

潮河流域不同水土保持措施配置方案对年径流量的影响

李子君

(山东师范大学 人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014)

摘要:结合潮河流域2005年的水土流失状况,基于水土保持的生态、经济、社会三大目标以及保证粮食生产区域自给和增加植被覆盖率两项原则,建立了粮食保障方案、生态优先方案、综合水保方案3种水土保持措施配置方案。基于不同降水水平年潮河流域水平梯田和林地的减水定额,模拟分析了不同水土保持措施配置方案下流域年径流量的变化。结果表明,若流域水土流失面积全部造林,丰、平、枯水平年减水量分别占流域多年平均径流量的8.27%、8.28%和11.13%,对流域年径流量的影响程度较大;若按综合水保方案,丰、平、枯水平年减水量分别占流域多年平均径流量的11.42%、8.38%和13.21%,对流域年径流量的影响程度最大;粮食保障方案下,丰、平、枯水平年减水量分别占流域多年平均径流量的7.59%、6.03%及9.11%,对流域年径流量的影响程度较小。

关键词:水土保持措施;配置方案;年径流量;潮河流域

文献标识码:A

文章编号:1000-288X(2010)01-0108-05

中图分类号:S157.2

Impacts of Different Allocation Plans as Soil and Water Conservation Measures on Annual Runoff in the Chaohe River Basin

LI Zi-jun

(College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan, Shandong 250014, China)

Abstract: By considering the three objectives of ecology, economy, and society in soil and water conservation, the two principles of guaranteeing regional grain self-sufficiency and increasing vegetation coverage, as well as the current status of soil and water loss in the Chaohe River basin in 2005, the three allocation plans of food grain security plan, eco-priority plan, and comprehensive plan are established, as soil and water conservation measures. Impacts of the three allocation plans for soil and water conservation on annual runoff of the Chaohe River are simulated and analyzed based on the water reduction norm of level terraces and forestlands under different precipitation schedules. Results show that if all the soil erosion areas are converted to artificial woodland, the impact to annual runoff reduction is greater, with the reductions in wet year, normal year, and dry year being 8.27%, 8.28%, and 11.13% of the annual average runoff, respectively. Adopting comprehensive allocation plan may affect annual runoff greatly and the reductions in wet year, normal year, and dry year are 11.42%, 8.38%, and 13.21% of the annual average runoff, respectively. The impact of grain security allocation plan on annual runoff reduction is littler and the reductions are 7.59%, 6.03%, and 9.11% of the mean annual runoff during wet year, normal year, and dry year, respectively.

Keywords: soil and water conservation measure; allocation plan; annual runoff; Chaohe River basin

水土保持是我国生态建设的主体工程,是可持续发展战略的重要组成部分^[1],在减轻区域土壤侵蚀,改善农业生产条件,减轻下游水沙灾害等方面发挥了显著的生态、经济及社会效益^[2]。然而,水土保持生态建设对流域年径流量的变化有着直接或间接的影响。水土保持措施可对流域内的径流进行直接拦蓄从而影响流域径流量;使流域土地覆被发生一定的变化,从而改变了径流产生与汇集的下垫面条件,间接

影响流域径流量;林草植被蒸散发也需要消耗部分水量。这些必然在一定程度上影响流域的总产水量,从而也影响了进入河川的总径流量^[3-4]。由于影响因素、物质形态和径流调控机理不同,水土保持各类措施对流域的产水量具有不同的影响。对于同一个水土流失类型区,如果治理度相同,而不同措施的配置比例不同,其综合治理的水文水资源效应可能会有很大的差异^[5-6]。因此,流域不同水土保持治理措施类

型的配置方案对河川径流量的影响程度也是不同的。流域下游一般都是城市密集区,是区域社会经济发展的重点地区,也是需要水资源保证的重点地区。流域内的社会经济发展与生态建设对水资源的依赖性也非常大。在水土保持生态建设中,根据当地水土流失、社会经济发展水平等现实状况,优化水土保持措施类型配置方案,实施节水型水土保持,这是当前解决流域生态建设与下游水资源供给矛盾的一条重要途径。

