2016 年 1 月　　防 护 林 科 技　　Jan.,2016
第 1 期(总 148 期)　　Protection Forest Science and Technology　　No.1(Sum No.148)
文章编号:1005－5215(2016)01－0001－04

河西走廊沿沙防护林演变形式与积沙带稳定性研究

张大彪[1,2],张元恺[1],唐进年[1]
(1.甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070;2.甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站,甘肃 武威 733300)

摘　要　文章通过对甘肃河西地区沿沙绿洲边缘防风固沙林演变方式及其后期形成的积沙带植被结构与稳定性的调查分析,研究认为:数十年来,随内陆河上游来水减少,固沙林内水分供给能力的减弱,植物种类由初建乔灌木逐步被低矮的耐旱灌丛和逐水草本取代,随之形成了具有阻挡流沙越境的积沙带;积沙带的形状与积沙规模取决于当地风沙侵袭强度,防护林建植位置、时间,农田经济利用所采取的维护程度,带上不同部位着生植被借助农田渗余水的补给,处于相对稳定状态;沿沙防风固沙林建设及其演变形成的积沙带,对越境流沙起到了重要阻积作用,是目前维护沿沙绿洲长期安全重要屏障,应采取必要措施保护与利用。

关键词　河西走廊;沿沙绿洲边缘;积沙带;植被结构
中图分类号:S727.2　　**文献标识码**:A　　doi:10.13601/j.issn.1005－5215.2016.01.001

Evolution Form of Protection Forest at Oasis Fringe in Hexi Corridor and Stability of Accumulated Sand-belts

Zhang Dabiao[1,2], Zhang Yuankai[1], Tang Jinnian[1]
(1. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Minqin National Field Observation & Research Station on Ecosystem of Desertified Rangeland, Wuwei 733300, China)

Abstract　Evolution modes of windbreak and sandbreak forests at oasis fringe in Hexi Corridor in Gansu Province, plant structure of accumulated sandy-belt and its stability were investigated. Result shows that with reduction of run-off of upper reach in endorheic river and weaken of water supply capacity, plant species changed originally from drought-resistant shrubs to low and seasonal grasses gradually, and formed some accumulated sandy-belts which can stop transboundary of shifting; the forms and scales of the sandy-belts were controlled by maintenance extent taken by sand erosion, planting position of protection forest, time, economic use of farmland; plant was supplied by water seepage in farmland, being in a relatively stable state; accumulated sandy-belts prevent most wind sand and play the role of oasis fringe windbreak forests are still protected oasis long-run safety, some maintenance steps should be supported to the windbreak forests.

Key words　Hexi Corridor; at oasis fringe; accumulated sandy-belt; plant structure

地处西北内陆的甘肃河西五地市,南依祁连山、阿尔金山,北接马鬃山、合黎山等,形成 900 km 狭长的走廊地带,又称“河西走廊”,面积 66 万 hm^2,是我国连接新疆与中亚地区的主要通道,全年降雨 50～180 mm,光照充足,无霜期长,盛产优质瓜果蔬菜,被誉为“西北粮仓”,区内镍、金、铁、稀土等矿产资源丰富,多民族人民依靠石羊河、黑河、疏勒河等 3 条主要内陆河流繁衍生息;近年来随全球气温升高的影响,河流上游冰川退缩、林木减少,下游草原退化、自然植被萎缩衰败、风沙活动加剧,更有北部腾格里、巴丹吉林、库姆塔格三大沙漠侵扰,引起区域扬沙迁移与沙尘暴天气频发,危及周边农牧生产安全与人居环境,使原本隐患严重的河西走廊生态平衡变得异常脆弱,特别是下游沿沙漠边缘的荒漠化地区尤为严重,相继出现了民勤罗布泊景观、居延海长期干涸、敦煌与金塔楼兰化趋向等,再加上近年来土地承包到户、城镇化趋势、农业生产的低迷等因素,绿洲边缘生态防护林处于自然演替状态,人居环境和工农业生产安全问题引起国内高度关注。为此,相继进行了黑河、石羊河等流域的综合治理,生态环境恢复已列入当地政府的议事日程。

