

托克逊县不同配置防护林的防风蚀特征研究

若山古丽·芒力克¹; 阿丽亚·拜都热拉¹; 蔡凯旭¹; 董仲凯¹; 宋敏¹

(1.新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆, 乌鲁木齐, 830052)

摘要: [目的]对比分析不同配置防护林的防风蚀效能,为干旱区绿洲城市防沙治沙以及改善生态环境提供理论依据。[方法]以托克逊县城郊防护林为研究对象,通过观测风速,起沙风速,近地表粗糙度,输沙量,风沙流结构等指标,对梭梭林、混交林1(胡杨占68%+柽柳占32%)、混交林2(胡杨占35%+柽柳占65%)进行不同配置林地的防风蚀效能对比研究。[结果]结果表明不同配置防护林的地表粗糙度、起沙风速、风速廓线、防风阻沙效能都有差异。粗糙度随高度的增加而降低,地表粗糙度越高,降低地表风速的能力越强;各样地粗糙度从高到底依次为混交林2(0.569cm)>混交林1(0.378cm)>梭梭林(0.123cm)。起沙风速高到低依次为混交林2(6.17m/s)>梭梭林(6.02m/s)>混交林1(5.98m/s)。风速随高度的增加而增大,防风效能随高度的增加而降低;防风效能强到弱依次为混交林2>混交林1>梭梭林。不同垂直高度集沙量均存在差异,输沙量随高度的增加而减少,其中0-10cm,10-20cm垂直高度上集沙量占比较高,阻沙效能依次为梭梭林(48.2%)>混交林2(45.6%)>混交林1(37.1%)。[结论]混交林2有效降低不同垂直高度的风速及输沙量,混交林2的防风蚀效能较高。

关键词: 托克逊县; 不同配置防护林; 防风蚀效能; 起沙风速

Research on Anti-wind Erosion Characteristics of Different protection forest in Tuokexun County

Abstract: [Objective] To compare and analyze the anti-wind erosion effects of different configurations of shelter forests, to provide a theoretical basis for sand prevention and control in oasis cities in arid areas and to improve the ecological environment. [Method] Taking the shelter forest in the outskirts of Tuokexun County as the research object, a comparative study on the wind erosion prevention efficiency of different allocation forests was carried out on *Haloxylon ammodendron*, mixed forest 1 (*Populus euphratica* 68% + *Tamarix chinensis* 32%), and mixed forest 2 (*Populus euphratica* 35% + *Tamarix chinensis* 65%). By observing wind speed, sand blowing wind speed, near-surface roughness, sand transport, wind-sand flow structure and other indicators. [result] The results show that: the surface roughness, wind-proof efficiency, sand-generating wind speed, wind speed profile, and sand-resistance efficiency of different configurations of shelterbelts are different. The roughness decreases with the increase in height. The higher the surface roughness, the stronger the ability to reduce the wind speed on the surface. The roughness of each plot from high to bottom is mixed forest 2 (0.569cm) > mixed forest 1 (0.378cm) > *Haloxylon ammodendron* (0.123cm). The order of sand blowing wind speed from high to low is mixed forest 2 (6.17m/s) > *Haloxylon ammodendron* (6.02m/s) > mixed forest 1 (5.98m/s). The wind speed increases with the increase in height, and the wind-proof efficiency decreases with the increase in height; the wind-proof efficiency is strong to weak in the order of mixed forest 2 > mixed forest 1 > *haloxylon*. There are differences in the amount of sediment collected at different vertical heights, and the amount of sediment transport decreases with the increase of height. Among them, the amount of sediment collected at vertical heights of 0-10cm and 10-20cm is relatively high. The order of sand blocking efficiency was *Haloxylon ammodendron* (48.2%) > mixed forest 2 (45.6%) > mixed forest 1 (37.1%). [Conclusion] The mixed forest 2 effectively reduced the wind speed and sediment transport at different vertical heights, and the mixed forest 2 had higher wind erosion prevention efficiency.