潮河流域是北京市主要地表水水源地——密云水库的集水流域。20世纪80年代以来,国家和地方政府为防治水土流失,保护密云水库的水质,在潮河流域开展了大规模的水土保持生态建设^[7-8]。这些水土保持措施在减少流域土壤侵蚀的同时^[7],对入库水量也会产生一定的影响^[8]。随着近年来密云水库入库径流量的急剧减少,以及北京市水资源供需矛盾的加剧^[8-9],准确评估各种水土保持措施的水资源效应,预测不同水土保持措施配置方案下流域年径流量的变化情况,优选水土保持措施配置方案,可为调整流域生态建设策略和统筹协调上游生态建设与下游地区水资源供给矛盾提供科学依据。

1 研究区概况

潮河是海河水系的重要支流,发源于河北省丰宁县黄旗镇北部,流经丰宁县中部、滦平县西部,于密云县的古北口镇入密云县界,在下游附近注入密云水库。流域总面积4 875.25 km²,占整个密云水库以上集水流域面积的31%。流域气候类型属于中温带向暖温带过渡,半干旱向半湿润过渡的大陆性季风气候,多年平均降水量约494 mm,汛期(6—9月)降水量约占年降水量的80%。土壤类型以棕壤和褐土为主,占总面积的80%以上。植被类型丰富,以针阔叶混交林为主,林草覆盖度达40%^[10-11]。流域沟壑纵横,地表破碎,山地面积占总面积的80%。水土流失类型主要为水力侵蚀,至2005年,流域内还有水土流失面积2 261.5 km²。水土保持措施主要以造林为主,水平梯田较少。流域经济发展水平较低,丰宁县和滦平县目前仍是国家级贫困县,是典型的农业县。2005年,流域农业人口占总人口的76.3%,耕地面积占土地总面积的5.65%,坡耕地面积占耕地总面积的48.7%,人均耕地面积0.084 hm²,人地矛盾尖锐。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

潮河流域内坡面径流小区1981—1995年观测资

料来源于河北省承德市水土保持科学研究所1998年前后对冀北山地内的坡面径流小区的原始观测资料进行的整编资料;全流域1961—2005年的年降水量数据是根据流域内14个雨量站的年降水量观测资料采用泰森多边形方法^[12]求得的平均年降水量;流域径流量资料来自流域出口控制站下会站1961—2005年年流量观测资料。

2.2 研究方法

结合潮河流域坡面水土保持措施布设的实际情况,在综合考虑坡面径流小区观测内容与观测系列、观测数据的合理性与可靠性的基础上,选取河北省承德市五道沟径流场作为代表小区,措施区与对照区系列采用水平梯田—坡耕地,人工林地—荒草坡对比系列。坡耕地对照区和水平梯田措施区各选择1个,坡度为18°11′,坡长20 m,坡宽5 m,种植玉米,覆盖度为40%;选择荒草坡对照区1个,荒草覆盖度为45%,林地措施区6个,主要种植杨树、刺槐、山杏、黑松、油松、落叶松,林地植被覆盖度或郁闭度在35%左右,各个小区坡度为29°37′,坡长10 m,坡宽5 m。

对潮河流域降水年系列(1961—2005年)按降水保证率 $P < 25\%$ 为丰水年, $P > 75\%$ 为枯水年, $25\% < P < 75\%$ 为平水年^[12]划分降水水平年,然后将小区观测系列(1981—1995年)定位于流域年系列中,以改善坡面径流小区观测系列和流域计算水土保持措施减水量的年系列的水文周期性影响的时段差异。基于坡面径流小区试验资料,本研究首先对小区各项水土保持措施(林地和水平梯田)在不同降水水平年的减水定额进行了计算。

