

黄河上中游人工造林对年径流量的影响

常 丹 东, 王 礼 先

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘 要: 流域年径流量是水资源评价与合理配置利用的重要依据, 而人工造林的减水作用又是估算水土保持对河川年径流量影响的基础。在综合分析了人工造林减水作用现有主要研究成果, 对黄河上中游进行生态环境建设分区的基础上, 求算了各分区人工造林减水定额, 黄土丘陵沟壑区为 $93.82 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、黄土高原沟壑区为 $58.54 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、土石山区为 $168.87 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。并结合《2003 中国林业统计年鉴》、《2005 年中国森林资源报告》, 计算了各分区截止 2003 年人工林地累计面积, 黄土丘陵沟壑区、黄土高原沟壑区、土石山区、河源区分别为 $119.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、 $45.29 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、 $34.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、 $2.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。最后求得黄土丘陵沟壑区、黄土高原沟壑区、土石山区、河源区现状人工造林减水量分别为 $11173.96 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $2651.28 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $5755.09 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $432.31 \times 10^4 \text{ m}^3$, 全流域现状人工造林减水量为 $20012.64 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

关键词: 黄河上中游; 人工造林; 生态环境建设分区; 减水定额; 减水量

中图分类号: S715.3, S725.7

文献标识码: A

黄河流域大部分地区属于半干旱和半湿润区, 水资源条件先天不足, 多年平均水资源量为 $661 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1], 人均占有年水资源量仅为全国平均的 1/5。黄河以其占全国河川径流 2% 的有限水量, 担负着本流域和下游引黄灌区占全国 9% 的耕地面积和 12% 人口的供水任务, 同时还要向流域外部地区 (含河北、天津及青岛) 送水。全流域水资源总量利用率高达 84%, 水资源净消耗率达 53.3%, 在人类活动影响下, 流域水资源状况日益恶化, 年径流量逐年减少。据花园口站以上 730036 km^2 的实测资料, 20 世纪 50 年代年平均径流深为 66.4 mm , 90 年代年平均径流深仅为 36.7 mm ^[2]。

人类活动对水文过程的影响, 集中表现在对下垫面的改变上, 下垫面条件发生改变, 水文过程的各环节也相应变化^[3]。森林植被调节径流的作用, 主要是通过改变流域下垫面状况, 增加降水入渗与蒸散能力, 从而影响河川年径流量。根据国内外的

大量试验资料分析, 森林植被对流域年径流量的影响存在 3 种不同的观点, 一是森林植被的存在会减少年径流量; 二是森林植被的存在会增加年径流量; 三是森林植被的存在对年径流量基本无影响^[4]。

研究人工造林对黄河年径流量的影响, 有助于协调“三生用水 (生产用水、生活用水、生态用水)”, 可为流域水资源评价与合理配置利用提供依据, 对于发展节水型林业建设, 缓解黄河流域的水资源供需矛盾, 具有重要的参考价值和实践意义。

1 人工造林对河川年径流量影响研究现状

围绕黄河流域人工造林对河川年径流量影响这一主题, 不少学者进行了大量的研究工作, 尤其是 1988~ 1996 年间, 下列黄金支持相关项目作了大量工作: 水利部一期黄河水沙变化研究基金 (简称

收稿日期 (Received date): 2005- 05- 16; 改回日期 (Accepted): 2005- 08- 25。

基金项目 (Foundation item): 中国北方水土保持生态环境建设用水研究 [Study on water use for environment conservation of soil and water conservation in the north of China]

作者简介 (Biography): 常丹东 (1977-), 男, 宁夏人, 博士研究生, 研究方向: 流域管理, E-mail: dandongchang@126.com [Chang Dandong (1977-), male, was born in Ningxia, PhD candidate. Watershed management. E-mail: dandongchang@126.com]; 王礼先 (1934-), 男, 湖北人, 教授, 主要研究方向: 水土保持与荒漠化防治、林业生态工程, E-mail: wanglx@bjfu.edu.cn [Wang Lixian (1934-), male, was born in Hubei, Professor. Soil and water conservation & desertification combating, Ecological forest engineering, E-mail: wanglx@bjfu.edu.cn]

水沙基金 iv)、黄河流域水土保持科研基金 (简称水保基金)、国家自然科学基金 (简称自然基金)、国家“八五”攻关项目“黄河中游河龙区间水土保持措施减水减沙效益研究” (简称“八五”攻关) 及水利部二期黄河水沙变化研究基金 (简称水沙基金⑤)^[5]。研究表明, 黄河流域人工造林会减少河川年径流量。这些课题均采用径流小区法对黄河中游河龙区间 (包括皇甫川、无定河等 21 条支流, 总面积约 $11.3 \times 10^4 \text{ km}^2$) 1980 年代人工造林减水量进行了计算^[6,7], 成果如下:

- (1) 水沙基金 iv。该成果得出人工造林减水定额为 $90 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 累计面积为 $181.05 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 减水量约为 $1.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。
- (2) 水沙基金⑤。该成果得出人工造林减水定额为 $31 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 累计面积为 $198.62 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 减水量约为 $0.62 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。
- (3) “八五”攻关。该成果得出人工造林减水定额为 $248 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 累计面积为 $120.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 减水量约为 $2.99 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。
- (4) 水保基金。该成果得出人工造林减水定额为 $42 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 累计面积为 $144.84 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 减水量约为 $0.61 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

