

甘肃省民勤县荒漠绿洲过渡带典型 灌丛植物的滞尘量效应

董正虎, 马瑞, 王安林, 田永胜, 刘腾, 柴巧弟

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 开展荒漠绿洲过渡带典型灌丛滞尘研究, 为区域防风固沙树种滞尘效益评价和绿洲防护体系建设提供依据。[方法] 通过野外调查采样, 室内水洗过滤等方法, 定量分析了荒漠绿洲过渡带梭梭 (*Holoxylon ammodendron*)、怪柳 (*Tamarix chinensis*)、白刺 (*Nitraria tangutorum*) 3种植物在3月上旬(冬态)和6月下旬(夏态)滞尘量和滞尘粒度沿荒漠至绿洲4 km范围内的时空变化特征。[结果] 滞尘量从荒漠到绿洲逐步递减, 3月上旬梭梭、怪柳、白刺平均递减20.74%, 16.13%, 14.72%, 6月下旬平均递减14.37%, 9.23%, 26.54%。3月上旬梭梭的滞尘量最大, 约为172.36 g/株, 6月下旬怪柳的滞尘量最大, 约为345.16 g/株。3月上旬3种灌木所滞尘土的粒径主要为20~50 μm , 约占41.00%, 梭梭有少量滞尘的粒径为500~1000 μm , 约占总量的15.00%; 6月下旬所滞尘土的粒径大量分布于100~200 μm , 少量分布于5~10 μm 。[结论] 在3月和6月, 3种灌木的滞尘量从荒漠到绿洲均呈现出递减的趋势, 灌丛植物的滞尘量、滞尘粒径受时间、空间及植物叶表面特征的共同影响。

关键词: 荒漠绿洲过渡带; 荒漠植物; 滞尘量; 粒度特征; 甘肃民勤县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)03-0036-10

中图分类号: X513

文献参数: 董正虎, 马瑞, 王安林, 等. 甘肃省民勤县荒漠绿洲过渡带典型灌丛植物的滞尘量效应[J]. 水土保持通报, 2024, 44(3): 36-45. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.03.005; Dong Zhenghu, Ma Rui, Wang Anlin, et al. Dust retention effects of typical shrub plants in desert oasis transition zone in Minqin County of Gansu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(3): 36-45.

Dust Retention Effects of Typical Shrub Plants in Desert Oasis Transition Zone in Minqin County of Gansu Province

Dong Zhenghu, Ma Rui, Wang Anlin, Tian Yongsheng, Liu Teng, Chai Qiaodi

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] Dust retention of typical shrublands in a desert-oasis ecotone was quantified, in order to provide a basis for the evaluation of dust retention benefits of regional windbreak and sand-fixing tree species and the construction of oasis protection systems. [Methods] Field investigations and sampling, indoor washing filtration, and other methods were used to determine the temporal and spatial variation characteristics of dust retention amount and particle size of three shrub species (*Holoxylon ammodendron*, *Tamarix chinensis*, and *Nitraria tangutorum*) in the desert-oasis transition zone along the 4-km range from desert to oasis in early March (winter state) and late June (summer state). [Results] The amount of dust retention gradually decreased from desert to oasis. In early March, the average decreases in dust retention of *Holoxylon ammodendron*, *Tamarix chinensis*, and *Nitraria tangutorum* were 20.74%, 16.13% and 14.72%, respectively. In late June, the average decreases were 14.37%, 9.23%, and 26.54%, respectively. In early March, *Holoxylon ammodendron* had the largest amount of dust retention, about 172.36 g/plant. In late June, *Tamarix chinensis* had the largest amount of dust retention, about 345.16 g/plant. In the first

收稿日期: 2024-01-05

修回日期: 2024-02-26

资助项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合资助项目“河西走廊阻沙固沙带防护机理与调控”(U21A2001)

第一作者: 董正虎(1998—), 男(汉族), 甘肃省武威市人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠生态。Email: dzhgg123456@163.com。

通信作者: 马瑞(1977—), 女(回族), 甘肃省平凉市人, 博士生导师, 教授, 主要从事水土保持林草工程、荒漠生态方面的研究。Email: mr031103@126.com。

ten days of March, the dust particle size for the three shrubs mainly ranged from 20 to 50 μm , accounting for about 41.00% of the dust that was trapped. A small amount of dust trapped by *Haloxylon ammodendron* had particle sizes of 500 to 1000 μm , accounting for about 15.00% of the total. In late June, the particle size of the dust ranged from 100 to 200 μm , and a small amount ranged from 5 to 10 μm . [Conclusion] In March and June, the dust retention of the three shrubs showed a decreasing trend from desert to oasis. The dust retention and dust retention particle size of shrub plants were affected by time, space, and plant leaf surface characteristics.

Keywords: desert oasis transition zone; desert plants; dust retention; particle size characteristics; Minqin County of Gansu Province

植物滞尘对于改善空气污染和降低大气颗粒物浓度有十分重要的作用^[1-2],植物通过其表面结构特性(如茸毛、沟状组织、蜡质表皮、分泌黏性油脂和汁浆等)对大气颗粒物进行有效的阻挡、过滤和吸附,进而发挥巨大的滞尘作用,是环境污染的重要过滤体^[3]。河西走廊绿洲荒漠绿洲过渡带是由绿洲及周边防护林和外围封育保护带构成,其在阻挡风沙入侵、维持绿洲生态系统稳定等方面发挥着关键作用^[4],由民勤治沙研究所的观测数据可知,民勤绿洲防护带可减少 72% 左右沙尘量,绿洲边缘的人工梭梭、沙拐枣以及白刺天然植被可拦截沙尘 42%,经绿洲边缘植被和绿洲内部防护林可拦截沙尘 74%^[5],这说明其荒漠植被对于降低沙尘危害发挥了巨大的作用。

目前,国内外学者对植物滞尘的研究主要聚焦在植物叶面滞尘能力对比、植物滞尘机理研究、滞尘成分分析等几个方面。研究尺度和研究对象上多集中于一些省会城市和大中型城市的绿化植物(园林、交通道路及工矿区等),而且关于评定其滞尘能力的方法也不一,如利用单位叶面积滞尘量、单株滞尘量、单位重量滞尘量和单位体积滞尘量等方法进行评定,但对于荒漠植物灌丛滞尘量的研究成果相对偏少。综合现有对荒漠植物灌丛滞尘的研究,荒漠植物灌丛一样具有对大气颗粒物进行有效阻挡、过滤和吸附的滞尘作用,其滞尘能力随植被种类、生长季节、面积大小和所处环境等因素不同而异。李生字等^[6]对塔中植物园梭梭等 10 种灌木的滞尘能力进行多指标比较,结果表明不同植物其滞尘能力不同,同时也与所处环境条件有关。刘开琳等^[7]在对民勤植物园 3 种灌木叶面微结构及其滞尘能力的研究中发现其中叶面积和叶长对滞尘量影响较大。吴红雪^[8]在研究中发现同样地条件影响灌丛滞尘量,同一地条件下由于 2 种灌丛植物体特征、叶片特征存在差异而使二者的滞尘能力差异显著。以上对荒漠植物滞尘能力的研究主要集中于在单株尺度上评估植物滞尘能力,且拘泥于叶片、特定环境和时间下的滞尘量和滞尘影响因