由于坡面径流小区与流域尺度不同,因此由小尺度的坡面径流小区试验观测数据得到的水土保持坡面措施的减水定额不能直接用于较大尺度的潮河流域的水土保持措施减水量的估算。汛期降雨量是潮河流域地表径流量的主要来源,也是影响水土保持措施减水量的主要因素。通过分析坡面径流小区与流域的汛期降雨量的统计规律与特性,用流域多年平均汛期降雨量和小区观测系列平均汛期降雨量的比值对小区各项水土保持措施减水定额进行修正后,获取不同降水水平年流域林地和水平梯田的减水定额。

在上述工作基础上,结合流域2005年的水土流失状况,建立不同水土保持措施配置方案,预测不同水土保持措施配置方案下流域年径流量的变化情况,为流域综合治理提供政策启示。

不同降水水平年流域水土保持措施减水量可由以下公式得到:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \cdot F_i \quad (1)$$

$$R_i = R_i \cdot \quad (2)$$

式中: R ——不同降水水平年流域水土保持措施减水量(m^3); R_i ——不同降水水平年流域单项水土保持措施减水定额(m^3/hm^2); i ——水土保持措施的种类, $i=1, 2, \dots, n$; F_i ——单项水土保持措施的面积(hm^2); R_i ——不同降水水平年坡面径流小区单项水土保持措施减水定额(m^3/hm^2); ——点面修正系数,取 1.40。

3 研究结果与分析

3.1 不同降水水平年各项水土保持措施的减水定额

将各丰水年、平水年和枯水年份水平梯田和人工林地小区的年径流模数分别与相应年份坡耕地和荒草坡小区的年径流模数进行比较,再按不同降水水平年分别取平均值,即可得到不同降水水平年份水平梯田和人工林地的减水定额(表 1)。

表 1 潮河流域不同降水水平年水平梯田和林地的减水定额

措施	丰水年减水定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	平水年减水定 额/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	枯水年减水定 额/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
水平梯田	480.52	237.03	474.35
人工林地	71.05	71.11	95.58

对 1981—1995 年五道沟径流场汛期降雨量和潮河流域汛期降雨量的关系进行分析,结果发现二者相关性较好(相关系数为 0.709 6)。用流域 1981—1995 年平均汛期降雨量和小区观测系列平均汛期降雨量的比值(为 1.40)对小区的水保措施减水定额进行修正后作为流域水保措施的减水定额(表 2)。

表 2 潮河流域不同降水水平年水平梯田和林地减水定额

措施	丰水年减水定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	平水年减水定 额/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	枯水年减水定 额/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
水平梯田	672.73	331.84	664.09
人工林地	99.47	99.55	133.82

3.2 不同水土保持措施配置方案的建立

3.2.1 建立不同水土保持措施配置方案的原则 水土保持的目标主要是减少水土流失,保护水土资源。但随着社会发展,科技进步以及思想观念的变化,水土保持的概念也被赋予了新的内涵。现阶段的水土保持已成为综合性的治理工程,治理目标也更加多样化,涵盖生态、经济和社会 3 大目标。对于特定区域的水土流失治理,3 个目标在效益上往往是相互矛盾的。如果要提高林草覆盖率,保证较高的生态效益,势必要影响到粮食生产和经济收入目标,降低这两项

目标中的一项或两项。如果大幅度提高粮食产量,那么用于发展经济林和生态林的土地面积就要相应减少,也会影响生态效益和经济效益。而如果要提高经济目标,生态目标和粮食生产目标则都有可能减少。因此,在做水土保持规划时,必须结合区域实际情况,依据一定的原则科学设计水土保持措施配置方案。

