90% (图 3)。

2.3 高度对盐雾沉降量的影响

模拟 3 种不同的植物高度 0.5、1.5 和 3 m 对比其在春、夏、秋、冬四季的盐雾沉降量,发现垂直方向上植物高度不同盐雾沉降量没有显著差异($P > 0.05$,图 4)。

2.4 防护林对盐雾沉降量的影响

春秋季节 K14 路段(有防护林)的盐雾沉降量与 K13(无防护林)路段差异不显著($P > 0.05$);冬夏季 K14 路段的盐雾沉降量则显著低于 K13 路段

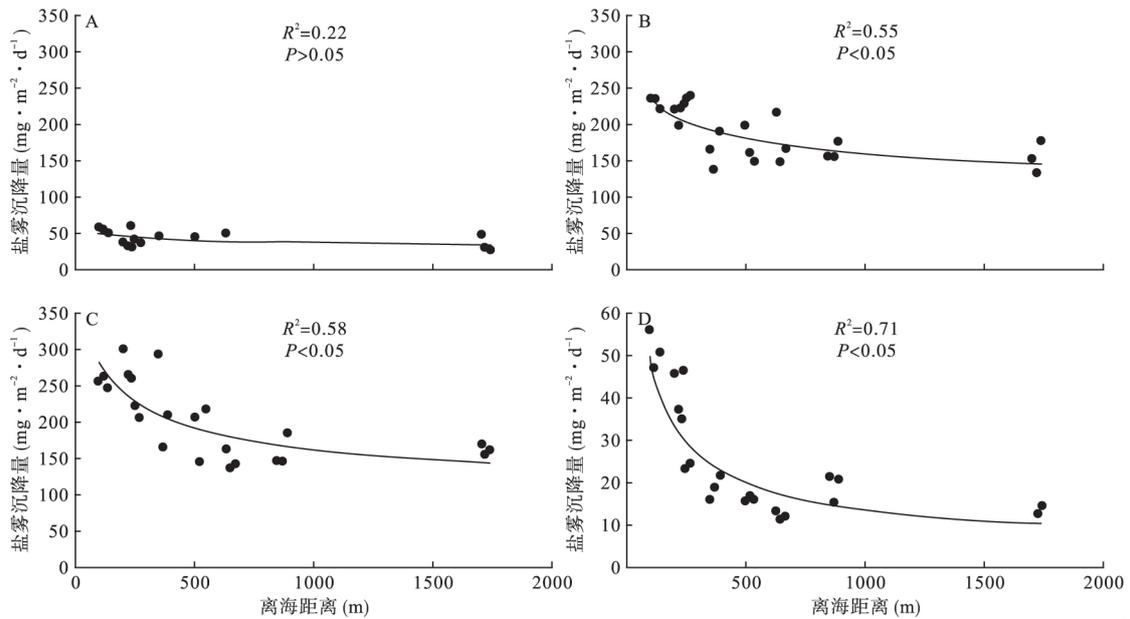


图2 不同季节盐雾沉降量与离海距离间的相关性

Fig.2 Correlation between salt spray deposition in different seasons and the distance from the sea

A: 春季, B: 夏季, C: 秋季, D: 冬季。

($P < 0.05$)。春、夏、冬季, 有防护林路段的盐雾沉降量相比无防护林路段分别降低了 7.2%、53.6%、和 15.4% 秋季则增加了 7.8%(图 5)。就全年而言, 防护林有显著降低盐雾沉降量的作用, 且在盐雾危害严重的冬季效果更明显($P < 0.05$)。

2.5 筛选影响盐雾沉降量的环境因子

如表 1 所示, 第 1 主成分的特征值为 3.33, 贡献率为 55.51%, 第 2 主成分的特征值为 2.36, 贡献率为 39.34%, 这两个主成分的累积贡献率达 94.85%, 即前两个主成分足以说明该数据的变化趋势, 完全符合主成分分析的要求, 因此取前两个主成分作为数据分析的有效成分。

