

黄土丘陵沟壑区生态环境建设中的水问题——以延河流域为例

杨荣金,傅伯杰,刘国华,马克明

(中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室,北京 100085)

摘要:水在生态环境建设中具有重要的地位,同时生态环境建设也对水文情势产生重要影响,两者密切相关.黄土丘陵沟壑区属于资源性缺水地区,水土流失非常严重,同时这一地区也是生态环境建设特别是植被恢复与重建的重点区域,研究这一地区的水与生态环境建设间的相互关系具有更加重要的意义.根据黄土丘陵沟壑区的典型流域——延河流域的社会经济统计数据、水文站监测数据及土壤水分和植被生长的有关研究,综合分析后认为:①人口快速增长和社会经济高速发展需要更多的水资源支持,生态环境建设用水受到直接威胁;②生态环境建设特别是建成植被减少了河川径流,由于植被蒸腾过度消耗土壤水库中的水分,一些地方出现土壤干层;③水资源的不足不仅限制了进一步的植树种草,而且也对建成植被产生了不利影响,一些地方甚至出现了“小老树”,从而使植被的生态环境效益受到影响.在此基础上,通过分析生态环境建设与水的关系,提出了黄土丘陵沟壑区水资源可持续利用、生态环境可持续建设和社会经济可持续发展的建议.

关键词:生态环境建设;生态需水;可持续发展;黄土丘陵沟壑区;延河流域

中图分类号:X171.1 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2004)02-0037-06

Research on the Relationship Between Water and Eco-environment Construction in Loess Hilly and Gully Regions

YANG Rong-jin, FU Bo-jie, LIU Guo-hua, MA Ke-ming

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Water is an important factor for eco-environmental construction. Eco-environmental construction has a great impact on water. There is a circular correlation between eco-environmental construction and water. Water resource is lack and loss of soil and water is serious in the loess hilly and gully regions. The regions are the main regions of eco-environmental construction, especially of vegetation restoration and rehabilitation. It is important studying the relationship between water and eco-environmental construction in the regions. According to the data in Yanhe River watershed, some conclusion are demonstrated: ① More water resource was demanded when population was increasing rapidly and economy was developing fleetly. Water for eco-environmental construction was threatened directly. ② Eco-environmental construction, especially the built vegetation decreased the runoff. The dried soil layers have appeared in some places. ③ Shortage of water resource limited the farther tree and grass planting and brought on some negative impacts. Small aged trees have appeared in some places. The eco-environmental benefits of the built vegetation have been influenced. On the basis of relationship between water and eco-environmental construction, some advice for sustainable use of water resource, sustainable construction of eco-environment and sustainable development of society and economy was given.

Key words: eco-environmental construction; ecological water requirement; sustainable development; the Loess Hilly and Gully regions; Yanhe River watershed

中国是一个缺水的国家,人均水资源量世界排在第 110~117 位之间^[1],中国水资源在时空上分布极不均匀,位于西北的黄土高原是中国水资源最缺乏的地区之一,人均水资源量约 541 m³,相当于全国人均水资源量的 22%^[2],黄土丘陵沟壑区是黄土高原上一个资源性缺水比较严重的半干旱地区.黄土丘陵沟壑区是黄河流域分布范围最广,水土流失最严重的地区.同时,它也是黄土高原水土流失最严重的地区.黄土高原侵蚀量大于 1000 t·(km²·a)⁻¹的有害流失区中 50% 的面积为侵蚀量超过 5000 t·(km²·a)⁻¹ 的强度以上侵蚀区,这些强度侵蚀区主要集中分布在黄土丘陵沟壑区.由此可见,黄土丘陵沟壑区是生态环境建设和水土流失治理的重

点区域.生态环境建设特别是林草植被建设需要水的支持,同时建成植被由于蒸腾需要消耗大量的水分,因而对土壤水分有很大的依赖性;而生态环境建设特别是林草植被建设及建成植被由于对降雨的截留、入渗和产、汇流过程的影响以及自身对于水分的消耗,也会改变水资源的分布和水文过程.考虑到社会经济的高速发展和人口的快速增长以及人们生活水平的不断提高对于水资源的需求不断增长,而生

收稿日期:2003-08-09;修订日期:2003-12-09

基金项目:国家自然科学基金重点项目(90102018);国家重点基础研究发展规划项目(2002CB111505);国家“十五”攻关项目(2001BA606A-01)

作者简介:杨荣金(1971~),博士研究生,讲师,主要从事景观生态学 and 生态水文学方面的研究.