河西走廊下游沿沙绿洲边缘,赖以维护局部农

收稿日期:2015－10－19
作者简介:张大彪(1962－),男,硕士,高级工程师,现从事水土保持与荒漠化治理研究.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

牧业生产、群众生活安居的重要人工措施——防风固沙林，经过 50 年的不断营建和多次改造，对风沙地表稳定，拦截流沙起到了重要的屏障与保护作用。本文通过对河西地区沿沙绿洲防风固沙林运行演化方式、其上形成的积沙带阻沙积沙特点，积沙带上植被生存状况及稳定性的调查，分析目前随全球气温升高的影响、西北内陆河下游供水普遍减少的背景条件下，沿沙绿洲防护林演变及积沙带的堆积过程，从而研讨今后荒漠区生态恢复重建中，防风固沙林营建方式和引导应用途径、积沙带的改造利用方向，提高风沙防治的长期效益，为荒漠化区域综合治理提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区自然概况

河西地区[1]位于甘肃省黄河以西，东起乌鞘岭，西至甘新交界的狭长地带，总面积 21.5 万 km^2，多为典型的干旱荒漠区，中部为平原生态区，属于温带干旱荒漠、半荒漠气候，绿洲星罗其中，仅占 6%左右，该区光热资源丰富，降水量少，蒸发量大，是我国重要的商品粮基地之一；多年来水分亏缺和干旱环境引发的各类生态问题，严重制约着区域经济的高速发展，特别在西北部紧靠腾格里、巴丹吉林、库姆塔格沙漠沿线的绿洲，地势低凹，气候干燥，光热丰富且农业生产规模相对集中，水资源利用效率较高的传统农作区，由于来自周边荒漠化区域的风沙侵袭，农业生产条件极端脆弱，防风固沙林是当地解决风沙入侵的主要措施。

1.2 数据来源

数据来源于国家 973 前期项目资源多样性与生态环境安全重大问题（2011GB411900）子课题—甘肃河西绿洲边缘积沙带的形成及其生态效应的基础调查资料，应用于甘肃省科技厅 1305TCYA007 项目执行。

1.3 研究方法

2011—2013 年项目组沿河西走廊东部沿沙漠边缘的古浪海子滩，经过武威、民勤、金昌、临泽、金塔到敦煌阳关乡，对 1960—2013 年期间河西沿沙农防林及其形成的积沙带进行实地群众走访与样地调查，对比积沙带纵轴线方向自然环境风蚀状况[5]；采用典型取样法[6,7]进行积沙带形状规模，前风蚀凹地深度、宽度，带后缓冲台地宽度与农田的高差调查，测试沙脊线两侧不同高度层次的水分状况、植物群落组成；通过在不同坡位、土壤层次设置 2 m×2 m 小样方进行自然植被组成、盖度、生物量及地层水分含量调查，以植被群落繁殖生存特征衡量积沙带稳定性；查阅农防林样地建设以来河西地区气象资料与荒漠植被特性的研究资料，研究防护林演变趋势、样点植物生存动态[8]，引用建群灌木重要值〔IV=（相对高度＋相对盖度＋相对密度）/3〕、物种丰富度（$R=\log_2 N/S-1$）和，植被组成结构的变化差异幅度衡量积沙带的稳定性。

2 结果与分析

2.1 农防林自然演变与样区气候环境因子的关系

从实地调查与气候、水文信息中看出，河西沿沙绿洲防护林自东到西，随海拔高度的降低，自然降雨逐渐减小，由东端古浪海子滩的年均 180 mm 逐渐减少到敦煌阳关的 45 mm；平均温度与活动地温（蒸发量增大）逐渐升高，相对湿度降低；营建于 20 世纪 60—90 年代的乔灌防护林与林下自然植被生存水环境供给能力降低，初建植物出现整体消亡或严重衰败趋势[9]，保留部分多萎缩到防护林形成的积沙带背风坡后接近农田的位置（见表 1），凸起的积沙带形成阻碍西北风携沙越境、间续延伸的防护屏障；河西沿沙地区自东向西积沙带自然植被盖度、物种丰富度下降，建群植物重要值增大，同时可用水条件趋于恶化，敦煌阳关仅有耐盐碱植物柽柳存在。

