

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征.....	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态.....	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征.....	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布.....	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响.....	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性.....	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态.....	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态.....	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异.....	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响.....	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响.....	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究.....	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究.....	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究.....	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性.....	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化.....	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用.....	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评.....	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态.....	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响.....	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	

封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201201160099

南江, 赵晓英, 余保峰. 模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响. 生态学报, 2012, 32(20): 6354-6360.

Nan J, Zhao X Y, Yu B F. The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of *Salsola arbuscula*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6354-6360.

模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响

南 江¹, 赵晓英^{1,*}, 余保峰²

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 乌鲁木齐市柴窝堡林场, 乌鲁木齐 830076)

摘要: 风是一个重要的生态因子, 对植物地上部分的生长和构型有重要影响。植物表观特征对植物获取光能、抵抗外界机械压力有着重要作用。木本猪毛菜(*Salsola arbuscula* Pall.) 是新疆达坂城大风区植被的共建种, 也是该区植被恢复潜在的先锋植物。为了研究木本猪毛菜在长期大风环境中形成的独特适应机制, 以盆栽实验为手段, 设置 3 个风速(小风: 3 m/s, 中风: 7 m/s, 大风: 12 m/s), 持续吹风 105d, 定量分析长期大风作用下木本猪毛菜地上部分的生长和空间构型的变化。结果表明: (1) 风胁迫减小了木本猪毛菜的株高, 增大了其顺风向的基径; 大风减小了木本猪毛菜的叶片长度, 中风和小风对其叶片长度没有影响; 大风和微风增加了木本猪毛菜的叶片数, 小风对叶片数没有影响。(2) 木本猪毛菜植冠的空间构型在迎风面和背风面出现明显的不对称性; 风胁迫减小了木本猪毛菜的主茎弯曲角度、叶倾角; 大风和小风减小了木本猪毛菜的冠幅, 微风没有影响; 大风和微风减小了木本猪毛菜的枝倾角, 小风没有影响; 木本猪毛菜在微风和微风作用下出现了二级分枝, 在小风作用下没有出现二级分枝。木本猪毛菜主要通过减小自身的扩大生长, 增加空间构型的不对称性, 减小枝与叶的受力面积等方式来降低风的阻力, 以适应长期大风。

关键词: 适应对策; 构型; 长期大风; 木本猪毛菜; 生长; 灌木

The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of *Salsola arbuscula*

NAN Jiang¹, ZHAO Xiaoying^{1,*}, YU Baofeng

1 College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

2 ChaiWopu Forest Farm, Urumqi 830076, China

Abstract: Wind is an important ecological factor, seriously influencing the aboveground growth and architecture of the plant. The plant can adjust the aboveground architecture to change the capture of light and to regulate the resistance to the external mechanical pressure. *Salsola arbuscula*, one of native shrubs in Dabancheng, grows in the habitat with strong wind and drought. However, its resistance capacity to wind has not been assessed. We investigated the phenotype of *S. arbuscula* under chronic strong wind to know how *S. arbuscula* responds to wind disturbance in growth and architecture. Wind generators and pots were used to simulate, lasting for 105 days. The wind generators operated for 6 hours each day from 14:00 to 20:00. Four treatments in wind speeds 0.3 (control), 3, 7, 12 m/s were designed. Strong wind led to asymmetrical canopies and basal stem the diameter along the wind direction was significantly thicker than that perpendicular to wind direction. In the wind speeds of 3, 7, 12m/s, the height of *S. arbuscula* was reduced by 31%, 45% and 72% respectively. The trunk angle to horizon was reduced by 49%, 69% and 80% respectively. the leaf angle to trunk in the windward sector was reduced by 32%, 39% and 47% respectively; and that in the leeward sector was by 36%, 67% and 68% respectively. But the leaf angle to trunk perpendicular to the wind in the west was decreased by 44%, 50% and 59% respectively.

