

# 森林·蒸散·气候·沙漠

## ——试论中国森林变迁对沙漠演替的影响

樊宝敏 李智勇

(中国林业科学研究院林业科技信息研究所 北京 100091)

**摘要:** 以森林历史、生态学、气候学、沙漠学研究成果为基础,综合研究森林、蒸散、气候、沙漠之间的关系。结果表明:森林、蒸散、气候、沙漠四者之间有着紧密的内在关系。因人为活动造成的中国森林的大面积减少,首先引起陆相蒸散量的降低,进而使中国北部气候逐渐趋于干旱化,最终表现为沙漠的扩张。4 000年间,我国森林覆盖率由60%减至12.5%,作为主要原因使全国总年蒸散量减少146 mm,全国平均降水量减少约200 mm,沙漠化面积由国土的10%扩大到17.6%。森林与沙漠是构成陆地生态系统的两极,是此消彼长的关系,连通两者联系的中介是水。中国从根本上防治沙漠化的途径是在“东南半壁”宜林地区大面积培育以提高蒸散为目的的“云根林”。

**关键词:** 森林变迁;蒸散;降水;沙漠化;云根林

中图分类号:S717 文献标识码:A 文章编号:1001-7488(2005)02-0154-06

### Forest, Evapotranspiration, Climate and Desert: Effects on Desertification since the Change of Forests in China

Fan Baomin Li Zhiyong

(Institute of Policy and Information Sciences, CAF Beijing 100091)

**Abstract:** Based on the achievements of forest history, ecology, climatology and desertology, the relationships of forest, evapotranspiration, climate and desert were studied. The results showed that: the four things have close interrelations. The decrease of Chinese forests in large area owing to the activity of the mankind leads to the reduction of land evapotranspiration first. It makes the climate in North China getting to dry gradually then. As an end result, desert enlarges rapidly. In the past 4 000 years, forest coverage decreased from 60% to 12.5%. It as a main reason caused great reductions of both the total evapotranspiration for 146 mm·a<sup>-1</sup> and the mean annual precipitation for 200 mm, as well as enlargement of desert percentage taking territory from 10% to 17.6%. Forest and desert compose the two poles of land ecosystem. Their relations are one decrease at the same time another increase. The medium is water that links the two poles. The essential method to prevent and control the desertification in North China is to breed forests, named 'Cloud Origin Forests', in the southeast half part of China fitting for forests.

**Key words:** change of forest; evapotranspiration; precipitation; desertification; Cloud Origin Forests

中国是世界上荒漠化危害严重的国家,全国荒漠化土地面积为267.4万km<sup>2</sup>,占国土总面积的27.8%,沙化土地每年以2460 km<sup>2</sup>的速度在扩展,相当于每年损失一个中等县的土地面积。有专家估算,自秦汉以来沙漠扩大了38万km<sup>2</sup>,近20年新形成的荒漠有6万km<sup>2</sup>。1994—1999年间,全国荒漠化土地净增5.2万km<sup>2</sup>,年均增长1万多km<sup>2</sup>。然而,沙漠扩大的原因何在?对此,学术界的观点并不一致。有的专家认为主因是大自然变迁,气候干旱化(牛凤瑞,2002);也有的专家认为主要是由人为活动导致,概括为滥垦、滥牧、滥伐、滥采、滥用水资源等“五滥”(黄鹤羽,2000;胡培兴,2003)。学术界习惯于将沙漠化比作地球的癌症。病因找不准,就无法对症下药,实施有效的防治措施。作者拟从森林变迁与气候、沙漠化关系的角度,对中国沙漠扩大的原因提出自己的看法。