态环境建设特别是植树种草的面积不断增加也需要更多的水资源支持,工业、农业和生活用水以及生态用水等各部门间的争水现象将不可避免,尤其是对生态环境建设用水的挤占现象更加普遍.因此探讨黄土丘陵沟壑区生态环境建设中的水问题,对于水资源的合理有效利用和生态环境建设的健康发展具有重要的理论和现实意义.同时也可为区域生态安全的构建以及区域社会经济的可持续发展提供科学依据.本文以陕西省延河流域为例,通过实地调查和有关数据的收集整理,在分析该流域各部门用水变化的基础上,探讨了生态环境建设与水资源之间的相互关系,指出了当前存在的一些问题,并提出了流域水资源利用和管理的对策,可为干旱区的生态环境建设和有限水资源的高效利用提供一定的指导.

1 生态环境建设的背景

黄土丘陵沟壑区属于半干旱地区,地表水资源十分缺乏,而地下水埋藏较深,开发利用难度非常大,资源性缺水比较严重.由于工业废水、生活污水和农业非点源污染,水质性缺水也日益严重.缺水加剧了生态用水与其他各部门用水间的相互竞争,各部门间用水矛盾日益突显.

1.1 生活用水

生活用水的增长主要来自于 2 个方面:①人口的不断增长;②人均用水量的增加.假定每个人消耗的水资源量是一定的,那么随着人口增长,所需要的水资源总量就会不断增长.而实际上,由于人们生活水平的提高,人均用水量还会有所增加;同时,从总人口的构成看,非农业人口占总人口的比例在逐渐增高,而非农业人口需水量显著高于农业人口,因此人均需水量也会不断增长.

以延河流域(以安塞县、宝塔区和延长县的统计数据代表)为例,2000 年比 1990 年总人口增长 13.96%,其中非农业人口增长 31.32%,非农业人口在总人口中所占的比例增加 3.66%,增长了 15.23%.从发展趋势看,在一段时间内,总人口和非农业人口占总人口的比例都还将继续增加.由于耗水量的增加,会产生更多的生活污水,在生活污水没有进行有效处理的情况下,生活污水直接排入和污染水环境,如果污染超过了水体的自净能力,就会减少有效水资源量,加剧水质性缺水.在延河流域,1998 年生活污水排放口达 226 个.由于人口增长的惯性作用和城市化进程的不断加快,生活用水对于水资源的压力将持续增加.

1.2 工业用水

工业用水的增长也主要来自 2 个方面:①工业总产值的不断增长;②万元工业产值耗水量的增加.假定工业万元产值耗水量不变,则随着工业产值的增加,耗水量将随之增加.由于延河流域工业主要以石油和煤炭等能源开发为主,属于高耗水项目.因此在一段时间内,万元工业产值耗水量还会有所增加.尽管同国外相比,工业万元产值耗水量还有很大下降空间,但要降低工业万元产值耗水量(比如增加水的循环利用和减少耗水工业项目)需要不断的技术革新和强化管理,是一个比较复杂和缓慢的过程.同时在一个较长的时间内,即便万元工业产值耗水量有所下降,但相对于快速增长的工业总产值而言,对于工业用水量的影响还是比较小的.由于工业用水量的增长,必然增加更多的工业废水,在没有得到有效处理的情况下,这些废水将污染水资源和水环境,造成水质性缺水.以延河流域为例,2000 年与 1990 年相比,工业总产值从 4.07 亿元增加至 6.63 亿元,增长了 63.05%,因此工业耗水增加是十分巨大的.1999 年延河流域共有工业排污口 11 个,工业和生活混合排污口 12 个,污水排放总量为 795.47 万 t(包括生活污水排放).大量工业污水排入水环境,造成严重的水污染.根据陕西省 1988 年对全省 6 条主要河流的检测,延河的污染程度居全省第二位,仅次于渭河.工业发展还造成城市地下水污染,延安市宝塔区南部地下水已经属于严重污染,北部也已经是中度污染^[3].工业发展对于地表水和地下水的污染加剧了水质性缺水.因此,在一个较长的时间内,工业用水对于水资源的压力还将继续增长.