素分析。然而,随着研究范围的不断扩大,植物滞尘研究逐步向较大尺度范围发展。

梭梭(*Haloxylon ammodendron*),怪柳(*Tamarix chinensis*),白刺(*Nitraria tangutorum*) 3 种植物均为民勤荒漠绿洲过渡带重要、常见的沙生灌木,对沙尘的阻截有重要的作用。本文以民勤荒漠绿洲过渡带典型的 3 种灌木为研究对象,在传统洗脱称量法对单株植物滞尘量测定的基础上,结合灌木地上生物量估测模型,对大尺度绿色空间滞尘能力进行了估算,并分析和探究了 3 种灌木滞尘量和滞尘粒度的时空变化规律,旨在为该区域今后的荒漠化防治、荒漠绿洲过渡带灌木滞尘效益评价及防护体系建设提供理论参考与基础数据。

1 研究区概况

研究区位于巴丹吉林沙漠东南缘的民勤荒漠绿洲过渡带(103°19'00"—103°20'30"E, 38°53'00"—38°54'50"N),东临腾格里沙漠,平均海拔 1 331 m。研究区为典型的温带大陆性荒漠气候,降水稀少,蒸发量大,日照时间长,昼夜温差大,大风数多,主要在冬春季,此时降水少,气候干燥,导致扬沙、浮尘和沙尘暴等天气灾害频发。年均 9 级以上大风日数为 27.8 d,年沙尘暴日数为 37 d,沙尘天气主要集中在每年 3—6 月^[9]。依次选取 3 个样地作为采样点(图 1),1# 样地靠近荒漠,2# 样地位于绿洲边缘的荒漠绿洲过渡带,3# 样地处于绿洲内部,绿洲内部有大量农田防护林、农田及居民点。从荒漠到绿洲,降尘量和风蚀量显著减小,基于此 3 个样地分别代表 3 个不同梯度的产尘量样地,每 2 个采样点之间约 2 km。研究区域内人工植被有梭梭,沙枣(*Elaeagnus angustifolia*),新疆杨(*Populus alba* var. *pyramidalis*),二白杨(*Populus gansuensis*);天然植物有白刺,沙蒿(*Artemisia arenaria*),怪柳,芦苇(*Phragmites australis*),红砂(*Reaumuria songarica*)等,梭梭、怪柳和白刺是 3 个样地典型的植物种^[10]。

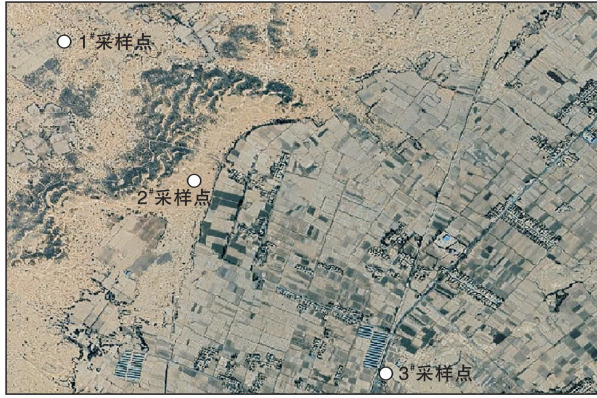


图 1 滞尘量试验采样点布设示意图

Fig.1 Schematic diagram of sampling points for dust retention test

2 材料与方法

2.1 试验材料

2023 年 3 月和 6 月在民勤县武家庄绿洲外围的荒漠绿洲过渡带选取梭梭、怪柳和白刺作为试验材

料,其 3 种灌木在不同季节有不同的形态特征如图 2 所示。

梭梭和怪柳由于叶片极度退化,形态微小,前者发育了能够进行光合作用的同化枝,后者发育了绿色营养枝,它们都以一定的枝角着生在木质化枝条上^[11],且与木质化小枝区分度不大,故分别采集了梭梭和怪柳的带叶小枝和茎干,测定其枝叶滞尘量和茎干滞尘量,再根据枝叶和茎干占单株生物量的比重估算单株的滞尘量。白刺植株较小,故采集单枝地上全部枝叶对其滞尘量进行测定,再根据白刺沙包地上生物量估算沙包总滞尘量。

2.2 试验方法

2.2.1 野外样品采集

(1) 样方布设。在研究区选择有梭梭、怪柳和白刺分布的地方作为采样区。在荒漠边缘、荒漠绿洲过渡带、绿洲内部分别设 3 个采样地(表 1),代表 3 个不同的产生尘量样地。

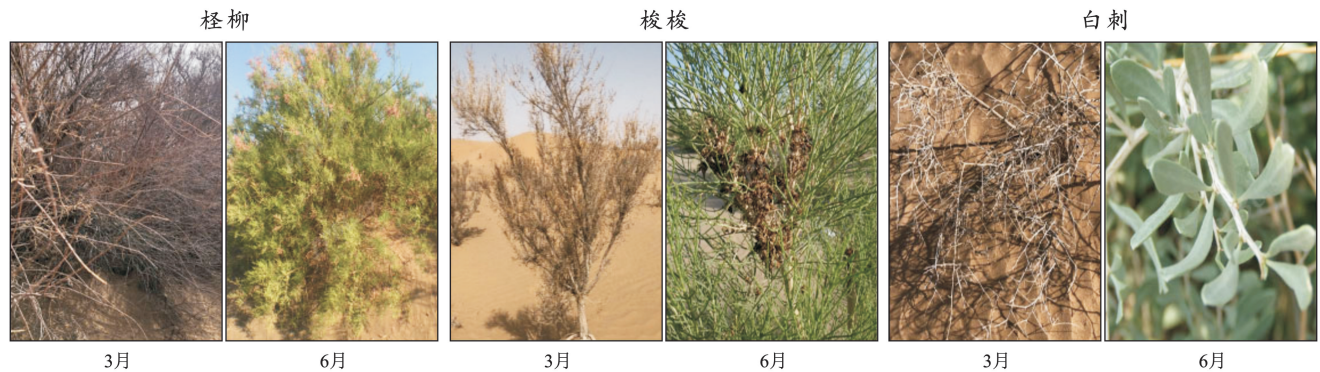


图 2 3 种灌木 3 月和 6 月形态特征

Fig.2 Morphological characteristics of three shrubs in March and June

表 1 甘肃省民勤县荒漠绿洲过渡带调查样地基本情况

Table 1 Basic situation of desert-oasis transition zone in Minqin County, Gansu Province