上述各项研究的结果有较大出入, 导致差异的

原因有二, 一是采用的人工造林减水定额差异悬殊, 如“八五”攻关采用减水定额是水沙基金⑤采用减水定额的 8 倍; 二是各家人工造林面积确定方法不统一, 造成统计结果差异较大, 如水沙基金⑤确定的人工造林面积是“八五”攻关确定人工造林面积的约 1.65 倍。这些研究成果在方法上存在的相同缺陷在于, 在不同的生态环境建设类型区采用了同一减水定额, 不能反映不同类型区的特征。

针对以往研究中的不足, 本研究在对黄河上中游进行生态环境建设分区的基础上, 根据各区已有径流小区观测成果及文献, 求算了各分区人工造林减水定额。结合《2003 中国林业统计年鉴》^[8]及国家林业局根据第六次全国森林资源清查 (1999~2003) 结果颁布的《2005 年中国森林资源报告》^[9], 推求了各分区人工林地累计保持面积, 计算了黄河上中游人工造林的减水量。

2 黄河上中游生态环境建设分区

研究区内生态环境条件与社会经济状况的区域分异性导致不同区域内人工造林对流域水文过程的影响不同, 因而对年径流量的影响也不同。因此, 应当在生态环境建设分区的基础上研究人工造林对



图1 黄河流域上中游地区生态环境建设分区图

Fig. 1 Environment conservation regionalization of upper and middle reaches in Yellow River

年径流量的作用。

根据自然因素（包括气候、地质、地貌、土壤、植被等）、社会经济因素（包括人口密度、人均耕地、人均纯收入、土地利用结构等）以及水土流失状况（土壤侵蚀类型、土壤侵蚀面积、土壤侵蚀模数等），以省（自治区）为单位，以县为单元，以统计分析软件 SPSS10.0 为平台，采用系统聚类分析法（Hierarchical Clustering Method），结合专家集成法，对研究区内陕西、甘肃、宁夏、青海、内蒙古、河南、山西 7 个省（区）进行生态环境建设分区^[10]。

研究区分为风沙区、黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、沿河阶地与平原区、土石山区、河源区 6 个类型区，以各省（自治区）生态环境建设分区成果为基础，绘制黄河流域上中游地区生态环境建设分区图，见图 1。

3 人工造林减水定额推求

本研究根据 20 世纪 50 年代以来黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、土石山区径流小区法人工造林减水定额观测成果与相关文献，对各分区人工造林减水定额进行了统计分析。沿河阶地与平原区、风沙区人工造林不涉及水土保持减水问题，因此在本研究中不予考虑。

3.1 黄土丘陵沟壑区

本区包括陕西、甘肃、宁夏、青海、内蒙古、山西、河南 7 个省（区）的 88 个县（市、旗）。总面积 $23.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，人口密度 122 人/ km^2 。水蚀面积 $17.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占总土地面积的 74%，平均土壤侵蚀模数约 12 000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。属温带半干旱区—暖温带半湿润区，年均降水量 380~ 500

