

# 三北地区防护林气候生态适应性分析<sup>\*</sup>

张泽秀<sup>1</sup> 刘利民<sup>1</sup> 贾 燕<sup>2</sup> 李秀芬<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup> 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161; <sup>2</sup> 沈阳炮兵学院, 沈阳 110151)

**摘 要** 针对目前三北地区防护林出现的衰退、死亡等问题,探讨了该区林木生长的气候生态适应性,并指出这种现象的出现与当地恶劣的气候条件有很大关系。其中,限制三北地区防护林正常生长发育的主要气候因子是降水量不足、蒸发量过大,其次为风大且持续日数长;而温度与日照则不是限制三北地区防护林生长的气候因子。基于此,从气候生态适应性角度出发,提出因地制宜合理营造三北地区防护林的建议。

**关键词** 三北防护林; 气候因子; 气候生态适应性

**中图分类号** S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)09-1696-06

Climatic ecological adaptation of shelter forests in Three-North Regions. ZHANG Ze-xiu<sup>1</sup>, LIU Limin<sup>1</sup>, JIA Yan<sup>2</sup>, LI Xiu-fen<sup>1</sup> (<sup>1</sup> College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110151, China; <sup>2</sup> Shenyang Artillery Academy, Shenyang 110151, China). Chinese Journal of Ecology 2009, 28(9): 1696-1701.

**Abstract** Aiming at the deterioration and death of shelter forests in the Three-North Regions, the climatic ecological adaptation of the forests during their growth period was discussed. The deterioration and death of shelter forests in the Region was mainly due to atrocious weather. Deficient precipitation and high evapotranspiration were the most important factors restricting the normal growth of the shelter forests, followed by lasting strong wind, while temperature and sunshine had lesser effects. From the viewpoints of climatic ecological adaptability, some suggestions were proposed for the rational construction of shelter forests in different areas of Three-North Regions.

**Key words** the Three-North Shelter Forest; climatic factor; climatic ecological adaptability

“三北”地区位于中国北部,包括东北西部、华北北部以及西北广大地域。由于几千年来人类不合理的开发利用,使该区域出现了自然环境不断恶化,生态环境极其脆弱的局面,为了从根本上改善这一状况,中国于1978年启动了“三北”防护林建设工程,其在治理风沙危害和水土流失等方面取得了显著成效,并促进了“三北”地区生态环境的逐步改善、人类生存空间的稳定拓宽、社会经济的持续发展(姜凤岐等,2003;朱金兆等,2004)。近些年来,“三北”地区防护林出现了局部地区造林成活率低、有的成活不成林或成林不成材、生长量缓慢、生产力水平降低等诸多问题(焦树仁,1987;朱教君和李凤芹,2007),使得防护林效益受到很大的影响(Granier & Brigash, 1996; French, 2004),并严重制约着“三

北”工程的进展,为此探究产生这些问题的原因已经成为不同学科领域中众多学者研究的一个主要方向。陈昌毓(1991)对甘肃河西走廊植树造林成活率低以及该区局部地区杨树长成“小老头”等问题进行了分析,得出其根本原因是造林所选择的地段水分不足而造成的;白雪峰等(2008)在研究科尔沁沙地的章古台樟子松枯梢死亡的原因时,认为主要原因是该地降水不稳定,扰动较大,容易发生干旱;蒲卫晖(2008)认为甘肃民勤县的植被大面积的枯死,同样也是因为当地严重缺水所致。其他的一些研究也都指出,对当地气候生态条件的不适应是造成“三北”防护林局部区域出现上述衰退死亡等问题的主要原因之一(曾德慧等,1996;崔国发,1998;吴祥云等,2004;朱教君等,2007)。基于此,本文在前人研究的基础上,针对“三北”防护林出现的一系列问题,简要阐述了该区局部区域防护林生长的气候生态适应性,以期今后该领域的研究奠定基础,

<sup>\*</sup> 中国科学院知识创新工程重大项目资助(KZCX1-YW-08-02)。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者 E-mail: lixiufen2009@163.com