## 1 中国历史上森林消失和沙漠扩张的2个事实

中国历史上森林大面积消失和沙漠大范围扩张,当属两个不争的事实(史念海等,1983;朱俊凤等,

1999)。对相关研究进行估算,现将两者进行数量化,结果见表 1。

### 1.1 中国森林消失的历史事实

我国(按今天的国土面积计,下同)森林资源在远古时代极为丰富,最高时期森林覆盖率可达 64%(马忠良等,1997)。据推算,4 000 年前的夏代之初,森林覆盖率为 60%,主要分布于年降水量 400 mm 等值线以东以南地区(“东南半壁”,等值线古今不同)。随着历史的发展,人口不断增长,森林资源渐趋减少。到战国末年,森林覆盖率降至 46%;到唐代末期降为 33%;到清初为 21%;到新中国成立前夕降至 12.5%(樊宝敏等,2001)。

森林遭破坏的原因,在古代主要是火田火猎、农垦、战争、建筑和薪炭等人为因素对森林资源的消耗。到近代,帝国主义的掠夺和以火药武器为手段的战争,再加上各种工业消耗,如造纸、矿柱、枕木等,使森林资源的减损空前加剧。新中国成立后,尽管大力开展人工造林,但在庞大的人口压力下森林资源通常入不敷出,生长量难抵消耗量,面积和蓄积量增长缓慢。在不同历史时期,由于人口、政治中心和活动区域的变化,森林受破坏的地区也有很大变化。在 4 000 年的历史中,前 2 000 年,毁林地区大部集中在黄河流域;后 2 000 年,由黄河流域逐渐扩展到长江流域,再到华南、东北和西南诸偏远地区,最后遍布全国所有林区。

在夏王朝建立至新中国初期的近 4 000 年间,中国森林资源大约由 60%的覆盖率缩减为 12.5%左右。原先占国土面积一半的森林消失了,被农田、城乡建设、草地、裸地等所取代。如此大规模的下垫面和生态景观的变化,不能不对局地气候、生态系统产生深刻的影响。

表 1 中国历代森林和沙漠面积估算

Tab.1 Estimated area of forests and deserts in every historic period of China

年代 Dynasties	森林覆盖率 Forest coverage/ %	沙漠(荒漠)占国土面积的百分率 Percentage of desert in territory/ %
夏代以前 Before Xia Dynasty(1.8 Ma—2069 BC)	64 ~ 60	10(14)
夏商周春秋战国 From Xia to Zhanguo(2069 BC—221 BC)	60 ~ 46	10 ~ 13(14 ~ 18)
秦汉魏晋南北朝 From Qin to Nanbei(221 BC—589 AD)	46 ~ 37	13 ~ 14(18 ~ 20)
唐宋 Tang and Song(589—1368)	37 ~ 26	14 ~ 15(20 ~ 22)
明清 Ming Qing(1368—1911)	26 ~ 15	15 ~ 16(22 ~ 24)
民国时期 R. China(1911—1949)	15 ~ 12.5	16 ~ 17(24 ~ 26)
中华人民共和国 P. R. China(1949—2000)	12.5 ~ 16.55	17.6(27.8)

### 1.2 中国沙漠扩张的历史事实

4 000 年前,中国森林面积广阔,生态环境良好,估计当时的沙漠占国土面积不会超过 10%;然而随着历史的发展,沙漠逐渐扩张。最先扩张的是我国西北地区的塔克拉玛干、阿拉善和河西走廊地区的沙漠。据书记载,公元前 2 世纪汉武帝时期,塔克拉玛干沙漠南缘的楼兰、且末、精绝、若羌等地是人口兴旺的绿洲。古楼兰城废弃于 376 年。而东端的米兰古城在 8、9 世纪仍然很繁盛(朱俊凤等,1999)。河西走廊地区,在汉代还是通往西域诸国的“丝绸之路”,到唐朝已变为沙漠。河西走廊安西东南的锁阳城、敦煌西部南湖附近的寿昌城、高台南部的骆驼城等,均在盛唐以后相继沙漠化。虽然直接的原因表现为民族战争,但更深刻的原因则是气候的干旱。此后罗布泊变干枯,楼兰等西域古国逐渐消亡。