样地编号	类型	纬度(N)	经度(E)	海拔/m	样地基本信息
1 [#]	荒漠	38°54'30"—38°55'30"	103°18'30"—103°17'30"	1 332	样地靠近沙丘,植被覆盖度更低,梭梭、怪柳生长状况较差,白刺形成白刺沙包,长势比过渡带差,植物生长下垫面覆盖大量流沙
2 [#]	荒漠绿洲过渡带	38°54'10"—38°54'50"	103°19'40"—103°19'00"	1 332	样地位于荒漠和绿洲生态缓冲区,靠近绿洲边缘有积沙带,植被覆盖度较低,梭梭生长状态较绿洲内部差,白刺、怪柳生长状况良好
3 [#]	绿洲	38°53'36"—38°53'16"	103°19'58"—103°20'18"	1 332	样地位于绿洲内部一片荒滩,周围有大量农田及农田防护林,由于长期受绿洲灌溉影响,植被覆盖度高,3 种灌木生长状况较好

每相邻 2 个采样地之间距离为 2 km。在每个样点设 9 个 10 m×10 m 的样方,梭梭、怪柳和白刺各 3 个样方。

(2) 植被调查及单株植物形态特征测定。对样方内梭梭、怪柳和白刺灌丛进行计数,测定梭梭和怪

柳的植株高度(H)、基径(d)(距地面 5 cm 处的树干直径)、植株枝下高(h)、冠幅(D)。白刺属于灌丛沙包,采用沙包生物量方程统计其地上生物量,并对其白刺沙包植株的高度和沙包长度进行测量。

(3) 滞尘植物器官采集。从梭梭和怪柳植株中

上部外侧的各方向剪取健康完整的枝叶,并截取梭梭和怪柳的茎干,剪取时不能抖动。白刺则剪取单枝地上所有生物量。将材料置于自封袋中,带回实验室处理。

另外选取梭梭、怪柳、白刺样株各 5 棵,剪取成熟健康的叶片,用自封袋封装后置于冰盒内,立即带回实验室用于叶表皮微形态观察^[12-13]。

2.2.2 滞尘量测定 灌木枝叶的测定采用洗脱称量法,将从野外采集的样品按每个自封袋进行称量,减去自封袋质量后得到枝叶和吸附降尘的总质量 T 。

将植物枝叶置于大烧杯中,用蒸馏水浸泡,并将冲洗自封袋的水也倒入烧杯,将烧杯放置在调速多用振荡器上摇晃 30 min,再转入超声波清洗仪进一步清洗 30 min,随之用纱网将清洗干净后的植物光合器官及碎屑取出控水。将控水后的植物光合器官置于 85 °C 的烘箱中杀青 30 min,最后将温度调为 65 °C,烘 24 h,取出称重^[14]。

对滤纸进行编号并置于 1/10 000 的天平称重,记录滤纸质量 (W_1)。将含尘水用滤纸过滤,之后将滤出的尘土和滤纸一同置于 60 °C 烘箱内烘干,用天平称量并记录尘土和滤纸总质量 (W_2)。 $W_2 - W_1$ 即为枝叶总滞尘量,记为 D 。

单位重量干物质滞尘量采用下式计算。

$$d_i = D_i / W_i \quad (1)$$

式中: d_i 表示器官单位干重滞尘量 (g/kg); D_i 为器官总滞尘量 (g); W_i 为器官干重 (kg); i 表示采集的梭梭(代码 ss)、怪柳(代码 cl)和白刺(代码 bc)器官。

2.2.3 单株滞尘量估算

(1) 地上生物量估算。借鉴前人对地上生物量的估测模型来计算不同灌木地上生物量,表达式^[15-16]为:

$$Y_{ss} = 501.709 + 284.065X_1 + 0.24X_2 \quad (2)$$

$$Y_{cl} = e^{1.72\ln X_3 + 6.28} \quad (3)$$

$$Y_{bc} = -0.284 + 1.3\ln X_3 + 0.917\ln X_4 \quad (4)$$

式中: Y_{ss} , Y_{cl} , Y_{bc} 分别为梭梭、怪柳和白刺地上生物量干重; X_1 为灌木平均基径; X_2 为冠幅面积; X_3 为植株高度; X_4 为沙包长度。

(2) 滞尘量估算。对茎干和枝叶干重测定可知,梭梭的茎干、枝叶占其全重的比例分别约为 68%, 32%; 怪柳的茎干、枝叶占其全重的比例分别约为 75%, 25%。据此,得到梭梭单株、怪柳单株、白刺沙包的滞尘量计算式分别为:

$$M_{ss} = Y_{ss} \times 68\% \times d_{ss\text{茎干}} + Y_{ss} \times 32\% \times d_{ss\text{枝叶}} \quad (5)$$

$$M_{cl} = Y_{cl} \times 75\% \times d_{cl\text{茎干}} + Y_{cl} \times 25\% \times d_{cl\text{枝叶}} \quad (6)$$

$$M_{bc} = Y_{bc} \times d_{bc} \quad (7)$$

式中: M_{ss} , M_{cl} , M_{bc} 分别为梭梭、怪柳和白刺单株滞尘量。

2.2.4 滞尘的粒径级测定 将过滤的尘样,在去除杂质和经过前处理后,用 Mastersizer 3000 激光粒度分析仪(量程范围为 0.01~3 500 μm)测定其粒径分布,每个样品测量 3 次,求取平均值^[17-18]。

2.2.5 叶片形态及其微结构观察 取采集的新鲜植物叶片,用刀片切下上表皮,制成玻片,在显微镜 (Leica DM500B) 下观察、拍照^[19-20]。

2.3 数据处理与分析

用 Excel 2010 软件统计数据,用 SPSS 27 统计软件进行最小显著差数法 (LSD) 多重比较分析,利用 Origin 2022 软件制作数据图。

3 结果与分析

3.1 3 种典型植物灌丛特征分析

从表 2 中看出,3 种灌木在荒漠到绿洲的过渡中,灌丛特征存在明显差异。表现为从荒漠边缘样地 (1#) 到绿洲边缘样地 (3#),梭梭、怪柳和白刺的长势整体上变强,表现为灌丛冠幅增大、植株高度增高、枝条数量增多、单枝叶片数量增多。怪柳个体较梭梭和白刺灌丛较大,约为梭梭的 3 倍,白刺的 2 倍,白刺植株高度较梭梭和怪柳低,枝条数虽多,但枝条的叶片数较少,这主要是由于怪柳和白刺形成灌丛沙包,3 种灌木生物学特征也存在差异。