收稿日期: 2009-03-23; 接受日期: 2009-06-16

这对于建设好“三北”防护林工程,发挥工程的最大综合效益,促进“三北”地区的可持续发展具有重要意义。

## 1 “三北”防护林地区的基本概况

“三北”地区位于  $73^{\circ}26'E-127^{\circ}50'E$ ,  $33^{\circ}30'N-50^{\circ}12'N$ ,东起黑龙江省的宾县,西至新疆的乌孜别里山口,北抵北部边境,南沿天津、汾河、渭河、洮河下游、布尔汗达山、喀喇昆仑山,东西长 4480 km、南北宽 560~1440 km。总面积 406.9 万  $km^2$ , 占国土面积的 42.4%(张力小和宋豫秦, 2003)。

该区温带大陆性气候显著,降水量由东向西,从南到北递减,冬春大风多,风害严重,地表径流和地下水资源不足,区域环境建设难度较大,地面覆盖度不高,生产量偏低,生态环境极其脆弱(申元村和张妙弟, 1993),再加上该区东西、南北跨度很大,地形复杂,各地气候有明显差异。东北地区西部区域属暖温带到寒温带大陆性季风气候,春季干燥多大风,雨量集中在夏季(年均降水量 350~450 mm),冬季漫长寒冷;从东向西由湿润、半湿润向干旱、半干旱气候带过渡。华北北部地区除长城以北的燕山山地为温带大陆性气候外,其余都处于暖温带;一般气候温和,无霜期较长,日照较多,水热同期,春季干旱多风,夏秋炎热多雨(年均降水量 250~500 mm),冬季寒冷干燥,降水量分配不均,干旱和洪涝灾害并存,水土流失极为严重;一般地段宜林条件较好,但在山体的阳面和坡面较陡地区,土层较薄,易干旱,造林困难。西北地区的气候条件是“三北”地区最恶劣的,该区属温带荒漠和半荒漠气候为主的气候类型,年降水量一般平均为 250 mm 左右,是中国降水最少的地方且日照强、风力大、蒸发势强;土壤普遍瘠薄,有机质含量低且土体干燥;荒漠化程度极其严重(王继红, 2001;刘世增等, 2004;宋菲和马国青, 2004)。

## 2 “三北”防护林的气候生态适应性

气候生态适应性是植物通过改变自身的结构和生长过程以与其生存的气候生态环境相协调的生物学特性(吕玉华和郑大玮, 2003;马丹炜, 2008)。防护林作为“三北”工程的主体,是否具有很强的气候生态适应性将直接关系到“三北”工程的成败,因此该工程建设应该以适应该地气候生态环境为植树造林的首要条件(代力民和王金锡, 2000)。以下将从

热量、水分及日照、风等气候因子出发来阐述“三北”防护林的气候生态适应性。

### 2.1 气温

温度不仅影响林木的生长发育,而且还制约森林植被类型和树种的地理分布。温度的时空变化给植物的生长带来深刻地影响。植物只有在适宜的温度下,才能正常的生长发育,温度过高或过低都会使植物受到不同程度的危害,甚至死亡。丁士晟(1983)的研究表明,温带气候条件下的树种在  $20^{\circ}C-30^{\circ}C$  时光合生产力达到最大值,最热月平均气温远高于  $10^{\circ}C$  的山区,乔木生长比较高;略高于  $10^{\circ}C$  的山区,乔木则明显变矮;低于  $10^{\circ}C$  的山区不能生长乔木,只能生长灌木。张玉玲和王晓琳(1986)进一步指出,年内最热月平均气温  $10^{\circ}C$  和  $6^{\circ}C$ ,分别是乔木林和灌木林生长的下限温度。如限制高纬度林线附近树木生长的因子是夏季气温(Hughes et al, 1999; Lindholm & Eronen 2000),若夏季平均温度低于  $6^{\circ}C$ ,就不再适合灌木的生长,只能生长一些草本植物。