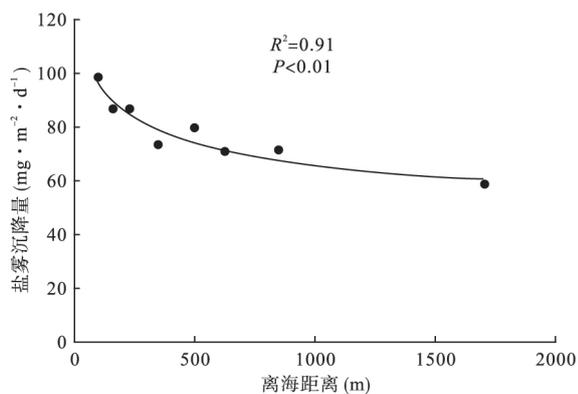


图3 年均盐雾沉降量随离海距离的变化

Fig.3 Change of annual salt spray deposition with the change of distance from the sea

从因子旋转矩阵可以看出(表 2), 第 I 主成分可以解释 6 个环境因子 55.32% 的变化, 主要反映的是风向因子, 其与东北风向的相关系数最大, 达 0.98, 与西南风向和西北风向的相关系数也都在 0.85 以上, 所以风向可以解释第 I 主成分信息量的

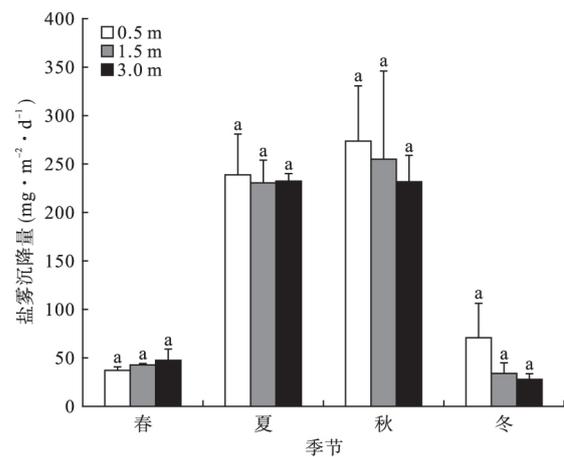


图4 不同高度的盐雾沉降缸所收集盐雾沉降量的差异

Fig.4 Difference in salt spray deposition on different heights of salt spray deposition cylinders

表 1 各成分的特征值以及贡献率

Table 1 Eigen values of 2 principal components and their contribution and cumulative contribution

成分	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
X1	3.33	55.51	55.51
X2	2.36	39.34	94.85

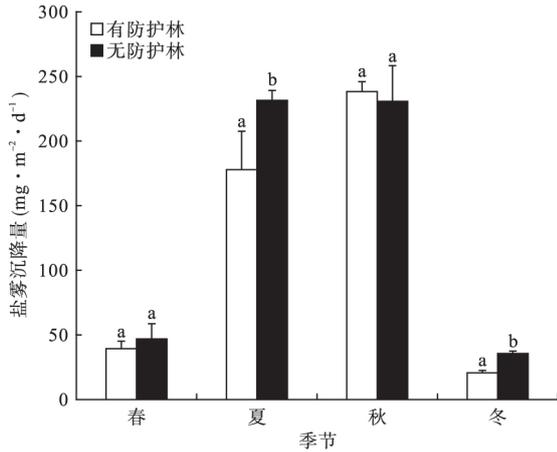


图 5 不同季节有无防护林的盐雾沉降量比较
Fig.5 Influence of shelter forests on salt spray deposition in different seasons

表 2 各因子载荷矩阵
Table 2 Loading matrix of each component

主成分	离海距离	平均风速	东北风向	东南风向	西南风向	西北风向
I R	0.09	0.20	0.98	0.77	-0.88	-0.97
R ²	0.00	0.04	0.96	0.59	0.77	0.94
II R	0.99	-0.93	-0.13	0.61	0.37	-0.19
R ²	0.98	0.86	0.02	0.37	0.14	0.04

