

黄土高原与俄罗斯平原南部干旱地区 人工林营造策略分析^{*}

Marina L. Sizemskaya¹, 焦菊英², 王宁², Mamay K. Sapanov¹, 吴钦孝²,
贾燕锋², Alexander V. Kolesnikov¹, 刘国彬², Pavel M. Sapanov³

(1. 俄罗斯科学院 林业科学研究所, 俄罗斯莫斯科州奥琴卓夫区乌斯本村 143030; 2. 中国科学院 水利部
水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 3. 俄罗斯国立大学 地理系, 莫斯科 119991)

摘要:通过对比中国黄土高原地区与俄罗斯欧洲部分东南部地区森林生长状况, 分析了人工林系统的异同点, 探索了可持续的人工造林策略。认为必须通过重新分配大气降水而补充林下土壤水分来改善人工林的生长状况和缓解土壤干化, 在中国黄土高原地区可通过调节暴雨径流来实现, 而在俄罗斯可通过集中降雪和调节融雪径流实现。

关键词:人工造林; 土壤干层; 集水造林; 干旱区

中图分类号: S727.01

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0073-05

Specificity of Afforestation Under Conditions of Moisture Deficit in South of the Russian Plain and the Loess Plateau of China

Marina L. Sizemskaya¹, JIAO Ju-ying², WANG Ning², Mamay K. Sapanov¹, WU Qin-xiao²,
JIA Yan-feng², Alexander V. Kolesnikov¹, LIU Guo-bin², Pavel M. Sapanov³

(1. Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Uspenskoye, Odintsovskii District, Moscow region, 143030, Russia; 2. Institute of Soil and Water Conservation CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Geography Department, Moscow State University, Moscow 119991, Russia)

Abstract: The conditions for forest growing in the southeast of the European part of Russia and on the Loess Plateau of China are compared. Common features and differences in the functioning of artificially planted forest ecosystems in these regions are analyzed, and the strategy for sustainable afforestation is suggested. It is shown that additional water supply at the expense of the redistribution of atmospheric precipitation is necessary for forest growing in the studied regions; In the Loess Plateau of China, this could be achieved via regulating rainstorm runoff, and in Russia, via snow retention measures and via regulating snowmelt runoff.

Key words: artificial forest plantings; dry soil layer; afforestation by water-harvesting; arid region

水土流失的控制、退化土地的修复、人工林的改良是中国和俄罗斯两国在土地管理方面共同关注的热点问题。近几十年来, 中国为控制水土流失, 大范围进行了人工造林种草和退化林地抚育; 在俄罗斯, 对防护林建设也已有百年历史。但是由于干旱半干旱地区降水量有限, 不能满足人工林生长的需要, 造

成土壤水分过度消耗, 使土壤旱化, 甚至出现干层, 树木衰退、死亡, 导致生态系统退化。寻找科学的造林技术, 实现人工林生态系统的可持续发展的问题亟待解决。在这个大背景下, 中、俄两国的生态学者和林业工作者携手探索科学的造林技术与管理途径, 以控制干旱半干旱地区的生态退化过程和实现

^{*} 收稿日期: 2009-03-19

基金项目: 中国国家自然科学基金和俄罗斯基础研究基金(NO.40811120032 & Russian - Chinese joint project NO. 07 - 04 - 92102);
“Biological Resources of Russia”工程项目

作者简介: Marina L. Sizemskaya(1958 -), 俄罗斯人, 生物学博士, 地理和土壤地球化学科学家, 主要研究方向: 土地利用、防护林营造、土壤改良与荒漠化防治。E-mail: sizem@mail.ru

通信作者: 焦菊英(1965 -), 女, 研究员, 主要研究方向: 植被恢复与水土保持环境效应评价。E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn

生态环境的可持续发展。该文综合运用土壤学、植物地理学、生态学和森林学的原理,以中国黄土高原和俄罗斯所属欧洲东南部地区的自然生态系统和人工林生态系统为研究对象,对比分析中国和俄罗斯干旱半干旱地区人工林发展状况及其存在的主要问题,以探索适合于研究区域生态条件的造林及管理技术。