“三北”地区处于暖温带,对于绝大部分区域来说温度并不是限制防护林生长的因素,然而由于该区地域广阔,地形地势复杂,使得该区各地所得热量不同,温度存在显著差异,植被的种类和生长状况也随之呈现多样性。陈昌毓(1994b)在研究西北地区祁连山林木生长状况时发现,该山地北坡水、热条件匹配较好,适合乔木生长,但由于温度随海拔高度的增加而降低,使得该山坡不同地段乔木的生长状况却大不相同,在海拔 2500~2900 m 的地段,最热月平均温度为  $12.6^{\circ}C-15.2^{\circ}C$ ,乔木林生长期较长,生长较快,树体长得较高大;海拔 2900~3200 m 的地段,最热月平均温度略高于或等于  $10^{\circ}C$ ,乔木林生长期变短,生长缓慢,树体明显长得矮小;还有樟子松(*Pinus sylvestris* var *mongolica*)在原产地红花尔基(年均气温  $-3.6^{\circ}C$ )生长较好,而在章古台(年均气温  $5.7^{\circ}C$ )却无法天然更新。主要因为章古台 1~4 月平均气温明显高于其原产地同时期温度,而这种较高的温度,较快的气温回升会加剧苗木的蒸腾,从而造成水分亏缺,引起生理干旱(朱教君等, 2005b)。另外,焦树仁(2006)在研究科尔沁沙地外来树种出现树枝干枯和整株死亡等的现象时发现,这与近几年该区出现极端最低气温(比历年的最低气温低  $3.0^{\circ}C-8.2^{\circ}C$ )也有一定的关系。

“三北”地区除了极少的低温(最热月平均温度

$<6^{\circ}\text{C}$ )地段外,对于绝大部分区域来说,温度不是限制该地植树造林的气候因子,但温度的过高或过低总是会间接的影响到树木的生长发育。

## 2.2 降水

降水是植物水分供应与土壤水分的主要来源,可直接根据降水量的多少来评定植物水分供应条件的好坏(Hrib, 1993),对无灌溉条件的干旱地区,降水是影响植被稳定性和植被分布均匀性的一个重要指标(乌云娜等, 2002)。研究表明,年平均降水量  $350\sim 400\text{ mm}$  是森林生长的下限,低于这个值,树木就难以生长;年平均降水量低于  $200\text{ mm}$ , 就连草也难以生长,只能是荒漠(朱教君和姜凤岐, 2006; 朱教君和李凤芹, 2007)。在林木天然更新方面,若年降水量在  $500\sim 700\text{ mm}$  时,乔木林能天然更新;年降水量通常为  $350\sim 500\text{ mm}$  时,乔木林就不能天然更新,但因地形条件或地下水丰富的局部地区可成林,灌木可成林并能天然更新;若年降水量在  $200\sim 350\text{ mm}$ , 旱生灌木能天然更新,乔木不灌溉不能成活;若年降水量低于  $200\text{ mm}$ , 少数超旱生灌木虽能天然更新,但速度极缓慢,乔木则更需人工灌溉才能成活(申元村和张妙弟, 1993)。

“三北”地区,尤其是西北地区宁夏贺兰山以西,年平均降水量低于  $200\text{ mm}$ , 是中国降水量最少的地区,且该区地下水资源储量又极少远不能满足林木生长需要,因此在这些半干旱、干旱的气候条件下,只能形成以耐旱的多年生木本科植物为主的草原、旱生灌木半灌木荒漠和荒漠(申云霞, 2000),乔木的生长只能靠人工灌溉。而在该区中降水量最少的地段是阿拉善高原至新疆北部的大部分地区,其中塔里木盆地四周少于  $50\text{ mm}$ , 内部小于  $25\text{ mm}$ , 柴达木盆地内部小于  $50\text{ mm}$ , 准葛尔盆地降水相对较多一般为  $150\sim 200\text{ mm}$ (张力小和宋豫秦, 2003),由于降水量远不能满足林木正常生长发育的需要,只能靠抽取地下水灌溉,进而导致该区地下水位急速下降,不能再供给林木所需水分,因此栽种的乔木很难成林或多数成了长不大的“小老头”树(吴祥云, 1989)。曾德慧等(1996)指出,水分不足是沙地樟子松人工林衰退的最重要的原因之一,沙地樟子松在其原产地红花尔基沙地,不管是天然林,还是人工林,天然更新能力都非常强,而在科尔沁沙地的东南缘引种区却无法进行,这与该区春秋季节降水量少甚至干旱有很大关系(焦树仁, 2001; 曾德慧等, 2002)。

