

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **2011**

中国生态学学会
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 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美姝,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

杨文斌,董慧龙,卢琦,王晶莹,梁海荣,姜丽娜,赵爱国. 低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果. 生态学报, 2011, 31(17): 5000-5008.

Yang W B, Dong H L, Lu Q, Wang J Y, Liang H R, Jiang L N, Zhao A G. Pattern of low-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 5000-5008.

低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果

杨文斌^{1,2}, 董慧龙^{1,3}, 卢琦^{1,*}, 王晶莹⁴, 梁海荣⁴, 姜丽娜^{1,3}, 赵爱国⁵

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所/国家林业局林木培育重点实验室/中国防治荒漠化研究中心, 北京 100091;

2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 3. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010019;

4. 内蒙古林业科学研究院, 呼和浩特 010010; 5. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要:低覆盖度植被是我国干旱、半干旱区经过漫长的自然演替过程逐步发育形成且广泛分布的植被类型。前人研究认为,植被覆盖度达到 40% 为固定沙地, 40%—20% 为半固定-半流动沙地。但在实践观察中发现:在低密度(或覆盖度)时,灌丛的水平分布格局对固定流沙和阻止风沙流的作用差异显著。在干旱区、半干旱区,存在着大量天然的乔木疏林,其覆盖度均在低于 40%,地表处于半流动状态,而配置成行带式后,即使覆盖度降低到 20% 时,地面也不会出现风蚀现象。因此,在内蒙古浑善达克沙地,针对覆盖度在 20% 左右的乔木疏林,同时测定了随机与行带式两种分布格局的防风阻沙效果。结果表明:(1)在不同的对照风速下,行带式配置的林内的相对风速均低于随机分布,其中在 200 cm 高度处行带式配置的平均相对风速比随机分布的低 53.89%,在 50 cm 高度处低 36.82%;(2)行带式林内的水平风速流场变化有一定规律,而随机分布林内风速流场变化主要受树冠在空间的分布影响,变化非常复杂;(3)随机分布的疏林内出现风速超过旷野对照的现象,在 50 cm 和 200 cm 的两个观测高度上分别有约 27.45% 和 22.55% 的风速测定值超过对照风速,说明出现明显的局部风速“抬升”现象,形成了强的涡流;(4)行带式配置林内的平均地表粗糙度达到 1.01 cm,比随机分布的疏林内增大约 5 倍之多;(5)总体而言,行带式分布格局第 1 带降低风速的作用最显著,第 2 带及其以后各带间的风速均比第 1 带后的风速小,但逐带降低的叠加效益不明显;(6)由于乔木基本(枝下高)没有枝条对风的阻碍,乔木行带式固沙林在迎风面的第 1 林带的基部有一定的风力“抬升”作用,对林带基部地面产生较强的侵蚀作用,多数第 1 带树木的根系被侵蚀裸露,过境的风沙流只能在林带后树冠外侧堆积;(7)随机分布林内在许多位置出现了非常低的地表粗糙度,地表粗糙度低的位置基本与风速“抬升”区相吻合,这种“抬升”区形成的强的涡流是疏林内出现风蚀坑的重要因素,这也是浑善达克沙地出现榆树与风蚀坑相间分布的主要原因。

关键词:低覆盖度;乔木固沙林;分布格局;防风效果

Pattern of low-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect

YANG Wenbin^{1,2}, DONG Huilong^{1,3}, LU Qi^{1,*}, WANG Jingying⁴, LIANG Hairong⁴, JIANG Lina^{1,3}, ZHAO Aiguo⁵

1 Institute of Desertification Studies, Key Laboratory for Forest Tree Breeding of the State Forestry Administration of China, and The National Research and Development Center for Combating Desertification of China, Beijing 100091, China

2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry Sciences, Beijing 100091, China

3 Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China

4 Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Hohhot 010010, China

5 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Low-covered vegetation is one of typical vegetation patterns in arid and semi-arid areas of China through a long-term natural succession. Conventional studies concluded that when vegetation cover arrives at 40%, sandland is fixed. When vegetation cover is from 20% to 40%, sandland is under semi-shifting and semi-fixing. However, in practice it has been found that at low vegetation coverage, the horizontal distribution pattern of shrubs can have marked effects on fixation

基金项目:国家自然科学基金项目(40971283, 30660155);国家“十一五”科技支撑项目(2007BAC03A10, 2007BAD46B07)

收稿日期:2010-07-05; **修订日期:**2011-04-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: luqi@caf.ac.cn

of shifting sands. There have many artificial or natural sand-fixing woodlands in arid and semi-arid areas of China which vegetation cover was lower than 40%. This paper tests the hypothesis that the horizontal distribution pattern of sand-fixing woodland at low vegetation coverage has the same law as shrubs. We compared the windbreak and sand-fixing effects of woodland with 20% coverage between belted and random patterns. Results show: (1) Compared to wind speed in open field, the relative wind speed of belted pattern is lower than random pattern, with 53.89% and 36.82% reduction rate at 200cm and 50cm height respectively; (2) compared to relatively regular changes in belted pattern, the horizontal flow field of wind speed in random pattern is very complicated, mainly affected by spatial pattern of crown; (3) The wind speed in random pattern is 27.45% and 22.55% higher than that in open field at 50cm and 200cm height respectively, the local wind uplift forms a strong eddy; (4) Average surface roughness of the belted pattern is 1.01cm, about 5 times of random pattern; (5) On the whole, among belted patterns the first belt was showed significant effects in reducing wind speed; and the wind speed after the second belt was is lower than that after the first belt; but superposition benefit was not obvious of reduced wind speed effect one by one belts; (6) the belted pattern has local uplift function at the base of the first belts windward which has relatively strong erosion effect in the basal part of forest belt, and the root systems for most of trees were eroded down and outcropped in the first belt, and the sand flow through a region was accumulated at the lateral of crown behind the belt; (7) Random pattern exists many low roughness zones in random pattern matching with local wind uplift zones, the strong eddy in these local uplift zones is an important driving factor of blowout pits. Arid and semiarid areas occupy about one third of China territory with less than 400 mm of annual precipitation. Traditional approaches to ecosystem restoration in China have focused on afforestation with high stand density such as the Three Norths Shelter Forest System Project and the Sand Control Program. However, the long-term results of those practices have been proved economically costly and ecologically unsustainable to some extent, with groundwater shortage and soil erosion increasing. We conclude from our experiment that soundly horizontal distribution pattern of sand-fixing woodlands at low vegetation coverage can fix shifting sands effectively, which may be helpful to environmental improvement and sustainable development of arid and semiarid regions in China.