基金项目: 国家自然科学基金项目(30960086, 31260101); 新疆师范大学研究生科技创新基金项目(20111212); 新疆师范大学珍稀濒危物种保护生物学重点实验室

收稿日期: 2012-01-16; **修订日期:** 2012-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zzhaoxy@163.com

respectively; that in the east was by 53%, 59% and 62% respectively. *S. arbuscula* had the second order branch, and the branch angle to trunk was reduced by 24% and 40%, while the number of leave was increased by 54% and 31% under the wind speeds of 7 and 12m/s, respectively. In the wind speeds of 3, 12m/s, the crown area of *S. arbuscula* was reduced by 54% and 68%, respectively. However, in the wind speed of 12m/s, the leaf length of *S. arbuscula* in the windward and leeward sector and perpendicular to the wind (west and east) were reduced 39%, 38%, 40% and 36%, respectively. But the total branch number, number of the first order branch, trunk length, average branch length and length of the first order branch of *S. arbuscula* were not significantly changed with wind load, compared with control plants. It is indicated that *S. arbuscula* has the capacity to significantly reduce its exposed surface area and the aerodynamic drag in response to chronic high wind disturbance, by reconfiguring the non-uniform canopy architecture to present a streamlined shape to adapt the prevailing wind, and decreasing the angle of the primary branches and leaves.

Key Words: adaptive strategy; architecture; chronic high wind; growth; *Salsola arbuscula*; shrub

风是一个重要的生态因子,对植物地上部分的生长和构型有重要影响^[1-3]。植物总是不断调整自身的生长来适应环境,植物地上部分的构型不仅决定着植物对光能的捕获^[4],还调控着其对外界机械压力的抵抗能力^[5-6]。在风环境中,樱桃树(*Prunus serotina*)通过减小株高,减小弯曲力矩^[7],欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)凭借不对称的冠层,捕获更大的光能^[8],海岸松(*Pinus pinaster*)以减小主侧枝与主干的夹角,减小空气阻力,增大自身的机械稳定性^[5]。研究植物的表观特征,对了解植物适应极端大风机制具有重要意义。

在长期风作用下,天蚕树(*Cecropia schreberiana*)、高羊茅(*Festuca arundinacea*)的株高减小^[9-10],一些裸子植物的顺风向基径增大^[11-12],白芥(*Sinapis alba*)、欧洲山杨(*Populus tremula*)、糖槭树(*Acer saccharum*)的叶片变短、变窄,叶面积减小^[13-15],白芥的叶片数量减少^[13],而匍匐萎陵菜(*Potentilla reptans*)的增多^[16]。风胁迫还使有些植物的叶柄变短,柔韧性增强^[15-17]。植物在受到风刺激后不仅改变生长方式,而且呈现不同的构型。长期生长在风环境中的北美云杉(*Picea sitchensis*)、黑松(*Pinus thunbergii*)冠幅减小^[18-19],辐射松(*Pinus radiata*)的植冠向背风面弯曲生长,呈不对称现象,并且伴随着迎风面芽的减少,最终形成流线型外形^[20]。长期风还减小海岸松、黑松主侧枝与主干的夹角^[5,18],增大白橡树(*Quercus alba*)叶的灵活性^[21]。对毛乌素沙地杨柴(*Hedysarum leave*)和黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)的研究表明,经过 104d 模拟风的机械刺激,杨柴的株高、基径减小,叶片数量减少;黑沙蒿在 126d 的重度风蚀后,其株高、叶面积减小^[22-23]。

木本猪毛菜(*Salsola arbuscula*)是多年生小灌木^[24],是达坂城植被组成的重要种,具有抗风耐旱、耐瘠薄的特性,在维持荒漠生态系统稳定性中具有重要作用。

本研究拟通过模拟长期大风,来回答以下问题:①长期大风对木本猪毛菜的株高、基径、叶片的数量和大小是否有影响?②对其冠幅、空间构型有怎样的影响?③木本猪毛菜的地上表观特征是如何适应长期大风的?以揭示木本猪毛菜地上部分对长期大风的适应对策,为干旱区长期大风区植被恢复中先锋植物种的选择提供依据。

1 实验材料与方法

1.1 研究区概况

达坂城风区位于西天山和博格达山南麓之间的谷底,长年平均气温为 6.6℃,年均降水量为 70.5mm,昼夜温差大。由于受河谷地形和狭管效应的影响,全年盛行偏西风 and 偏南风,年平均大风日数为 149d,年大风日数最多为 228d^[25]。一日之中 17:00 风速最大,平均最大风速为 11.6m/s (图 1)。年平均风速为 3.5m/s,其中 9—10 月风速最小,为 2.7m/s (图 2)。4—5 月平均最大风速为 12.5m/s,是典型的自然风场。