R: 相关系数; R²: 信息解释量。

81%,可称其为风向因子。第 II 主成分可以解释 6 个环境因子 40.08% 的变化,其与离海距离的相关系数最大,达到 0.99,其次是平均风速,其相关系数绝对值可达 0.93,这一类因子可描述为离海岸距离和风速因子。因此,主成分分析结果表明,东北风向、离海距离、平均风速是影响盐雾沉降量的 3 类最主要环境因素,初步说明了各个变量所代表信息的重要性强弱。

2.6 影响盐雾沉降量的环境因子排序

风向、离海距离、平均风速是主要的环境因子,进一步将这些环境因子与盐雾沉降量进行相关性分析。对盐雾沉降量 DCA 排序结果显示第一排序轴梯度长度(LGA)为 0.43,小于 3,适合用基于线性的冗余分析(RDA)。蒙特卡罗检验显示,样本与物种、样本和环境因子之间显著相关($F = 3.30, P = 0.02$)。经过夹角大小排序,结果显示,影响盐雾沉降量的第一环境因子是离海距离,与盐雾沉降量呈负相关。排序第二是风速,与盐雾沉降量呈正相关,其次是东北风向和西北风向与盐雾沉降量呈正相关,东南风向和西南风向与盐雾沉降量呈负相关(图 6)。

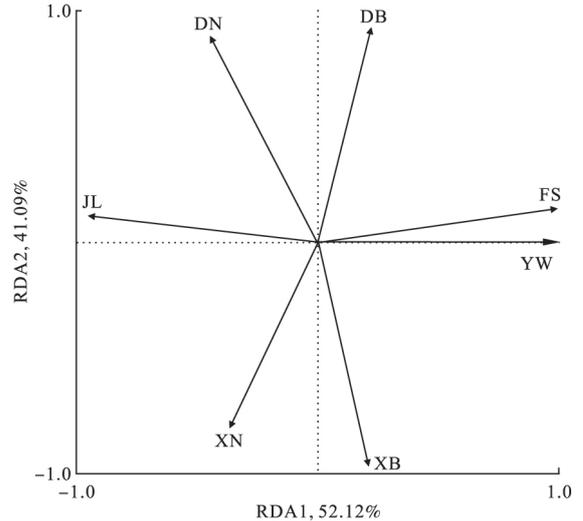


图 6 盐雾沉降量与各环境因子的 RDA 排序图
Fig.6 RDA biplot of salt spray deposition and environmental factors

DN: 东南风; DB: 东北风; XB: 西北风; XN: 西南风; FS: 风速; JL: 离海距离。

3 讨论

3.1 盐雾沉降量的时空变化

本研究结果显示,在夏、秋、冬季,盐雾沉降量随离海岸线距离的增加而显著降低($P < 0.05$),且冬季盐雾沉降量在离海岸线 500 m 范围内急速沉降,超过 500 m 盐雾沉降量变化趋缓,这与 Malloch(1972)研究的结论(盐雾在离海岸距离 500 m 范围内急速沉降,在 2 km 外沉降量很少)类似,海岸附近空气中的盐雾含量较高,盐雾沉降量也越高,随着离海距离的增大,盐雾含量减少,植物的生长受盐雾影响越来越小。此外,有研究发现,盐雾沉降可使滨海植物矮化,并限制乔木类植物在滨海地区的生长。本研究的盐雾收集装置最高为 3 m,是基于当地乔木的高度设定。盐雾沉降量的大小和植物生长的高度存在一定关系(Griffiths et al., 2003)。但本研究显示,盐雾沉降量在不同高度上差异不明显,这可能与设置的高度梯度过小有关。除此之外,盐雾对高大的植物影响较为明显,探究盐雾对植物的影响时是否应该在一定的高度基础上,这些都需要进一步深究。

盐雾沉降有两种发生方式,干沉降和湿沉降。夏季植物长势优良但实测的盐雾沉降量最大,这可能是由于夏季降雨量大所导致。徐国葆等(1995)研究发现,降雨使空气中的盐雾粒子自降雨高度以下随雨水降落而被洗刷,这一过程会使空气中的盐雾含量降低而雨水中的含盐量增大。Malloch