今天的毛乌素沙漠地区,早在战国时期曾是一片“卧马草地”,并有相当数量的森林分布。在十六国时期,还是赫连勃勃的夏国都城统万城的所在地,当时不会没有树木和草原。统万城从修建至毁废历时 581 年(413—994 年)(王尚义等,2001)。毛乌素沙地环境的形成与演变,是在唐代及其以后的事情。唐代诗人许棠曾写道,“茫茫沙漠广,渐远赫连城”(《全唐诗》卷 603)。宋代夏州城已“深在沙漠”(《续资治通鉴长编》卷 35)。今天的科尔沁沙地地区,在辽代早期和辽代之前还有树木和草原,是辽国的国都,此后逐渐沙漠化。金代沙漠化已有发生。元明清时期,由于政治中心的南移,沙漠化有所抑制。清代中期以后,农垦和毁林渐重,沙漠化加剧。近 100 多年来,科尔沁逐渐成为沙漠化地区。

北京及广大华北地区,近年来连续发生春季沙尘暴和持续高温干旱少雨天气。目前,我国是世界上土地沙化危害最为严重的国家之一,沙漠、戈壁及沙化土地面积有 168.9 万 km<sup>2</sup>,占国土总面积的 17.6%,涉及全国 29 个省(区)的 841 个县(旗),大部分集中在我国“三北”地区的 13 个省(区)。全国沙漠化面积呈逐年扩

大的趋势。在 20 世纪 50 年代到 70 年代沙化面积每年只扩大 1 560 km<sup>2</sup>;80 年代平均每年扩大 2 100 km<sup>2</sup>;90 年代发展到每年扩大 2 460 km<sup>2</sup>,相当于每年损失一个中等县的土地面积。而且沙漠化危害的范围不断扩大,以沙尘暴为例,据统计 20 世纪 50 年代发生 5 次;90 年代发生 23 次(林业白皮书,2000)。

4 000 年间,中国的沙漠由占国土面积的 10% 逐渐扩张到 17.6%,而且每年仍以很大的面积在扩展。

## 2 森林变迁对陆相蒸散以及北方气候的影响

上述所论中国 4 000 年来的森林消失、沙漠扩张这 2 个历史事实,虽然发生在不同的地域上,前者在“东南半壁”,后者在“西北半壁”,但它们并非互不相干。在作者看来,它们间恰有着此消彼长、阴阳互动的内在关系。沟通二者联系的媒介是水——蒸散、云、降水。中国森林变迁对蒸散和降水都有重要影响。

### 2.1 森林变迁对陆相蒸散的影响

中国森林的大幅度消失,首先引起陆地下垫面蒸散量的显著降低。据研究,森林的总蒸散量与湖泊等自由水面的蒸发量几乎相同,且通常大于灌丛、草地和农田(周晓峰,1999)。据闫俊华等(2001)研究,广东鼎湖山季风常绿阔叶林年均蒸散量为 987.50 mm,占同期降水量的 47%;而林外自由水面蒸发量为 1 194.7 mm,略大于林内蒸散。余新晓等(1996)在山西吉县试验区的测算结果,各类植被蒸散量占降水量比值分别为:油松(*Pinus tabulaeformis*)林 67.3%、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林 64.5%、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)林地 53.1%、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)林地 52.8%、草地 42.8%、荒地 34.4%。中国森林地区蒸散量与降水量的比值多为 40%~85%,热带较低,温带较高。当然华北平原区的蒸散量也较高。据王菱(2001)研究,黄淮海地区农田年均蒸散量占降水的 84%。就整体而言,森林的消失会导致蒸散量下降。

从全国降水分配的角度而言,水分平衡方程如下(周晓峰,1999):

$$P = R + ET + \Delta S \quad (1)$$

式中:  $P$  为全国年均总降水量;  $R$  为年均总径流量;  $ET$  为年均总蒸散量;  $\Delta S$  为土壤蓄水量年际变化值,在长时间跨度情况下可视为零或常数。