降水量不仅影响植物的分布,还影响着地下水和地表径流的多少。在降水量不能满足植物生长的地区,地表径流和地下水资源是植物生存所需水分的唯一来源。如塔里木河流域上游由于有塔里木河的灌溉,十分有利于林木的生长,而塔里木河中下游由于河流断流,湖泊干涸,地下水位下降,从而造成植被衰退、土地沙漠化的加剧。另外,河西走廊很多片状的绿洲,也是因为这里有丰富的地表径流(通过石羊河、黑河、疏勒河等 57 条河流)和地下水资源,但随着石羊河来水不断减少,农业与树木都需要大量耗水,使得该地地下水位持续下降,防护林大面积枯死,绿洲面积不断锐减(韩凤君, 2006)。

从以上分析来看,降水不足而导致的水分缺乏是真正限制“三北”区造林的主要气候因子,尤其是西北地区除了极少数降水充足或有灌溉条件的区域外,其他绝大部分区域的植树造林都是受水分条件的限制。

## 2.3 蒸发

在降水量相同的地区,如果温度较高,蒸发量就较大,气候较为干燥;如果温度较低,蒸发量就较小,气候较为湿润。在降水量少、温度较高的干旱地区,土壤蒸发和植物蒸腾量均会增加,进而加剧当地土壤水分不足,引起水分胁迫,严重影响到植物的生长发育(徐祝龄等, 1995; 黄颜梅等, 1997)。但不同的树种林地的实际耗水量是不同的,陈昌毓(1994a)研究甘肃地区林木适生度时得出,灌木林蒸散量约为乔木林基本正常生长耗水量的  $1/3\sim 2/3$ 。

“三北”地区的降水量从东到西减少,但蒸发量却在逐渐增加。尤其在中国西北地区这一特征尤为显著,该区蒸发量一般为  $1500\sim 3000\text{ mm}$ , 其中个别地区(封闭性盆地中心)蒸发量高达  $4000\text{ mm}$ (刘俊民和马耀光, 1998)。在准噶尔盆地的中心地带,随着地下水补给量的减少、蒸发量加大,盐分不断累积,从而加剧土地盐化和沙化,使得该地植被非常稀疏,只零星分布一些耐盐又耐旱的植被群落,大片地区为不毛之地(汤梦玲等, 2001)。甘肃河西走廊光热资源也比较充分且降水少,但风大且频繁,致使该区蒸发量高出降水量 10 倍以上,植被为半灌木、灌木或旱生、超旱生的小灌木(张小刚, 2007)。在这种降水少、蒸发量大的干旱、半干旱地区,会加大苗木的蒸腾以及减少土壤水分和地下水的数量从而导致林木幼苗水分亏缺甚至死亡。如章古台虽然其年

均降水量较多(500 mm)但樟子松人工林依然出现枯梢病、生长量在30年左右迅速下降等问题,这与其年蒸发量较大(1700 mm)也有很大的关系(姜凤岐等,2003)。

蒸发量大是“三北”区一个主要的气候特征,如果在蒸发量远大于降水量且当地水分条件无法满足林木生长的地区,植树造林只能靠抽取地下水才能成活,但会导致当地地下水位下降、土壤水分减少且积盐效应明显,致使干旱、荒漠化程度更为加重,进而加剧了对当地生态环境的破坏。为此张力小和宋豫秦(2003)指出,在干旱、半干旱的“三北”地区建立一个如此强大的人工森林系统如同一个巨大的抽水机,不但未能起到调节局地小气候的作用,反而会因为植被的大量蒸腾而导致土壤水分的流失和地下水位的下降,进一步加剧干旱区的干旱。

## 2.4 日照

光是绿色植物进行光合作用制造有机物质以维持其自身生长所不可缺少的生态因子,在树体生命活动中起重大作用。光照强度、光照持续时间和光质等特点的变化都会对植物生长发育产生很大的影响。田如男和祝遵凌(2001)指出,在一定的光照强度下,植物才能进行光合作用,积累碳素营养;适宜的光照,使植株生长健壮。但在干旱、半干旱地区,日照强烈会使当地温度上升,蒸发量加大,导致土壤水分较少而不利于林木的生长。