表 1 黄土丘陵沟壑区人工造林减水定额统计表

Table 1 Water reduction norms by artificial afforestation in Loess hilly region

| 研究地点 | 研究单位 | 研究年份 | 树种 | 林龄 | 覆盖度 (%) | 减水定额 (m^3/hm^2) | 文献号 |
|------|--------|------------|---------|----|---------|--------------------------------------|-------|
| 绥德 | 绥德水保站 | 1958~ 1963 | 刺槐 | 3 | 88 | 17. 13 | [11] |
| 绥德 | 绥德水保站 | 1958~ 1963 | 刺槐× 榆树 | 6 | 88 | 93. 88 | [11] |
| 天水 | 天水水保站 | 1954~ 1956 | 刺槐 | 7 | 85 | 6. 39 | [11] |
| 天水 | 天水水保站 | 1954~ 1956 | 刺槐 | 7 | 85 | 32. 53 | [11] |
| 王茂沟 | 绥德水保站 | 1964 | 刺槐 | 6 | 80 | 102. 89 | [12] |
| 韭园沟 | 绥德水保站 | 1964 | 刺槐 | 5 | 70 | 101. 5 | [12] |
| 辛店沟 | 绥德水保站 | 1964 | 刺槐 | 4 | 75 | 103. 5 | [12] |
| 韭园沟 | 绥德水保站 | 1977 | 刺槐 | 10 | 80 | 64. 2 | [12] |
| 想她沟 | 绥德水保站 | 1959 | 刺槐 | 4 | 80 | 74. 85 | [12] |
| 榆林 | 中科院水保所 | 1987~ 1994 | 沙棘 | 2 | 56 | 22. 6 | [13] |
| 榆林 | 中科院水保所 | 1987~ 1994 | 沙棘 | 2 | 60 | 41. 2 | [13] |
| 安塞 | 中科院水保所 | 1987~ 1991 | 柠条 | 18 | 65 | 184. 1 | [14] |
| 安塞 | 中科院水保所 | 1987~ 1991 | 刺槐 | 14 | 60 | 173. 7 | [14] |
| 榆林 | 中科院水保所 | 1965~ 1967 | 油松 | 7 | 25 | 12 | [15] |
| 延安 | 中科院水保所 | 1955~ 1956 | 紫穗槐 | 6 | 80 | 20. 4 | [16] |
| 天水 | 天水水保站 | 1955~ 1956 | 刺槐 | 8 | 70 | 32. 5 | [17] |
| 天水 | 天水水保站 | 1955~ 1956 | 刺槐 | 8 | 60 | 27. 2 | [17] |
| 天水 | 天水水保站 | 1955~ 1956 | 刺槐 | 8 | 60 | 30. 2 | [17] |
| 天水 | 天水水保站 | 1955~ 1956 | 刺槐 | 8 | 60 | 91. 7 | [17] |
| 绥德 | 绥德水保站 | 1958~ 1960 | 刺槐+ 榆树 | 10 | 70 | 94 | [5] |
| 绥德 | 绥德水保站 | 1961~ 1962 | 刺槐 | 8 | 85 | 120. 4 | [5] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 柠条 | 5 | 70 | 184. 1 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 刺槐 | 12 | 80 | 183. 6 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 刺槐 | 5 | 85 | 141 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 刺槐+ 紫穗槐 | 5 | 85 | 140 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 沙棘 | 4 | 90 | 169. 9 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 沙棘+ 油松 | 4 | 80 | 159 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 沙棘 | 4 | 85 | 169. 4 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 沙棘 | 2 | 56 | 22. 6 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 沙棘+ 油松 | 2 | 63 | 44. 1 | [18] |
| 安塞 | 安塞水保站 | 1983~ 1989 | 沙棘 | 2 | 60 | 37. 2 | [18] |
| 安塞 | 中科院水保所 | 1983~ 1989 | 刺槐 | 4 | 60 | 110 | [18] |
| 吕二沟 | 天水水保站 | 1954~ 1989 | 刺槐 | 5 | 65 | 261 | [19] |
| 陕西 | 北京林业大学 | 2003 | / | / | / | 121. 2 | [10] |

mm, 土地利用以农为主, 口粮不能自给。主要生态环境问题为气候干旱, 多暴雨, 水土流失极为严重; 陡坡耕垦面积大、自然灾害频繁; 植被覆盖度低且生长不良, 草场退化严重^[10]。黄土丘陵沟壑区人工造林减水定额统计见表 1。

3.2 黄土高原沟壑区

本区包括陕西、甘肃两个省的 35 个县(市、旗), 总面积 $7.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中水蚀面积 $5.9 \times 10^4 \text{ km}^2$, 土壤侵蚀模数约 $4\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 人口密度 $130 \text{ 人}/\text{km}^2$ 。属暖温带半湿润区, 年降水量 510~ 580 mm。土地利用以农为主, 口粮 350~ 400 kg。主要生态环境问题为水土流失严重, 除天

表 2 黄土高原沟壑区人工造林减水定额统计表

Table 2 Water reduction norms by artificial afforestation in loess plateau and gully region

| 研究地点 | 研究单位 | 研究年份 | 树种 | 林龄 | 覆盖度 (%) | 减水定额 (m^3/hm^2) | 文献号 |
|------|--------|------------|--------|----|------------|--------------------------------------|-------|
| 西峰 | 西峰水保站 | 1980 | 刺槐 | 6 | 80 | 52. 11 | [20] |
| 南小河口 | 西峰水保站 | 1955~ 1974 | 刺槐× 山杏 | 10 | 85 | 46. 14 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1957 | 刺槐 | 15 | 86 | 92. 74 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1958 | 刺槐 | 16 | 86 | 24. 37 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1959 | 刺槐 | 17 | 88 | 15. 10 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1960 | 刺槐 | 17 | 85 | 52. 60 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1961 | 刺槐 | 15 | 87 | 52. 71 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1962 | 刺槐 | 16 | 86 | 13. 50 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1957 | 刺槐 | 15 | 86 | 93. 13 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1958 | 刺槐 | 16 | 86 | 66. 31 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1959 | 刺槐 | 17 | 88 | 30. 17 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1960 | 刺槐 | 17 | 85 | 128. 20 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1961 | 刺槐 | 15 | 87 | 88. 10 | [20] |
| 堡子沟 | 西峰水保站 | 1962 | 刺槐 | 16 | 86 | 48. 10 | [20] |
| 杨家沟 | 西峰水保站 | 1958 | 杏树 | 5 | 65 | 41. 94 | [20] |
| 杨家沟 | 西峰水保站 | 1959 | 杏树 | 7 | 70 | 27. 70 | [20] |
| 杨家沟 | 西峰水保站 | 1960 | 杏树 | 6 | 80 | 75. 60 | [20] |
| 杨家沟 | 西峰水保站 | 1961 | 杏树 | 6 | 81 | 35. 39 | [20] |
| 杨家沟 | 西峰水保站 | 1962 | 杏树 | 5 | 52 | 44. 60 | [20] |
| 永丰 | 西峰水保站 | 1980 | 刺槐 | 6 | 60 | 5. 51 | [20] |
| 宗旗 | 西峰水保站 | 1980 | 刺槐 | 6 | 60 | 105. 35 | [20] |
| 五家河 | 西峰水保站 | 1980 | 刺槐 | 6 | 60 | 123. 77 | [20] |
| 鸳鸯沟 | 西峰水保站 | 1980 | 刺槐 | 6 | 60 | 60. 50 | [20] |
| 淳化 | 淳化水保所 | 1993 | 刺槐 | 5 | 50 | 43. 90 | [21] |
| 淳化 | 淳化水保所 | 1993 | 刺槐 | 10 | 50 | 44. 70 | [21] |
| 淳化 | 淳化水保所 | 1993 | 紫穗槐 | 8 | 50 | 40. 80 | [21] |
| 西峰 | 西峰水保站 | 1994 | 杏树 | 25 | 50 | 59. 80 | [22] |
| 西峰 | 西峰水保站 | 1994 | 沙棘 | 9 | 90 | 68. 80 | [22] |
| 西峰 | 西峰水保站 | 1994 | 沙棘 | 11 | 80 | 68. 60 | [22] |
| 西峰 | 西峰水保站 | 1994 | 沙棘 | 11 | 82 | 71. 30 | [22] |
| 西峰 | 西峰水保站 | 1994 | 沙棘 | 11 | 85 | 78. 60 | [22] |
| 西峰 | 西峰水保站 | 1994 | 沙棘 | 7 | 45 | 74. 00 | [22] |
| 陕西 | 北京林业大学 | 1902~ 1903 | / | / | / | 81. 30 | [10] |