首先,水土保持措施配置必须保证农民的粮食安全。这与我国目前土地必须同时承担经济和社会保障两项功能是相符的。本文的研究区域——潮河流域,是一个人多地少,土地生产力低下,经济落后的区域。2005 年流域坡耕地面积占耕地总面积的 48.7%,很大一部分粮食来源于坡耕地。坡耕地不仅是水土流失发生地,也是河川泥沙的主要来源区,水土流失治理就必须对坡耕地进行改造,而坡耕地改造有坡改梯和退耕还林还草两种途径。对贫困山区来说,退耕还林还草意味着粮食生产的减少。为了保证粮食安全,流域内的坡耕地就不能完全退耕,必须将一定数量的坡耕地改造为水平梯田作为基本农田。

其次,水土保持措施配置必须安排适当比重的植物措施。植被覆盖度大小是决定水土流失强弱的主要因素之一,植被覆盖度增加可以有效地保护水土资源,同时减少输入下游河道的泥沙与面源污染物,也有利于减缓洪涝灾害,维持生态安全。

近年来我国的水土保持策略中已将开发寓于治理之中,水土流失治理过程中不仅考虑到水土保持措施保水保土的生态功能,更考虑到这些措施应给当地农民带来经济效益。不同的水土保持措施具有不同的经济效益,生态林、经济林以及坡改梯等都有直接的经济收益。但生态林的主导功能是维持生态,坡改梯的目的是保证粮食安全,二者经济效益有限,较大幅度提高经济收益还需依靠经济林。本文中论述的水土流失治理措施主要有工程措施中的坡改梯和植物措施中的造林(生态林、经济林)和自然封禁。受数据来源的限制,造林措施中没有具体区分经济林和生态林及其所占比例。因此水土保持措施配置方案的设计中,无法考虑增加农民经济收益这一原则。

3.2.2 不同水土保持措施配置方案 设定流域内所有水土流失面积皆得到治理,依据粮食生产区域自给和增加植被覆盖率这两项原则,设计了两种水土保持措施配置方案,即粮食保障方案和生态优先方案。

为了便于对比分析,将“综合水保方案”,即根据这个地区水土流失治理方案中通常采用的各种措施的搭配比例来设计未来水土保持措施配置方案,作为第 3 种方案。粮食保障方案在水土保持措施配置的设计过程中首先考虑农民的粮食安全问题,即首先保

证一定规模的坡改梯措施,然后再考虑其它生态恢复方面的措施。生态优先方案在生态、粮食保障两者中首先考虑生态目标,所有水土流失面积治理中将生态措施作为首选措施,即现有坡耕地以退耕还林为主,荒山荒坡也以生态恢复为主,其它措施都处于次要地位。

(1) 粮食保障方案(P_1)。2005 年流域耕地面积为 27 055.2 hm^2 ,其中坡耕地面积 13 164.5 hm^2 ,占耕地面积的 48.7%。根据对流域 1996—2005 年粮食产量、

播种面积、人口数的统计,粮食产量只有 3 105 kg/hm^2 ,人均粮食产量 280 kg 左右。按小康水平的下限人均粮食 400 kg 计算,粮食缺口为 120 $\text{kg}/\text{人}$,必须人均 0.082 hm^2 以上的基本农田才能保证粮食的基本需求。根据人均占有基本农田的数量、基本农田粮食产量、粮食安全状态下的人均粮食占有量等指标,计算出人均增加基本农田的数量,在此基础上进一步计算出全区坡改梯的规模。为了保障农民的粮食安全,全区需要通过坡改梯增加基本农田 12 480.67 hm^2 (表 3)。

表 3 潮河流域坡改梯、生态林面积

耕地面积/ hm^2	人口/ 10^4 人	人均耕地 ($\text{hm}^2/\text{人}$)		基本农田定额 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	农田缺额 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	坡改梯面积/ hm^2	生态林面积/ hm^2
		耕地	基本农田				
27 055.20	32.28	0.084	0.043	0.082	0.039	12 480.67	123 209.33