日照资源丰富是“三北”地区重要的有利气候条件,完全可以满足林木生长发育的需求,一般不会成为制约当地林木生长的主要因子(高素华和郭建平,1999),在水分条件可以满足植物生长的地区,可以加大林木的光合作用,促进林木生长发育,加快当地水分循环。如中国西北地区甘肃玉门等地区,全年日照时数为3000~3300 h,年太阳辐射总量 $5.8 \times 10^9 \sim 6.6 \times 10^9 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ,水分充足、温差较大,极有利于树木(白杨(*Populus tomentosa*)、小叶杨(*P. simonii*))生长发育,尤其有利于干物质瓜果糖分的积累(吴征镒等,1980)。但日照强烈、环境温度过高时,光照也有可能成为抑制植物光合的因素。尤其是在水资源不能满足林木生长的干旱、半干旱地区,强烈的日照会加大植被蒸腾和土壤蒸发,进一步促进该地干旱的形成或危害(曾德慧等,2002;朱教君等,2005a),例如中国西北部的民勤县,防护林

的大面积衰退或死亡就与其有关。

## 2.5 风

风对林木的生长发育也是非常重要的,它可以通过改变环境温度、湿度状况和空气中 $\text{CO}_2$ 浓度,从而间接影响树木的生长发育。在低风速条件下,光合速率随风速增大而增大,当风速超过一定限度时,往往会对树木的生长造成一定的负面影响,尤其在干旱地区,大风(特别是春夏季长期的旱风、焚风等干燥的风)会加速林木蒸腾作用导致树木萎蔫,使其光合强度降低,田如男和祝遵凌(2001)指出树木的生长量在风速 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时比风速为 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时要减少 $1/2$ 较静风地区少 $2/3$ 。另外,大风还可使空气的相对湿度降低到25%以下,引起土壤干旱进而吹走大量表土,造成风蚀,这会严重的影响林木的生长发育,降低树木的生长量。

“三北”地区受蒙古高压的影响,冬季和春季盛行西风和西北风,尤其冬季大风普遍(风速 $>17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )且持续日数较长,北部和西北部为50~60 d中部为40~50 d南部及黄河谷地为20~40 d申元村和张妙弟,1993)。寒冷而干燥的西北风吹蚀表土,引起沙化,推动沙漠向东南方向移动,形成了从东北黑龙江到西北新疆的万里风沙线(朱金兆等,2004),危及当地绿洲、农田、交通和建筑。特别是在中国西北荒漠地区,由于风速大(春季风速最大,白天瞬时风速 $>10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )、沙尘暴频繁(全年沙尘暴日可达30 d以上),给当地的生态环境带来了极大危害。如内蒙古的朱日和年均大风日数高达83.7 d年平均风速为 $5.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,为内蒙古自治区大风日数和年平均风速之冠(王式功和金炯,1995);还有科尔沁沙地东南缘,春秋季节风速较大(尤其4、5月平均风速 $>4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),极易形成沙尘暴现象,这对人工植被栽植初期的生存产生了很大的影响(姜凤岐等,2003)。

在水分充足、空气相对湿润的地区,大风虽然会对林木正常的生长发育造成一定的影响,但并不是限制树木生长的主要气候因子。在一些温度较高、降水量少且当地水资源也不能满足树木的生长需求、植被破坏严重的地区,大风会加大植物蒸腾和地表蒸发量,从而加剧干旱地区的干旱程度或沙尘暴的形成,严重威胁到树木的生长发育,因此降低风速,防止沙尘暴成为该地区要治理的重点,植被的选

择要以能防风固沙的植物为主。

### 3 结 语

“三北”区所植林木出现衰退、死亡等问题与当地的气候生态因子有很大的关系,其中最主要的限制因子是当地降水量严重不足,不能满足林木的生长需要;蒸发量过大、风大且持续时间长加剧了干旱区的干旱程度,进而制约了该区树木的正常生长;而温度和日照并不是限制“三北”防护林生长的气候因子,但在干旱区高温和强日照也能加剧当地干旱程度。