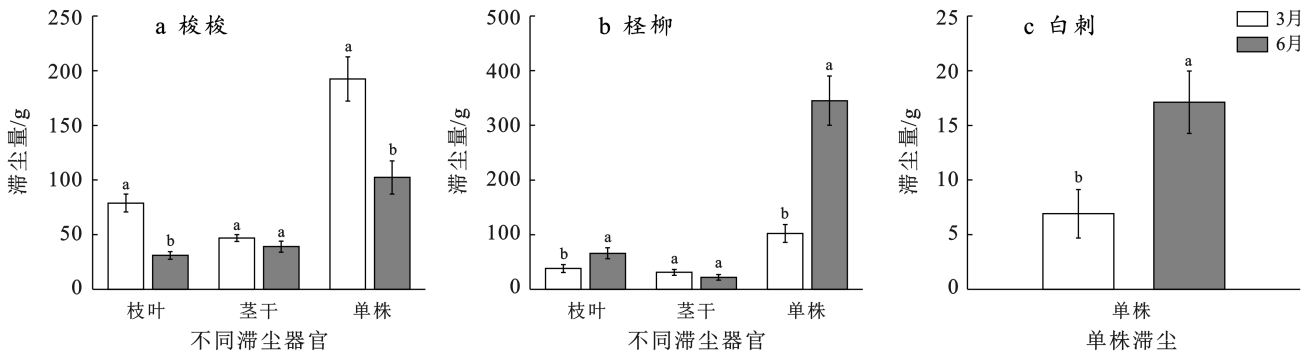
3.2 滞尘量分析

(1) 3 种灌木平均滞尘量时间变化。由图 3 可知,3 种不同灌木在不同时间其枝叶、茎干和单株滞尘量存在差异,3 月梭梭枝叶滞尘量 (78.97 g/kg) 显著高于 6 月梭梭枝叶滞尘量 (31.06 g/kg),滞尘量是 6 月的近 2 倍,并具有显著性差异 ($p < 0.05$)。3 月梭梭茎干滞尘量略大于 6 月,但没有达到显著水平。3 月梭梭单株滞尘量 (172.36 g/kg) 显著大于 6 月单株滞尘量 (102.32 g/kg),3 月到 6 月梭梭枝叶、茎干和单株滞尘量分别减少 60.66%, 18.13%, 40.61%。怪柳在 3 月时枝叶和单株滞尘量分别为 38.24 g/kg, 102.16 g/株均显著小于 6 月怪柳枝叶滞尘量 65.96 g/kg 和单株滞尘量 345.16 g/株 ($p < 0.05$), 6 月怪柳单株滞尘量是 3 月滞尘量的近 3 倍。3 月白刺单株滞尘量 6.91 g/株显著少于 6 月 15.11 g/株。总体表现为在 3 月时梭梭枝叶、单株滞尘量显著大于 6 月,怪柳 6 月枝叶、单株滞尘量显著大于 3 月,梭梭和怪柳茎干滞尘量在 3 月和 6 月无显著变化,白刺 6 月单株滞尘量显著大于 3 月。

表 2 甘肃省民勤县荒漠绿洲过渡带梭梭、柽柳、白刺灌丛特征

Table 2 Characteristics of *Haloxylon ammodendron*, *Tamarix chinensis* and *Nitraria tangutorum* in desert-oasis transition zone of Minqin County, Gansu province

植物种	样方编号	株高/cm	冠幅/(cm×cm)	枝条数/ (枝·丛 ⁻¹)	叶片数/ (片·枝 ⁻¹)
梭梭	1 [#]	130.82±4.13	125.46±16.14×84.27±23.12	124	38
	2 [#]	153.16±6.62	133.34±17.49×102.2±21.25	108	32
	3 [#]	178.28±7.82	168.25±26.13×106.86±20.21	123	48
柽柳	1 [#]	112.69±8.26	354.11±15.24×193.541±17.31	1 156	104
	2 [#]	213.88±10.94	431.94±16.17×374.18±29.36	1 823	123
	3 [#]	285.54±12.13	636.58±48.96×420.65±30.11	2 239	189
白刺	1 [#]	31.76±5.13	222.96±36.36×101.55±23.33	1 650	16
	2 [#]	36.43±7.21	237.56±31.10×204.17±58.69	2 125	21
	3 [#]	47.01±5.6	325.13±55.10×256.23±42.336	2 568	32



注:不同小写字母表示在同一植物下,同一滞尘器官在不同时间滞尘量之间存在显著差异($p < 0.05$)。

图 3 不同时期 3 种灌木的平均滞尘量

Fig.3 Average dust retention of three shrubs in different periods

(2) 3 种灌木滞尘量空间变化。由图 4a 可知, 3 月和 6 月不同样地梭梭枝叶、茎干和单株滞尘量随荒漠到绿洲逐渐减小。最小显著差异法 (LSD) 多重比较表明, 3 月梭梭枝叶滞尘量 (75.21 g/kg) 在荒漠样地显著大于过渡带 (42.07 g/kg) 和绿洲 (30.91 g/kg), 存在显著差异 ($p < 0.05$)。茎干滞尘量在荒漠样地大于过渡带和绿洲, 过渡带略大于绿洲, 但没有达到显著水平 ($p > 0.05$), 单株滞尘量最大为荒漠样地 (147.36 g/株), 最小为绿洲样地 (93.06 g/株), 均达到显著差异。6 月梭梭茎干和单株滞尘量表现出同样规律, 在荒漠样地显著大于过渡带和绿洲, 具有显著差异性, 在过渡带和绿洲滞尘量相差不大, 未达到显著水平, 枝叶滞尘量荒漠 > 过渡带 > 绿洲, 存在显著差异。由柽柳不同空间滞尘量 (图 4b) 可知, 柽柳 3 月枝叶和单株滞尘量过渡带要大于荒漠和绿洲, 原因是过渡带样地靠近农田, 而 3 月农田处于还未耕种状态, 农田有大量细小尘土容易被吸附。茎干滞尘量表现为荒漠显著大于过渡带和绿洲, 并且达到显著差异水平。6 月柽柳枝叶和单株滞