吐鲁番市托克逊县位于中国西北干旱区新疆东南部,以“风城”而出名,每年大风天数84天,春夏季刮风次数较多而集中,蒸发量大于降雨量,气候极其干燥,生态环境恶劣^[1]。每年的刮风季节大小交通事故及各种灾害频繁发生,严重影响当地居民的生命及财产安全。根据托克逊县气象台报道,2021年4月22

日发生大风天气(风速达到 10-12 级),致使兰新铁路及南疆铁路列车停运;当日高速公路上两辆箱式货车被风吹翻;往年同时间段^[2]发生的灾害性大风天气中风速达到 11-13 级风,瞬时风速 30m/s,导致铁路停运,给当地居民的生活与生产带来了严重损害,经济损失 141.43 万。当地在强风的作用下地表土壤容易分散及移动,频繁发生土壤风蚀。风蚀过程当中大量的气溶胶颗粒物离开土壤表面悬浮到空气中,从而出现沙尘暴现象^[3-4]。而植物有阻碍风力的作用,随着地表植被的增加地表摩擦力增大,风蚀强度减弱^[5-7]。不同地方的气候条件和土壤性质存在差异,所以要适地适树,人工防护林建设是防风治沙工作中全世界公认的有效措施^[8],利用不同配置方式来得到更大的防风阻沙效能是目前防风阻沙预防危害的较好选择^[9-10]。植物的有效防护范围分为垂直方向和水平方向两种^[11]。学者马士龙^[12]植被覆盖度对土壤风蚀的影响机理研究中,观测起沙风速,地表粗糙度等风沙物理学问题,利用曲线拟合方法表明稳定床面上粗糙度不会发生变化,粗糙度与风速成负相关关系。国内学者查同刚^[13]研究表明宁夏地区农田防护林覆盖度 35%—45%时防风效能最佳,同时具有降温增湿及提高土壤含水量的效能。国内还有一些学者也发现植被覆盖度达到 50%时能有效控制风蚀^[14]。影响土壤风蚀的因素很多种,除了植被覆盖度,形态,高度,长势等因素以外,风蚀发生的土壤也是影响风蚀的关键因素,土壤团聚体,养分含量,土壤含水量及土壤有机质等指标的大小直接影响风蚀量。土壤养分含量,土壤含水量,土壤有机质含量越低的土壤越容易发生风蚀,风蚀严重的地表土壤团聚体会变粗化^[15-16]。增加植被覆盖度能达到降温增湿的目的,也能有效提高地表粗糙度,粗糙度较高的地表土壤抗风蚀能力较强。

近年来托克逊县的植被覆盖度有所提高,目前在春夏大风天气中托克逊县内的风蚀和扬尘状况有所好转,但城郊工业区、克尔碱、小草湖等区域状况依然很严重。通过选用防风蚀效能较强的城郊绿化植被,如何合理配置并提高其防风阻沙能力已成为亟待解决的科学问题。新疆而言,有关这方面的研究主要集中在塔克拉玛干沙漠边缘城郊防护林的防风阻沙能力及其合理配置方面,位于吐鲁番市城郊活化沙丘附近防护林的现状评价及功能分析方面的研究尚未欠缺。本研究以吐鲁番市托克逊县城郊防护林为研究对象,通过对比分析不同配置防护林的防风蚀效能给该地区生态建设及防沙治沙提供建议,改善生态环境方面提供科学的理论依据。

材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为托克逊县南侧,托克逊县位于新疆维吾尔自治区中东部,天山南麓,吐鲁番盆地西部,东径 87° 14' 05" -89° 11' 08", 北纬 41° 21' 14" -43° 18' 11", 三面为山地环绕,北边高东边低,0 m 等高线穿过县城中心,向东渐低,东部最低为-125 m。吐鲁番市托克逊县属于典型大陆性暖温带荒漠气候,极端性最高温度 48℃, 年均气温 13.8℃, 降水量 5.7mm, 蒸发量 3171.9mm, 是中国降雨量最少的地方。托克逊县素有“风城”之称,年均风速 8m/s, 年均大风天数为 84 天,春夏季刮风频繁,尤其是春

天, 这两季刮风天数占 70%, 秋季占 25%, 冬季占 5%。据托克逊县安全生产监督管理局 2017 年数据显示, 全县共有森林资源 158.1 万亩 (其中: 国家公益林 89 万亩、地方公益林 40 万亩、人工林 29.1 万亩), 森林覆盖率 4%。