Key Words: low-covered vegetation; sand-fixing woodland; spatial pattern; windbreak effect

低覆盖度植被是我国干旱、半干旱区经过漫长的自然演替过程逐步发育形成且广泛分布的植被类型,一般覆盖度小于 30%^[1-3]。前人研究认为:植被覆盖度低于 40%,不能完全固定流沙和阻止风沙流的形成^[4-6],只能形成半固定、半流动沙地^[7-8]。但在实际观察中发现,当覆盖度低于 40%时,树冠(或者灌丛)在水平空间分布格局的差异,严重影响低覆盖度植被的防风效果^[9-15]。在点格局的研究中,基本上把种群的空间分布确定为随机分布、均匀分布和集群分布 3 种类^[15],行带式格局是一种特殊的集群分布。已有的研究表明:在覆盖度低于 20%时,行带式配置的灌丛能够很好地固定流沙,比同覆盖度等株行距均匀分布和随机不规则分布的防风效果显著增高^[15-18]。但是,由于乔木与灌木的冠形差异显著,在垂直空间的分布不同,对风和沙的阻碍作用和方式不同^[17,19-20],使得低覆盖度下乔木疏林产生与灌丛完全不同的流场分布特征,进而使之与林分内地表蚀积的关系发生变化。

本论文拟从流体力学和风沙物理学的原理出发,通过野外实地观测,研究低覆盖度不同分布格局的乔木林分的防风效果与控制风沙流的机理,探讨低覆盖度乔木行带式固沙林能够完全固定流沙的基本原理,为我国建立低覆盖度高固沙效果的人工固沙植被提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于浑善达克沙地东南端,东经 115°51′—116°54′,北纬 41°46′—42°46′,行政区划上属于内蒙古自治区锡林郭勒盟多伦县。地处内蒙古高平原南缘,年均气温 1.9℃,降水量为 389.4 mm,蒸发量为 1713.5 mm;平均相对湿度为 62%。年平均风速 4.3—4.7 m/s,以春季风力最大,4 月份平均风速可达 5.6—6.1 m/s,

年平均大风(风速 >17.2 m/s)日数 30—65 d,扬沙及沙尘暴天气频繁发生^[21-22]。

该区地带性土壤类型主要为栗钙土,受土地沙化的影响,浑善达克沙地内部主要土壤类型是风沙土和草甸土。天然乔木植被以榆树(*Ulmus* spp.)疏林、沙地云杉(*Picea mongolica*)林和山杨—白桦(*Populus davidiana*+*Betula platyphylla*)林为主,伴有主要分布在沙丘上的叉子圆柏(*Sabina vulgaris*)、山杏(*Prunus sibirica*)、柳(*Salix* spp.)、大果榆(*Ulmus macrocarpa*)、漏斗菜叶绣线菊(*Spiraea aquilegifolia* Pall)和褐沙蒿(*Artemisia halodendron*)等组成的中生灌丛,以及分布于丘间低地的赖草(*Leymus secalinus*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)为代表的典型草原植被和以赖草、无芒雀麦(*Bromus inermis*)为建群种的草甸草原植被等。

2 野外实验标准地选取与测试方法

2.1 标准地选取

本研究分别选择行带式配置和随机分布两种分布格局的榆树(*Ulmus* spp.)疏林作为标准地,面积大于 200 m $\times$ 100 m。

随机格局标准地内随机分布着 61 棵树,平均冠幅为 5.1 m $\times$ 5.5 m,树高为 6.55 m,胸径为 25.18 cm,平均覆盖度为 22.6%。标准地内地表平整。

行带式标准地内分布着 3 条林带。林带走向与当地主风向垂直,从东到西配置 3 条林带,其中第 1 条与第 3 条林带由 3 行乔木组成、第 2 条林带由 2 行乔木组成;带间距分别为 16、10 m。乔木的平均冠幅为 4.2 m $\times$ 4.5 m,树高为 8.5 m,林带的株行距为 3 m $\times$ 4 m,林带疏透度为 0.35—0.4,覆盖度为 21%。

2.2 测点的布设及测定

随机标准地内均匀布设 100 个测点和一个旷野对照点。每次测定随机抽取 25 个点加对照点。风速测定采用多点式自记风速仪(GB-228)进行,分别在每个测点测定 50 cm、200 cm 两个高度的风速。测定风速时,同时测定旷野处(旷野与标准地的相对位置位于当地多年来风方向的垂直方向上,与标准地位置相距 30 m,来风方向上无明显阻挡物)风速作为对照。