1.2 实验材料与实验设计

木本猪毛菜种子于 2010 年 10 月采自达坂城自然群落,在通风干燥条件下保存。2011 年 5 月初选择成熟饱满的种子,种入装有 13kg 原生境土壤(容重 0.97g/cm³, pH7.61, 全盐 1.78g/kg)的高 25cm、内径 27cm 的花

盆中。待幼苗长出 1 周后,间苗保留健壮、长势相似的植株(株高 4.5—4.9 cm,基径 0.21—0.27 mm)留作风胁迫实验。

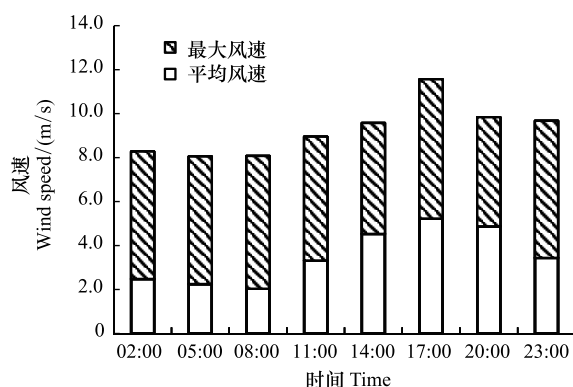


图 1 2011 年达坂城风速的日变化

Fig. 1 Daily variations of wind speed in Dabancheng in 2011

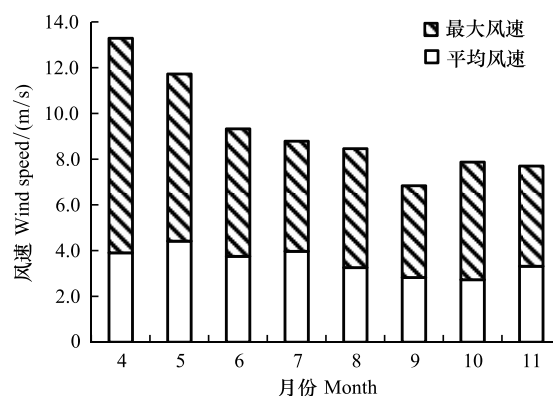


图 2 2011 年达坂城风速的月变化

Fig. 2 Monthly variations of wind speed in Dabancheng in 2011

花盆放在新疆师范大学实验田,四周有围墙。将 3 台鼓风机成排固定于相同高度处,花盆呈 3 排 4 列摆放,其中 3 列为处理组,分别正对 3 台鼓风机的出风口,剩余一列为对照组。以花盆距鼓风机的距离来确定 3 个风速,小风 3 m/s,中风 7 m/s,大风 12 m/s,对照组放在自然风(平均风速约为 0.3 m/s)处,每个处理 3 个重复。实验前将手持式风速仪(NK4000)垂直于来风向放置,在木本猪毛菜距土壤表面 1 cm 处测定风速,每隔 1 s 记录一次数据,最终以 1 min 内的平均风速作为植株承受的风速。鼓风机每天运行 6 h(14:00—20:00)。实验于 9 月 7 日结束,持续 105 d。实验期间,每隔 5 d 浇 1 次水,每次浇水 500 mL/盆;每个处理的木本猪毛菜受到的光照和土壤条件相同,各重复受到的风力相同;花盆保持水平,位置固定不变。

实验开始后,每隔 15 d 用直尺测量株高,用数显游标卡尺测量顺着风向的基径和垂直风向的基径,记录叶片数。

实验结束后,测量冠幅大小,冠幅按照椭圆的面积计算,冠幅面积 $CA = 0.25\pi \times \text{冠幅长} \times \text{冠幅宽}^{[26-27]}$,测定每个植物的各级分枝数、分枝长度、茎长度,并在植物中层相同位置选择两对成熟叶片,以面朝鼓风机为正北方向,测量迎风面(北)、背风面(南)、垂直风向(东、西)四个方向上的叶片长度和叶倾角,用圆规和量角器测量主茎弯曲角度,并且采用随机枝取样法在植株下层任选 3 个成熟的主侧枝测量枝倾角^[4]。叶倾角、枝倾角分别为叶和枝与主干间的夹角。