表 1 调查样地区域气候因子与防护林建植情况

样号	地点位置	样点数	年均降水量/mm	相对湿度/%	平均温度/℃	活动积温/℃	建设期	初建植物	生存水环境
1	古浪海子滩	1	180	46	6.2	3 100	70－80 年代	白榆沙枣	自然降水
2	武威新地滩	2	157	49	5.9	3 185	80－90 年代	杨树白榆	降水＋农渗水
3	民勤刘家地	6	131	38	6.2	3 218	1965－1975 年	梭梭花棒	降水＋农渗水
4	金昌双湾乡	2	131	38	6.2	3 218	70－80 年代	杨树梭梭	自然降水
5	临泽板桥乡	2	117	36	7.6	3 085	1965－1975 年	杨树沙枣	河渗水＋降水
6	高台胭脂堡	4	108	35	8.6	3 364	80－90 年代	杨树沙枣	河渗水＋降水
7	金塔西坝乡	4	88	53	8.9	3 644	1990－2000 年	杨树柽柳	农渗＋排盐水
8	瓜州布隆吉	1	44	32	9.6	3 817	1990－2000 年	沙枣柽柳	农排盐碱水
9	敦煌阳关乡	1	47	28	10.5	3 993	80－90 年代	柽柳杨树	农排盐碱水

2.2 积沙带形成因素及存在方式

沿沙地区防风固沙林运行过程，也就是林内积沙的过程，随林地高度的抬升与近年来农业用水的减少，林带内植物供水能力下降，由旺盛逐渐衰败，

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

上风向尤其明显，沿绿洲积沙带随之形成[1,10]，见表2；积沙带迎风坡缓长，前端出现较宽的风蚀凹地，中后部形成高大沙梁；背风坡陡直，后部近农田保留狭窄的缓冲区，存有少量初植林木与自然植被繁衍生息；以农防林后耕地为原始地平面对照，积沙带较自然沙丘，前部风蚀凹地加长、风蚀深度增大，则沙脊高度与积沙带宽度明显，其中金塔西坝积沙带风蚀凹地深度为 3.51 m，凹陷幅宽 31.8 m，沙脊线高度 16.72 m，积沙带宽度达 78.15 m；敦煌阳关风蚀深度 2.73 m，凹陷幅宽 34.56 m，积沙带宽度达 88.27 m；民勤刘家地蚀深 1.74 m，凹陷宽度 100.28 m，沙脊高度 18.62 m，积沙宽度 1 008.2 m，积沙带裸露区域较其他样地面积大，不稳定程度增加。表明三地域风沙活动强烈且频繁，也是河西风沙危害的重点区域。经过 Excel 软件统计分析，带前凹地风蚀量与样地所在区域风沙活动强度（≥10 m·s^{-1}大风日数）、建群植物重要值、积沙带含水率呈典型相关（表 2），相关系数分别是 $P_{风}=0.823\ 1$，$P_{植物}=-0.577\ 3$，水分达到极显著水平，通过 0.05 检验，相关系数 $P=0.783\ 1$；积沙带的形状与积沙规模取决于当地风沙侵袭强度、防护林建植位置、运行时间、农田经济利用所采取的维护程度，传统农业用地向农防林区域范围扩张，如民勤刘家地农田侵近农防林缓冲台地，仅距积沙带坡底际线 5.12 m（台地实际宽度），临泽板桥 7.68 m，武威新地滩 13.54 m，显示出积沙带防护农田的实用效果；与周边无林沙化区比较，防护林形成的积沙带平均高度增加 170%～350%，宽度增加 5～8 倍，标志出流动沙地与绿洲农田间明显的分界线。