然次生林区外，一般植被覆盖度低；土地耕垦指数过高；水资源紧缺^[10]。黄土高塬沟壑区人工造林减水定额统计见表 2。

3.3 土石山区

本区包括陕西、宁夏、甘肃、内蒙古、河南 5 个省（区）的 22 个县（市、旗）。总面积 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，水蚀面积 $2.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占总土地面积的 47%，土壤侵蚀模数约 $3\,200 \text{ t/ (km}^2 \cdot \text{a)}$ ，人口

密度 460 人/km^2 。属温带半干旱—半湿润区，年降水量 $400 \sim 650 \text{ mm}$ 。土地利用以农林业为主，人均口粮 450 kg 。主要生态环境问题为水土流失严重；山区水资源匮乏，干旱威胁农业生产；山洪泥石流灾害频繁^[10]。土石山区不是黄河上中游水土流失治理的重点地区，人工造林减水定额研究较少，故借用国内同类地区的观测成果与相关文献。土石山区人工造林减水定额统计见表 3。

表 3 土石山区人工造林减水定额统计表
Table 3 Water reduction norms by artificial afforestation in earth-rocky mountainous region

| 研究地点 | 研究单位 | 研究年份 | 树种 | 林龄 | 覆盖度（%） | 减水定额 (m^3/hm^2) | 文献号 |
|------|---------|-----------|-----|----|--------|--------------------------------------|------|
| 郝家流域 | 辽宁朝阳水保站 | 1986—1991 | 刺槐 | 12 | 65 | 138.0 | [23] |
| 凌源 | 辽宁水保所 | 1996—1997 | 油松 | 9 | 70 | 263.0 | [24] |
| 凌源 | 辽宁水保所 | 1996—1997 | 山杏 | 20 | 70 | 350.0 | [24] |
| 密云 | 北京林业大学 | 1985—1995 | 油松 | 10 | 80 | 148.2 | [25] |
| 平顺 | 山西林科所 | 1994—1995 | 油松 | 32 | 60 | 33.7 | [26] |
| 平顺 | 山西林科所 | 1994—1995 | 虎榛子 | 6 | 80 | 96.4 | [26] |
| 平顺 | 山西林科所 | 1994—1995 | 黄刺玫 | 6 | 70 | 97.7 | [26] |
| 滦平 | 中科院水保所 | 1991—1994 | 刺槐 | 10 | 70 | 78.4 | [27] |
| 朝阳 | 辽宁水保所 | 1992—1993 | 沙棘 | 7 | 70 | 175.6 | [22] |
| 朝阳 | 辽宁水保所 | 1992—1993 | 油松 | 10 | 80 | 166.5 | [22] |
| 凌源 | 中科院地理所 | 1990—1993 | 红松 | 30 | 95 | 190 | [22] |
| 建昌 | 东北林业大学 | 1992—1993 | 落叶松 | 20 | 90 | 108.5 | [28] |
| 长治 | 山西林科所 | 1990—1993 | 虎榛子 | 10 | 95 | 427.1 | [28] |
| 密云 | 北京市水利局 | 1991—1992 | 刺槐 | 5 | 98 | 172.00 | [29] |
| 密云 | 北京市水利局 | 1991—1992 | 刺槐 | 8 | 98 | 193.00 | [29] |
| 密云 | 北京市水利局 | 1991—1992 | 油松 | 18 | 80 | 159.00 | [29] |
| 密云 | 北京市水利局 | 1991—1992 | 油松 | 22 | 87 | 168.00 | [29] |
| 密云 | 北京市水利局 | 1991—1992 | 油松 | 32 | 93 | 170.00 | [29] |
| 陕西 | 北京林业大学 | 2002—2003 | / | / | / | 73.5 | [10] |