植被与气候是相对应的,按照林木的气候生态适应性规律,并结合中国“三北”防护林建设的实际效果和存在的问题,认为目前“三北”防护林工程的建设应该转变在干旱区大面积造林的生态建设思路,应坚持科学的生态观来实现“三北”地区生态环境建设: 1) “三北”防护林要结合当地气候条件,发展乔灌木相结合的格局,在水分条件较充足的地区,增加乔木比例;在水分条件较少的地区,增加灌草比例。如在西北干旱地区,种树的难度较大,应将种植草灌放在生态建设的首位。2) 在降雨量 250~500 mm 的半干旱农牧交错地带,生态建设应以退耕还林还草为重点。3) 在天然林区和草原区,要封山禁牧,减少人为破坏,以保护天然林草植被为主。这样既能节约水资源,又能缓解当地的生态环境压力。4) 在现有研究基础上,加强多学科的合作,进行在全球气候变暖背景下,“三北”防护林的气候生态适应性的生理生态机制的研究,以便为今后生态建设的正确决策提供理论支撑。

目前,“三北”防护林工程已完成了第一阶段(前三期)建设,已进入第二阶段(第四期)工程,要最大限度的发挥该工程的生态效益,最根本的途径还是要建立防护林与其气候之间的协调性,充分利用当地气候资源优势,避免不利条件。同时要正确客观的认识前期工程的成效、存在的问题及其原因,从而建立一个因地制宜、稳定的防护林生态体系。

### 参考文献

白雪峰, 韩 辉, 周凤艳, 等. 2008. 地樟子松针叶保水力及相对含水量动态变化分析. 防护林科技, (3): 52—55.

陈昌毓. 1991. 甘肃河西走廊实际水资源及其对林木适生程

度的影响. 地理学报, 46(1): 35—36.

陈昌毓. 1994a. 甘肃林木生长与气候关系分析. 甘肃气象, (4): 21—23.

陈昌毓. 1994b. 祁连山北坡水热条件对林木分布的影响. 中国农业气象, 15(1): 30—31.

崔国发. 1998. 固沙林水分平衡与植被建设可适度探讨. 北京林业大学学报, (6): 89—94.

代力民, 王金锡. 2000. 三北防护林生态效益评价要素分析. 世界林业研究, 13(2): 47—51.

丁士晟. 1983. 动力分析在北方暴雨分析预报中的应用 // 北方天气文集编委会. 北方天气集. 北京: 北京大学出版社.

高素华, 郭建平. 1999. 提高中国三北地区气候资源利用率的对策研究. 资源科学, 21(4): 51—54.

韩凤君. 2006. 石羊河流域水资源开发对环境影响及防治对策. 甘肃水利水电技术, (4): 9—10.

黄颜梅, 张 健, 罗承德. 1997. 树木抗旱性研究. 四川农业大学学报, 15(1): 49—54.

姜凤岐, 朱教君, 曾德慧, 等. 2003. 防护林经营学. 北京: 中国林业出版社.

焦树仁. 1987. 辽宁章古台樟子松人工林水分动态的研究. 植物生态学报, 11(4): 296—306.

焦树仁. 2001. 辽宁章古台樟子松固沙林提早衰退的原因与防治措施. 林业科学, 37(2): 131—138.

焦树仁. 2006. 科尔沁沙地极端气候条件对外来树种影响的研究. 防护林科技, (6): 15—18.

刘俊民, 马耀光. 1998. 我国西北干旱区水资源特征及保护利用. 干旱地区农业研究, 16(3): 103—107.

刘世增, 严子柱, 安富博. 2004. 远源引种樟子松对荒漠区气候及土壤盐碱离子适应性分析. 干旱区资源与环境, 18(2): 156—160.

吕玉华, 郑大玮. 2003. 北方农牧交错带牧草与作物生态气候适应性研究. 中国生态农业学报, 11(4): 130—133.

马丹炜. 2008. 植物地理学. 北京: 科学出版社.

蒲卫晖. 2008. 甘肃民勤生态状况调查与分析. 中国农学通报, 24(5): 514—516.

申元村, 张妙弟. 1993. 我国“三北”防护林地区土地资源特点及防护林体系合理布局的探讨. 资源科学, (5): 21—27.