1.3 数据处理

采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 *T* 检验法(Paired-samples *T* Test),分别比较不同风速对木本猪毛菜地上部分生长和构型的影响,用(least significant difference)法进行多重比较($P = 0.05$)。利用 SPSS 13.0 (Chicago, IL, USA) 软件完成统计分析,并用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 风胁迫下木本猪毛菜的生长特性

2.1.1 株高和基径

不同风力作用下木本猪毛菜的株高均比对照组小(图 3)。在吹风 30 d 时,大风对木本猪毛菜株高有明显的抑制作用,小风和中风的抑制作用较弱;在吹风 45 d 时,小风和大风对木本猪毛菜株高的抑制作用不断增强;在吹风 60 d 时,大风、中风、小风下木本猪毛菜的株高与对照组相比分别减小了 72%、45% 和 31% ($P < 0.05$)。

风胁迫下木本猪毛菜顺风向的基径明显大于垂直风向的基径($P < 0.05$)(图 4),对照组中,木本猪毛菜顺风向的基径与垂直风向的基径差异不显著。

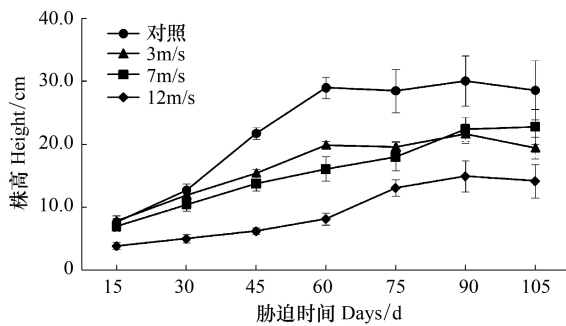


图3 不同风力作用下木本猪毛菜的株高(平均值±标准误)

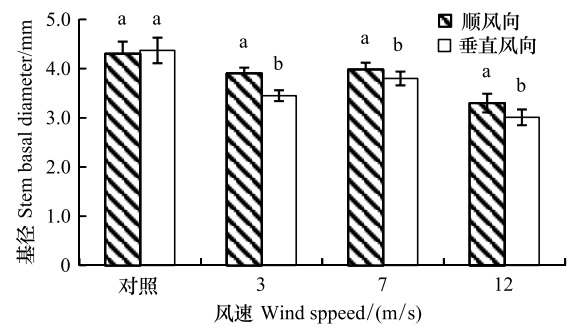
Fig. 3 The height of *Salsola arbuscula* with different wind load (Mean±SE)

图4 不同风力作用下木本猪毛菜的基径(平均值±标准误)

Fig. 4 The stem basal diameter of *Salsola arbuscula* with different wind load (Mean±SE)

2.1.2 叶片数和长度

由图5可以看出,大风和中风作用下木本猪毛菜的叶片数比对照组分别增加了31%和54% ($P<0.05$),小风作用下叶片数与对照组相比差异不显著。

大风作用下木本猪毛菜的叶片长度与对照组相比,迎风面的减小了39% ($P<0.05$),背风面的减小了38% ($P<0.05$),垂直风向(西)的减小了40% ($P<0.05$),垂直风向(东)的减小了36% (表1)。中风和小风作用下的叶片长度与对照组差异不显著。

2.2 风胁迫下木本猪毛菜的构型

2.2.1 冠幅

与对照组相比,大风和小风作用下,木本猪毛菜的冠幅分别减小了68%、54% ($P<0.05$),中风作用下的差异不显著(图6)。

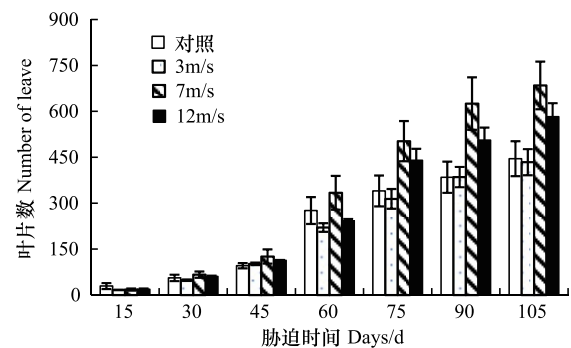


图5 不同风力作用下木本猪毛菜的叶片数(平均值±标准误)