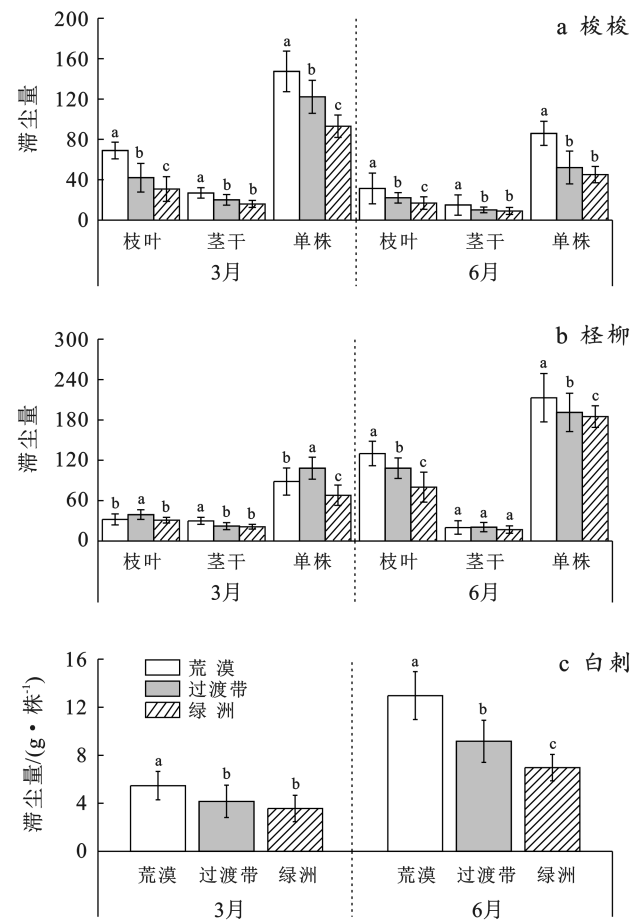
尘量均显著大于 3 月, 约为 3 月滞尘量的 3 倍, 随荒漠到绿洲滞尘量逐渐减少, 茎干滞尘量无明显变化, 滞尘量平均为 28.68 g/kg。对白刺单株不同采样地滞尘量 (图 4c) 分析, 白刺单株滞尘量 3 月和 6 月都表现出从荒漠到绿洲逐渐减少, 单株滞尘量最大为 6 月在荒漠样地 (15.15 g/株), 单株滞尘量最小为 3 月在绿洲样地 (5.98 g/株)。

3.3 滞尘粒度变化特征

滞尘器官降尘粒度曲线图 (图 5) 表明 3 月和 6 月不同灌木叶面滞尘粒度有明显的差异。3 月上旬, 滞尘粒度曲线中白刺呈单峰分布, 柽柳呈双峰分布, 梭梭呈三峰分布。

其中, 梭梭、柽柳、白刺的主峰粒径范围均为 20~50 μm , 分别占各自滞留颗粒物总量的 24.36%, 25.21%, 43.10%; 柽柳次峰粒径范围为 100~200 μm , 占柽柳滞留颗粒物总量的 20.10%; 梭梭次峰粒径范围为 100~200 μm , 第三峰粒径范围为 500~1 000 μm , 分别占梭梭滞留颗粒物总量的 13.78% 和 16.71%。6 月下旬, 滞尘粒度曲线中柽柳和白刺都呈

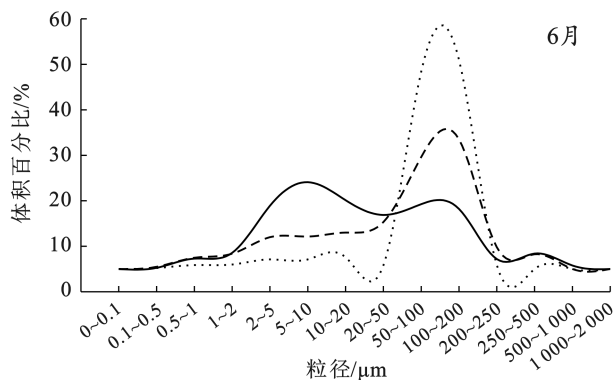
单峰分布, 粒径峰值范围都为 100~200 μm , 分别占滞留颗粒物总量的 62.13% 和 34.19%。梭梭呈双峰分布, 主峰粒径范围为 5~10 μm , 次峰粒径范围为 100~200 μm , 分别占梭梭滞留颗粒物总量的 24.37% 和 19.25%。



注: 不同小写字母表示同一植物下同一指标下(枝叶、茎干、单株)不同空间滞尘量之间存在显著差异 ($p < 0.05$)。

图 4 3 种灌木不同采样地滞尘量变化

Fig.4 Variation of dust retention at different sampling sites of three shrubs



由此可知, 3 月上旬, 柽柳和白刺滞留细小颗粒物较多, 而梭梭除了能够滞留细小颗粒外还能够滞留部分较大颗粒。在 6 月, 柽柳和白刺滞留较大颗粒物较 3 月显著增强, 相反梭梭在 6 月滞留颗粒大部分为细小颗粒。

这种变化可能与季节性植物生长有关: 3 月上旬, 植物尚未长出枝叶, 其滞尘结构较为光滑; 而到了 6 月下旬, 随着枝叶的茂盛生长, 植物间的夹角为颗粒物提供了更多的滞留空间。

3.4 叶特征分析

从叶面微结构特征来看, 白刺叶表面呈网状凹凸结构, 分布有一定密度的绒毛(图 6a), 粉尘多镶嵌在凹槽或聚集在绒毛周围及绒毛与其他结构的过渡区, 滞尘能力相对较小。柽柳和梭梭的叶片极度退化, 呈簇状着生于枝节上, 其中, 柽柳叶呈心状卵型, 半抱茎, 互生, 渐尖, 具短尖头^[21-22], 有较强的“藏污纳垢”能力(图 6b); 柽柳属于泌盐植物, 在鳞片状叶及同化枝上均有泌盐腺分布, 泌盐腺深陷于表皮细胞之下的隐窝中, 这一半抱的鳞片状叶结构和泌盐腺隐窝均可以很好的滞留和吸附降尘^[23-24]; 梭梭叶的表面呈鳞片状, 为基部宽, 先端钝的宽三角形, 稍开展, 腋间有绵毛(图 6c), 故具有一定的滞尘能力, 而当年生新叶整体而言较为纤细, 光滑, 所以其拦截尘土的能力相对较小。

综上所述, 叶聚集度、叶夹角及表面结构也是影响叶滞尘能力的重要因素, 柽柳由于叶聚集度高、叶夹角小, 叶表面具有粗糙不平的鳞片状结构和深陷的隐窝, 故具有最大的吸附和滞留尘土的能力; 梭梭叶聚集度高、叶夹角小, 具有一定的滞尘能力, 但其平滑的叶表面则不利于粉尘颗粒物的滞留。白刺叶聚集度低、叶夹角大, 主要靠叶面绒毛和凹槽滞留尘土。