当前,全国年均降水量为  $6.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (中国工程院“21 世纪中国可持续发展水资源与战略研究”项目组,2000),相当于 648 mm;全国年平均径流量为 284 mm。据此可计算出中国现代的年均总蒸散量约为 364 mm,占全国年均降水量的 56.2%。其中,占国土面积 16.55% 的森林蒸散量,估计占总蒸散量的 1/3,即 121 mm(详见表 2),相当于单位面积森林平均蒸散量 733 mm。

表 2 中国森林古今变迁对蒸散和降水的影响估算

Tab. 2 Estimated effects on evapotranspiration and precipitation since the change of forests in China

项目 Items	现代 Today	4 000 aBP	差值 Difference
森林覆盖率 Forest coverage/ %	16.55	60	- 43.45
降水量 Mean annual precipitation/( mm·a <sup>-1</sup> )	648	850	- 202
蒸散量(其中:森林蒸散量) Evapotranspiration( ET of forest)/( mm·a <sup>-1</sup> )	364(121)	510(408)	- 146(- 287)
径流量 Runoff/( mm·a <sup>-1</sup> )	284	340	- 56
塔里木盆地降水量 Precipitation in Tarim Basin/( mm·a <sup>-1</sup> )	43	85	- 42
陕西关中地区降雨量 Precipitation in Guanzhong, Shaanxi Province/( mm·a <sup>-1</sup> )	600	800	- 200

同样,据式(1)可推算出 4 000 年前中国的年均总蒸散量。根据各方面的证据表明,4 000 年前全国的平均降水量约比今天高出 200 mm,即 850 mm。若按降水的 60% 计算蒸散量,则为 510 mm。其中,占国土面积 60% 的森林的蒸散量,估计能占全国总蒸散量的 80%,即 408 mm,相当于单位面积森林平均蒸散量 680 mm。

由此可以计算出,4 000 年间,因为森林减少了约 50% 的国土面积而导致全国森林的年蒸散量降低了 287 mm,全国总年蒸散量降低了 146 mm,相当于 14 016 亿 m<sup>3</sup> 的水没有被转化为水汽和云雾。

### 2.2 陆相蒸散对北方气候的影响

我国北方气候干旱化是学术界公认的事实(中国工程院“西北水资源”项目组,2003)。至于干旱化的原因,在作者看来主要与全国陆相蒸散减少有关。中国气候的特点是夏季盛行东南季风,西北部地区的湿气,主要来自东南地区。这种气候特点决定了我国东南地区的森林可以增加西部地区的降雨。东南地区多森林,则增加当地的蒸散和云雾,进而增加运至西北方向的云雾,故增加西北方向的降水。不仅使年降水量

提高,降水频率也增加。反之,东南地区的森林减少,则西北地区降水减少,400 mm 等降水线向东南偏移(图 1),气候、植被带都相应偏移。即森林与草原边界线处的森林退化为灌丛,再退化为草原,再退化为沙漠。表现为森林带的退缩,草原、沙漠的东扩南侵。4 000 年间,因为约占一半国土面积森林(大部分分布于东南半壁)的消失,致使全国总年蒸散量降低了 146 mm。全国尤其西北地区因此降水减少,气候变得干旱化。历史证明,4 000 年间,全国平均年降水量减少了约 200 mm。这与气候学专家们的研究结果相一致。傅抱璞(1981)对我国西北地区假定全面绿化以后对降水的可能变化作了理论估算。估算表明,在全面绿化后影响最大的夏季降水可能增加 110 mm;其次是春、秋季,季降水量可能分别增加 35 mm 与 27 mm;冬季最少,仅增加 4 mm。据计算机模拟试验,中国东部地区自然植被的恢复将使东亚夏季季风增强,从而有更多的水汽输送到中国大部分地区,使大气中水汽含量明显增多,降水量增多。东部大部分地区降水量增加的幅度为  $1 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$  (符淙斌等,2001)。