Fig. 5 The number of leaves of *Salsola arbuscula* with different wind load (Mean±SE)

表1 不同风力作用下木本猪毛菜的叶长度(平均值±标准误)

Table 1 The leaf length of *Salsola arbuscula* with different wind load (Mean±SE)

风速/(m/s) Wind speed	叶长度 Leaf length/cm			
	迎风面(北) Windward(North)	背风面(南) Leeward(South)	垂直风向(西) Perpendicular to wind(West)	垂直风向(东) Perpendicular to wind(East)
对照	3.80±0.35aA	3.90±0.51aA	4.00±0.44aA	3.87±0.23aA
3	3.07±0.27abA	3.20±0.23abA	3.07±0.33abA	3.00±0.47abA
7	3.37±0.13aA	3.40±0.12aA	3.43±0.27abA	3.57±0.33aA
12	2.30±0.14bA	2.40±0.12bA	2.40±0.06bA	2.50±0.06bA

同列小写字母不同者为差异显著($P<0.05$),同行大写字母不同者为差异显著

2.2.2 空间构型

大风、中风、小风作用下主茎弯曲角度分别比对照组减小了80%、69%、49% ($P<0.05$), 植冠整体向背风面生长,呈明显的不对称性(表2)。大风和中风作用下出现了二级分枝,枝倾角分别比对照组减小了40%、24% ($P<0.05$)。小风作用下未出现二级分枝,枝倾角与对照组相比差异不显著。风胁迫下木本猪毛菜的总体分枝数、一级分枝数、主茎长度、一级分枝长度、平均分枝长度与对照组相比差异不显著。

从表3可以看出,大风、中风、小风作用下,木本猪毛菜的叶倾角与对照组相比,迎风面的分别减小了47%、39%、32% ($P<0.05$),背风面的分别减小了68%、67%、36% ($P<0.05$),垂直风向(西)的分别减小了

59%、50%、44% ($P<0.05$),垂直风向(东)的分别减小了62%、59%、53% ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 风对本猪毛菜生长的影响

株高、基径、叶片的大小和数量是植物适应环境因子的直观指标。长期暴露在风中的植物普遍矮小,基径粗、叶片小^[1-2,28]。天蚕树和糖槭树^[9,15]的研究结果即证明了这一点。本研究经过105d风胁迫的本猪毛菜株高也减小。这可能是因为风减小了大气湿度,破坏了正常的水平衡,使成熟的细胞不能扩展到正常的大小,所有组织器官小型化、矮化^[29]。另外,植物受到风的机械压力会引起茎干弯曲使植物变矮^[30]。本猪毛菜通过减小株高,缩短风所产生的机械力臂,减小自身的弯曲力矩降低风对它的损害。

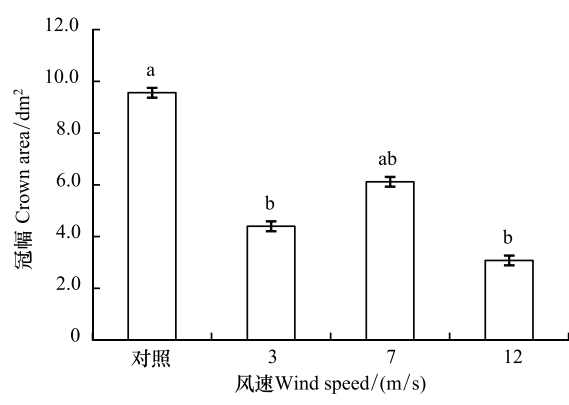


图6 不同风力作用下本猪毛菜的冠幅(平均值±标准误)
Fig. 6 The crown area of *Salsola arbuscula* with different wind load (Mean±SE)

表2 不同风力作用下本猪毛菜地上部分的空间构型(平均值±标准误)
Table 2 The aboveground architecture of *Salsola arbuscula* with different wind load (Mean±SE)