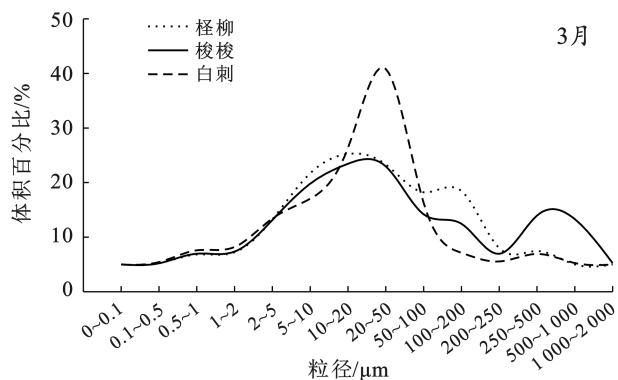
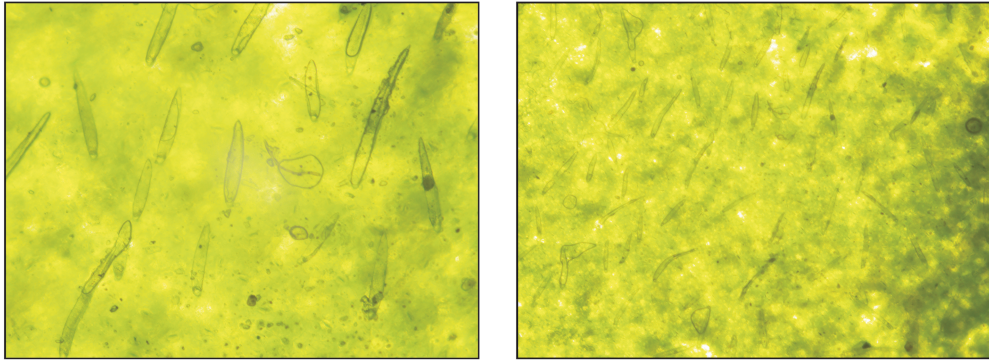
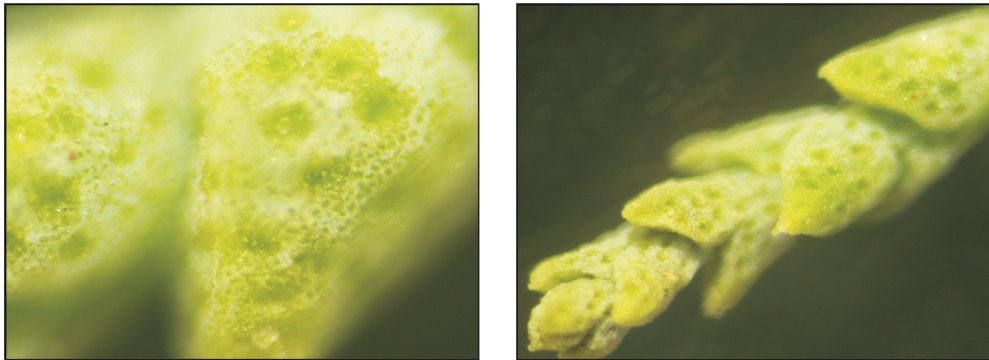


图 5 3 种灌木 3 月和 6 月滞尘的粒度曲线

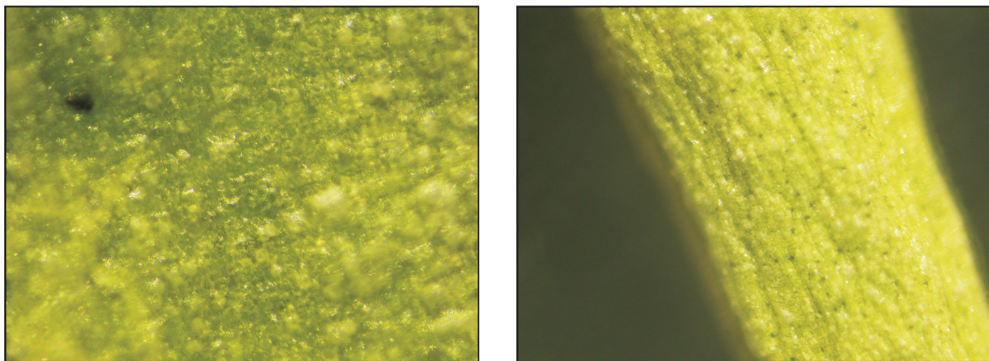
Fig.5 Particle size curves of stagnant dust in March and June for three shrubs



a 白刺叶表面



b 柽柳叶表面



c 梭梭叶表面

图 6 3 种灌木叶表面显微结构

Fig.6 Leaf surface microstructure of three shrubs

4 讨论

从绿洲边缘到荒漠边缘,梭梭、柽柳和白刺以及样地中其他植物的长势整体上变弱,主要表现为灌丛冠幅减小、植株高度降低、枝条数量减少、单枝叶片数量减少,这种现象主要是受生境变化而产生的,其中最主要的影响因素是土壤水分。研究表明从绿洲到荒漠,灌木含水量有明显减少趋势,土壤水分显著影响植被分布格局以及植被生长状况^[25-26]。郝玉光^[27]在同一区域的研究结果可很好地解释这一现象,由于长期受绿洲灌溉的影响,从绿洲边缘至荒漠,天然植被群落变化特征明显,植被盖度显著降低、生物量显

著减少。地表植被通过覆盖部分地表面、增加下垫面粗糙度,分解风力以及拦截运动的沙粒等几种生态过程可以缓解气流对地表的侵蚀作用,进而减少起尘量,从而影响植物滞尘量以及滞尘粒度特征,这种变化趋势同高君亮等^[28]的研究结果一致,从防护林内→固定沙丘→半固定沙丘→流动沙丘,降尘缸收集的降尘量呈显著增加趋势。

植物滞尘能力与植物生长季节、所处环境以及植物叶面微结构有关。马远等^[29]研究发现道路防护林滞尘量冬春季要大于秋夏季,距离道路近的树种滞尘量要高于距离远的,吴红雪^[8]发现从绿洲到沙漠,2种灌丛的单叶滞尘量和单位叶面积滞尘量均表

现出明显增加趋势,说明植物的滞尘能力与“污染源”距离有关,越靠近“污染源”,滞尘量越高。本研究中3种灌木滞尘量随着绿洲到荒漠滞尘量越高,主要是荒漠沙尘到绿洲之间有植物过渡带可以减少沙尘含量以及削减风蚀强度,从而减少空气中的沙尘。对于本研究中在不同季节滞尘量的对比中,只有梭梭平均滞尘量在3月大于6月,这与马远等^[29]的研究结论有所差别。原因是3月是研究区沙尘天气频繁发生的月份,加之由于季节影响,柽柳白刺叶都凋落,只有光滑的枝,对大气颗粒物的吸附作用较小,而梭梭同化枝在3月由于处于干燥,低温的环境下,变为了粗糙的枯枝,其表面粗糙,能够更好地吸附粉尘,6月时梭梭、柽柳和白刺对粉尘颗粒的吸附性存在的这种差异主要与其3种灌木的叶表微结构有关,对3种灌木叶片微结构进行观察可以看出,梭梭在6月更新了新的枝叶,表面光滑;白刺长出了新叶,叶片被蜡质,叶片较少,枝干光滑;柽柳也更新了新的绿色营养枝,其半抱的鳞片状结构和隐窝可以很好的吸附降尘中的尘土,这与李生宇等^[6]研究的塔克拉玛干沙漠腹地10种灌木光合器官的滞尘能力评价中,对梭梭和柽柳的单位干重光合器官滞尘量研究结果相似,研究表明柽柳(142.46 g/kg)滞尘量要显著大于梭梭(52.64 g/kg)。因此,本研究中3种灌丛滞尘量空间分布和季节差异是受生长环境、个体差异、灌木表面微结构等多方面因素影响,不可一概而论,不同生长阶段、生长环境下具有何种差异,对滞尘量有何种影响有待今后进一步研究。