1.2 实验样地的布设

根据托克逊县南侧城郊防护林配置结构, 防护林树种, 防护林长势, 林地地势地貌, 选取相对一致、树木年龄相同的林地。林地包括混交林 1: 胡杨 (占林地覆盖面积的 68%) + 柽柳 (占林地覆盖面积的 32%); 混交林 2: 柽柳 (占林地覆盖面积的 65%) + 胡杨 (占林地覆盖面积的 35%); 纯梭梭林。在每个林地打两个样方 (减少三种防护林的相互干扰林地迎风面边缘, 林地背风面边缘各打一个样方), 每个样方的大小为 30m × 30m。对每个样方进行每木检尺, 不同样地及植被状况如下表 1 可见。

表 1 各林地概况

样地类型	植被状况	样地地表情况
混交 1	株行距 3.5m 树间距 2m; 胡杨均高 2.76m, 均冠幅 2.05 × 1.63, 主干高 56cm; 柽柳均高 1.38m, 均冠幅 1.36 × 1.28; 长势良好	行间地表有杂草, 盖度 13%
混交 2	株行距 3.5m, 树间距 2m; 胡杨均高 3.08, 均冠幅 1.87 × 1.76, 主干高 71cm; 柽柳均高 1.68, 均冠幅 2.05 × 1.86m; 长势良好	行间地表有杂草, 盖度 19%
梭梭林	株行距 3.5, 树间距 1.5m, 平均高 1.72m, 冠幅 1.02 × 0.91m; 长势良好	无杂草, 覆盖度 0%

野外风速风向的观测

野外实验于 2020 年 3 月至 5 月, 2021 年 3 月至 5 月分两段进行, 3 种不同防护林地为研究对象, 在不同防护林地迎风边缘, 背风边缘布设 QN-FS 风速廓线仪, 计算林地粗糙度, 同步用 QN-FS 风速风向仪观测风速及风向, 风杯观测高度分别 10cm, 50cm, 80cm, 120cm, 160cm, 200cm, 每次观测时间为 1 小时, 每两秒一次采样, 每三十秒一次记录, 不同林地大风情况下总观测时间为不少于 8 小时。在每个风速廓线仪布设的位置同时布设 QN-JSY 不同高度多通道组合式集沙仪 (5 层 10 个集沙口), 对不同高度的流沙运动进行观测, 为观测输沙量把多通道集沙仪立起来, 每个通道系好布袋子。集沙量观测时间为 24 小时, 采完样后不同高度集沙通道集的沙样分开装到自封袋带回实验室称重。为了保证实验数据的准确度多次重复测量风速及集沙量, 最后取平均值。

计算方法

$$\text{风速标准化公式为: } U'(z) = \frac{U_{\text{迎风边缘}}(t_0, Z=2m)}{U_{\text{迎风边缘}}(t, z=2m)} \times U(t, z) \quad (1)$$

公式中: $U'(z)$ 是任意测点 z 高度的标准化风速 (m/s); $U(t, z)$ 表示为 t 时段 z 高度的风速

(m/s); $U_{\text{迎风边缘}}(t_0, Z = 2m)$ 表示为林地迎风边缘 t_0 时刻 2m 高的风速 (m/s); $U_{\text{迎风边缘}}(t, z = 2m)$ 为林地

迎风边缘 t 时刻 2m 高的风速 (m/s)。

防风效能的计算公式为：

$$E = \frac{U_{迎风边缘} - U}{U_{迎风边缘}} \times 100\% \quad (2)$$

公式中，E 表示某一之处的防风效能(%)； $U_{迎风边缘}$ 为表示林地迎风边缘不同之处的平均风速 (m/s)； U 表示林地不同之处的平均风速 (m/s)。

阻沙效能公式为：

$$E' = \frac{Q_{迎风边缘} - Q}{Q_{迎风边缘}} \times 100\% \quad (3)$$

公式中：E'表示为阻沙效能， $Q_{迎风边缘}$ 为林地迎风边缘的输沙量； Q 为林地输沙量 (g)。

粗糙度^[15]：近地表风速为零的高度，表现地表对气流的摩阻力。

公式为：

$$\lg z_0 = (\lg u_2 - \lg u_1 \times \frac{u_2}{u_1}) / (1 - \frac{u_2}{u_1})$$

公式中： z_0 为地表粗糙度， u_2 ， u_1 分别为同一时刻任意不同两个高度处的风速。

2.结果与分析

2.1 风速廓线与粗糙度

不同林地内风速的垂直变化特征如图 1 所示，在不同林地的风速廓线拟合曲线图可以看出，随着垂直高度的增大风速增大。各林地垂直高度 10cm 的风速明显降低，表明地表及地表面的植物和风速之间产生摩擦，导致风速降低；对混交林 1 而言，10-50cm 高度的风速降低不明显，该区主要为胡杨林，枝下高 50cm 以上；50-160cm 都保持等值增加趋势。混交林 2 各垂直高度的风速削弱高于其他林地。