	风速 Wind speed/(m/s)			
	对照	3	7	12
总分枝数 Total branch number	8.67±2.73a	7.00±1.53a	11.33±3.18a	7.33±3.21a
一级分枝数 Number of the first order branch	8.67±2.73a	7.00±1.53a	7.00±0.58a	5.33±0.88a
二级分枝数 Number of the second order branch	0b	0b	4.33±2.60a	2.00±1.15a
主茎长度 Trunk length/cm	39.97±5.69a	31.97±2.58a	33.57±3.87a	27.73±4.12a
平均分枝长度 Average branch length/cm	19.23±1.35a	18.70±1.10a	25.17±2.76a	25.40±6.29a
一级分枝长度 Length of the first order branch/cm	19.23±1.35a	18.70±1.10a	22.07±1.47a	21.27±4.02a
主茎弯曲角度 Trunk angle to horizon/(°)	80±7a	41±1b	25±1b	16±3b
枝倾角 Branch angle to trunk/(°)	68±6a	64±3a	52±1b	41±1b

同行小写字母不同者为差异显著 ($P<0.05$)

表3 不同风力作用下本猪毛菜的叶倾角(平均值±标准误)
Table 3 The leaf angle to trunk of *Salsola arbuscula* with different wind load (Mean±SE)

风速/(m/s) Wind speed	叶倾角 Leaf angle to trunk/(°)			
	迎风面(北) Windward(North)	背风面(南) Leeward(South)	垂直风向(西) Perpendicular to wind(West)	垂直风向(东) Perpendicular to wind(East)
对照	95±4aA	107±2aA	109±1aA	98±8aA
3	45±3bB	73±10bA	64±5bAB	61±4bAB
7	37±5bcC	72±5bcA	54±6bcB	58±5bAB
12	30±2cC	38±4cB	48±1cA	52±2bA

同列小写字母不同者为差异显著 ($P<0.05$),同行大写字母不同者为差异显著

长期风对植物施加机械压力,使植物基部产生较大的弯曲力矩^[1]。这在樱桃树中有所体现^[7]。风胁迫下,本猪毛菜顺风向基径明显大于垂直风向基径。可见,本猪毛菜通过增大顺风向基径的方式增大弯曲抵抗力。

植物受到的大部分空气阻力是由于叶片阻碍了风通过引起的^[15,21]。叶片数量和大小的调节可以减小风对植物的机械损害^[13]。减小叶片在风中的受力面积必定能够减小风对植物整体的弯曲力。糖槭树通过减少叶片数量,减小空气阻力^[15],而欧洲山杨以减小叶片大小的方式减小空气阻力^[14]。本研究中,风限制了本猪毛菜枝与叶片的生长空间,间接地减小了叶片对光能的捕获能力,大风和中风作用下的本猪毛菜的叶片

数增多,使其可以在有限的空间里获得更多的光能来增大光合作用。这也增大了本猪毛菜与风的接触面积。本猪毛菜的叶子是圆柱形,与以往研究的乔木不同。在大风作用下,本猪毛菜通过减小叶片长度来减小风对它的压力,这也许是本猪毛菜适应长期大风环境的一种自身调节机制。

3.2 风对本猪毛菜构型的影响

植物的构型不仅决定了叶和芽的空间分布、植冠的大小和形状,继而影响着光合、水分和养分的运输与吸收等生理活动,对植物生态功能的发挥具有重要作用。一些裸子植物主要通过改变枝与叶片的空间构型,减小空气阻力,适应长期风环境^[31-32]。

植物的冠幅是衡量植物空间分布能力的一个重要指标。黑松和北美云杉通过减小冠幅适应风环境^[18-19]。本猪毛菜的冠幅在大风作用下明显减小。可能因为风施加机械压力,限制了本猪毛菜的生长空间,抑制了冠幅的扩大。而冠幅的减小可以减小空气阻力,使其更好地适应风环境。另外,本猪毛菜在风的作用下植冠整体向背风面生长,主茎弯曲角度明显减小,这样可以增大光合器官的光能利用率,这与欧洲赤松的研究一致^[8]。本猪毛菜长期受到风的机械力作用,主茎弯曲,迎风面长出来的枝条受风的压力弯向背风面,植冠逐渐锥化,最终呈现出流线型。这可以有效地减小风施加的空气阻力,减小机械损害。

分枝决定着植物对光资源的利用能力,同时也是对外界环境条件的一种响应。本研究中,大风和中风下本猪毛菜出现了二级分枝。这可能是因为本猪毛菜所受风压力较大,二级分枝可以起到一定的支撑作用。风严重地限制了本猪毛菜的生长空间,间接影响了叶片对光能的捕获,二级分枝的出现,可以为叶片的生长提供更广阔的光合作用的场所。