表 2　样地的位置及积沙带堆积特征

地点	纬度	经度	海拔/m	地貌特征	带高/m	缓冲区高差、宽度/m		前蚀深度、宽度/m	
海子滩	37°36′51.8″	103°40′43.9″	1 684	沙漠外延	37.90	1.98	108.6	+0.39	0
新地滩	37°54′57.1″	102°51′3.9″	1 525	风积沙丘	5.52	0.08	13.54	−1.25	27.28
刘家地	38°56′40.8″	103°20′34.4″	1 319	流动沙地	18.62	1.96	5.12	−1.74	100.28
双湾乡	38°38′33.3″	102°25′37.6″	1 378	风积沙丘	9.70	1.74	16.88	−0.10	26.41
板桥乡	39°19′38.3″	100°09′38.5″	1 380	流动沙地	8.53	0.38	7.68	−1.38	118.85
胭脂堡	39°27′36″	99°36′06″	1 326	风积沙丘	10.37	0.93	20.31	−0.72	16.00
西坝乡	40°14′04″	99°04′19″	1 218	沙漠外延	10.18	0.97	49.26	−3.51	31.81
布隆吉	40°29′51″	95°41′32″	1 168	河滩沙地	6.64	1.01	18.37	+0.26	0
阳关乡	39°57′29″	93°59′15″	1 138	风积沙丘	4.00	0.17	25.10	−0.73	34.56

表 3　积沙带坡位水分特征及建群植物重要值

样点 防护林主建植物种		海子滩 沙枣	新地滩 梭梭	刘家地 柽柳	双湾乡 梭梭	板桥乡 二白杨	胭脂堡 沙拐枣	西坝乡 二白杨	布隆吉 柽柳	阳关乡 柽柳
积沙带顶	建群植物	沙蒿	五星蒿	红砂	沙米	梭梭		柽柳	柽柳	柽柳
	重要值	0.17	0.15	0.15	0.08	0.15	0.00	0.33	0.52	0.65
	0～50 cm 均含水率%	2.43	1.95	1.30	1.32	0.92	0.84	1.73	2.20	1.73
顶前中部	建群植物	冰草	五星蒿	柽柳	沙米	柽柳	沙米	芦苇	盐生草	柽柳
	重要值	0.22	0.28	0.17	0.19	0.10	0.11	0.25	0.65	0.32
	0～50 cm 均含水率%	3.19	2.23	1.37	1.89	2.28	1.96	3.31	2.78	2.05
顶后中部	建群植物	沙蒿	五星蒿	沙米	五星蒿	梭梭	沙米	芦苇	柽柳	柽柳
	重要值	0.28	0.37	0.24	0.24	0.21	0.14	0.20	0.83	0.35
	0～50 cm 均含水率%	2.79	2.08	1.83	1.00	1.24	0.96	2.82	1.78	2.94
顶前下部	建群植物	沙米	梭梭	沙米	沙米	梭梭	沙米	芦苇	骆驼蓬	柽柳
	重要值	0.27	0.14	0.13	0.33	0.28	0.06	0.30	0.33	0.46
	0～50 cm 均含水率%	2.33	3.45	2.42	2.89	0.82	1.15	3,82	3.66	3.34
顶后下部	建群植物	花棒	沙拐枣	柽柳	二白杨	杨树	沙枣	柽柳	柽柳	柽柳
	重要值	0.38	0.31	0.17	0.53	0.35	0.45	0.15	0.55	0.62
	物种丰富度%	0.27	0.13	0.19	0.09	0.22	0.13	0.26	0.16	0.05