森林蒸散减少导致气候干旱的假设,得到史料的支持。据研究,我国北方的气候在历史上是由湿润向干旱逐渐过渡的(竺可桢,1973;张丕远等,1996)。殷商时期黄河流域能捕到大象,汉武帝时期河南淇县能生长毛竹。据竺可桢(1973)研究,从仰韶文化到殷墟时期,我国境内大部分地区的年平均温度比现在高出  $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  左右,1 月的平均温度比现在高  $3 \sim 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。而且在殷、周、汉、唐时代,温度高于现代,降水量也明显高于现在,许多植被带有程度不等地向北和向西推展的现象,如汉唐时期梅树、竹类广泛生长于黄河流域。

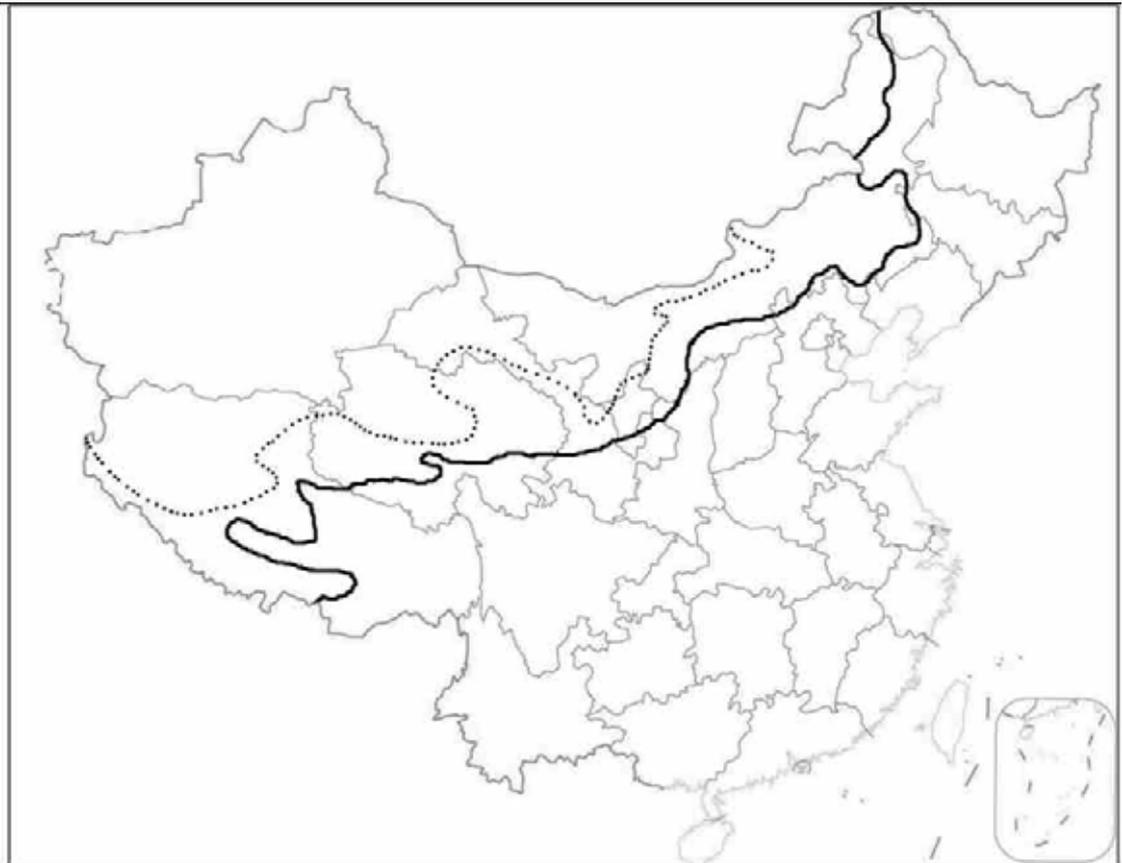


图 1 中国 400 mm 等降水线历史位移示意图

Fig. 1 A sketch map showing the change of 400 mm isohyet in Chinese history

——现代 400 mm 等降水线 400 mm isohyet today;

..... 4 000 年前 400 mm 等降水线 400 mm isohyet in 4 000 aBP.