(1972)也发现,雨水会冲刷走部分盐雾,使盐雾干沉降量降低。从当地雨水盐度为0.03‰和收集的沉降缸溶液体积显著增多(约10倍)来看,盐雾沉降量受降雨影响显著。降雨使空气中的盐雾以湿沉降形式降落,但以这种形式沉降的盐雾并不会真正作用于植物。真正作用于植物的是盐雾干沉降,受重力的影响沉降在植物表面。秋、冬季的主导风向是从海洋刮向大陆的东北风,且经过台湾海峡的“狭管效应”,风速从秋季到冬季逐渐增大,再加上秋冬季的干旱少雨,强劲的海风携带的盐雾沉降在植物组织表面,导致绿化植物生长不良甚至大面积死亡。关于滨海地区盐雾干沉降量的时空变化规律以及如何进行植物的配置和工程防护措施来预防盐雾危害还需进一步探究。

3.2 防护林对盐雾沉降量的影响

植物与环境是一个统一的整体,环境影响着植物的生长与分布,反过来植物能改变周围小气候。例如,陈佳源等(1984)研究福建平潭地区的防护林生态效应时发现,林内风速比无林地降低了30%左右,相对湿度提高7%~10%。王述礼等(1995)在辽宁大连研究发现,防护林带前后盐沉降速率是无林地地带的4.3倍,而风速的降低和空气相对湿度的提高都有助于降低盐雾干沉降量(徐国葆,1994)。Sykes和Wilso(1988)发现,由于沙地上的半固定沙丘的遮挡作用,提高了其后侧滨海植物的存活率和长势水平。林鸣等(2006)发现,在浪花飞溅区,绿化植株的迎风面叶片大多呈现叶缘或叶尖枯焦,而背风面的盐害症状则较轻或不表现盐害症状,这与本试验观测到的结果一致,即:防护林的存在能够降低风速,从而显著降低盐雾沉降量,被防护林遮挡的植物长势较好。因此,在环境恶劣的滨海地区,沿海防护林能够改良周边的环境,产生巨大的生态经济效益(胡海波等,1998)。这对我国东南沿海地区防护林建设与生态绿化等具有参考价值和指导意义,其次在防护林的建设中要根据当地的具体情况来设置防护林的高度、密度、宽度等指标。

4 结论

本研究以福建古雷半岛为例,对盐雾沉降量的时空变化进行量化,并得出以下规律:1)盐雾沉降量从海向陆呈现出递减的趋势,在冬季盐雾沉降量在离海岸线500m内快速下降,在500m外则下降速度趋缓;2)盐雾沉降量在不同高度上(0.5、1.5、3

m)无明显差异;3)盐雾沉降量受降水的影响,存在季节差异;4)防护林的存在可以显著减少盐雾沉降量。另外,离海距离、平均风速和东北风向是影响盐雾沉降量的主要环境因子。离海距离越远,盐雾沉降量越小;风速和东北风向频率越大,盐雾沉降量越大。这些研究结果对我国东南沿海地区防护林建设与生态绿化等具有参考价值和指导意义。