1 研究区概况

黄土高原位于黄河中游,其范围东起太行山脉,西到祁连山脉,北起阴山,南抵秦岭山脉,总面积 64 万 km^2 。黄土高原由连绵起伏的丘陵山脉上覆 100 ~ 250 m 的黄土而形成,黄土最厚可达数百米。占主导地位的风成黄土沉积发生在第四纪,持续了 300 万年。黄土高原在西部和西北部海拔超过 2 000 m,而东南部降低到 300 ~ 400 m。降雨的时空分布不均,年降雨量西北部 200 mm,而东南部 700 mm;一年内的降水主要集中在 6 - 9 月,而且多暴雨,年内 80 % 土壤侵蚀量来自于雨季的几场大暴雨。潜在的蒸发量为 500 ~ 1 500 mm/a。

俄罗斯平原南部为丘陵起伏的高原型 (plateau-like) 地形,如 Ergeni、Privolzhskaya 和 Kvalyn Syrt 高地,这些高地由类似黄土的重壤和相对质地较轻的壤土组成,土壤厚度可达到几十米,远远小于黄土高原的黄土层厚度。年降水量分布在 250 ~ 500 mm,潜在蒸发量为 800 ~ 1 000 mm/a。降水的主要再分布形

式包括风对降雪堆积和春季融雪径流。

虽然两个地区在地形和气候方面尚存在差异,但是两个地区均多布丘陵、山岗,地形起伏。

2 人工造林现状分析

据俄罗斯政府近几十年来的造林数据,在俄罗斯干旱地区发展植树造林的确存在困难^[1];这些困难要求国家进行造林政策的改革,需要开发一种新的方法使植树造林成为能够从整体上改善土地管理制度的一种有效机制^[2]。种植防护林的主要目标就是营造一个防风保障系统,控制耕地与牧场的水土流失,进而改善农业用地^[3]。由于种种限制因子,特别是水分的亏缺,在干旱地区用大量的土地建造可持续发展的林区是不合适的。例如在伏尔加格勒和卡尔梅克,1992 - 2001 年共造林 37 500 hm^2 ,属于国家森林储备(总面积 756 700 hm^2),其中 16 200 hm^2 的造林没有成活;而且在这一时期防护林共建造了 107 900 hm^2 ^[1],据专家估计这些防护林很少能够忍耐不利的环境条件的考验^[4]。换言之,在俄罗斯干旱地区造林计划的实施,实际上是同一区域的轮番造林而并没有增加森林的总面积。同时,依据俄联邦关于“土地改良”的法律和“提高俄罗斯土地肥力”项目,森林覆盖面积还要增加几倍。实现这一宏伟的目标就需要种植能够持续生长的树木物种,理想情况下,这些物种在成林状态下(冠层郁闭后)应该能够通过种子或营养繁殖实现自我更新^[4-5]。



图 1 俄罗斯 Pricasian 低地 55 年的夏栎 (*Quercus robur* L.) 人工林 (A ——衰退林地; B ——健康林地)

在中国黄土高原地区,20 世纪 50 年代以来土壤侵蚀和水土环境恶化成为公众关注的焦点问题。黄土高原自然植被仅存在于不宜农作物生长的区域内,覆盖面积占不到总面积的 5 %,其余地区均被人类开垦。农田开垦、过度放牧、砍伐森林等活动破坏了原始生态环境,加剧了土壤侵蚀,侵蚀面积占到总面积的 45 %,年均土壤侵蚀量达到 3 720 t/km^2 。

从 20 世纪 50 年代便开始了植被恢复建设,直到 90 年代末,黄土高原植被恢复的工作重心一直在人工造林、种草方面,但整体上效果不佳,造林成活率低、保存率低、林木生长率低的“三低”问题仍十分突出。黄土高原 1 100 余块人工林样地调查结果表明,人工林普遍存在着矮化、纤细、低产、稀疏等基本特征。黄土高原 50 a 来的人工林草建设,没有遵循自然规

律,片面追求人工林草的高生长量、高经济效益,结果多以失败告终^[6]。黄土高原地区在水分充沛条件下高密度森林生长是可能的,主要的造林物种有柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、山桃(*Prunus davidiana*)和山杏(*Prunus armeniaca* var. *ansu*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等。在黄土高原中部子午岭林区南端的甘肃正宁县中湾林场试验站长达 50 a 的试验得出合理的造林物种搭配有利于人工林生态系统稳定,尤其是松树和阔叶树(包括沙棘)的混合种植可得到良好效果^[7-8]。