申云霞. 2000. 气候、地形、植被与西部环境重建. 西北植物学报, 20(2): 317—320.

宋 菲, 马国青. 2004. 三北防护林体系建设新思考——谈三北防护林体系建设四期工程规划. 林业资源管理, (2): 2—4.

汤梦玲, 徐恒力, 曹李靖. 2001. 西北地区地下水对植被生存演替的作用. 地质科技情报, 20(2): 79—81.

田如男, 祝遵凌. 2001. 园林树木栽培学. 南京: 东南大学出版社.

王继红. 2001. 从山西北部樟子松中龄林生长展望其发展前

- 景·内蒙古林业, (11): 23—24.
- 王式功, 金 炯. 1995. 中国西北地区黑风暴的成因与对策. 中国沙漠, **20**(1): 19—30.
- 乌云娜, 裴 浩, 白美兰. 2002. 内蒙古土地沙漠化与气候变化和人类活动. 中国沙漠, **22**(3): 292—297.
- 吴祥云. 1989. 沙地樟子松生长与气候生态因子关系的探讨. 辽宁林业科技, (4): 52—55.
- 吴祥云, 姜凤岐, 李晓丹. 2004. 樟子松人工固沙林衰退的规律和原因. 应用生态学报, **15**(12): 2225—2228.
- 吴征镒, 赵星武, 张经纬, 等. 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社.
- 徐祝龄, 王 汶, 衣纯真. 1995. 农作物水分胁迫检测的国内外研究进展. 中国农业气象, **16**(4): 41—47.
- 曾德慧, 姜凤岐, 范志平, 等. 1996. 樟子松人工固沙稳定性研究. 应用生态学报, **7**(4): 337—343.
- 曾德慧, 尤文忠, 范志平, 等. 2002. 樟子松人工固沙林天然更新障碍因子分析. 应用生态学报, **13**(3): 255—261.
- 张力小, 宋豫秦. 2003. 三北防护林体系工程政策有效性评价. 北京大学学报(自然科学版), **39**(4): 594—596.
- 张小刚. 2007. 三北地区农田防护林分区建设探讨. 吉林林业科技, (5): 40—45.
- 张玉玲, 王晓琳. 1986. 数值天气预报. 北京: 科学出版社.
- 朱教君, 姜凤岐. 2006. 我国防护林衰退的防治对策. 中国减灾, (11): 43.
- 朱教君, 康宏樟, 许美玲. 2007. 科尔沁沙地南缘樟子松人工林天然更新障碍. 生态学报, **27**(10): 4087—4095.
- 朱教君, 李凤芹. 2007. 森林退化 衰退的研究与实践. 应用生态学报, **18**(7): 1601—1609.
- 朱教君, 李智辉, 康宏樟, 等. 2005a. 聚乙二醇模拟水分胁迫对沙地樟子松种子萌发影响研究. 应用生态学报, **16**(5): 801—804.
- 朱教君, 曾德慧, 康宏樟, 等. 2005b. 沙地樟子松人工林衰退机制. 北京: 中国林业出版社.
- 朱金兆, 周心澄, 胡建忠. 2004. 对“三北”防护林体系工程的思考与展望. 自然资源学报, **11**(1): 79—82.
- French HW. 2004. Billions of trees planted and nary a dent in the desert. New York Times **11**: 3.
- Granier A, Huc R, Barigash ST. 1996. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. Agricultural and Forest Meteorology, **78**: 19—29.
- Hrib J. 1993. Effect of acid pH on organogenesis of poplar in vitro. Biologia, **48**: 89—92.
- Hughes MK, Vaganov EA, Shiyatov S et al. 1999. Twentieth-century summer warmth in Northern Yakutia in a 600-year context. The Holocene, **9**: 629—634.
- Lindholm M, Eronen M. 2000. A reconstruction of mid-summer temperatures from ring widths of Scots pine since AD 50 in Northern Fennoscandia. Geografiska Annaler, **82**: 527—535.
- 
- 作者简介** 张泽秀, 女, 1985年10月, 硕士研究生。主要从事林业气象和防护林的遥感监测的研究。Email: zhengze345@163.com
- 责任编辑** 李凤芹
-