据李秀珍等(2000)研究,秦汉时期陕西关中地区平均年降水量比现在高出  $50 \sim 100 \text{ mm}$  左右。关中地区的水系比今天发达,有很多河流由南向北流入渭河,如零河、泾水、新丰河(今玉川河)、鱼池水(今沙河)、风王谷水、临河、潼河、石涧河、水碓河和韩峪沟水等。考古人员在地表或地下还发现很多现已干枯的河道。

湖泊作为降水 and 有效降水的历史和现代记录,能反映出气候变化的时空特征。气候变化所导致的湖泊

水位下降和面积萎缩,已经在很大范围内显现。自汉唐以来,鄂尔多斯高原上的许多湖泊沼泽逐步干涸消失(朱士光,1999)。根据历史资料和专家的考证,在远古时期,淮河以北太行山以东地区,到处都有湖泊,大小相杂,数以百计,而现今湖泊变小或消失。气候变化对历史上农牧过渡带会产生影响,甚至会触发社会动荡,这可从北魏平城迁都、元朝中叶岭北地区移民等实例看出来(满志敏等,2000)。

西北地区的干旱化表现得更明显。如罗布泊历史时期最大水域达 5 000 多  $\text{km}^2$ ,20 世纪 60 年代因塔里木河下游断流,罗布泊渐渐干涸,1972 年底彻底干涸(张园,2001)。我国青海湖水位在过去 500 年曾有过较大的升降波动,但出现直线式下降趋势却是在近百年,特别是在 1908 年到 1986 年间下降了约 11 m,湖面缩小了 676  $\text{km}^2$ 。根据多方面资料估计,塔里木盆地 4 000 年间降水量至少减少了 50%。

晚清时期旱灾相当严重,尤其是在中国北部,表现出持续期长、受灾范围广和多灾并发等特点。具有代表性的为 1876—1878 年的“丁戊奇荒”(王金香,1998),其严重程度仅次于崇祯末年加速明朝灭亡的大旱灾。“丁戊奇荒”时期,中国遭受旱灾的饥民约 1.6 亿到 2 亿,几近全国人口半数,饥民死亡 1 000 万以上。这是任何一次其他自然灾害包括水灾、地震等引起的死亡所不能比拟的。

民国时期中国北部出现多次大旱之年。1928—1930 年的大旱灾,其严重程度仅次于晚清的“丁戊奇荒”,陕西省旱荒则甚之,长达 6 年之久。山西省晋南和雁北地区春夏“点雨未降”,赤地千里。旱灾引起蝗灾、瘟疫、鼠灾。在这场大旱灾中,饥民总计约 6 000 万,死亡达 1 000 万人(李文海等,1993)。1934—1936 年,中国北部再次出现持续 3 年的特大旱灾(邓云特,1984)。民国时期的旱灾比晚清时期有过之而无不及。

新中国成立后的 50 多年间,我国北方尤其是黄淮海地区严重干旱缺水。根据国家统计局资料,1950—1995 年的旱灾每 10 年平均的年成灾面积,20 世纪 90 年代比 50 年代干旱增加了 4 倍(周晓峰,1999)。北京及广大华北地区,近年来连续发生春季沙尘暴和持续高温干旱少雨天气。20 世纪 90 年代以来,黄河出现历史上少有的断流,水资源状况空前危机。

由此说明,一方面,气候决定森林;另一方面,森林也会影响气候或者局地的气候。中国历史时期气候的变化,尤其是北方地区的干旱化和沙漠化,其原因固然与青藏高原的隆起、太阳的活动等自然因素有关,但由于人为的活动所导致的我国(当然还有周边国家)森林的大规模减少恐怕是一个十分重要的因素。