3.4 河源区

本区包括甘肃、青海的 20 个县（市、旗），总面积 $16.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，其中水蚀面积 $3.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，土壤侵蚀模数约 $500 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ ，人口密度 9 人/km^2 。属高寒半干旱—高寒半湿润区，年降水量 $300 \sim 600 \text{ mm}$ 。土地利用以牧为主，人均口粮 150 kg 。主要生态环境问题为气候高寒；森林及草场退化，植被水土保持功能下降；风蚀、冻融侵蚀严重，土地沙化严重^[10]。河源区关于人工造林减水方面的研究成果与文献较少，且区内主要地质地貌类型与土石山区近似，故在计算人工造林减水量时

借用土石山区人工造林减水定额。

根据表 1、表 2 及表 3 的数据，采用算术平均方法求得各分区人工造林措施减水定额平均值见表 4。

表 4 各分区人工造林减水定额平均值表 (m^3/hm^2)

| Table 4 Average value of water reduction norms by artificial afforestation in regions (m^3/hm^2) | | | |
|--|-------------|-------------|--------|
| 项目 | 黄土丘陵 沟壑区 | 黄土高塬 沟壑区 | 土石山区 |
| 平均值 | 93.82 | 58.54 | 168.87 |
| 样本数 | 34 | 34 | 19 |
| 计精度（可靠性 90%） | 79.38% | 85.16% | 77.15% |

表 4 中, 人工造林减水定额平均值的估计精度(可靠性 90%) 表明, 各分区的减水定额平均值具有较高代表性, 可以作为计算人工造林减水量的依据。

4 分区人工林现状面积的确定

为了估算人工造林对河川年径流量的影响, 除了分区确定人工造林减水定额外, 合理地确定人工林累计保存面积是求算年径流减少量的重要依据。为此, 本研究采用国家林业局《2005 中国森林资源报告》(1999~ 2003) 公布的有关各省人工造林累计保存面积数据。由于该报告中无研究区内各县(市、旗) 的人工林累计保存面积, 故采用《2003 中国林业统计年鉴》公布的研究区内各县(市、旗) 2002 年人工造林面积, 运用加权系数的方法求得研究区内各县(市、旗) 2003 年的人工林累计保存面积。黄河上中游生态环境建设各分区中, 2003 年人工林累计保存面积的具体计算步骤如下:

1. 根据《2005 年中国森林资源报告》(1999~ 2003), 求得研究区各省人工造林累计保存面积, 见表 5。

表 5 2003 年研究区各省人工造林累计保存面积 (10⁴hm²)
Table 5 Artificial forest acreages of provinces in the research area in 2003 (10⁴ hm²)

| 省(区)名 | 人工林地面积 |
|-------|---------|
| 陕西 | 169. 21 |
| 甘肃 | 67. 21 |
| 宁夏 | 9. 81 |
| 青海 | 4. 36 |
| 内蒙古 | 241. 29 |
| 山西 | 99. 19 |
| 河南 | 161. 11 |
| 合计 | 752. 18 |

2. 根据《2003 年中国林业统计年鉴》, 求得研究区内各县(市、旗) 2002 年人工造林面积占所属省份人工造林面积的百分率, 作为加权系数(限于篇幅, 各县(市、旗) 加权系数表略)。

3. 根据表 5 及研究区内各县(市、旗) 人工造林面积加权系数, 求得 2003 年各县(市、旗) 人工造林累计保存面积。

4. 根据 2003 年研究区内各县(市、旗) 人工

造林累计保存面积, 求得黄河上中游各分区人工造林累计保存面积如表 6 所示。

5 全区人工造林减水量计算

全区人工造林减水量计算结果见表 7。

表 6 2003 年黄河上中游各分区人工林累计保存面积 (10⁴hm²)
Table 6 Artificial forest acreages of regions of upper and middle reaches in Yellow River in 2003 (10⁴hm²)

| 分区号 | 人工林地面积 |
|---------|---------|
| 黄土丘陵沟壑区 | 119. 10 |
| 黄土高塬沟壑区 | 45. 29 |
| 土石山区 | 34. 08 |
| 河源区 | 2. 56 |
| 合计 | 201. 03 |

表 7 全区人工造林减水量计算表
Table 7 Water reduction amounts of artificial afforestation of regions

| 分区号 | 减水定额 (m ³ /hm ²) | 人工林地面积 (10 ⁴ hm ²) | 减水量 (10 ⁴ m ³) |
|---------|--|--|--|
| 黄土丘陵沟壑区 | 93. 82 | 119. 10 | 11173. 96 |
| 黄土高塬沟壑区 | 58. 54 | 45. 29 | 2651. 28 |
| 土石山区 | 168. 87 | 34. 08 | 5755. 09 |
| 河源区 | 168. 87 | 2. 56 | 432. 31 |
| 合计 | / | 201. 03 | 20012. 64 |