分枝角度对植物冠形的形成有着决定性的作用,也是衡量植物空间分布能力的一个重要指标。实验过程中,大风和中风作用下,本猪毛菜的主侧枝与主干间的夹角明显减小,所有枝条向主干靠拢生长。这不仅可以减小其在摆动过程中发生撞击的冲力,还可以有效地减小本猪毛菜植冠与风的接触面积,减小空气阻力,降低自身的振动频率,提高安全性。

叶倾角是反应植物生态生理学特征的一个重要指标。有研究表明,白橡树叶片在风环境中会表现出较强的灵活性,从而减小空气阻力^[21]。风胁迫下,本猪毛菜迎风面、背风面和垂直风向的叶倾角减小,并且迎风面叶倾角总是最小。可见,本猪毛菜在受到风的机械压力过程中,叶片以减小叶倾角的方式减小阻力。

综上所述,本猪毛菜通过减小株高和叶片长度,增大顺风向的基径,来减小风施加的机械压力;大风和中风下本猪毛菜通过增加叶片数量以及产生二级分枝来捕获更多的光能;长期大风下本猪毛菜迎风面和背风面的构型出现明显的不对称性,冠幅面积、主茎弯曲角度、枝倾角、叶倾角减小,所有枝条向主干靠拢生长,最终形成一个锥化的形态,减小空气阻力,以减小风对它的损害。本猪毛菜通过减小自身的扩大生长,增加空间构型的不对称性,减小枝与叶的受力面积等方式来减小风的阻力,以适应长期大风。

致谢:古力米热、张琳琳、李磊同学以及王志勇老师对实验给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Ennos A R. Wind as an ecological factor. *Trends in Ecology and Evolution*, 1997, 12(3): 108-111.
- [2] Grace J. Plant response to wind. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1988, 22(23): 71-88.
- [3] Jaffe M J, Forbes S. Thigmomorphogenesis: the effect of mechanical perturbation on plants. *Plant Growth Regulation*, 1993, 12(3): 313-324.
- [4] Sun S C, Chen L Z. Architectural analysis of crown geometry in *Quercus liaotungensis*. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(5): 433-440.
- [5] Sellier D, Fourcaud T. Crown structure and wood properties: influence on tree sway and response to high winds. *American Journal of Botany*, 2009, 96(5): 885-896.
- [6] Rouvinen S, Kuuluvainen T. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(6): 890-902.
- [7] Niklas K J. Wind, size and tree safety. *Journal of Arboriculture*, 2002, 28(2): 84-92.
- [8] Skatter S, Kucera B. Tree breakage from torsional wind loading due to crown asymmetry. *Forest Ecology and Management*, 2000, 135(1/3): 97-103.
- [9] Roberto A, Cordero. Ecophysiology of *Cecropia schreberiana* saplings in two wind regimes in an elfin cloud forest: growth, gas exchange, architecture and stem biomechanics. *Tree Physiology*, 1999, 19(3): 153-163.