行带式标准地内风速测定分布在第 1 带与第 2 带之间和第 2 带与第 3 带之间分别均匀布设有 48 个测点,在距第 1 带前 3H(H 为树高)处设置旷野对照点,每次测定随机抽取 24 个点加对照点。分别在每个测点测定 50 cm、200 cm 及对照的风速^[23]。

该文资料是选择了 3 个大风日,每日 3—5 次抽样布点,每布一次点测试 30—40 min,每 3 秒记录 1 个风速值。

2.3 物理指标

(1)防风效果 采用下式计算(E_{xz})^[24-25]:

$$E_{xz} = (u_{oz} - u_{xz}) / u_{oz} \quad (1)$$

式中, E_{xz} 为相对风速(防风效果)即林内 x 处、高度为 z 处的风速占旷野对照风速的百分数, u_{oz} 为同一高度旷野的平均风速, u_{xz} 为林内 x 处、高度为 z 处的平均风速。

(2)地表粗糙度 采用下式计算(Z_0)^[24-25]:

$$\text{Log} Z_0 = (\text{log} Z_2 - A \text{log} Z_1) / (1 - A) \quad (2)$$

式中, Z_0 为地表粗糙度, Z_1 和 Z_2 是两个高度, A 是两个高度上风速之比的平均值。

(3)摩阻速度 采用下式计算(u_*)^[24-25]:

$$u_* = K \times u / (\ln z / z_0) \quad (3)$$

式中, u_* 为摩阻速度, u 为高 z 处的风速, z_0 为粗糙度, K 为卡门常数,数值为 0.38—0.43,平均取 0.4^[24-25]。

3 结果及其分析

3.1 行带式与随机分布乔木林内风速流场分析

3.1.1 不同风速条件下随机分布乔木林内风速流场

在不同风速下,随机配置乔木林内 200 cm 高度的水平空间风速流场变化相似,都形成了风影区(即树冠

背风侧形成的风速显著降低区)与风速加速区相互组合的复杂流场结构(图1)。图中出现风速涡旋的位置基本上保持不变,只是在风速影响范围上有一定的强弱变化,且风速涡旋多在有植株生长的位置附近出现,在植株越相对密集的地方出现的风速涡旋变化越大。除对照风速为6.223 m/s时,随机配置林内都出现了高于对照风速的风速加强区,这种现象在无植株和植株较密集的地段均有出现。在不同对照风速条件下,树冠背风处的风速都有一定的降低,主要形成以风影区为主的流场分布。综上所述,随机配置乔木疏林对风速的扰动较复杂,与树冠的分布有关,且在林内风速出现高于旷野风速的现象。

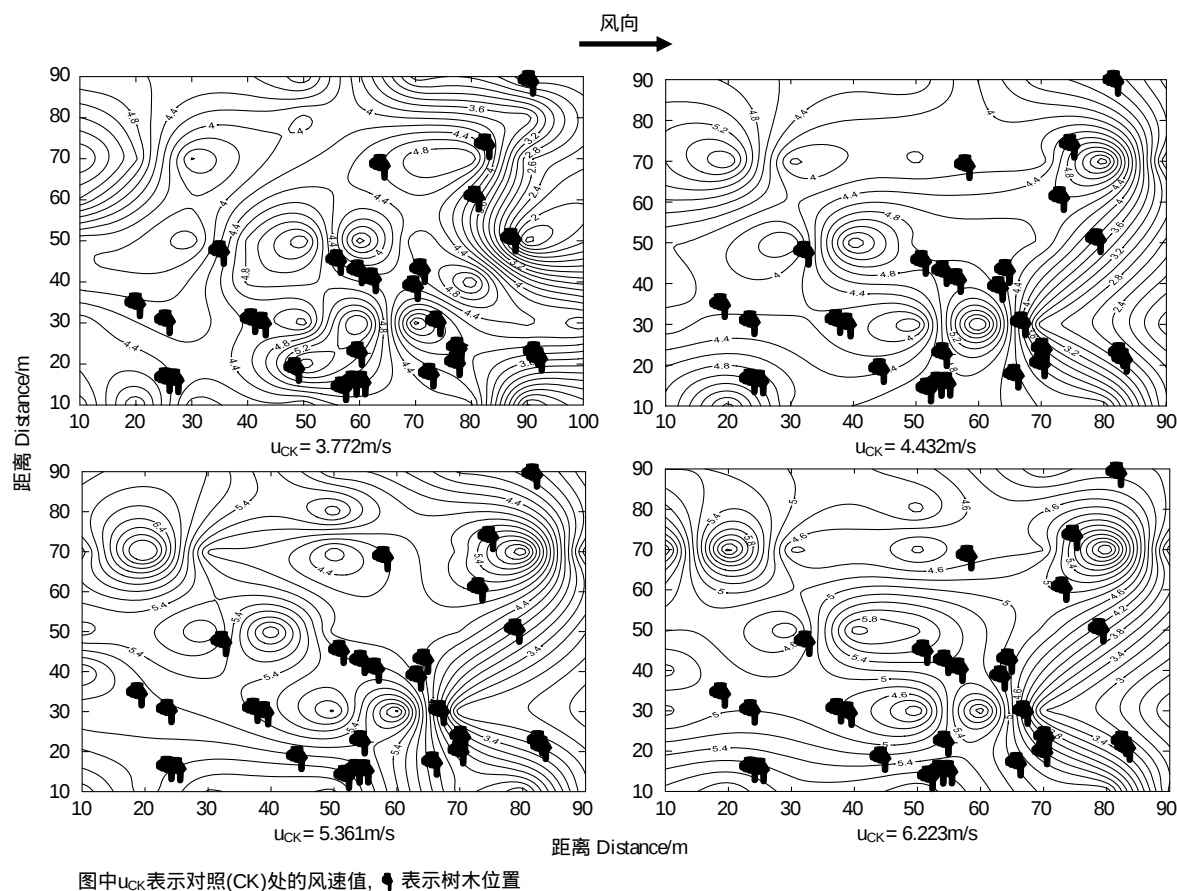


图1 随机配置乔木林内不同风速条件下风速流场(200cm 高度)