6 结论与建议

1. 近半个世纪以来, 黄河流域年径流量逐渐减少, 20 世纪 90 年代的年平均径流深(36. 7 mm) 仅为 50 年代(66. 4 mm) 的 55%^[2]。年径流量大幅度减少是黄河流域水土资源可持续利用及经济社会可持续发展的重要限制因素。作为水土保持重要措施的人工造林在保护与改善流域生态环境, 减少入黄泥沙的同时, 由于改变流域下垫面, 也是导致黄河流域年径流量减少的重要原因。

2. 1988 年以来, 国家有关部委组织专家对黄河流域水沙变化规律进行了全面的、深入的研究。一般认为水土保持减水量为 13~ 21×10⁸ m³, 其中人工造林减水 4~ 6×10⁸ m³^[6]。但由于人工造林减水定额及人工林地累计面积研究方法不统一, 造成计算结果相差悬殊, 决策部门很难定量确定因人工造林减少的河川年径流量。

3. 本研究在黄河上中游生态环境建设分区的

基础上, 根据 20 世纪 50 年代以来黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、土石山区人工造林径流小区减水作用观测成果, 推求了三个区的人工造林减水定额分别为 $93.82 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $58.54 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $168.87 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 为分区推求黄河上中游人工造林减水量提供了重要依据。

4. 客观地确定人工林累计保存面积是推求人工林减水总量的另一重要依据, 也是众多学者曾经参与研究的课题。本研究根据《2003 中国林业统计年鉴》及最新公布的《2005 中国森林资源报告 (1999~ 2003)》, 采用加权系数的方法求算了研究区内各县人工林地截止 2003 年累计面积, 按县叠加求得各分区人工造林累计面积。黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、土石山区及河源区的人工林累计面积分别为 $119.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、 $45.29 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、 $34.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 及 $2.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。合计 $201.03 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

5. 根据分区人工造林减水定额及人工林累计保存面积, 求得黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、土石山区、河源区的人工造林减水量分别为 $11\,173.96 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $2\,651.28 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $5\,755.09 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $432.31 \times 10^4 \text{ m}^3$, 合计 $20\,012.64 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该数据可作为水资源规划部门估计平水年人工造林减水作用的依据。

6. 应当指出, 与流域对比法相比, 径流小区法所求得的人工造林减水定额偏大, 因为部分渗入土壤中的雨水可能回归到河川之中。建议加强各分区对比流域人工林减水定额的观测, 解决径流小区观测成果的尺度转化问题。

7. 随着生态环境建设规划的实施, 黄河流域人工造林面积将不断扩大, 人工林减水总量必将增加。建议在预测各分区及全流域人工林 2010、2020、2030 各年人工林面积时, 采用国家林业局公布的《全国森林资源统计 (1994~ 1998)》及《2005 中国森林资源报告 (1999~ 2003)》中的数据, 推求分区及全流域人工林面积年增长率, 并以此预测未来各时段人工林的累计保存面积。

8. 人工造林改变流域下垫面, 从而减少河川年径流量, 但其占用的水量主要是汛期的洪水, 对减轻下游洪灾具有重要意义。另外, 人工造林减少了坡面径流量, 从而减轻了坡面及沟道侵蚀。人工造林拦蓄的地表径流转化为土壤水, 可改善农林业生产条件。因此, 应当全面认识森林植被建设在保

护与改善生态环境中的重要意义。

参考文献 (References):

- [1] Qian Zhengying, Zhang Guangdou. China Report Proceedings of Sustainable Development Water Resources Strategy Research• Vol. 1 [M]. Beijing: China Waterpower Press, 2001. 40~ 41. [钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究报告集• 第 1 卷 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 40~ 41.]
- [2] Liu Changming. Study of some problems in water cycle changes of the Yellow River basin [J]. *Advances in Water Science*, 2004, **15** (5): 608~ 609. [刘昌明. 黄河流域水循环演变若干问题的研究 [J]. 水科学进展, 2004, **15** (5): 608~ 609.]
- [3] Zhao Xuehua, Huang Qiang. Analysis on influencing factors of runoff changes in upper reaches of Yellow River [J]. *Advances in Natural Science*, 2004, **14** (6): 703~ 704. [赵雪花, 黄强. 黄河上游径流变化的影响因素分析研究 [J]. 自然科学进展, 2004, **14** (6): 703~ 704.]
- [4] Li Wenhua, He Yongtao, Yang Liyun. Summary and perspective of forest vegetation impacts on water yield [J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, **16** (5): 402~ 403. [李文华, 何永涛, 杨丽韞. 森林对径流影响研究的回顾与展望 [J]. 自然资源学报, 2001, **16** (5): 402~ 403.]
- [5] Xu Jianhua, Niu Yuguang. Research on Impacts of Water Conservancy and Soil and Water Conservational Projects on Runoff Sandiment in the Coarse Sand Area of Middle Reaches in Yellow River [M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2000. 175. [徐建华, 牛玉国. 水利水电工程对黄河中游多沙粗沙区径流泥沙影响研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000. 144~ 175.]
- [6] Ran Dachuan, Liu Linwang, Zhao Liyi, et al. Soil and Water Conservation and Changes of Runoff and Sandiment From Hekou to Longmen in Middle Reaches of Yellow River [M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2000. 68. [冉大川, 柳林旺, 赵力仪, 等. 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000. 68.]
- [7] Xu Jianhua, Li Xuemei. Macro analysis on water consumption amount for soil and water conservation in Loess Plateau [J]. *Yellow River*, 2003, **25** (10): 21~ 22. [徐建华, 李雪梅. 黄土高原水土保持生态建设耗水量宏观分析 [J]. 人民黄河, 2003, **25** (10): 21~ 22.]
- [8] State Forestry Administration, China Forestry Statistic Yearbook in 2003 [M]. Beijing: China Forestry Publishing Press, 2004. 551~ 612. [国家林业局, 《2003 中国林业统计年鉴》 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2004. 551~ 612.]
- [9] State Forestry Administration, China Forest Resources Report in 2005 [M]. Beijing: China Forestry Publishing Press, 2005. 39~ 40. [国家林业局, 《2005 年中国森林资源报告》 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005. 39~ 40.]
- [10] Liu Changming, Wang Lixian, Xia Jun. Research of Water Resources Allocation for Environment Conservation and Sustainable