1.3 农业用水

农业用水占用水总量的比例在各用水部门中是最高的.农业用水增长也主要来自于 2 个方面:①农业灌溉面积的增长;②农田灌溉定额的增长.假定农田灌溉定额一定,则农业用水量决定于实际灌溉面积.如果灌溉面积一定,则农业用水量决定于农田灌溉定额.由于农业上大量施用化肥和农药,非点源污染造成的水质性缺水逐渐受到重视.以延河流域为例,2000 年与 1990 年相比,实际灌溉面积由 4953.33 hm^2 增加到 5580.00 hm^2 ,增长了 12.65%.单位面积灌溉用水量由 1990 年的 3936 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 1998 年的 10041 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$.农业用水占用水总量的比例也由 1990 年的 51.00% 增加到 1998 年的 53.25%^[3].由于农业灌溉面积的增加和单位面积灌溉用水量的增加,因此在一段时间内,

农业用水量还将继续增长,同时农业是非点源污染的主要来源之一,化肥施用量折纯从 1990 年的 4 165 000 kg 增加到 2000 年的 12 623 000 kg,增长了 203.07%。农药施用量也从 1990 年的 54 174 kg 增加到 2000 年的 64 766 kg,增长了 19.55%。这些非点源污染物进入水环境,可能降低水的可利用性,从而减少有效水资源量,加剧水质性缺水。

可见,由于水资源总量的不足,必然出现各用水部门之间的用水竞争。在用水竞争中,工业和生活用水处于优势地位,而农业灌溉和林草灌溉处于不利地位。如何保证农业灌溉特别是林草灌溉关系到这一地区的粮食安全和生态环境建设的可持续性。

2 生态环境建设对水的影响

生态环境建设主要有 2 个方面,即修建梯田、淤地坝、水库等工程措施和造林种草等生物措施。生态环境建设通过这些措施改变了下垫面的性质,从而改变了降水的产汇流过程,改变了水循环及水土流失过程。生态环境建设对水的影响主要包括:①河川径流的变化;②土壤水库的变化。

2.1 生态环境建设对河川径流的影响

梯田、淤地坝和水库等工程措施都具有拦蓄降水,削减洪水和调节、减少径流的作用。造林、种草等生物措施提高了植被覆盖,增加了降水的拦蓄和蒸散发,加强了深层地下水的利用与交换,促进了造林、种草地区的局部水循环,减少了地表径流,从而削减了河川径流和洪峰。由于被阻流的部分地表径流在非产流期又汇入河道,因此增加了基流量。

以延河流域甘谷驿水文站为例,人类活动(主要包括各项工程措施和生物措施)在 20 世纪 70 年代和 80 年代比 1956~1969 年分别增加基流量 394 万 m^3 (增加了 3.67%) 和 2011 万 m^3 (增加了 18.74%),而同期表流量分别减少 1591 万 m^3 (减少了 11.6%) 和 2958 万 m^3 (减少了 21.2%),径流量分别减少 1196 万 m^3 (减少了 4.8%) 和 946 万 m^3 (减少了 3.8%)^[4]。比较 1969 年前的次洪水与 1970 年后的次洪水,平均洪峰削减了 21.4%,平均次洪水径流削减了 23.6%。其中几种主要措施的减水效益,在 70 年代和 80 年代分别比 1956~1969 年减少的水量是:梯田分别减少 78.94 万 m^3 和 207.81 万 m^3 ,淤地坝分别减少了 675 万 m^3 和 1734 万 m^3 ,水库分别减少了 895 万 m^3 和 1485 万 m^3 ,造林分别减少了 99.94 万 m^3 和 209.41 万 m^3 ,种草分别减少了 6.83 万 m^3 和 129.31 万 m^3 ^[5]。