Fig. 1 Flow fields under different wind speeds in random distributed plantation(At 200cm height)

3.1.2 不同风速条件下行带式乔木林内风速流场变化

在不同对照风速下,行带式乔木林内200 cm 高度的水平空间风速流场形成了以风影区(即林带背风侧形成的风速显著降低区)为主的流场结构(图2)。图中当风通过第1 带林带后有明显的降低,对照风速越大,第1 带林带内风速降低越明显;通过第2 带后风速又有一定的降低,且在不同对照风速下,第2 带后的风速都在1—2 m/s 范围内变动;通过第3 带后风速有一定的升高,但在不同对照风速下,风速也仅在2—3 m/s 范围内变动。综上所述,行带式乔木林对风速有较大的降低效果,林内风速均低于对照风速,且对照风速越大,降低风速的效果越强。

3.1.3 随机和行带式配置乔木林内风速流场比较

图3 是随机配置和行带式配置乔木林内50 cm 和200 cm 2 个高度的水平空间风速流场图。图3 中a、b、c、d 都形成了风影区和加速区的相互组合的复杂流场结构;其中,随机配置乔木林内的风速流场图中出现了较多的加速区,加速强度较大,且林中出现了多处风速大于对照风速的现象;而行带式配置乔木林内主要出现风影区,而且比较规则,风通过第1 林带后就有显著的降低,2、3 林带后的风速与第1 林带后的风速相近,且

整个模式内风速均低于对照风速。通过对图 3 的分析可以看出,行带式配置对降低风速的扰动程度和降低风速的能力都要高于随机配置。

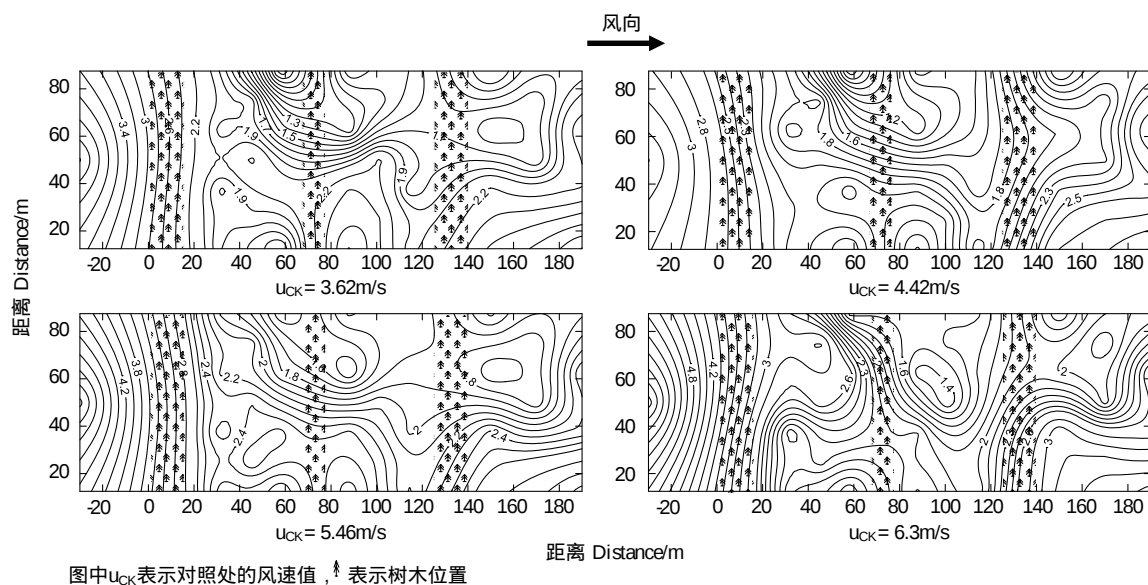


图 2 行带式乔木林内不同风速条件下风速流场(200 cm 高度)

Fig. 2 Flow fields under different wind speeds in belt scheme plantation(At 200cm height)