- Development Strategy • Vol. Ecological environment [M]. Beijing: Science Press, 2004. 253~ 287. [刘昌明, 王礼先, 夏军. 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 生态环境卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2004. 253~ 287.]
- [11] Fourth Tackling Key Problem Group of Scientific Research Funds for Soil and Water Conservation in Yellow River Basin. Reduction Benefits and Variation Tendency of Water and Sediment in the Coarse Sand Area of Middle Reaches in Yellow River [R]. 1993. 21~ 23. [黄河流域水土保持科研基金第四攻关课题组. 黄河中游多沙粗沙区水土保持减水减沙效益及水沙变化趋势研究报告 [R]. 1993. 21~ 23.]
- [12] Suide Experimental Station for Soil and Water conservation, YR-CC. Achievement Collection of Soil and Water Conservation Experiment Research [R]. 1991: 314~ 343. [黄河水利委员会绥德水土保持科学试验站. 水土保持试验研究成果汇编 [R]. 1991. 314~ 343]
- [13] Hou Xilu, Bai Gangshuan, Cao Qingyu. Study on Benefits of Soil and Water Conservation of Forest and Its Mechanism in Loess Hilly Region [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1996, 3 (2): 98~ 103. [侯喜禄, 白岗栓, 曹清玉. 黄土丘陵区森林保持水土效益及其机理的研究 [J]. 水土保持研究, 1996, 3 (2): 98~ 103.]
- [14] Hou Xilu, Cao Qingyu, Bai Gangshuan. Study on Benefits of Soil and Water Conservation of Different Forest Types in the Loess Region of Northern Shaanxi [J]. *Jurnal of Northwest Forestry College*, 1994, 9 (2): 20~ 24. [侯喜禄, 曹清玉, 白岗栓. 陕北黄土区不同森林类型水土保持效益的研究 [J]. 西北林学院学报, 1994, 9 (2): 20~ 24.]
- [15] Wu Qinxiao, Zhao Hongyan, Wang Youke. Flow Production and Sediment Production and their Processes in Chinese Pine Woodlands in the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18 (2): 151~ 157. [吴钦孝, 赵鸿雁, 汪有科. 黄土高原油松林地产流产沙及其过程研究 [J]. 生态学报, 1998, 18 (2): 151~ 157.]
- [16] Jiao Juying, Wang Wanzhong, Li Jin, *et al.* The Soil erosion Reducing Benefit of Soil and Water Conservation of Plantation on the Loess Hilly and Gully Region [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38 (5): 87~ 95. [焦菊英, 王万忠, 李靖等. 黄土丘陵沟壑区水土保持人工林减蚀效应研究 [J]. 林业科学, 2002, 38 (5): 87~ 95.]
- [17] Zhang Shengli, Yu Yiming, Yao Wenyi. Method of Water and Sand Reduction Benefits for Soil and Water Conservation [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1994. 112~ 115. [张胜利, 于一鸣, 姚文艺. 水土保持减水减沙效益计算方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 112~ 115.]
- [18] Jiang Dingsheng, *et al.* Soil Erosion and Control Models in the Loess Plateau [M]. Beijing: China Waterpower Press, 1997. 392~ 395. [蒋定生等. 黄土高原水土流失与治理模式 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 392~ 395.]
- [19] Tianshui Science Experiment Station of Yellow River Conservancy Commission. Research on Rules and Prototype Observation of Soil Erosion and Water Loss in Third Sub Area of Loess Hilly Region [M]. Henan: Yellow River Water Conservancy Press, 2004. 125~ 128, 289. [黄河水利委员会天水水土保持科学实验站. 黄土丘陵沟壑第三副区水土流失原型观测及规律研究 [M]. 河南: 黄河水利出版社, 2004. 125~ 128.]
- [20] Xifeng Experimental Station for Soil and Water conservation, YR-CC. Achievement Collection of Soil and Water Conservation Experiment Research (1952~ 1980) [R]. 1982: 58, 178~ 234. [黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站. 水土保持试验研究成果汇编 (1952~ 1980). 1982: 58, 178~ 234.]
- [21] Wang Youmin, Liu Bingzheng, *et al.* Ecological Characteristics of Protection Forest in the Loess Plateau [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1994. 245~ 253 [王佑民, 刘秉正, 等. 黄土高原防护林生态特征 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 245~ 253.]
- [22] Chinese Society of Soil and Water Conservation. Sustainable Development of Soil and Water Conservation-Proceedings of 3rd National Seminar of Soil and Water Conservation [C]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995. 131~ 134, 340~ 346. [中国水土保持学会. 水土保持持续发展—第三次全国水土保持学术讨论会论文集 [C]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 131~ 134, 340~ 346.]
- [23] Wang Wensheng, Li Hongyue. Benefits Analysis of Soil and Water Comprehensive management in Haojia Watershed [J]. *Soil and Water Conservation of China*, 1998, 9: 37~ 39. [王文生, 李红月. 郝家流域水土保持治理措施效益分析 [J]. 中国水土保持, 1998, 9: 37~ 39.]
- [24] Jia Tianhui, Liu Shimin, Zhang Guochen. Eco-benefits of Soil and Water Conservation Forest in Semiarid Area of West Liaoning [J]. *Journal of Liaoning Forestry Science and Technology*, 1994, 1: 26~ 30. [贾天会, 刘士民, 张国臣. 辽西半干旱地区水土保持林生态效益的研究 [J]. 辽宁林业科技, 1994, 1: 26~ 30.]
- [25] Feng Xiukun, Zhang Hongjiang, Wang Lixian. Quantitative Evaluation of Effects of Water Conservation Forest on Conserving Soil and Water in the Upper Stream of Miyun Reservoir [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, 20 (6): 71~ 78. [冯秀兰, 张洪江, 王礼先. 密云水库上游水源保护林水土保持效益的定量研究 [J]. 北京林业大学学报, 1998, 20 (6): 71~ 78.]
- [26] Shi Minhua, Wang Di, Li Renmin. Function of soil and water conservation of mountainous vegetation after closing hillside in limestone area [J]. *Shanxi Forestry Science and Technology*, 1994, 3: 11~ 14. [史敏华, 王棣, 李任敏. 石灰岩区封山后山地植被水土保持功能的研究. 山西林业科技, 1994, 3: 11~ 14.]
- [27] Xie Yongsheng, Wang Hengjun, LV Huiming. Analysis on the Comprehensive Controlling of Soil and Water Loss and the Benefit of Reduce Silt in Luanping Experiment Region [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1996, 3 (4): 129~ 134. [谢永生, 王恒俊, 吕惠明. 滦平试区水土流失综合治理及减沙效益分析 [J]. 水土保持研究, 1996, 3 (4): 129~ 134.]