图2 中国黄土高原水土流失的防治

3 人工造林与土壤干层

中俄两国干旱、半干旱地区人工造林效果不佳,大面积的人工林生长缓慢、衰退、甚至死亡,其主要原因就是没有遵循土壤水分的可持续利用原则。俄罗斯水文学家维索斯基早在 1893 年就提出林下存在“死层”的概念。认为在草原条件下造林,使林下土壤干燥,甚至最终因水分缺乏导致森林死亡。中国 20 世纪 60 年代初,在关中半湿润区人工草地和陇东半湿润区子午岭林区相继发现土壤存在下伏干层;70 年代在陕北半干旱区人工草地测到下伏干层;80 年代证实黄土高原林地普遍存在下伏干层。20 世纪中期,在俄罗斯平原种植的数百公顷的栎树林衰败了,只有那些根系能够扎到地下水毛管上升区的林子可能存活下来,但是这种条件在自然界中分布极少^[9]。干层的发生是土壤水分循环负平衡造成的,是本区植物资源特性、下垫面性质、生态气候带综合作用的结果^[10]。

根据不同的土壤容重和森林物种组成,俄罗斯平原南部和黄土高原上人工林对土壤水分的消耗在 10 a 内便会超过降水对土壤水分的补给。深层土壤中积累的有效水分被森林利用后因不能得到大气降

水的补给而形成永久干层,干层一般出现在 2~3 m 或者更深的土壤层次。在黄土高原的 3 个植被气候带上由南向北因森林生长造成的土壤干燥问题逐渐加重,在北部地区林下土壤干层可深达 8 m^[11]。随着林龄的增加,它们以后的生长和维持生命只能依靠每年的降水,但是这些降水却不能满足树木的需求,进而导致树木死亡,在森林衰退后再从干土层恢复到先前的土壤自然含水量状态将会相当缓慢。据报道^[12],黄土丘陵半干旱区形成干层的人工林开垦成为放牧荒坡后,在目前的气候条件下,土壤干层水分得不到补偿,林后放牧荒坡的土壤水分长期不能恢复;开垦后成为保护天然草地后,土壤水分与人工林相比,有微弱增加迹象,但水分恢复的速度非常缓慢,2~9.9 m 土壤水分含量恢复速度为 0.5~3.7 mm/a,以这样的速度恢复到目前持续放牧荒坡的土壤含水量,至少需 150 a 以上;而开垦为农地土壤水分含量可以得到补偿,但补偿的速度也比较缓慢,2~9.9 m 土层年均补偿水量 15 mm 左右,大约需要 40 a 时间才能恢复到持续农地土壤含水量的水平。人工林消耗深层土壤水分形成干燥化土层后,土壤水分调节能力降低。陕北 1997 - 2001 年连续 5 a 特大干旱灾害中,坡地 20 a 的榆树成片死亡,油松林(18 a)死亡 10%,侧柏死亡 2%,刺槐 80%死亡,已栽植成活的大扁杏、桑树、新疆杨全部死亡^[13]。即使人工林死亡或被砍伐,深层土壤水分很难恢复,使土壤长期失去“水库调节”功能,对土地的可持续利用造成不利影响。

4 人工造林对策分析

干旱、半干旱区造林,首要解决的问题就是防止土壤旱化,而造成土壤干层的两个重要原因是土壤水分供应不足和植物群落过量蒸腾耗水。为此,提出解决办法有:采用灌溉补充土壤水分以满足植物生长发育的生态需水量^[14],但是在大范围生态造林中难以实现;按照现有的土壤水分条件,控制植物群落密度和生产力,减少土壤耗水量以达到控制土壤旱化,防止土壤干层危害^[15];选择性间伐技术也被广泛应用,但是,这种方法的效果却不大,因为剩余的树木会很快占据砍伐树木的生态位,冠层会很快郁闭,根系互相交叉,对土壤水分的消耗强度不会降低。俄罗斯造林者在造林过程中,增加树木间的株行距,并每年对树木周围的区域(最大面积 40 m²)进行维护,主要是除草,这样减少了草对水分的竞争,增加了树木的水分供应,但是这会降低造林物种与其他物种的竞争力,一旦停止人工除草,树木间的

空地便会被草占据,而导致树木死亡^[4,9]。因此,在俄罗斯平原和黄土高原干旱区造林存在着严峻的问题,在水分亏缺的区域营造具有生态功能的可持续的森林是一项艰巨的挑战。