粮食保障方案设计时首先考虑的是粮食安全,其次是生态安全。由于流域内水土流失面积较大,治理任务重,再加上水保资金有限,近期大面积全部造林进行水土流失治理是不太现实的,部分可实行自然封禁。潮河流域属于中温带向暖温带过渡的区域,年均降水量 500 mm 左右,自然植被以针阔叶混交林为主。从理论上说,该区域除少数裸岩区外,其它地区只要实施自然封禁,都能够恢复良好的植被覆盖,起到保护水土的作用。虽然自然封禁成本较低,但由于流域内人均土地有限,土地压力大,也不可能实施大范围的自然封禁。根据对流域土地利用结构的分析,荒山荒坡和难利用地的土地面积大约占到土地总面积的 20% 左右,这部分面积可实行自然封禁。考虑到水保资金的限制,也可以将少部分灌木林和疏林地实行自然封禁。根据专家经验,该流域自然封禁的面积以不超过水土流失面积的 40% 为宜,生态林的建设规模为流域水土流失面积除去坡改梯面积和自然封禁面积的剩余部分。2005 年流域内尚有 123 209.33 hm^2 作为生态林建设面积(表 3)。

由于没有考虑到从水土保持工程中大幅增加经济收入,因而也就没有考虑发展经济林。

(2) 生态优先方案(P_2)。生态优先方案中未考虑到粮食安全保障,更多的是考虑生态安全,因此方案的措施配置中未将坡改梯措施列入必要措施,只考虑生态修复措施。不考虑水土保持成本,只考虑最大程度地增加植被覆盖度,全部进行造林(不区分生态林和经济林)。生态修复的规模即为流域内需要治理的水土流失面积,为 226 150 hm^2 。

(3) 综合水保方案(P_3)。对流域内 2001—2005

年实施的“21 世纪初期首都水资源可持续利用规划”项目中各项水土保持措施的配置比例进行统计,水平梯田、造林、封育治理面积分别占水土流失治理面积的 11%、65% 和 24%。按照此比例设计流域内需进行水土流失治理的面积中各项措施的配置方案,即流域内需要治理的水土流失面积 226 150 hm^2 中,坡改梯面积为 24 332.34 hm^2 ,造林 147 763.36 hm^2 ,自然封禁 54 054.30 hm^2 。

3.3 不同降水水平年流域不同水土保持措施配置方案的减水量

根据上述建立的 3 种水土保持措施配置方案,结合不同降水水平年潮河流域水平梯田和林地的减水定额,得到各方案在丰水年、平水年、枯水年的减水量与目前实际水土保持状况下的减水量的差值,以及该差值占流域多年平均实测径流量(以潮河流域入密云水库控制站下会站 1961—2005 年的逐年实测径流量作为流域年径流量,流域多年平均年径流量为 $2.72 \times 10^8 \text{ m}^3$)的比例,以说明不同水土保持措施配置方案对流域年径流量的影响。计算结果见表 4。

由表 4 可见,不同的水土保持措施配置方案在不同的降水水平年对流域年径流量的影响是不一样的。

粮食保障方案(P_1)下,与目前实际水土保持状况相比,丰、平、枯水平年减水量分别增加了 2.1×10^7 , 1.6×10^7 和 $2.5 \times 10^7 \text{ m}^3$,分别占流域多年平均径流量的 7.59%、6.03% 及 9.11%。

生态优先方案(P_2)下,与实际状况相比,丰、平、枯水平年减水量分别增加了 2.2×10^7 , 2.3×10^7 , $3.0 \times 10^7 \text{ m}^3$,分别占流域多年平均径流量的 8.27%、8.28% 和 11.13%。

表 4 不同降水水平年潮河流域不同水土保持措施配置方案的减水量

情景	丰水年		平水年		枯水年	
	减水量/ 10^8 m^3	占流域多年平均 径流量的比例/ %	减水量/ 10^8 m^3	占流域多年平均 径流量的比例/ %	减水量/ 10^8 m^3	占流域多年平均 径流量的比例/ %
P_1	0.21	7.59	0.16	6.03	0.25	9.11
P_2	0.22	8.27	0.23	8.28	0.30	11.13
P_3	0.31	11.42	0.23	8.38	0.36	13.21