2.3　积沙带植被特征

河西沿沙农防林积沙带自然植被种类趋向单一且丰富度减小（表 3），由东端海子滩的 0.27 降至敦煌阳关的 0.05，植被表现为以多种植物组成向单一或少数种方向过渡，到敦煌阳关仅存柽柳一种，偶有短命植物沙米、碱蓬等伴生；植被盖度与防护林所建区域水分供给有关，随积沙带增高沙层含水量降低。由表 3 数据分析得出：植物重要值与积沙带所处地点、坡位影响下的含水率成对数相关，$y=-0.963\ 5\ \ln x+2.59$，相关系数是 0.893 3；结合地域性资料显示：河西走廊东端古浪荒漠草地雨养自然植物有 20 科 39 种，植被盖度大，由东向西随降水量的逐渐减小而植被盖度减小，临泽、高台半固定沙地植物保存有 7 科 13 种，到西部敦煌西戈壁仅存藜科 1 种，地处内陆河下游的防护林积沙带植被，借助农用渗水或排盐碱水的补给，较流动沙丘处于相对稳定的状

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

态。

2.4 积沙带群落的外貌、重要值及地域特点

植被既是生态环境的重要组成部分，也是荒漠区立地水资源与风沙侵袭状况的综合反映[5]。从表3看出，最初营建防护林乔灌植物，随积沙带的升高，水分供应的减少，逐步衰败或整体消亡，仅存的零星植株多集中在靠近农田一侧，与积沙带自然灌草植被组成带后流沙埋压的缓冲部分；积沙带沙脊线高度与迎风坡中下部植被，共同构成衡量积沙带稳定与否的重要标志；建群灌丛的重要值与植物丰富度取决于积沙带所处环境的水分补给状况，在降水较好的海子滩灌丛重要值高达0.38，自然植被丰富度0.27，积沙带处于良好的稳定状态；敦煌阳关地处河流下游季节性积水盐碱滩，仅有的柽柳灌丛重要值可达0.62，植被丰富度仅0.05，积沙带仅柽柳生存，冬春季稳定性下降；积沙带植被受水分与积沙高度影响，农田一侧缓冲区植被盖度明显高于流沙地一侧，随积沙带高度增加，植物逐渐稀疏，趋向短命植物，物种丰富度下降（表3）；优势灌丛则反映了地域环境特色，如武威、民勤以梭梭、沙拐枣为主，内陆河下游的瓜州、敦煌、金塔，剩余盐碱水形成柽柳、骆驼刺等耐盐灌丛；灌木重要值越小，植物丰富度越大，积沙带稳定程度越高；积沙带未发现红砂（*Reaumuria songarica*）、珍珠（*Salsola passerina*）和白刺等强旱生植物存在，说明积沙带仍处于亚稳定状态。

2.5 农防林积沙带稳定性分析

通过河西沿沙地区9地类25个防护林积沙带纵长轴线断面调查，较区内流动沙地新月形沙丘纵断面，迎风坡积沙面延伸1.6～3.3倍，平均高度增加170%～350%，背风坡后植被受到农田渗水或下游盐碱水的补给，植被盖度大，成为重要的缓冲沉积区[13]；积沙带增高与迎风坡中下部灌丛[11,12]的双重作用，积沙带迎风坡面向沙地延长，促使了积沙面的整体抬升，沙丘脊线增高突出，积沙带位移速度相对减缓，防护林体系经过30～40年演化与积沙带形成的演替，目前仍发挥着阻挡风沙、保护绿洲的作用。

3 结论与讨论

3.1 结论

3.1.1 甘肃河西沿沙绿洲近50年营建的防风固沙林，尽管经历了从初建、衰败到积沙带形成的演变过程，但一直都发挥着沉积与阻挡流沙越境的重要作用，至今仍然具有绿洲防护的价值与功能。

3.1.2 积沙带区域与自然沙区差别明显，积沙带受农田用水外渗或农用排盐水的影响，下风向保留了少量初建林木，积沙带前后及顶部着生低矮灌丛与多年生草本植物群落，使积沙带保持在相对稳定的状态。

3.1.3 河西沙区防风固沙林由初建到整体衰败内在原因，是全球气候变暖所引发的上游来水减少、沙区蒸发增强、植被可用水减少的必然结果，积沙带的形成与相对稳定，同样具有阻挡流沙侵占农田的作用，使防风固沙林阻沙积沙功能得到延续，因势利导，仍然是今后沙区绿洲防护的一种重要举措。