地表对气流的摩擦阻力随高度的增加而变小。根据风速廓线计算，不同林地地表粗糙度分别是混交林 1 为 0.378cm，混交林 2 为 0.569cm，梭梭林 0.123cm，各林地粗糙度高到低依次为混交林 2>混交林 1>梭梭林。随着地表粗糙度增高，林地削弱风速能力增强。

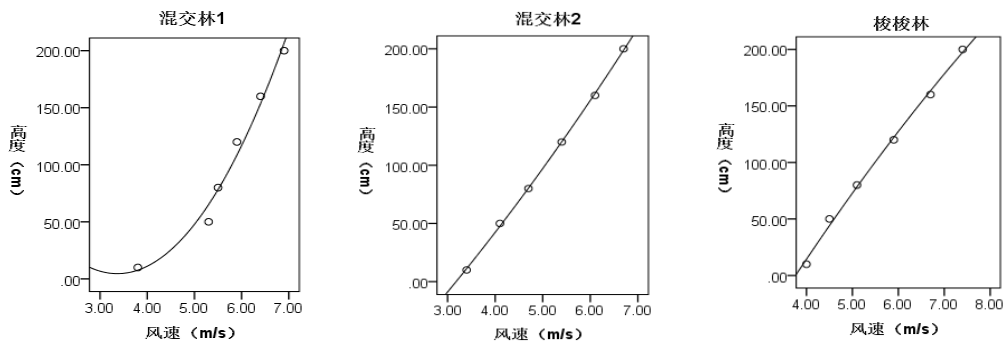


图 1 不同林地风速廓线

2.2 边界起沙风速与防风效能比较

起沙风速是大气边界层的气流运动过程中，风速达到一定程度后地表的沙粒得到动力，同时脱离地表

上开始运动及形成扬尘现象，地表上的沙粒进入运动状态的那么一瞬间的风速称起沙风速^[16]。观测发现混交林 1 的起沙风速为 5.98m/s，混交林 2 的起沙风速为 6.17m/s，梭梭林的起沙风速为 6.02m/s。不同配置林地防风蚀效能比较如表 2 所示，防风效能各不同垂直高度均为混交林 2>混交林 1>梭梭林；各林地不同垂直高度的风速统一随着高度的增加而增大，防风效能随着高度的增大而减少。植物高度，冠幅，形态，植被覆盖度，林地土壤地质等多种因素都影响林地防风效能。

2.3 输沙量及阻沙效能比较

风蚀使加强土地荒漠化的主要原因，一般输沙量表示地表土壤的蚀积状况。植被覆盖度、植被密度、植物形态、长势、植物所在的地质都会影响输沙量。由表 3 可知，各林地迎风边缘的集沙量高于林地背风边缘的集沙量，阻沙效能依次为梭梭林（48.2%）>混交林 2（45.6%）>混交林 1（37.1%）；0-10cm,10-20cm 垂直高度的集沙量明显高于 20-50cm 高度的集沙量，随着高度的增加阻沙量成减少趋势。

表 2 不同林地风垂直风速变化特征及防风效能

不同高度 (cm)	混交林 1 迎风边缘 (m/s)	混交林 1 背风边缘 (m/s)	防风效能 (%)	混交林 2 迎风边缘 (m/s)	混交林 2 背风边缘 (m/s)	防风效能 (%)	梭梭林 迎风边缘 (m/s)	梭梭林 背风边缘 (m/s)	防风效能 (%)
10cm	5.7	3.9	31.6%	4.8	2.9	39.6%	5.1	3.8	25.4%
80cm	7.8	5.5	29.5%	6.4	4.0	37.5%	6.7	5.2	22.4%
120cm	8.5	6.1	28.2%	6.9	4.5	34.8%	7.6	6.3	17.1%
160cm	9.7	7.1	26.8%	7.5	5.3	29.3%	8.2	7.1	13.4%
200cm	11.2	9.2	17.8%	8.1	6.4	21%	9.3	8.2	11.8%