- [10] Grace J, Russell G. The effect of wind on grasses III. Influence of continuous drought or wind on anatomy and water relations in *Festuca arundinacea* Schreb. *Journal of Experimental Botany*, 1977, 28(2): 268-278.
- [11] Wilson B F. Distribution of secondary thickening in tree root systems//Torrey J G, Clarkson D T, eds. *The Development and Function of Roots*. London: Academic Press, 1975: 197-219.
- [12] Stokes A, Nicoll B C, Coutts M P, Fitter A H. Responses of young Sitka spruce clones to mechanical perturbation and nutrition: effects on biomass allocation, root development, and resistance to bending. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(7): 1049-1057.
- [13] Retuerto R, Woodward F I. Effects of windspeed on the growth and biomass allocation of white mustard *Sinapis alba* L. *Oecologia*, 1992, 92(1): 113-123.
- [14] Flückiger W, Oertli J J, Flückiger-Keller H. The effect of wind gusts on leaf growth and foliar water relations of aspen. *Oecologia*, 1978, 34(1): 101-106.
- [15] Niklas K J. Differences between *Acer saccharum* leaves from open and wind-protected sites. *Annals of Botany*, 1996, 78(1): 61-66.
- [16] Liu Y. Differential response to wind and shade in mother leaf of *Potentilla reptans*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2756-2764.
- [17] Roberto A, Cordero, Voltzow J. Effects of wind on the allometry of two species of plants in an elfin cloud forest. *Biotropica*, 2007, 39(2): 117-185.
- [18] Zhang D, Li C R, Xu J W, Liu L C, Zhou Z, Wang X L, Huang C. Branching pattern characteristics and anti-windbreakage ability of *Pinus thunbergii* in sandy coast. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(9): 926-936.
- [19] Brücher F, Gardiner B. The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce (*Picea sitchensis*. Pinaceae). *American Journal of Botany*, 2006, 93(10): 1512-1521.
- [20] Telewski F W. Wind-induced physiological and developmental responses in trees//Coutts M P, Grace J, eds. *Wind and Trees*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 237-263.
- [21] Vogel S. Drag and reconfiguration of broad leaves in high winds. *Journal of Experimental Botany*, 1989, 40(8): 941-948.
- [22] Wang Y H, He W M, Dong M, Yu F H, Zhang L L, Cui G Q, Chu Y. Effects of shaking on the growth and mechanical properties of *Hedysarum laeve* may be in dependent of water regimes. *International Journal of Plant Sciences*, 2008, 169(4): 503-508.
- [23] Li S L, Werger M J A, Zuidema P A, Yu F H, Dong M. Seedlings of the semi-shrub *Artemisia ordosica* are resistant to moderate wind denudation and sand burial in Mu Us sandland, China. *Trees-Structure and Function*, 2010, 24(3): 515-521.
- [24] Mao Z M. *Flora Xinjiangensis*, Tomus 2(1). Urumqi: Xinjiang Science and Technology and Hygiene Publishing House, 1994.
- [25] Zheng Y P, Li J L. Climate Characteristics of wind over Dabancheng region during 1961—2008 and the status of wind energy resources. *Desert and Oasis Meteorology*, 2009, 3(6): 29-33.
- [26] Xu F, Guo W H, Xu W H, Wang R Q. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of seedlings of *Quercus acutissima* and *Robinia pseudoacacia*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3098-3107.
- [27] Li S, Zheng X J, Tang L S, Li Y. Morphological investigation of desert shrubs of China's Junggar Basin based on allometric theory. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(5): 471-479.
- [28] de Langre E. Effects of wind on plants. *The Annual Review of Fluid Mechanics*, 2008, 40(1): 141-168.
- [29] Whitehead F H. Experimental studies of the effect of wind on plant growth and anatomy II. *Helianthus annuus*. *New Phytologist*, 1962, 61(1): 59-62.
- [30] Smith V C, Ennos A R. The effects of air flow and stem flexure on the mechanical and hydraulic properties of the stems of sunflowers *Helianthus annuus* L. *Journal of Experimental Botany*, 2003, 54(383): 845-849.
- [31] Niklas K J. The influence of gravity and wind on land plant evolution. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1998, 102(1/2): 1-14.
- [32] Spatz H, Bruecher F. Basic biomechanics of self-supporting plants: wind loads and gravitational loads on a Norway spruce tree. *Forest Ecology and Management*, 2000, 135(1/3): 33-44.

参考文献:

- [4] 孙书存, 陈灵芝. 辽东栎植冠的构型分析. *植物生态学报*, 1999, 23(5): 433-440.
- [16] 刘芸. 藤本植物 *Potentilla reptans* 叶对风和遮阴的响应. *生态学报*, 2007, 27(7): 2756-2764.
- [18] 张丹, 李传荣, 许景伟, 刘立川, 周振, 王晓磊, 黄超. 沙质海岸黑松分枝格局特征及其抗风折能力分析. *植物生态学报*, 2011, 35(9): 926-936.
- [24] 毛祖美. *新疆植物志*, (第二卷第一分册). 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1994.
- [25] 郑玉萍, 李景林. 达坂城 1961—2008 年来风的气候特征及风能现状分析. *沙漠与绿洲气象*, 2009, 3(6): 29-33.
- [26] 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 王仁卿. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响. *生态学报*, 2010, 30(12): 3098-3107.
- [27] 李嵩, 郑新军, 唐立松, 李彦. 基于异速生长理论的准噶尔盆地荒漠灌丛形态研究. *植物生态学报*, 2011, 35(5): 471-479.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元