综合水保方案下 (P_3) 下,与实际状况相比,丰、平、枯水平年减水量分别增加了 3.1×10^7 , 2.3×10^7 , $3.6 \times 10^7 \text{ m}^3$, 分别占流域多年平均径流量的 11.42%, 8.38% 和 13.21%。

上述几种方案中,枯水年的减水量最大,约为 9%~13%;丰水年的减水量次之,约为 8%~11%;平水年的减水量最小,约为 6%~8%。

4 结论

根据潮河流域不同水土保持措施配置方案对年径流量影响程度的模拟结果,得出如下结论。

(1) 潮河流域水土保持生态建设会使年径流量有所减少,在一定程度上影响了密云水库入库水量的多少,从而会减少北京市的一部分供水量。即使流域内所有水土流失面积皆得到治理,在所有方案中,新增水土保持措施的减水量占流域多年平均径流量的比例最大为 13.21% (枯水年),最小为 6.03% (平水年)。

(2) 在所有水土保持措施配置方案中,全部造林方案虽然能大幅度提高流域的植被覆盖度,但对流域径流量的影响程度也较大,不是一种理想的节水型的水土保持方案。再加上投入大,产出小,仅有生态效益没有经济效益,这样的水土保持措施配置方案是很难持久的。

(3) 在所有水土保持措施配置方案中,根据流域内目前实施的各项水土保持措施的比例而设计的综合水保方案,对流域径流量的影响程度最大。虽然该方案也考虑了保障农民的粮食安全,提高流域的植被覆盖度,但就潮河流域作为北京市的重要水源地和绿色生态屏障的战略地位而言,科学地配置各项水土保持措施的比例,实施节水型的水土保持治理方案,为流域及北京市社会经济的可持续发展提供量多质优的水资源具有同样重要的意义。

(4) 粮食保障方案首先在保障农民粮食安全的

前提下,再考虑提高流域的植被覆盖度,比较符合经济社会发展现实,对流域径流量的影响程度也比较小。但该方案还应当本着提高农民经济收入的原则,合理配置经济林的比例。只有既考虑生态效益又顾及经济效益的水土保持措施才会有生命力。

致谢:中国科学院地理科学与资源研究所景可先生给本文提了很多宝贵的建议,在此表示感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 刘震. 中国水土保持生态建设模式[M]. 北京:科学出版社,2003:1-3.
- [2] 唐克丽,史立人,史德明,等. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004:676-758.
- [3] 沈国舫,王礼先. 中国生态环境建设与水资源保护利用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001:11-19.
- [4] 景可,王万忠,郑粉莉. 中国土壤侵蚀与环境[M]. 北京:科学出版社,2005:335-341.
- [5] 姚文艺,茹玉英,康玲玲. 水土保持措施不同配置体系的滞洪减沙效应[J]. 水土保持学报,2004,18(2):28-31.
- [6] 陈江南,姚文艺,李勉,等. 清涧河流域不同水土保持措施配置下蓄水拦沙效益分析[J]. 水力发电,2005,31(6):9-11.
- [7] 李子君,凌峰. 潮河流域水土流失治理成效及存在问题分析[J]. 水土保持通报,2008,28(3):189-192.
- [8] 李子君,李秀彬. 水利水保措施对潮河流域年径流量的影响:基于经验统计模型的评估[J]. 地理学报,2008,63(9):958-968.
- [9] 高迎春,姚治君,刘宝勤,等. 密云水库入库径流变化趋势及动因分析[J]. 地理科学进展,2002,21(6):546-553.
- [10] 丰宁满族自治县水利水保局. 丰宁水利志[M]. 北京:团结出版社,1995:41-95.
- [11] 滦平县水利志编委会. 滦平县水利志[M]. 滦平:滦平县水利局,1993:58-63.
- [12] 黄锡荃,李惠明,金伯欣. 水文学[M]. 北京:高等教育出版社,2003:68-70.