表 3
平均输沙

不同林地
量，风沙

流结构及阻沙效能

林地类型	2m 高度的风速 (m/s ⁻¹)	输沙量/g	各层输沙量占比 (%)					阻沙效能
			0-10cm	10-20cm	20-30cm	30-40cm	40-50cm	
混交林 1 迎风边缘		97	34.6%	26.1%	19.6%	13%	6.5%	0%
混交林 2 迎风边缘		57	41.4%	26.3%	17.5%	8.8%	6%	0%
混交林 2 背风边缘		31	38%	29%	22%	11%	0%	45.6%
梭梭林迎风边缘		56	41.2%	25%	19.1%	13.2%	1.5%	0%

3 讨论

3.1 不同配置林地植被特征与林地粗糙度，风速廓线的关系

由于地表植被的影响，风速廓线发生位移，这个跟植被高度和植被覆盖度有密切相关的关系^[11]。3种防护林均建造于2015年，起初均为裸沙地。混交林1和混交林2的树种一样但种植比例不一样，高度和地表覆盖度也有所差异，胡杨占混交林1面积的68%，平均高度为2.76m，柽柳占混交林1面积的32%，平均高度为1.38m；混交林1的地表植被覆盖度为13%。胡杨占混交林2面积的35%，均高度为3.08m，柽柳占混交林2面积的65%，均高度为1.68m；混交林2地表覆盖度为19%。纯梭梭林均高度为1.72m，地表覆盖度为0%。从图1看到，不同林地对风速廓线的差异。林地地表覆盖度越高，林地地表粗糙度越高，风速与地表之间的摩擦力增大，影响林地风速廓线。冯泽深等学者在不同配置格局灌木林对风蚀影响的研究中发现，枝条茂密，盖度高，树高较高的沙柳林对风速降低作用比枝条密度低，盖度低，树高较低的柠条降低风速作用好^[17]。本实验结果于学者周鑫^[18]的研究结果相对一致，植株较高，枝条茂密，地表盖度大的混交林2的粗糙度较高，对风速廓线的影响明显。

3.2 不同配置林地植被对起沙风速及林地防风效能的影响

植被因子在一定程度上影响起沙风速，不少前人在研究中发现各防护林及草地都对风速有影响^[19-22]。三种不同防护林的起沙风速为高到低依次为混交林2>梭梭林>混交林1>；起沙风速越高表明林地抗风蚀能力越强。因树种组成的不同，不同配置防护林的防风固沙效益有所差异^[18]，不同防护林地的防风效能依次为：混交林2>混交林1>梭梭林>1，不同垂直高度上各防护林的防风效能随林地树种的形态特征而有所变化；以上表明植被形态，覆盖度，林地土壤性质都对防风效能，起沙风速，粗糙度有影响而且具有关联性。

3.3 不同配置林地植被与输沙量，阻沙效能的关系

输沙量一定程度上反映林地土壤地质，输沙量是近地表土壤在外力作用下搬运的重量；

植被形态，覆盖度，林地土壤性质都对输沙量有影响；各林地背风边缘的输沙量都比林地迎风边缘的输沙量少，同时0-10cm,10-20cm高度的输沙量较多；随垂直高度的增加而输沙量减少。混交林2在40-50cm高度的输沙量为0，阻沙效能也较好，这个和林地覆盖度，树高，粗糙度有关。梭梭林的防风效能最差但阻沙效能最好，因为梭梭林种植密度较高。这一研究结果与郭树江^[25]，董治宝^[26]等学者研究植被覆盖度对风沙流输沙量的影响结果相对一致。

4 结论

不同配置防护林的风速廓线、地表粗糙度、起沙风速都存在差异。粗糙度随高度的增加而降低，地表粗糙度越高，降低地表风速的能力越强；各样地粗糙度从高到底依次为混交林2（0.569cm）>混交林1（0.378cm）>梭梭林（0.123cm）；起沙风速高到低依次为混交林2（6.17m/s）>梭梭林（6.02m/s）>混交林1（5.98m/s）。