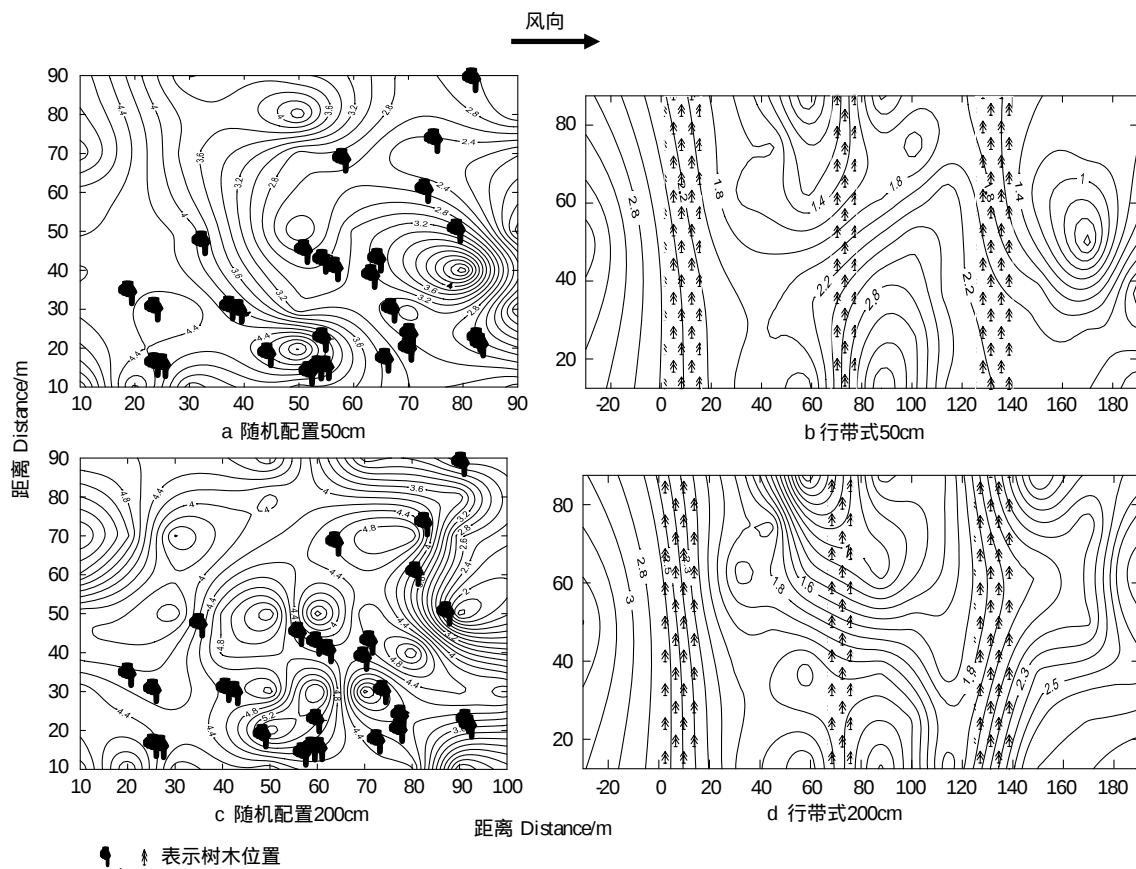


图 3 两种乔木林内 50cm、200cm 高度风速流场($u_{ck} = 3.6 \text{ m/s}$)

Fig. 3 Flow fields under the height of 50cm and 200cm in two plantations($u_{ck} = 3.6 \text{ m/s}$)

3.2 行带式与随机分布乔木林内防风效果分析

采用公式(1)计算的随机配置和行带式配置防风效果见表1,可以看出:在旷野风速(对照风速)小于6 m/s 时,与对照风速相比,随机配置疏林内200 cm 和50 cm 高度处的平均相对风速分别为104.9% 和80.66%, (其中出现了随机配置疏林内200 cm 高度处平均风速比对照高出4.9% 的现象,这是测定结果,我们再次检查了数据及处理工程,没有发现问题,这正是我们发现低覆盖度行带式能够完全固定流沙的重要原理所在),行带式配置的平均相对风速分别为47.01% 和43.84%,行带式配置林带防风效果达到了50% 以上,可见,行带式配置的防风效果非常显著,而随机配置防风效果较弱。在不同的对照风速下,行带式配置的林内的相对风速均低于随机分布,其中在200 cm 高度处行带式配置的平均相对风速比随机分布的低53.89%,在50 cm 高度处低36.82%

从表1 中还可以看出:在不同的对照风速下,行带式配置200 cm 和50 cm 两个高度的相对风速的波动幅度差异不大,而且均小于随机配置;而随机配置内3 个高度的相对风速波动幅度差异较大。其中,200 cm 高度的相对风速波动幅度非常大,且随着风速的降低而增大。

3.3 地表粗糙度分析

依据实验数据中50 cm 和200 cm 两个高度的风速数值,采用公式(2)计算两种配置结构林分的粗糙度(表2)。观察计算所得的粗糙度,行带式配置林内的平均地表粗糙度为1.01 cm,比随机分布增大约5 倍。从变化幅度而论,行带式配置变动在0.04—7.93 cm,随机配置变动在0—3.07 cm,变动范围较小;进一步分析发现:在行带式配置林分内,地表粗糙度值小于1 cm 仅分布在迎风侧第1 林带基部林下范围之内,其他部位的地表粗糙度值均大于1 cm;而随机分布的疏林内地表粗糙度值小于1 cm,在林内不同部位均有出现,出现的部位非常多,在水平空间分布上没有明显的规律。

3.4 摩阻速度分析

采用公式(3)计算的摩阻速度(表3)表明:在低覆盖度(20%) 时,随机配置林内摩阻速度(u_*) 的变化范围为0.16—2.36 m/s,行带式配置林内摩阻速度的变化范围为0.27—0.87 m/s。从变化范围来看,行带式配置的乔木林内摩阻速度变化较稳定,而随机配置林内摩阻速度变动范围大。除去最大值和最小值求得两种配置林内平均摩阻速度,行带式配置林内为0.5 m/s,而随机配置林内为0.72 m/s。

4 结论

在干旱、半干旱区,风是地表侵蚀的最主要的营力,而能够保护地表免受风力侵蚀并对风力起到阻碍和扰动作用的主要是植被^[14]。由于水分不足的制约,本实验地段主要生长发育了低覆盖度(20%—30%) 的疏林(或者稀疏灌丛),沙地处于半固定、半流动状态;因此,多年来一直以覆盖度大于等于40% 作为能够完全固定流沙的标准。通过上述野外实验资料分析,结合风洞模拟实验结果^[14-24],对固沙林的防风阻沙机理有了进一步的认识:

(1)从上述资料及近年的研究成果来看,覆盖度大于等于40% 作为能够完全固定流沙的标准不是非常确

表1 20%低覆盖度不同配置的乔木林的防风效果

Table 1 Windbreak effect on different scheme arbor forests of 20 percent coverage/%

对照风速/(m/s) Wind velocity of control	样地 Plot	高度 /Height	
		200cm	50cm
<3	CK	100	100
	RK	167.10±57.21	85.48±49.03
	BK	56.89±24.44	52.25±23.66
3—4	CK	100	100
	RK	119.23±36.67	80.2±30.73
	BK	51.56±24.29	46.32±20.23
4—5	CK	100	100
	RK	83.24±28.26	79.74±26.18
	BK	48.31±19.48	43.37±16.54
5—6	CK	100	100
	RK	79.07±22.34	79.25±18.53
	BK	39.96±13.83	39.22±11.67
>6	CK	100	100
	RK	75.86±16.16	78.64±12.53
	BK	38.33±12.88	38.03±10.05
平均/Average	CK	100	100
	RK	104.9±27.4	80.66±32.13
	BK	47.01±16.43	43.84±18.98

CK: 对照;RK: 随机配置;BK: 行带式配置

切的。其主要原因是稀疏的乔灌木在水平空间的分布格局对防风固沙的效果影响非常大,无论是灌木(包括半灌木)、还是乔木,行带式配置的防风阻沙效果均明显优于等株行距均匀分布和随机分布^[24-31]。而覆盖度在 20%—30% 时,配置成行带式格局的乔木、灌木和半灌木固沙林均能够完全固定流沙。

表 2 20%低覆盖度不同配置的乔木林的粗糙度/cm

Table 2 Soil surface roughness on different scheme arbor forests of 20 percent coverage											
样地 Plot	测点 Point	2—3		3—4		4—5		5—6		平均/Average	
		A	z ₀	A	z ₀	A	z ₀	A	z ₀	A	z ₀
随机配置	1	1.19	0.03	1.18	0.02	1.19	0.04	1.19	0.03	1.26	0.22
	2	1.11	0	1.15	0.01	1.12	0	1.11	0		
	3	1.4	2.12	1.44	2.89	1.49	2.76	1.48	1.6		
	4	1.26	0.25	1.17	0.01	1.22	0.08	1.29	0.44		
	5	1.17	0.01	1.16	0.01	1.16	0.01	1.16	0.01		
	RK 6	1.08	0	1.1	0	1.12	0	—			
	7	1.17	0.01	1.18	0.02	1.19	0.04				
	8	1.46	2.4	1.5	3.07	1.47	2.69				
	9	1.3	0.47	1.29	0.41	1.3	0.46				
	10	1.4	1.56	1.41	1.72	1.4	1.52				
行带式	1	1.2	0.04	1.21	0.07	1.22	0.09			1.35	1.01
	2	1.48	2.75	1.5	3.07	1.54	3.9	—			
	3	1.36	1.01	1.37	1.22	1.37	1.14				
	BK 4	1.65	5.94	1.44	2.12	1.75	1.41	1.41	1.75		
	5	1.44	2.08	1.34	0.83	1.3	1.34	1.34	0.89		
	6	1.24	0.14	1.23	0.11	1.26	1.23	1.23	0.11		

A 表示两个高度上风速之比的平均值,z₀为地表粗糙度

表 3 20%低覆盖度不同配置的乔木林的摩阻速度/(m/s)

Table 3 Friction speed on different scheme arbor forests of 20 percent coverage											
样地 Plot	测点 Point	2—3		3—4		4—5		5—6		平均/Average	
		u ₅₀	u _*	u ₅₀	u _*	u ₅₀	u _*	u ₅₀	u _*	u ₅₀	u _*
随机配置	1	2.27	0.87	4.91	0.59	5.33	0.69	6	0.74	4.26±0.77	0.72±0.23
	2	2.39	0.48	4.89	0.5	4.33	0.35	5.91	0.44		
	3	2.11	0.61	3.78	1.22	4.45	1.42	6.48	1.73		
	4	3.32	1.15	3.79	0.43	5.6	0.8	6.14	2.36		
	5	2.01	0.87	2.39	0.26	4.27	0.45	7.02	0.76		
	RK 6	3.58	0.16	4.38	0.21	4.33	0.33	—			
	7	3.4	0.38	4.19	0.5	4.33	0.55				
	8	3.2	0.97	3.48	0.23	3.45	1.09				
	9	3.32	0.66	3.58	0.69	3.6	0.71				
	10	2.01	0.53	2.26	0.62	2.27	0.6				
行带式	1	2.56	0.33	2.41	0.34	2.55	0.37	—		2.14±0.8	0.5±0.19
	2	1.56	0.5	1.42	0.47	1.37	0.5				
	3	1.57	0.39	1.08	0.27	1.24	0.3				
	BK 4	1.3	0.56	2.97	0.87	1.8	0.9	2.73	0.75		
	5	2.28	0.66	2.56	0.58	1.74	0.34	2.4	0.55		
	6	2.02	0.32	2.72	0.71	2.06	0.36	4.58	0.69		

u₅₀表示 50cm 高度的风速值,u_{*}表示摩阻速度

(2)植(树)冠是植物最重要的防风阻沙部分,在随机格局的乔木疏林中,由于乔木树冠在半空中,其对风流场的影响表现为在树冠与树冠或者与地面之间形成类似“狭管”空间时,形成非常强烈的风速加强