3.2 讨论

3.2.1 研究选择了河西沿沙绿洲近50年以来营建的防风固沙林及后期形成的积沙带为对象，来探讨绿洲与其上风向过渡带的变化，综合分析这一敏感区域风沙侵袭活动与植被演替过程，认识到消失的防护林或被分解的积沙带多因人为弃耕等因素所造成；从初期营建防护乔灌林衰败，到后期积沙带形成及自然灌丛演替产生，是当地水分供给减少的必然结果，积沙带屏障作用使绿洲防护功能得到延续，绿洲与荒漠间趋向脆弱平衡；河西绿洲边缘积沙带自东到西，受补给水分减少与气温相对增高的影响，植被逐渐稀疏，防护功能呈减弱趋势，但仍具有重要的阻挡风沙越境迁移作用。

3.2.2 河西沿沙地区植物防护能力，取决于当地环境的水分供给水平；随数十年自然旱化加剧的影响，河西沙区风沙活动加剧，流沙迁移速度加快，侵蚀农田与引发沙尘暴现象时常发生，生态安全面临新的考验，引起社会各阶层的高度关注，政府不惜花巨资进行区域治理，重点都以围绕水资源高效利用的方案实施开展，通过本项研究，认识到沿沙防护林及积沙带潜在的防护利用价值，以期引导利用，达到区域长期防治的目的。

3.2.3 河西地区沿沙绿洲，初建防护林设计功能平均维持时间仅20～30年，多因使用杨树、沙枣等乔木树种，初植密度较大，沙埋供水渠道、农田弃耕、管理不善等造成水分供应的缺失，林带迅速衰败，继而被间断的积沙带所取代；积沙带的堆积发育过程，也是当地耐旱抗逆性较强的灌木梭梭、柠条、沙拐枣及林下多年生草本定居繁殖的过程，水分补充能力强，灌丛盖度大，积沙带越宽大；积沙带的形成与农用水补渗有直接关系，因此选择耐旱耐沙埋的灌木如梭梭、沙拐枣等，减小初植密度，促成积沙带整体加宽增高，形成具有阻沙积沙能力的高大屏障，将是一个很好的选择。

（下转第7页）

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

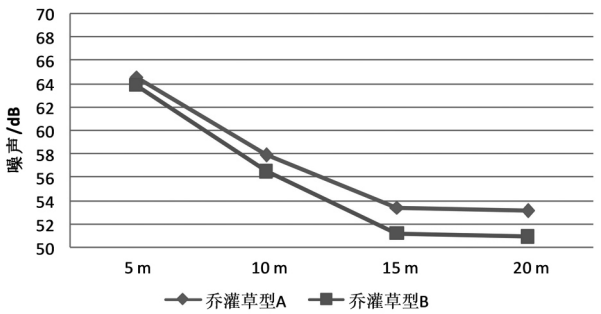

图 3　不同盖度植物群落声环境优化效果

4　结论与建议

噪声的能量随着传播距离的增加而减少，噪声的传播距离与通过障碍物有关[2-4]。本研究通过对不同高度、不同宽度以及不同配置的植物群落对场所声环境造成影响进行分析，结果表明，竹林的减噪效果最佳，其次是乔灌草型、乔草型、灌草型和灌木型，草坪型减噪效果较弱；较高的植物群落对噪声的衰减作用更强，延续性更久；盖度越大的植物群落对声环境的优化效果越好。说明空旷地和群植树木对噪声的衰减效果是具有差异，且在距离声源不同范围内，植物群落均有减噪的作用，并且植物群落的减噪程度随声源距离增加而增强。

建议注重竹林对声环境优化的运用。竹子是中国古典园林中常见的造景元素，竹子的造景艺术也随着时间的沉淀，逐渐提升到一定的高度。特别是随着园林意境的兴起，竹林造景由一般的观赏层面上升到精神层面。如象征文人孤高傲世的“岁寒三友”松竹梅和“四君子”梅兰竹菊的园林意境[5]。本研究中竹林的减噪效果最为明显和持久，说明竹子在生态效益方面有明显的优势。竹林可以运用于很多场所，发挥其造景和减噪的功能。如在城市公园的安静休憩区外围设置竹林，可以维持休憩区域的安静氛围；儿童游乐区周边设置竹林，可以阻隔儿童游玩的噪声，保持外围空间的安静；在居住区或者别墅院内外围置竹，保持室内安静的同时，可遮挡屋外的视线，保证空间的私密性等。