2.2 生态环境建设对土壤水库的影响

土壤水库是作物生产和植被恢复的基础和重要前提^[6],只有维护土壤水库的正常运转,才能更好地保护和改善生态环境,保持生态环境建设的可持续性。植被建设由于形成富有团粒结构的表土层,同时也由于其地上部分对降水的拦截和地表枯枝落叶层对降水的滞留,强化了降水入渗,大大加强了土壤水库的容量,更能消除超渗产流,更多的是形成比较稳定和无害的蓄满产流。但是另一方面,由于植物都存在强烈的蒸腾作用,通过蒸腾作用消耗大量水分,维持植物正常的生理活动。因此对于土壤水库而言,植被建设既有增加降水入渗补充土壤水库的水分的作用,也有因为植被蒸腾而损耗土壤水库的水分的作用,关键在于保持两者之间的平衡。但绝对的平衡是不可能存在的,比如在一年之中,旱季末(通常在 5 月)由于降水量少而植被生长旺盛耗水较多,土壤水库水分亏缺比较严重,而在雨季末(通常在 10 月)由于降水量多,虽然植被蒸腾耗水强烈,土壤水库仍然得到了补偿和恢复。在降水和植被的关系中,土壤水库起着调节和缓冲的作用。如果水与植被间的关系失调超过了土壤水库的调节能力,就可能引起土壤水库枯竭,形成土壤干层,进而对建成植被产生不利影响,这种情况在连续干旱的年份将会变得更加严重。

黄土丘陵沟壑区的人工植被主要消耗 3~8 m 土层的土壤水分,主要造林树种还可利用 9~10 m 以下土层的土壤水资源^[7]。由于人工植被加大了对土壤 3~8 m 土层的水分消耗,而当地降水量较少,深层地下水又难于利用,因此水分补偿不足,出现明显的土壤干层现象^[8]。在林草植被过度耗水情况下,土壤含水量处于极度亏缺状态,甚至有时达到或接近凋萎湿度,经过雨季可以部分得到补偿,得不到补偿的土层土壤含水量长期处于一种较稳定的低水平上,这一土层称为土壤干层^[9]。土壤干层是黄土高原的一种特殊的生态水文现象,广泛分布于黄土高原各区,但以黄土丘陵沟壑区第二副区较为严重^[10]。虽然天然植被也存在土壤干层,但比较少^[9,11],人工植被强化了土壤干燥过程,是形成土壤干层的主要原因^[8,12]。李裕元等认为气候干旱化和人工林草植被选择不当造成了土壤干层^[13]。土壤干层形成与植被种类、土地利用类型、坡度和坡向等有关。形成土壤干层面积较大的树草种主要有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii* Carr.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、柠条

(*Caragana microphylla*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)、沙打旺(*Astragalus adsurgens* Pall.)、苜蓿(*Medicago sativa* L.)等^[14,15]。土地利用类型上,干化程度是林地大于果园大于草地大于农地^[16]。也有研究表明土壤水分含量是乔木林地大于灌木林地大于草地^[7]。坡向和坡度对土壤干层有明显影响,阳坡较阴坡严重,坡度愈大,土壤干化越剧烈^[14]。穆兴民等认为土壤干层是目前区域人工植被生态系统不稳定性的体现,黄土高原营造的人工林尚不能达到涵养水源之功能^[7]。