区^[16,28-29],对地表产生强烈的侵蚀作用,导致地表形成较大的随机分布的风蚀坑^[4],这是浑善达克沙地榆树疏林风蚀地貌形成的重要原因,同时表明:在稀疏乔木林内,风力对地表的局部风蚀强度超过灌木疏林。

(3) 乔木行带式固沙林在迎风面的第 1 林带的基部有一定的风力“抬升”

作用,对林带基部地面产生较强的侵蚀作用,多数第 1 带树木的根系被侵蚀出露,过境的风沙流只能在林带后树冠外侧堆积。

总体而言,无论是乔木或者是灌木构建的行带式分布格局,第 1 带降低风速的作用最显著,第 2 带及其以后各带间的风速均比第 1 带后的风速小,但逐带降低的叠加效益不明显,而且各带间存在一些小的波动。

References:

- [1] Wu Z Y. Vegetation of China. Beijing: Science Press, 1980: 956-979.
- [2] Qiu M X. Vegetation of Central Desert Region of China. Lanzhou: Gansu Culture Press, 2000: 20-62.
- [3] Han D R, Yang W B, Yang M R. The Water Dynamic Relation and Application of Shrub or Arbor in Arid and Semiarid Sandy land. Beijing: Science and Technology of China Press, 1996: 34-56.
- [4] Zhu Z D, Liu S. Desertification Process and Harnessing in North of China. Beijing: Chinese Forestry Press, 1981: 3-7.
- [5] Zhu Z D, Chen G T. Chinese Soil Desertification. Beijing: Science Press, 1994: 14-67.
- [6] Gao S W. Control Desertification and Silvics. Beijing: Chinese Forestry Press, 1984: 34-46.
- [7] Ma S W. Study on structure of wind-sand flow. Journal of Desert Research, 1988, 8(3): 8-22.
- [8] Dong Z B. Research achievements in aeolian physics in China for the last five decades (I). Journal of Desert Research, 2005, 25(3): 293-305.
- [9] Qu J J, Zhang W M, Wu D. The study of wind tunnel experiment about pyramid sand ripple. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(20): 1870-1872.
- [10] Yang W B, Wang J Y. Characteristics of water utilization in border row and optimum disposition structure in plantation in arid and semi-arid region. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(5): 3-9.
- [11] Son R J, Nanninga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces. Earth Surface Processes and Landforms, 1986, 11(5): 505-514.
- [12] van de Ven T A M, Fryrear D W, Spaan W P. Vegetation characteristics and soil loss by wind. Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 44(4): 347-349.
- [13] Wolfe S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. Progress in Physical Geography, 1993, 17(1): 50-68.
- [14] Ling Y Q, Qu J J, Jin J. Influence of sparse natural vegetation on sand-transporting quantity. Journal of Desert Research, 2003, 23(1): 12-17.
- [15] Anderson R S, Haff P K. Simulation of Aeolian saltation. Science, 1988, 241(4867): 820-823.
- [16] Yang W B, Ding G D, Wang J Y, Yao J C, Dong Z, Yang H Y. Windbreak effects of belt scheme caragana korshinskii kom plantation for sand-fixation. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4106-4112.
- [17] Zhu Z Y, Ding G D, Yang M Y. Sand and Wind Physics. Beijing: Chinese Forestry Press, 1991.
- [18] Hu M C, Zhao A G, Li N. Sand-trapping efficiency of railway protective system in Shapotou tested by wind tunnel. Journal of Desert Research, 2002, 22(6): 598-601.
- [19] Zhao X L. Study of plant sand-fixation problem in Shapotou//Study of Control Quicksand II. Yinchuan: People Press of Ningxia, 1991: 47-55.
- [20] Yang W B, Pang B Z, Yang D R, Yao J C, Liu Q Q, A T G, Cui Q T. The preponderance and benefit analysis of “two-row-and-one-belt” poplar high productivity forest. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 1997, (3): 5-8.
- [21] Hu X L, Guo J Y, Lan D M, Yu W L, Wang L B. The effect and evaluation of closed degenerated rangeland in Hunshandake Sandy Land. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2007, 28(1): 63-65.
- [22] Guo J Y. Study on Seed Plants Diversity and Human-induced Vegetation Restoration in Duolun County. Hohhot: Inner Mongolia Agriculture University, 2007.
- [23] Yang W B, Zhao A G, Wang J Y, Yao J C, Tian Y Z, Hu X L, Yang H Y. Allocation of Artemisia halodendron association with low coverage and their sand-fixing and wind-preventing effects. Journal of Desert Research, 2006, 26(1): 108-112.
- [24] Wang L B, Li G T, Hu X L, Yu W L, Jiang L N, Xing L J, Yan X B. The study of the growth rules and biomass of different two plantations. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Nature Science Edition, 2007, 28(1): 46-50.
- [25] Zhang L S. A study on the succession of man-made vegetation in southeastern part of Mu Us desert. Journal of Desert Research, 1994, 14(1): 79-82.
- [26] Yang W B, Zhang T Y, Yan D R, Yao H L. Natural Environment and Comprehensive Combating of Kubuqi Desert. Hohhot: Inner Mongolian University Press, 2005.