参考文献：

[1] 张明丽，胡永红，秦俊. 城市植物群落的减噪效果分析[J]. 植物资源与环境学报，2006(2)：25－28

[2] 王谋，张恩光，沈海亮. 农田林网环境效益监测研究[J]. 生态学杂志，1992(4)：33－37

[3] 粟德永，王开曦，王效科. 铜州市绿色空间分布特征及其在生态系统中的作用[A]. 中国生态学会. 生态学研究进展[C]. 北京：中国科学技术出版社，1991：26－27

[4] 吴跃辉. 城市绿化与环境保护[J]. 内蒙古环境保护，1997(2)：12－14

[5] 张蕾. 竹子在现代园林中的应用研究[D]. 浙江林学院，2008

（上接第 4 页）

参考文献：

[1] 宋立宁，朱教君，闫巧玲. 防护林衰退研究进展[J]. 生态学杂志，2009，12(9)：7176

[2] 毛东雷，雷加强，曾凡江，等. 和田地区绿洲外围防护林体系的防风阻沙效益[J]. 水土保持学报，2012，16(5)：23－27

[3] 刘丽霞，王辉，孙栋元，等. 绿洲农田防护林系统土壤蒸发特征研究[J]. 干旱区资源与环境，2008，10(1)：75－79

[4] 廖空太，满多清，张锦春，等. 河西绿洲防护林发展现状及发展趋势探讨[J]. 西北林学院学报，2006，21(5)：17－21

[5] 王雪芹，雷加强. 古尔班通古特沙漠半固定沙垄面的积蚀[J]. 干旱区研究，1998，15(1)35－39

[6] 常兆丰，赵明，韩福贵，等. 民勤沙区几种荒漠植物群落的现实生态位研究[J]. 西北植物学报，2006，26(1)：165－173

[7] 常兆丰，赵明. 民勤荒漠生态研究[M]. 兰州：甘肃科技出版社，2006：9－26

[8] 陈炳浩，郝玉光，陈永富. 乌兰布和沙区区域性防护林体系气候生态效益评价的研究[J]. 林业科学研究，2003，16(1)：63－68

[9] 刘忠权，刘彤，张荣，等. 古尔班通古特沙漠南部短命植物群落物种多样性及空间分异[J]. 生态学杂志，2001，30(1)：45－52

[10] 袁素芬，陈亚宁，李卫红. 干旱区新垦绿洲防护林体系的防护效益分析——以克拉玛依农业综合开发区为例[J]. 中国沙漠，2007，24(4)：600－605

[11] 刘艳萍，高永. 防护林降解近地表沙降尘机理的研究[J]. 水土保持学报，2003，17(1)：96－99

[12] 徐新闻，雷加强，李生宇，等. 塔里木沙漠公路防护林生态稳定性研究[J]. 科学通报，2006，51(增 1)：126－132

[13] 戴晟懋，邱国玉，赵明. 甘肃民勤绿洲荒漠化防治研究[J]. 干旱区研究，2008，25(3)：310－324

[14] 朱震达. 风力作用下沙兵演变动态过程中若干问题初步研究[J]. 地理集刊，1963(5)：11－14

[15] 文海燕，赵哈林. 退化沙质草地植被与土壤分布特征及相关分析[J]. 干旱区研究，2004，21(1)：76－80

[16] 陈翔舜，周复山. 西北地区沙漠化土地评价体系研究[J]. 中国沙漠，2000，20：283－285

[17] 孙宏义，颜长珍，韩致文. 民勤农田防护林对作物增产的贡献率[J]. 甘肃林业科技，2010，35(2)：43－47

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net