延河流域按侵蚀地貌分为黄土丘陵沟壑区第一副区、第二副区、第五副区和林区,其中黄土高原上土壤干层较为严重的第二副区占流域面积的83%^[4]。以位于延河流域上游的纸坊沟流域和位于中游的延安试区(包括宝塔区柳林、万花、枣园、河庄坪、安塞县沿河湾、高桥、楼坪等7个乡(镇))的研究为例。从总体上看,无论是天然植被和人工植被都存在土壤干层,但人工植被的土壤干层远较天然植被严重;不同植被的土壤干层严重程度顺序是乔木林地>灌木林地>草地;土壤干层主要与植被种类直接相关,侧柏(*Platycladus orientalis*(L.) Franco)、刺槐、小叶杨、油松、沙棘、柠条、苜蓿、沙打旺、红豆草(*Onobrychis viciaefolia* scop)等人工植被和槭树(*Acer mono Maxim*)、山杏(*Prunus armeniaca* var. *ansu Maxim*)、狼牙刺(*Sophora vicii folia*)、芡蒿(*Artemisia giraldii*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*(L.) Keng)、长芒草(*Stipa bungeana* Trin.)等天然植被下有明显的土壤干层;辽东栎(*Quercus liaotungensis* Koiz.)、山杨(*Populus davidiana* Dode)及铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、铁杆蒿+长芒草(*Stipa bungeana*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*(Laxm.) Schindl.)等天然植被和草木樨(*Melilotus suaveolens* Ledeb.)干层不明显^[11,12]。对黄土丘陵沟壑区分布最广的乔木树种刺槐和灌木树种沙棘的土壤干层的分析表明,坡度、坡向和坡位对土壤干层有明显影响,大于25°以上的陡坡、阳坡和上坡位土壤干层更加严重;沙棘林龄对土壤干层形成有影响,但刺槐林龄影响不大,可能是因为刺槐林的林龄差异不大,且过了大量耗水期^[14,15]。种植密度和人为干扰(比如平茬)及隔坡梯田、水平阶等工程措施也影响植被下土壤干层的形成^[11]。

生态环境建设对河川径流和土壤水分产生了重要影响,它减少了河川径流量,削减了平均洪峰和平

均次洪水径流,增强了植被蒸散发过程,加剧了土壤干层。生态环境建设引起的这些水循环和水文过程变化又反过来影响河流生态系统及建成植被的生长和发育,从而影响生态环境建设的可持续性,这是一个相互作用的反馈过程。

3 水对生态环境建设的影响

水对生态环境建设的影响包括水对生态环境建设的支持作用和水对生态环境建设的限制和破坏作用。黄土丘陵沟壑区属于资源性缺水地区,多年干旱指数在1.57~1.92之间变化,因此无论是天然降水还是地下水,无论是河川径流还是土壤水对生态环境建设的支持作用都是勿容置疑的,水是生态环境建设的基础和重要前提。过多的水易形成洪水,造成大量的水土流失和对河流沟道系统的破坏,但更多更常见的情况是水资源不足对生态环境建设的限制作用。

水是制约黄土丘陵沟壑区的植被恢复的关键自然因素。一方面,生态环境建设强化了雨水就地入渗和对雨水的拦蓄作用,减少了水土流失;另一方面,要维持植被的正常生长发育需要消耗大量的水资源,其中最主要的就是植被蒸腾消耗掉的水资源。如果植被消耗掉的水资源量比因植被存在而拦蓄下来的水资源量还要多的话,植被就会更多地利用土壤水库的水资源,如果连续出现这样的情况,那么土壤水库的调节作用就会减弱,植被的需水得不到满足,其生长和发育受到影响,从而降低耗水量,在一个新的点上达到平衡,即供水不是很充分而生长不是很好。这种情况在黄土丘陵沟壑区是普遍存在的,它对于经济林和用材林可能是十分不利的,但对于防止水土流失仍然具有重要作用。但是,如果社会经济受到较大影响,也会反过来影响生态环境建设的成果,比如毁林开荒。如果出现连续干旱,土壤水库的水资源得不到补偿,则可能出现植被大面积死亡,这对于生态环境建设是极为不利的。它不仅造成了植被覆盖度的下降和水土流失的加剧,还由于深层土壤干层恢复极慢而使后续植被恢复变得十分困难。

在黄土丘陵沟壑区,普遍存在以下现象:①造林成活率低,保存率低,年年造林不见林;②成活人工林形成大面积的“小老树”;③连续干旱情况下导致植被大面积死亡。这些现象的实质是植被与水之间的关系失衡。植被因强烈的蒸腾作用大量耗水,过分消耗土壤水库的水,形成土壤干层,土壤水分不足导致植被生长不良。以“小老树”为例,在黄土高原,由