### 2.3 北方气候干旱化引起沙漠扩张

我国北方地区的沙漠化,主要与降雨量减少、气候干旱化有关,而后者又是中国森林的大幅度消失所致。唐代以前,森林破坏主要于黄河流域,其影响是其西北部的草原演变为沙漠,如罗布泊范围缩小、周围地区变成沙漠,丝绸之路因变为沙漠、戈壁而中断。五代以后,森林破坏的重点由黄河流域转移到长江流域,其影响是毛乌素和浑善达克沙漠扩大,内蒙古草原退化和沙漠化,华北地区沙尘暴,黄河断流。科尔沁沙地形成和扩大与其东南地区的森林破坏有关。清代对东北森林实行封禁政策,科尔沁沙漠化得到抑制;晚清至今,东北森林的破坏则加剧了该地区的沙漠化。近 50 年浑善达克沙地面积增加了 17 倍,与其东南部的森林破坏有直接关系。

## 3 结论和讨论

1) 森林、蒸散、气候、沙漠四者之间关系紧密。森林的变化必然导致其他环节的连锁反应。中国森林的大面积减少,首先引起陆相蒸散量的降低,进而使中国北部气候逐渐趋于干旱化,最终表现为沙漠的扩张。在我国 4 000 年间,森林覆盖率由 60% 减至 12.5%,这作为主要原因致使全国总年蒸散量减少 146 mm,全国平均降水量约减少 200 mm,沙漠化面积由占国土的 10% 扩大到 17.6%。由此推算,中国森林每减少 10% 的覆盖率,沙漠将扩大 1.52% 的国土面积,即 14.6 万  $\text{km}^2$ 。因此,森林与沙漠是构成中国陆地生态系统的两极,此消彼长、阴阳互动。连通两者联系的中介是“水”,包括蒸散的水汽、天空中的云、各种形式的降水。

2) 鉴于森林的兴云致雨作用,特提出“云根林”概念<sup>1)</sup>,与学者们讨论。“云根林”是指某地森林由于能提高蒸散,增加云雾量,当云雾遇到一定条件时就在当地或异地形成雨露霜雪等各种形式的降水,相对于接受降水的地区而言该地的森林即称“云根林”。森林的这种增云作用,称为“云根作用”。例如,太行山区的森林

1) 樊宝敏,2003.“云根林”营造与沙漠化治理,世界林业动态,第 23 期

可增加毛乌素地区的降水,它相对于毛乌素而言即是云根林。再如,山东省的森林能增加北京市的降水,故山东森林就北京而言属于云根林。笔者认为,在导致我国北方的沙漠化的几种原因(如青藏高原隆起、草原过度放牧、云根林破坏等)中,东南地区云根林的破坏是中国4000年来沙漠扩张的最主要原因。由于中国东南地区“云根林”的减少,导致了我国西北半壁的降雨减少、气候干旱,使得400 mm等雨量线向东南偏移,进而这些地区湖泊干涸、沙漠不断扩张,即所谓“东伐西旱、南伐北旱”。因此,由于人为活动引起的森林消失,进而导致气候干旱,是中国沙漠化扩张的根本原因。

3) 中国防治沙漠化的根本途径在于培育以提高蒸散为目的的“云根林”。根据“云根林”的观点,治理沙漠化的主要工程,重点不在我国西北半壁,而在我国东南半壁;重点不在沙漠地区,而在沙漠之外的东南地区。因此,仅靠“三北”防护林工程和“京津风沙源治理工程”,恐怕很难从根本上治理沙漠化。今天,国家重视了水源林、防护林的建设,却忽视了云根林的建设。中国北部8省市(京津冀晋苏皖鲁豫)区域内的森林覆盖率低,只有14.23%,这是其西北部的毛乌素沙漠、浑善达克沙地、河北坝上沙地不断扩大,沙漠逼近北京城的最主要原因。为解决这一问题,就必须努力提高北部8省市的森林面积,将该地区的森林覆盖率提高到30%~50%以上。这当然会对当地农业生产带来些影响,但是如果从全国的全局利益来考虑,大规模培育云根林将增加西北方云根林受益区的降水量(降水增幅约50~150 mm),就会扩展草原面积,提高草原和农田生产力,使沙漠退缩,沙漠化程度减轻。