[28] Forestry Hydrology and Watershed Management Standing Committee, Chinese Society of Forestry. Proceedings of National Forestry Hydrology Seminar [C]. Beijing: Mapping Publishing House, 1989. 84~ 133. [中国林学会森林水文与流域治理专业委员会. 全国森林水文学术讨论会文集 [C]. 北京: 测绘

出版社, 1989. 84~ 133.]

[29] Yu Zhimin, Wang Lixian. Study on Benefits of Water Conservation Forest [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999. 246~ 251 [于志民, 王礼先. 水源涵养林效益研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1999. 246~ 251.]

Influences of Artificial Afforestation on Annual Runoff Amount in Upper and Middle Reaches of Yellow River

CHANG Dandong, WANG Lixian

(College of Soil and Water Conservation of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Annual runoff amount of river basin is a significant basis for water resources evaluation and its allocation in reason, while the water reduction function of artificial afforestation is a foundation of estimating influences of soil and water conservation on annual runoff amount. On the basis of comprehensive analysis on present achievements of water reduction by artificial afforestation and environment conservation regionalization of upper and middle reaches in Yellow River, water reduction norms of artificial afforestation of regions are calculated, which are $93.82 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ in loess hilly region, $58.54 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ in Loess Plateau and hilly region and $168.87 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ in earth-rocky mountainous region respectively. Combining with 《China Forestry Statistic Yearbook in 2003》 and 《China Forest Resources Report in 2005》, accumulative total area of artificial afforestation of regions are calculated by the end of 2003, which are $119.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ in loess hilly region, $45.29 \times 10^4 \text{ hm}^2$ in Loess Plateau and hilly region, $34.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$ in earth-rocky mountainous region and $2.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$ in river resource region. Water reduction amounts by artificial afforestation of regions are calculated, which are $11173.96 \times 10^4 \text{ m}^3$ in loess hilly region, $2651.28 \times 10^4 \text{ m}^3$ in loess plateau and hilly region, $5755.09 \times 10^4 \text{ m}^3$ in earth-rocky mountainous region and $432.31 \times 10^4 \text{ m}^3$ in river resource region and that of the whole river basin is $20012.64 \times 10^4 \text{ m}^3$.

Key words: upper and middle reaches of Yellow River; artificial afforestation; environment conservation regionalization; water reduction norm; water reduction amount