- [27] Yang W B, Wang J Y, Wang X J, Liu L C, Wei Y X. Relation between growth of high-yield poplar and density and Planting Composition in Keerqin Sandy land. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(4): 33-38.
- [28] Yang H Y, Dai S M, Le L, Wang L H, Yang W B, Wang J Y, Hu X L. Windbreak effects of different scheme artemisia ordosica shrub for sand-Fixation in low cover. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(5): 11-16.
- [29] Yang W B, Yang H Y, Lu Q, Wu B, Zhao A G, Le L, Yao J C, Wang J Y, Hu X L. Wind tunnel experiment on sand fixation effects of sparse shrub communities varying in spatial arrangement. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 2998-3007.
- [30] Dong H L, Yang W B, Wang L H, Lu Q, Wang J Y, Liang H R, Zhao A G. Windbreak effects and wind velocity flow field of one-line-shelter belt. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(7): 110-116.
- [31] Liang H R, Wang J Y, Lu Q, Yang W B, Dong H L, Zhao A G, Zhang Z C. Windbreak effects and wind velocity flow field of low density arbor with two spatial distribution patterns in wind tunnel. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(6): 1021-1028.

参考文献:

- [1] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980: 956-979.
- [2] 丘明新. 我国沙漠中部地区植被. 兰州: 甘肃文化出版社, 2000: 20-62.
- [3] 韩德儒, 杨文斌, 杨茂仁. 干旱半干旱区沙地灌(乔)木种水分动态关系及其应用. 北京: 中国科学技术出版社, 1996: 34-56.
- [4] 朱震达, 刘恕. 中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划. 北京: 中国林业出版社, 1981: 3-7.
- [5] 朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化. 北京: 科学出版社, 1994: 14-67.
- [6] 高尚武. 治沙造林学. 北京: 中国林业出版社, 1984: 34-46.
- [7] 马世威. 风沙流结构的研究. *中国沙漠*, 1988, 8(3): 8-22.
- [8] 董治宝. 中国风沙物理研究五十年(I). *中国沙漠*, 2005, 25(3): 293-305.
- [9] 屈建军, 张伟民, 吴丹. 金字塔型沙波纹的风洞实验研究. *科学通报*, 1992, 37(20): 1870-1872.
- [10] 杨文斌, 王晶莹. 干旱、半干旱区人工林边行水分利用特征与优化配置结构研究. *林业科学*, 2004, 40(5): 3-9.
- [14] 凌裕泉, 屈建军, 金炯. 稀疏天然植被对输沙量的影响. *中国沙漠*, 2003, 23(1): 12-17.
- [16] 杨文斌, 丁国栋, 王晶莹, 姚建成, 董智, 杨红艳. 行带式柠条固沙林防风效果. *生态学报*, 2006, 26(12): 4106-4112.
- [17] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远. 风沙物理学. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [18] 胡孟春, 赵爱国, 李农. 沙坡头铁路防护体系阻沙效益风洞实验研究. *中国沙漠*, 2002, 22(6): 598-601.
- [19] 赵兴梁. 沙坡头地区植物固沙问题的探讨//流沙治理研究(二). 银川: 宁夏人民出版社, 1991: 47-55.
- [20] 杨文斌, 潘宝柱, 阎德仁, 姚建成, 刘清泉, 阿腾格, 崔清涛. “两行一带式”杨树丰产林的优势及效益分析. *内蒙古林业科技*, 1997, (3): 5-8.
- [21] 胡小龙, 郭建英, 兰登明, 余伟莅, 王利兵. 浑善达克沙地退化草场的封育效果及其评价. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 28(1): 63-65.
- [22] 郭建英. 多伦县植物多样性及植被人工修复效果的研究. 呼和浩特: 内蒙古林业大学, 2007.
- [23] 杨文斌, 赵爱国, 王晶莹, 姚建成, 田永桢, 胡小龙, 杨红艳. 低覆盖度沙蒿群丛的水平配置结构与防风固沙效果研究. *中国沙漠*, 2006, 26(1): 108-112.
- [24] 王利兵, 李钢铁, 胡小龙, 余伟莅, 姜丽娜, 刑利军, 严喜斌. 两种不同人工林树木个体生长规律的研究. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 28(1): 46-50.
- [25] 张龙生. 毛乌素沙地东南部人工植被演替研究. *中国沙漠*, 1994, 14(1): 79-82.
- [26] 杨文斌, 张团员, 阎德仁, 姚洪林. 库布齐沙漠自然环境与综合治理. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2005.
- [27] 杨文斌, 王晶莹, 王晓江, 刘立城, 魏永新. 科尔沁沙地杨树固沙林密度、配置与林分生长过程初步研究. *北京林业大学学报*, 2005, 27(4): 33-38.
- [28] 杨红艳, 戴晟懋, 乐林, 王林和, 杨文斌, 王晶莹, 胡小龙. 不同分布格局低覆盖度油蒿群丛防风效果. *林业科学*, 2008, 44(5): 11-16.
- [29] 杨文斌, 杨红艳, 卢琦, 吴波, 赵爱国, 乐林, 姚建成, 王晶莹, 胡小龙. 低覆盖度灌木群丛的水平配置格局与固沙效果的风洞试验. *生态学报*, 2008, 28(7): 2998-3007.
- [30] 董慧龙, 杨文斌, 王林和, 卢琦, 王晶莹, 梁海荣, 赵爱国. 单一行带式乔木固沙林内风速流场和防风效果风洞实验. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(7): 110-116.
- [31] 梁海荣, 王晶莹, 卢琦, 杨文斌, 董慧龙, 赵爱国, 张正才. 低覆盖度乔木两种分布格局内风速流场和防风效果风洞实验. *中国沙漠*, 2009, 29(6): 1021-1028.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwei, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil δ ¹⁵ N under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 2011

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:100717	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