参考文献

- 卞阿娜,王文卿. 2009. 厦门海湾大道耐盐园林植物的选择与配置. 漳州师范学院学报: 自然科学版, 65(3): 125-129.
- 陈佳源,吴幼恭,杨乃才. 1984. 南亚热带滨海地区整治一例. 福建师大学报: 自然科学版, (1): 133-140.
- 陈顺伟,高智慧,岳春雷,等. 2001. 杜英等树种对盐雾胁迫的反应及其生理特性研究. 浙江大学学报农业与生命科学版, 27(4): 398-402.
- 陈洋芳. 2017. 我国南方滨海地区植被修复的主要难题-盐雾危害(硕士学位论文). 厦门: 厦门大学.
- 贺位忠,李玉芬,高大海. 2008. 舟山海岛困难地造林树种选择与配套技术研究. 浙江林业科技, 28(4): 39-42.
- 胡海波,康立新. 1998. 国外沿海防护林生态及其效益研究进展. 世界林业研究, (2): 18-25.
- 李芊芊. 2017. 盐雾沉降的时空分布与滨海绿化植物的长势关系研究——以福建古雷半岛为例(硕士学位论文), 厦门: 厦门大学.
- 李载鸣,郭秀珮,陈正慧. 2005. 澎湖群岛海岸防风林植物群落生态调查. 中国水土保持科学, 3(1): 19-24.
- 林鸣,王文卿. 2006. 浪花飞溅区高山榕盐害机制初步探讨. 厦门大学学报: 自然科学版, 45(2): 284-288.
- 闵剑勇,赵伟,宋国森,等. 2013. 江苏临海高等级公路绿化种植试验. 华东公路, (6): 69-71.
- 苏畅. 2012. 关于辽宁滨海大道地域性植物景观建设的建议. 旅游纵览(行业版), (2): 88.
- 苏凤秀,柯欢,蔡静如,等. 2007. 珠海滨海园林植物盐害及野生耐盐植物调查. 广东园林, 29(6): 40-43.
- 苏燕苹. 2013. 福建平潭抗风耐盐园林植物的筛选与配置. 亚热带植物科学, 42(3): 267-270.
- 谭广文,曾非凡,刘斌. 2013. 广东海陵岛银滩滨海旅游区园林树种选择与应用研究. 中国园林, (5): 96-99.
- 王述礼,孔繁智,关德新,等. 1995. 沿海防护林防风浪危害初探. 应用生态学报, 6(3): 251-254.
- 王文卿,陈琼. 2013. 南方滨海耐盐植物资源(一). 厦门: 厦门大学出版社.
- 伍伯瑜. 1982. 台湾海峡的气候特征. 应用海洋学学报, 1(2): 16-20.
- 徐国葆,黄玉洲,吴忠勇,1995. 中华人民共和国国家标准 电工电子产品自然环境条件 尘、沙、盐雾. 环境技术, (2): 30-44.
- 徐国葆. 1994. 我国沿海大气中盐雾含量与分布. 环境技术, (3): 1-7.

- 姚培森. 2016. 晋江深沪湾风口沿海防护林修复改造技术. 福建林业科技, **43**(2): 185-189.
- 衣华鹏, 张鹏宴, 毕继胜, 等. 2008. 烟台海岸带防护林的生态环境效应与景观生态建设. 海洋科学, **32**(2): 69-73.
- 赵颖, 王国明, 陈闻, 等. 2016. 盐雾胁迫对7种海岛树种生理特性的影响. 浙江林业科技, **36**(1): 24-31.
- Griffiths ME, Orians CM. 2003. Salt spray differentially affects water status, necrosis, and growth in coastal sand plain heathland species. *American Journal of Botany*, **90**: 1188-1196.
- Griffiths ME. 2006. Salt spray and edaphic factors maintain dwarf stature and community composition in coastal sand plain heathlands. *Plant Ecology*, **186**: 69-86.
- Lin Y, Li J, Bakker JD, et al. 2017. Wind and salt spray alter tree shape and dry mass density in *Casuarina equisetifolia* L. *Trees*, **31**: 15-26.
- Malloch AJC. 1972. Salt-spray deposition on the maritime cliffs of the Lizard Peninsula. *Journal of Ecology*, **60**: 103-112.
- Ogura A, Yura H. 2008. Effects of sandblasting and salt spray on inland plants transplanted to coastal sand dunes. *Ecological Research*, **23**: 107-112.
- Sánchez-Vilas J, Retuerto R. 2012. Response of the sexes of the subdioecious plant *Honckenya peploides* to nutrients under different salt spray conditions. *Ecological Research*, **27**: 163-171.
- Simini M, Leone IA. 1982. Effect of photoperiod, temperature and relative humidity on chloride uptake of plants exposed to salt spray. *Phytopathology*, **72**: 1163-1166.
- Sykes MT, Wilson JB. 1988. An experimental investigation into the response of some New Zealand sand dune species to salt spray. *Annals of Botany*, **62**: 159-166.
-
- 作者简介 侯梦莹,女,1994年生,硕士研究生,主要从事南方滨海沙地植被修复。E-mail: 1224551346@qq.com
责任编辑 张敏
-