从本研究3种灌木3月和6月光合器官滞尘粒度曲线可以看出,3月柽柳和白刺由于叶凋落,枝干光滑的原因,其粒级颗粒主要集中在20~70 μm ,梭梭表面粗糙、吸附能力较强粒径多集中于20~70 μm ,有一小部分粒级颗粒集中在500~1 000 μm 。6月是植物生长旺盛期,3种灌木枝叶更新,枝繁叶茂,其叶面粒度特征与3月也有所区别,柽柳和白刺粒度大量分布在50~100 μm ,梭梭大量分布于5~10 μm ,少量分布和柽柳、白刺相同的20~70 μm 之间,这与贾文茹等^[30]对塔克拉玛干沙漠腹地白刺叶面粒径(61 μm)研究结果相同。这表明植物表面对大气降尘的吸附具有很强的选择性,这种选择性不但与本研究中植物叶面特征以及季节有关,此外还与贾文茹等人研究的植物生活型、相应的风沙流颗粒分布以及近地表小气候特征等因素综合作用的表现。

5 结论

(1) 在对绿洲到荒漠3种典型灌丛的特征分析

以及对比样地环境情况中发现,越靠近荒漠其同一灌木的滞尘量越大,表明植物滞尘量受研究区大气降尘多少的影响,大气降尘越多,植物滞尘量就越大。从绿洲到荒漠,灌丛长势整体上变弱,冠幅减小、植株高度降低、枝条数量减少、单枝叶片数量减少,表明灌木生长状况是否良好,也是影响滞尘量的因素之一。

(2) 季节不同、植物种不同、所处空间不同其植物滞尘量大小亦不同。3月梭梭滞尘量显著大于柽柳和白刺,6月柽柳滞尘量要显著大于梭梭和白刺。在同一样地中,由于3种灌丛植物体特征、叶片特征存在差异而导致其滞尘能力差异显著。荒漠—绿洲过渡带的尘源和浓度影响灌丛滞尘量,从荒漠到绿洲内部,3种灌丛的单位干重滞尘量均呈现降低趋势。

(3) 灌木表面滞尘粒度在不同植物、不同时间存在差异,表明植物表面对大气降尘的滞留具有很强的选择性,而这种选择性是植物叶面特性(是否有绒毛或褶皱等)、植物不同时间的生长状况(冬态、夏态)以及与之相应的风沙流颗粒分布、近地表小气候特征等因素综合作用的表现。

参考文献 (References)

- [1] Sehmel G A. Particle and gas dry deposition: A review [J]. *Atmospheric Environment*, 1980,14(9):983-1011.
- [2] Pardyjak E R, Speckart S O, Yin F, et al. Near source deposition of vehicle generated fugitive dust on vegetation and buildings: Model development and theory [J]. *Atmospheric Environment*, 2008,42(26):6442-6452.
- [3] 赵云阁,鲁笑颖,刘斌,等.夏季绿化树种滞留 $\text{PM}_{2.5}$ 与叶片微形态特征研究[J]. *水土保持研究*, 2016,23(6):52-58. Zhao Yunge, Lu Xiaoying, Liu Bin, et al. Study on four kinds of greening tree retention $\text{PM}_{2.5}$ and leaf surface morphology during summer in Beijing, China [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016,23(6):52-58.
- [4] 雷加强,高鑫,赵永成,等.河西走廊—塔克拉玛干沙漠边缘阻击战:风沙形势与防治任务[J]. *中国科学院院刊*, 2023,38(7):966-977. Lei Jiaqiang, Gao Xin, Zhao Yongcheng, et al. The battle on the edge of Hexi Corridor-Taklimakan Desert: Wind-blown sand situation and prevention tasks of desertification control [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2023,38(7):966-977.
- [5] 赵明.绿洲及其周边近地面0—50 m 沙尘暴沙尘通量的研究[R]. 甘肃兰州,甘肃省治沙研究所,2012. Zhao ming. Study on sand and dust fluxes of 0—50 m