于自然条件恶劣、复杂,加上人为因素的干扰,相当一部分人工林生长极不正常,个体矮小,生长缓慢,过早老化,病虫害严重,难以成材,称之为“小老树”。它主要集中分布于黄土丘陵、风沙滩地及流动沙丘南部,主要树种为杨树,尤其是小叶杨,其次是刺槐,榆树(*Ulmus pumila*)、旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)、油松等也有少量。在地形和土壤上,小老树主要分布在峁顶、峁坡及沟坡中上部、阳坡和较陡的坡上,在林分树种组成上,多以纯林为主,混交林较少^[17,18]。以上特征与土壤干层有较好的一致性。分析人工林“小老树”的成因,认为主导因子是缺水、缺肥和热量不足^[19]。1997~2001年陕北出现了连续五年的干旱,由于降水少,降水入渗深度由通常的150~200 mm降低到仅60~70 mm,形成丰水年也难于补充的永久性土壤干层,土壤水分的极度亏缺造成人工林群落衰败甚至大面积枯萎和死亡。在陕北,坡地20龄榆树成片死亡(死亡63%),18龄油松死亡10%,18龄侧柏死亡2%,18龄刺槐死亡78%,12龄河北杨(*Populus hopeiensis* Hu et Chow)死亡30%^[20]。

黄土丘陵沟壑区水资源非常缺乏,而水土流失又非常严重。在水资源较为缺乏的情况下,如何处理好生态环境建设特别是植被建设与水的关系,使水资源利用与植被建设能够步入一个比较良性的循环,形成一种良性的反馈机制,是当前生态环境建设和水资源开发利用面临的一个两难问题。

4 生态环境建设中水资源的管理及其对策

黄土丘陵沟壑区的生态环境建设中的水问题,无论是生态环境建设对水的影响还是水对生态环境建设的限制作用,在更大的尺度上,都受全球气候变化和黄土高原气候变迁的影响。根据“政府间气候变化委员会”(IPCC)的研究,20世纪全球气候变化总的趋势是:全球表面平均温度升高约0.6℃;降水量有增加的趋势,北半球中高纬度地区降水量每10年增加0.5%~1%,大雨频率在20世纪下半叶增加2%~4%;部分地区(如亚洲)干旱频率和强度有所增加。IPCC对21世纪的全球变化预测是:全球表面平均温度可增加1.4~5.8℃,大大超过20世纪,大陆的气候变暖超过全球平均水平,尤其是北半球高纬度地区的冬季;地表温度变化的趋势将使厄尔尼诺现象增多,全球水汽含量与降水量都会增多,大的旱涝风险会增加;全球海平面上升0.09~0.88 m。全球平均温度增高必然导致水文循环中水分的再循