若按营造云根林后比原来土地平均提高蒸散500 mm计算,且假设蒸散的水汽所形成的降水全部降在本国,那么要想提高全国100 mm的年均降水量,则需营造1.92亿 $\text{hm}^2$ 森林,相当于提高20%的森林覆盖率。

鉴于培育云根林可产生巨大的生态效益,国家应制定云根林发展规划和相关政策,在我国东南半壁尤其是北方8省市大力发展云根林。同时,对云根林的经营主体进行生态效益补偿,以保持其扩大再生产能力。

## 参 考 文 献

- 邓云特.1984.中国救荒史.上海:上海书店,47-48
- 樊宝敏,董源,张钧成,等.2003.中国历史上森林破坏对水旱灾害的影响.林业科学,(3):136-142
- 樊宝敏,董源.2001.中国历代森林覆盖率的探讨.北京林业大学学报,23(4):60-65
- 符淙斌,袁慧玲.2001.恢复自然植被对东亚夏季气候和环境影响的一个虚拟试验.科学通报,46(8):691-695
- 傅抱璞.1981.人类活动对大气降水影响的估算.见:全国气候变化学术讨论会文集.北京:科学出版社
- 胡培兴.2003.中国沙化土地现状及防治对策浅谈.林业科学,39(5):140-146
- 黄鹤羽.2000.关于防治荒漠化的对策思考.科技日报,6月10日
- 李文海.1993.近代中国灾荒纪年续编.长沙:湖南教育出版社,199
- 李秀珍,魏京武,吕厚远,等.2000.秦兵马俑坑附近剖面全新世气候记录及春秋—秦汉历史时期气候环境.http://210.5.4.91/gate/big5/www.bmy.com.cn/qwhyj/y520.htm
- 林业白皮书.2000.中国林业发展报告(摘要).中国绿色时报,12月29日
- 马忠良,宋朝枢,张清华.1997.中国森林的变迁.北京:中国林业出版社,121-122
- 满志敏,葛全胜,张丕远.2000.气候变化对历史上农牧过渡带影响的个案研究.地理研究,19(2):141-147
- 牛凤瑞.2002.导致荒漠化的主因是大自然的变迁.http://www.people.com.cn/GB/huanbao/57/20020913/822247.html
- 史念海,曹尔琴,朱士光.1983.黄土高原森林与草原的变迁.西安:陕西人民出版社,175
- 王金香.1998.近代北中国旱灾的特点及成因.古今农业,(1):17-30
- 王菱,倪建华.2001.以黄淮海为例研究农田实际蒸散量.气象学报,59(6):784-794
- 王尚义,董靖保.2001.统万城的兴废与毛乌素沙地之变迁.地理研究,20(3):347-353
- 闫俊华,周国逸,黄忠良.2001.鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林蒸散研究.林业科学,37(1):37-45
- 余新晓,陈丽华.1996.黄土地区防护林生态系统水量平衡研究.生态学报,16(3):238-245
- 张丕远,葛全胜,刘啸雷.1996.近2000年来我国旱涝气候空间分布的变化和突变分析.见:85-913项目02课题论文编委会.气候变化规律及其数值模拟研究论文(第一集).北京:气象出版社,82-92
- 张园.2001.罗布泊与可持续发展.环境导报,(5):45-46
- 中国工程院“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组.2000.中国可持续发展水资源战略研究综合报告.中国工程科学,2(8):1-17
- 中国工程院“西北水资源”项目组.2003.西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究.中国工程科学,5(4):1-26
- 周晓峰.1999.中国森林与生态环境.北京:中国林业出版社,97
- 朱俊凤,朱震达.1999.中国沙漠化防治.北京:中国林业出版社,42-52
- 朱士光.1999.黄土高原地区环境变迁及其治理.郑州:黄河水利出版社,108-109
- 竺可桢.1973.中国近五千年来气候变迁的初步研究.中国科学,(1):168-189