- near-surface dust storms in oasis and its surrounding areas [R]. Lanzhou, Gansu: Gansu Institute of Sand Control, 2012.
- [6] 李生字,谷峰,邱永志,等.塔克拉玛干沙漠腹地 10 种灌木光合器官的滞尘能力评价[J].干旱区研究,2012,29(6):1022-1031.
- Li Shengyu, Gu Feng, Qiu Yongzhi, et al. Evaluation on dust-holding capabilities of photosynthetic organs of ten shrub species in hinterland of the Taklimakan Desert [J]. *Arid Zone Research*, 2012,29(6):1022-1031.
- [7] 刘开琳,李学敏,万翔,等.民勤植物园 3 种灌木的叶面微结构及其滞尘能力研究[J].中国农学通报,2020,36(26):62-68.
- Liu Kailin, Li Xuemin, Wan Xiang, et al. Study on the leaf microstructure and dust retention ability of 3 plants in Minqin Botanical Garden [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020,36(26):62-68.
- [8] 吴红雪.沙漠—绿洲过渡带 2 种典型灌丛滞尘能力研究[J].温带林业研究,2022,5(2):19-25.
- Wu Hongxue. Evaluation of dust-retention ability of two typical shrubs in ulanbuh desert-oasis ecotone [J]. *Journal of Temperate Forestry Research*, 2022,5(2):19-25.
- [9] 邵梅,罗万银,顿耀权,等.干旱区退化湖盆表土及降尘的微观形貌特征和化学元素组成差异[J].中国沙漠,2023,43(6):187-196.
- Shao Mei, Luo Wanyin, Dun Yaoquan, et al. Differences in micromorphology and chemical element composition of topsoil and dust from degraded lake basins in arid region [J]. *Journal of Desert Research*, 2023,43(6):187-196.
- [10] 刘虎俊,王继和,常兆丰,等.石羊河下游荒漠植物区系及其植被特征[J].生态学杂志,2006,25(2):113-118.
- Liu Hujun, Wang Jihe, Chang Zhaofeng, et al. Characteristics of desert flora and vegetation in lower reach of Shiyang River basin [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006,25(2):113-118.
- [11] 李生字,谷峰,雷加强,等.塔克拉玛干沙漠主要灌木光合器官滞尘能力与表面特性的关系[J].农业工程学报,2012,28(20):223-229.
- Li Shengyu, Gu Feng, Lei Jiaqiang, et al. Relationship between dust-retaining capabilities of photosynthetic organs and their surface properties of main shrubs species in Central Taklimakan Desert [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012,28(20):223-229.
- [12] 张碧媛,李智琦,阮琳,等.2 种常用的植物滞尘能力测定方法对比研究[J].林业与环境科学,2023,39(1):112-119.
- Zhang Biyuan, Li Zhiqi, Ruan Lin, et al. A comparative study of two commonly used methods for measuring plant dust retention [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2023,39(1):112-119.
- [13] 张鹏骞,朱明溟,刘艳菊,等.北京路边 9 种植物叶片表面微结构及其滞尘潜力研究[J].生态环境学报,2017,26(12):2126-2133.
- Zhang Pengqian, Zhu Minghao, Liu Yanju, et al. Leaf surface micro-morphological features and its retention ability of particulate matters for 9 plant species at the roadside of Beijing [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017,26(12):2126-2133.
- [14] 杨娜,包海,刘智远,等.秋季呼和浩特市主要绿化树种叶面滞尘重金属含量分布特征[J].内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),2022,51(6):622-629.
- Yang Na, Bao Hai, Liu Zhiyuan, et al. Distribution of heavy metal content in leaf dust of landscape trees at autumn in Hohhot [J]. *Journal of Inner Mongolia Normal University(Natural Science Edition)*, 2022,51(6):622-629.
- [15] 魏小平,赵长明,王根轩,等.民勤荒漠绿洲过渡带优势植物地上和地下生物量的估测模型(英文)[J].植物生态学报,2005,29(6):878-883.
- Wei Xiaoping, Zhao Changming, Wang Genxuan, et al. Estimation of above-and below-ground biomass of dominant desert plant species in an oasis-desert ecotone of Minqin, China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005,29(6):878-883.
- [16] 张正国.干旱区灌木地上生物量估测[D].北京:中国林业科学研究院,2021.
- Zhang Zhengguo. Estimation of aboveground biomass of shrubs in arid areas [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2021.
- [17] 李海梅,党宁,禹靓倩,等.5 个园林树种滞尘能力与叶表形态及颗粒物粒径的关系[J].林业科学研究,2021,34(4):84-94.
- Li Haimei, Dang Ning, Yu Liangqian, et al. The relationships between the dust-holding capacity and the leaf surface structure & particle size in five evergreen tree species locates in Hangzhou [J]. *Forest Research*, 2021,34(4):84-94.
- [18] 顿耀权,罗万银,邵梅,等.干旱区内陆湖盆沙尘水平通量及粒度特征:以青土湖地区为例[J].中国沙漠,2023,43(6):166-175.
- Dun Yaoquan, Luo Wanyin, Shao Mei, et al. Sand-dust horizontal flux and grain size of inland lake basin in arid region: A case of Qingtu Lake [J]. *Journal of Desert Research*, 2023,43(6):166-175.
- [19] 朱栗琼,龙孟元,杨凤兰,等.7 种绿化灌木叶片表型及表皮超微形态与滞尘能力的关系[J].热带作物学报,2023,44(6):1297-1305.

- Zhu Liqiong, Long Mengyuan, Yang Fenglan, et al. Relationship between leaf phenotype, epidermal ultra-structure and dust retaining capability of seven greening shrubs [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(6):1297-1305.
- [20] 张翠,马瑞,谭立佳,等.兰州市10种常用园林绿化树种叶表面微结构对其滞尘量的影响[J].甘肃农业大学学报,2023,58(4):192-200.
- Zhang Cui, Ma Rui, Tan Lijia, et al. Influence of leaf surface microstructure of ten commonly-used landscaping tree species on dust retention in Lanzhou City [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2023, 58(4): 192-200.
- [21] 刘嫒心.中国沙漠植物志(第一卷)[M].北京:科学出版社,1985.
- Liu Yingxin. Journal of Desert Plants of China (Vol. I) [M]. Beijing: Science Publishing House, 1985.
- [22] 刘嫒心.中国沙漠植物志(第二卷)[M].北京:科学出版社,1987.
- Liu Yingxin. Journal of Desert Plants of China (Vol. II) [M]. Beijing: Science Publishing House, 1987.
- [23] 赵可夫,李法曾.中国盐生植物[M].北京:科学出版社,1999.
- Zhao kefu, Li fazeng. Chinese Saline Plants [M]. Beijing: Science Publishing House, 1999.
- [24] 陈阳,王贺,张福锁,等.新疆荒漠盐碱生境柽柳盐分泌特点及其影响因子[J].生态学报,2010,30(2):511-518.
- Chen Yang, Wang He, Zhang Fusuo, et al. The characteristic of salt excretion and its affected factors on *Tamarix ramosissima* Ledeb under desert saline-alkali habitat in Xinjiang Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(2):511-518.
- [25] 赵鹏,徐先英,屈建军,等.民勤绿洲荒漠过渡带人工梭梭群落与水土因子的关系[J].生态学报,2017,37(5):1496-1505.
- Zhao Peng, Xu Xianying, Qu Jianjun, et al. Relationships between artificial *Haloxylon ammodendron* communities and soilwater factors in Minqin oasis-desert ecotone [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(5):1496-1505.
- [26] 李雪宁,徐先英,郑桂恒,等.石羊河下游人工梭梭林健康评价体系构建及应用研究[J].干旱区研究,2022,39(3):872-882.
- Li Xuening, Xu Xianying, Zheng Guiheng, et al. A health evaluation of a *Haloxylon ammodendron* plantation in the Shiyang River lower reaches [J]. Arid Zone Research, 2022, 39(3):872-882.
- [27] 郝玉光.乌兰布和沙漠东北部绿洲化过程生态效应研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- Hao Yuguang. Study on Ecological Effects of Oasis-making process in the northeast part of Ulan Buh Desert [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
- [28] 高君亮,辛智鸣,刘芳,等.乌兰布和沙漠东北部大气降尘特征及影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(8):145-150.
- Gao Junliang, Xin Zhiming, Liu Fang, et al. Analysis of the characteristics and affecting factors of atmospheric dustfall in Northeastern Ulan Buh Desert [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(8):145-150.
- [29] 马远,贾雨龙,王成,等.北京市典型道路防护林滞尘时空分布及其影响因子分析[J].林业科学研究,2018,31(5):110-117.
- Ma Yuan, Jia Yulong, Wang Cheng, et al. Spatio-temporal distribution and impact analysis on dust-retention effect of typical road protection forests in Beijing [J]. Forest Research, 2018, 31(5):110-117.
- [30] 贾文茹,李生字,高晓阳,等.塔克拉玛干沙漠腹地不同种类植物叶面滞尘粒度特征[J].中国沙漠,2014,34(3):658-665.
- Jia Wenru, Li Shengyu, Gao Xiaoyang, et al. The foliar dust grain size characteristics of different plant species in the Central Taklimakan Desert [J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(3):658-665.