环率的增强,较高的蒸发率将加速降水后土壤的干化,从而使某些地区出现干旱,并使温度增高,水分再循环率加快将增强大雨雨率,增加大雨的频率^[21]。中国的环境演变是在全球变化的背景下发生的,因此各个时间尺度上的变化在许多方面均与全球变化具有一致性。总体上中国在20世纪呈变暖趋势,20~40年代和70~90年代是温暖期,冬季的变化幅度最大,变暖的地区主要在35°N以北,增温幅度随纬度的增高而增大。100°E以东35°N以北变暖地区的日照时数、最高年温(日间气温)和最低气温(夜间气温)均在增加,而最低气温的增加更为明显,因此在变暖作用中最低气温的增加是主要的。降水量20世纪50年代末至60年代初较50年代减少,此后呈波动变化,无明显的变化趋势,进入90年代,降水量呈增加趋势。从空间分布看,全国降水减少的地区面积大于降水增多的地区,且减小中心的强度大于增加中心的强度。100°E以东的地区,除东北北部、江淮之间及广东西部外,降水都减少。根据全球变暖预测我国气候变化,中国东北及南方沿海地区有变暖变湿的趋势,而华北、华中、西北大部分地区有可能变干,中国北部和中部夏季土壤湿度可能降低。如果CO₂加倍,我国北方降水并无明显增加甚至可能减少,显著变暖造成的蒸发增加将加剧我国北方的干燥程度。在这种气候状况下,北方地区本已紧张的水资源短缺可能会加剧^[22]。研究表明,黄土高原地区气候存在着干期与湿润期交替出现的现象,其变化周期短的为数10年,长的为几万年到几十万年,且周期越来越长,振幅越来越大,但总的趋势是向干旱化方向演化。从5000年气候变迁看,我国基本上是干冷同期,湿热同期,降水变化略滞后于温度变化。实际上自北宋以来,我国一直处于干冷阶段,尽管20世纪温度有所回升,但由于降水的滞后作用,干旱仍会持续相当长的时期。由于气候向干冷化方向演化,加之人为破坏等的影响,自然植被由森林-森林草原向较耐干旱气候的草原-干草原植被发生了演化;同时由于黄土高原地区降水少蒸发力大,而地下水埋藏又深,使土壤经常处于水分亏缺状态,出现土壤干层。在半干旱半湿润的丘陵沟壑区,由于植被耗水,土壤水分得不到降水的及时补充,土壤干层被进一步激化和加强。而土壤干层的形成与激化又成为进一步导致植被演替的直接原因^[13]。在人工植被出现大面积土壤干层的原因中,气候向干旱方面演化的总趋势还将持续相当长的时间,并且是人类所无法遏制的;人类可以做到的是,选择合适的树

草种,进行乔灌木的合理配置,调整林草种植密度,做到适地适树适草适林,以缓解土壤干层带来的危害。在树草种的选择上,应选择一些比较耐旱的本地种,避免大面积使用速生的外地种;在乔灌木的配置上,应该根据水分条件,进行合理搭配,减少人工纯林的比例;由于水资源的限制,应该采用较低的种植密度,避免过分消耗土壤水库中的水分;还应该注意根据地形(坡度、坡向、坡位)和土壤等条件,种植适合于该立地条件的树草种。

除了对植被建设进行调整外,还应通过开源节流增加可利用水资源量和水资源的利用效率;在水部门分配上,要优先保证生态用水,然后考虑工业、农业、城乡居民生活用水。只有加强水资源管理,并优先保证生态用水,才能保证区域(或流域)的生态安全,从而为粮食安全和地区的社会经济的持续稳定发展奠定基础。

研究表明,陕北黄土高原可持续发展系统总体运行处于较低水平,可持续发展总体态势呈波动式上升,但环境子系统的可持续发展不但一直处于较低的发展水平,且有下降的趋势,与人口、资源、经济和社会系统的协调发展系数偏低,特别是与资源子系统更加明显^[23]。而环境子系统中,水资源缺乏是最主要的问题之一。黄土丘陵沟壑区或延河流域的主要矿产资源是石油和煤炭,开发利用这2种资源对于地区经济发展具有十分重要的作用。但是无论是石油还是煤的开采,都是十分耗水的,而且煤矿和油井也是这一地区的主要的水环境污染源。根据工业化过程中经济与环境关系曲线——“库兹涅夫曲线”,我国经济与环境的关系仍在该曲线左支运行^[24]。对于生态环境特别是水生态环境非常脆弱的黄土丘陵沟壑区,先发展后治理的中国南方模式是行不通的。因此提高资源开发中水的利用效率,对于节水和减少水资源污染都具有十分重要的意义。但要提高水资源的利用效率,还应该加强水利设施建设,包括筑淤地坝、修水库、建集雨窖等雨水集蓄利用工程,充分利用地表水资源^[25]。在水利设施建设特别是水库建设中,应考虑上下游关系及由于水面增加而带来的蒸发量增加,同时由于黄土丘陵沟壑区径流含沙量高,因此应该详细考虑泥沙淤积的问题。在黄土丘陵沟壑区,农业是第一耗水大户,但长期以来,主要采用大水漫灌,水资源浪费严重。采用喷、滴、渗灌等节水灌溉可以节约水资源。目前在提高灌溉水利利用效率方面,还有比较大的空间。黄土高