一般森林生态系统只能在没有水分限制的区域才会持续发展,最适宜森林生长的区域应该满足降水量与潜在蒸发量平衡的条件,即年降水量等于或大于潜在蒸发量^[16]。同时森林生态系统季节性的蒸散量也应该近似达到平衡。但是,在俄罗斯和中国的研究区域大部分地方不能满足这一要求,而且降水量远远低于潜在的蒸发量。因此,在这种情况下,营造可持续的人工林只能依靠额外的土壤水分的补给,可通过重新分配大气降水来实现。俄罗斯平原和黄土高原的特定降水在分布机制上有所不同,在俄罗斯,降雪的保留和调控融雪径流是主要途径,而在中国黄土高原是运用对暴雨径流的再分布。不过这两种方法均是通过洼地汇集水源,增加土壤含水量,而使这些洼地灌乔木生长成为可能。

然而,在造林初期是很难判断人工林能否持续发展,因为天然草地中由于草本植物根系分布较浅,深层土壤中的确储存有效水分,所以在造林初期,由于土壤深层水分的供给,树木生长良好,使人们做出人工林可以持续发展的错误判断。随着树木根系的生长扎深,深层土壤水分很快就会被消耗掉,人工林出现衰退或死亡。在这种环境背景下,即便所有的大气降水(包括暴雨)全部被集中拦蓄,土壤水分仍然不能支持大量树木的生长,所以在造林前就应该对成林后水分供需平衡做出正确评估,设计好每棵树的水分供给面积,确定合适造林密度。

此外,通过对生长良好的人工林的考察,可以清楚发现研究区域的天然林一般分布在土壤水分条件较好的区域——沟谷、洼地,这些地方能够汇集大气降水或者储存有较浅的可用地下水。例如,俄罗斯所属的欧洲东南部百年的夏栎(*Quercus robur*)、maple(*Acer tatarica*)和其他灌乔木物种组成的林场就分布在上述类型区,而且这些区域的立地条件能够满足林场内树木生命循环的需求,森林生长能够持续^[9]。在中国黄土高原子午岭地区的中湾实验站,年均降雨量为 623 mm,而潜在的蒸发量为 1 500 mm/a,能够长期生长的松林一般分布在沟道内^[17]。因此,在研究区选择合适的造林位置是能否成功造林的关键问题,要保证最大限度的拦蓄地表径流,丰富土壤水库,发展径流林业,这是一种提高坡面产流率和植树带土壤水分的有效方法和措施。

试验证明,黄土高原植被恢复中合理的工程措施

与林种配置,能减缓土壤干层的形成,提高植被自然更新能力^[18]。在有条件的地方可以结合工程措施,坡面上修建对水平阶、鱼鳞坑、水平沟、隔坡梯田,拦蓄坡面上方来水,补充土壤水分。只有提高整地质量、降低造林密度、拉大行距汇集地表径流才能有效克服土壤干化问题。同时,依据群落演替规律选择合适的物种搭配,结合植被气候地带性、土壤性质地带性规律以及小范围内地形条件选择合适的物种和造林措施,做到适地适树适林再加合适的造林技术,最终实现人工林的生态功能与可持续发展^[19-20]。



图 3 俄罗斯 Pricaspian 低地中等退化区的人工林



图 4 中国黄土高原坡地条带状径流集水造林

5 结论

通过对黄土高原和俄罗斯平原南部人工林可持续发展条件的对比分析,认为应该对当地大气降水的再分布进行适当的评估和调控。在黄土高原应该对暴雨径流进行调控,而在俄罗斯可通过积雪和融雪径流调控实现降水的再分配。总之,应做到保证增加乔、灌林下土壤水分的蓄积,增加土壤的供水能力,使人工林能够可持续发展。

参考文献:

- [1] Major Indices of the Forest Economy in 1988 and in

- 1992 - 2001 Moscow (in Russian) [R]. 2002 :98-99.
- [2] Pavlovskii E S. On the new concept of agroforest amelioration Volgograd[C]. All Russia Research Institute of Agroforest Amelioration (conference abstracts, in Russian) ,2005 :178-179.
- [3] Sapanov M K, Sizemskaya M L, Olovyanikova I N. Agro-forest meliorative system of adaptive nature management under dry semidesert conditions in the northern Caspian lowland [J]. Eurasian Soil Sci. , 2005 ,38 (3) :230-236.
- [4] Sapanov M K. The Role of protective afforestation and sustainable nature management (in Russian) [J]. Lesnoe khozayaistvo (Forest Economy) ,2008 ,3 :28-30.
- [5] Sapanov M K. Major principles for creating adapted forest stands in mesodepressions within the clayey semidesert (in Russian) [J]. Lesnoe khozayaistvo (Forest Economy) ,1998 ,5 :29-30.
- [6] 张金屯. 黄土高原植被恢复与建设的理论和技术问题 [J]. 水土保持学报 ,2004 ,18 (5) :120-124.
- [7] Wu Q X, Liu X D, Zhao H Y. Ways and measures of restoring vegetation for controlling soil and water loss on the Loess Plateau of China [J]. Indian Forestry , 1995 ,3 :194-200.
- [8] Zhang J T, Chen T G. Effects of mixed *Hippophae Rhamnoides* on community and soil in planted forests in the eastern Loess Plateau, China [J]. Ecological Engineering ,2007 ,31 :115-121.
- [9] Sapanov M K. Ecology of Forest Plantations in Arid Regions (in Russian) [M]. Tula: Grif & K, 2003.
- [10] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究 [J]. 自然资源学报 ,2001 ,16 (5) :427-432.
- [11] Li J, Chen B, Li X F, et al. Effects of deep soil desiccation on artificial forestlands in different vegetation zones on the Loess Plateau of China [J]. Acta Ecologica Sinica ,2008 ,28 (4) :1429-1445.
- [12] 王志强, 刘宝元, 王旭艳, 等. 黄土丘陵半干旱区人工林迹地土壤水分恢复研究 [J]. 农业工程学报 ,2007 ,23 (11) :77-83.
- [13] 付明胜, 钱卫东, 牛萍, 等. 连续干旱对土壤干层深度及植物生存的影响 [J]. 干旱区研究 ,2002 ,19 (2) :71-74.
- [14] 段争虎, 肖洪浪, 宋耀选. 黄土高原西部兰州市郊人工林地水分亏缺与调控研究 [J]. 中国沙漠 ,2006 ,26 (4) :527-531.
- [15] 郭忠升, 邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力 [J]. 生态学报 ,2003 ,23 (8) :1641-1647.
- [16] Vysotskii G N. Selected Works (in Russian) [M]. Moscow: Nauka, 1960.
- [17] Zhang X B, Zheng S X, Shangguan Z P. Nutrient distributions and bio-cycle characteristics in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. forests in hilly Loess Regions [J]. Acta Ecologica Sinica ,2006 ,26 (2) :373-382.
- [18] 张海, 张立新, 柏延芳, 等. 黄土峁状丘陵区坡地治理模式对土壤水分环境及植被恢复效应 [J]. 农业工程学报 ,2007 ,23 (11) :108-113.
- [19] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植树造林 [J]. 自然资源学报 ,2001 ,16 (5) :433-438.
- [20] 梁一民, 陈云明. 论黄土高原造林的适地适树与适地适林 [J]. 水土保持通报 ,2004 ,24 (3) :69-72.

(上接第 72 页)

- [7] Wang Shijie, Dianfa Zhang, Li Ruiling. Mechanism of rocky desertification in the Karst Mountain Areas of Guizhou Province, Southwest China [J]. International Review for Environmental Strategies ,2002 ,3 (1) :123-135.
- [8] 张竹如, 李燕, 王林均. 贵州岩溶石漠化地区生态环境恢复的初步研究: 贵阳黔灵山的启示 [J]. 中国岩溶 , 2001 ,20 (4) :310-314.
- [9] 龙健, 邓启琼, 江新荣. 贵州喀斯特石漠化地区土地利用方式对土壤质量恢复能力的影响 [J]. 生态学报 , 2005 ,25 (12) :3188-3195.
- [10] 周梦维, 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化小流域景观的空间因子分析: 以贵州清镇王家寨小流域为例 [J]. 地理研究 ,2007 ,26 (5) :897-905.
- [11] 倪九派, 魏朝富, 谢德体. 土壤侵蚀定量评价的空间尺度效应 [J]. 生态学报 ,2005 ,25 (8) :2061-2066.
- [12] 周忠发. 喀斯特地区石漠化与地形坡度的关系分析: 以贵州省清镇市为例 [J]. 水土保持通报 ,2006 ,26 (5) :1-3.
- [13] Huang Qiu-Hao, Cai Yun-Long. Spatial pattern of Karst rock desertification in the Middle of Guizhou Province, Southwestern China [J]. Environ Geol. , 2007 ,52 :1325-1330.
- [14] 李瑞玲. 贵州岩溶地区土地石漠化形成的自然背景及其空间地域分异 [D]. 北京: 中国科学院地球化学研究所 ,2004.