风速随高度的增加而增大,防风效能随高度的增加而降低。不同配置防护林的防风效能强到弱依次为混交林 2>混交林 1>梭梭林。

不同垂直高度集沙量均存在差异。输沙量随高度的增加而减少,其中 0-10cm, 10-20cm 垂直高度上集沙量占比较高,阻沙效能依次为梭梭林(48.2%)>混交林 2(45.6%)>混交林 1(37.1%)。

参考文献:

- 库尔班尼萨·吐尔逊. 极端干旱区县域生态文明建设指标体系研究[D].新疆大学,2019.
- 葛洪燕,托克逊县 2012 年 4 月 22 日大风天气过程分析[J].新疆农垦科技,2013,36(08):57-58.
- 杨越,吴才武,武智勇,等.冀北坝上地区 3 种人工灌木林地防风蚀效果的比较[J].水土保持学报,2020,34(01):54-57+63.
- 周建忠. 土壤风蚀及保护性耕作减轻沙尘暴的试验研究[D].中国农业大学,2004.
- 刘红,王卫,郝彦莉,等.基于风蚀模型的河北省土壤风蚀风险评价[J].水土保持通报,2016,36(02):12-17+349.
- Chen Zhang,Edward A. McBean. Estimation of desertification risk from soil erosion: a case study for Gansu Province, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,2016,30(8).
- 王翔宇. 不同配置格局沙蒿灌丛防风阻沙效果研究[D].北京林业大学,2010.
- Le Houérou H N. Restoration and rehabilitation of arid and semiarid Mediterranean ecosystems in North Africa and West Asia: a review[J]. Arid soil research and rehabilitation, 2000, 14(1): 3-14.
- 王强强,唐进年,杨自辉,等.不同配置固沙林的防风阻沙效果[J].西北林学院学报,2020,35(03):177-184.
- 冯泽深,高甲荣,崔强,等.灌木林优化配置格局对土壤风蚀的影响[J].干旱区资源与环境,2010,24(01):179-183.
- 饶良懿,朱金兆.防护林空间配置研究进展[J].中国水土保持科学,2005(02):102-106.
- 马士龙. 植被覆盖对土壤风蚀影响机理的研究[D].北京林业大学,2006.
- 查同刚,孙向阳,于卫平,等.宁夏地区农田防护林结构与小气候效应[J].中国水土保持科学,2004(04):82-86.
- 王晓东,岳德鹏,刘永兵.土壤风蚀与植被防护研究[J].西部林业科学,2005(02):108-112
- 杨钦. 河北坝上不同土地利用方式的风蚀研究[D].河北师范大学,2017.
- Lyu Xin,Li Xiaobing,Wang Hong,Gong Jirui,Li Shengkun,Dou Huashun,Dang Dongliang. Soil wind erosion evaluation and sustainable management of typical steppe in Inner Mongolia, China[J]. Journal of Environmental Management,2021,277.
- 屈志强. 植物配置对土壤风蚀影响的研究[D].北京林业大学,2007.
- 周鑫,田丽慧,张登山,等.青海湖沙区不同植被防风固沙效益研究[J].干旱区资源与环境,2018,32(08):180-185.
- 贾丽娜. 几种不同灌木矮林防风阻沙效能对比研究[D].北京林业大学,2010.
- 冯泽深,高甲荣,崔强.灌木林优化配置格局对土壤风蚀的影响[J].干旱区资源与环境,2010,24(01):179-183.
- 尚润阳. 地表覆盖对土壤风蚀影响机理及效应研究[D].北京林业大学,2007.
- Nicholas Lancaster,Andy Baas. Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California[J]. Earth Surface Processes and Landforms,1998,23(1).
- 王晓艺,苏正安,马菁,等.基于风蚀模型的张家口市风力侵蚀时空分布特征[J].草业科学,2020,37(07):1405-1415.
- 张奕,肖辉杰,辛智鸣,赵廷宁,蒋方哲,段媛君. 乌兰布和沙区典型灌木防风阻沙效益[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(01):87-96.
- 郭树江,杨自辉,王强强,等.青土湖干涸湖底风沙区植被特征与地表输沙量关系[J].水土保持研究,2021,28(01):19-24.
- 董治宝,陈渭南,董光荣,等.植被对风沙土风蚀作用的影响[J].环境科学学报,1996(04):437-443.