原有较丰富的地下水资源,但由于埋藏深,利用程度还不高。由于深层地下水是非再生资源,数量有限,因此对于地下水资源的利用应当慎重。避免因利用地下水资源而造成地下水污染和地下水水位下降及地面下沉等。通过发展节水型农业、节水型工业及各种水利工程和雨水资源化措施,普及节水意识,逐步向节水型社会迈进,实现水资源的持续开发利用、生态环境的可持续建设和社会经济的可持续发展。

参考文献:

- [1] 潘理中,金懋高.中国水资源与世界各国水资源统计指标的比较[J].水科学进展,1996,7(4):375~380.
- [2] 高甲荣.黄土高原水资源面临的问题与对策[J].地理学与国土研究,1998,14(4):34~37.
- [3] 刘开文,李友儒,白生华.延安水系河谱[M].延安:延安文学印刷厂,2000.275~300.
- [4] 汪岗,范昭.黄河泥沙变化研究[M].郑州:黄河水利出版社,2002.623~643.
- [5] 汪岗,范昭.黄河泥沙变化研究[M].郑州:黄河水利出版社,2002.717~735.
- [6] 朱显谟.试论黄土高原的生态环境与“土壤水库”——重塑黄土地的理论依据[J].第四纪研究,2000,20(6):514~520.
- [7] 穆兴民,徐学选,王文龙,温仲明,杜峰.黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响[J].土壤学报,2003,40(2):210~217.
- [8] 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.
- [9] 侯庆春,韩蕊莲,韩仕伟.黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J].中国水土保持,1999,5:11~14.
- [10] 王力,邵明安,侯庆春.黄土高原土壤干层初步研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(4):34~38.
- [11] 王国梁,刘国彬,常欣,许明洋.黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应[J].自然资源学报,2002,17(3):339~344.
- [12] 王力,邵明安,侯庆春.延安试区土壤干层现状分析[J].水土保持通报,2000,20(3):35~37.
- [13] 李裕元,邵明安.黄土高原气候变迁、植被演替与土壤干层的形成[J].干旱区资源与环境,2001,15(1):72~77.
- [14] 王力,邵明安,侯庆春,杨岗民.延安试区人工刺槐林地的土壤干层分析[J].西北植物学报,2001,21(1):101~106.
- [15] 陈云明,刘国彬,侯喜录.黄土丘陵半干旱区人工沙棘林水土保持和土壤水分生态效益分析[J].应用生态学报,2002,13(11):1389~1393.
- [16] 何福红,黄明斌,党廷辉.黄土高原沟壑区小流域土壤干层的分布特征[J].自然资源学报,2003,18(1):30~34.
- [17] 侯庆春,黄旭,韩仕峰,张孝中.关于黄土高原地区小老树成因及其改造途径的研究 I:小老树的分布及其生长特点[J].水土保持学报,1991,5(1):64~72.
- [18] 侯庆春,黄旭,韩仕峰,张孝中.关于黄土高原地区小老树成因及其改造途径的研究 III:小老树的成因及其改造途径[J].水土保持学报,1991,5(4):80~86.
- [19] 韩蕊莲,侯庆春.黄土高原人工林小老树成因分析[J].干旱地区农业研究,1996,14(4):104~108.
- [20] 付明胜,钱卫东,牛萍,马光亮.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.
- [21] 雷 Wen,查尔斯 A. Lin. 全球气候变化及其影响[J].水科学进展,2003,14(5):667~674.
- [22] 张兰生,方修琦,任国玉.全球变化[M].北京:高等教育出版社,2000.272~309.
- [23] 崔灵周,李占斌,马俊杰,李勉.黄土高原可持续发展评价指标体系设计及应用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(2):86~90.
- [24] 何惠.关于西北开发中的几个水资源问题[J].水科学进展,2002,13(4):492~495.
- [25] 范高功.陕北地区生态环境建设与水资源的合理开发利用问题研究[J].西安工程学院学报,2001,23(2):21~25.