

黑河流域水-生态-经济协调发展方案及用水效益

方创琳,步伟娜,鲍 超

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要:在西北干旱地区的黑河流域,推行流域水-生态-经济协调发展模式,是从根本上高效配置流域水资源,彻底化解流域上、中、下游利益冲突,实现利益共享,保护流域生态环境,全面实施国务院黑河流域分水方案和提高用水效益的重要途径。采用系统动力学模型进行模拟调控实验,从众多实验方案中选择生成水-生态保护型发展方案(WEP)、水-经济高效型发展方案(WEH)、水-生态-经济协调型发展方案(WEE)3种有效方案。从需水总量与用水结构、空间配水结构、经济总量与经济结构、生态环境保护、投水产出效益等方面对3种有效方案进行比较分析。研究认为,WEP方案耗水总量相对较少,利于黑河流域生态环境保护,但经济发展步伐比较缓慢,不利于流域建设小康社会和全面建设节水型社会;WEH方案耗水量大,经济发展步伐快,经济效益显著,但不利于生态环境保护和黑河分水方案的实施,WEE方案耗水量介于WEP和WEH之间,经济效益和生态环境效益都比较显著,同时兼顾了黑河流域的经济发展目标和生态环境保护目标,虽然单纯从经济发展或生态保护角度分析,不是最好的方案,但从流域可持续发展和建设流域生态经济带的角度分析,却是一个最优化的方案。进而确定出WEE方案为满足国务院黑河流域分水方案要求和提高用水效益双重目标的优化方案。为了提高流域单方水产值,建议合理安排黑河流域上、中、下游的产业分工和生态建设分工;大力发展绿色节水产业和红色节水产业,加大节水型经济结构调整力度;强抓节水灌溉,建立高效节水型社会;逐步建立定额水价制度和水权贸易制度,推进水票制和用水户参与式管理模式。

关键词:黑河流域;水-生态-经济协调发展;方案比选;用水效益分析

Options of water-ecology-economy balanced development and water usage analysis in the Heihe Watershed

FANG Chuang-Lin, BU Wei-Na, BAO Chao (Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China), *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1700~1707.

Abstract: The Heihe Watershed is located in the northwest arid region of China. A balanced development option among water, ecology and economy is required for the sustainable development of such watershed. This study employs the system dynamic model, intends to create such an option. Three options were chosen for the model test, i. e., the water-ecology protection option (WEP), the water-rapid economic growth option (WEH), and the water-ecology-economy balanced development option (WEE). After running the system dynamic model, the study contends that the WEP option requires less water input but the watershed may suffer from low economic growth. The WEH option, on the other hand, while enables the watershed grows rapidly, may suffer from long-term loss due to high demand of water input. The water demand of the WEE option, however, is between the WEP and WEH options. And it takes both economic development and ecological protection into account. Although it is not the best option for either for ecological protection or economic development, it turns out to be the optimal choice for long-term sustainable development in the Heihe Watershed. In order to ensure such an option, the study argues for allocating reasonable water quotas among the upper, middle and lower reaches, for expanding the “green” and “red” water-

基金项目:中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX1-09-04);国家自然科学基金重点资助项目(40335049);中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目 KZCX2-SW-318-03)

收稿日期:2003-10-25;**修订日期:**2004-05-10

作者简介:方创琳(1966~),男,甘肃庆城县人,博士,研究员,主要从事生态经济与区域可持续发展规划研究,E-mail:fangel@igsnnr.ac.cn

Foundation item: Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX1-09-04, KZCX2-SW-318-03); National Natural Science Emphases Foundation of China (No. 40335049)

Received date: 2003-10-25; **Accepted date:** 2004-05-10

Biography: Fang Chuang-Lin, Ph. D., Professor, mainly engaged in eco-econology and regional sustainable development planning.

saving industries, for establishing water-saving economic structure, for introducing water-saving irrigation systems, for proposing water-saving education, and for accommodating water-ticket system and the user-participation management system.

Key words:Heihe Watershed; water-ecology-economy balanced development; comparison and selection; water usage analysis
文章编号:1000-0933(2004)08-1700-08 中图分类号:Q143 文献标识码:A

黑河发源于青海祁连山中段,流至内蒙古自治区额济纳旗的居延海,流域面积 14.3 万 km²,范围涉及青海、甘肃和内蒙古 3 省区,是我国西北地区较大的内陆流域^[1]。考虑到资料的可得性,本研究在划分上、中、下游时尽量保持了行政区划的完整性。其中:上游以莺落峡为界,包括青海的祁连县和甘肃的肃南县,中游以莺落峡-正义峡为界,包括甘肃的山丹、民乐、张掖、临泽、高台、酒泉、嘉峪关、玉门和肃北,下游以正义峡以下为界,包括甘肃的金塔和内蒙古的额济纳旗。2001 年黑河流域总用水量为 $40.74 \times 10^8 \text{ m}^3$,GDP 1.48×10^{10} 元,耕地 $30.95 \times 10^4 \text{ hm}^2$,粮-经-草结构 55.27:26.05:18.68,总人口 2.13×10^6 人,人均 GDP 6433.81 元。按照国务院批准的黑河干流分水方案要求*,在正常年份确保正义峡下泄水量达到 $9.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,供应下游基本的生态与生活用水,全流域生态用水量达到 $7.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,丰水年份有一定水量进入居延海,使生态系统不再恶化。

为了落实国务院黑河干流分水方案,加大黑河生态环境建设步伐,国家投资 23.6×10^8 元启动了黑河流域综合治理应急工程,重点进行黑河源头治理、草地围栏封育、封山育林、人工造林、节水灌溉、退耕还草、结构调整、用水效益提高和生态环境建设。完成这一治理计划,必须调整现有以水为代价获取暂时经济效益的粗放经济发展模式,必须协调好流域上、中、下游用水空间结构,科学而有合理地配置黑河流域上、中、下游有限的水资源,把强化水资源的综合管理和科学配置作为提高用水效益,推行黑河流域水-生态-经济协调发展的重要目标。

1 水-生态-经济协调发展调控方案的生成与预测

采用 STELLA3.0.5 版系统动力学软件(Professional Dynamo Plus1.5),根据位于主反馈回路和局部反馈回路交叉点上起主导作用的人口自然增长系数、用水结构转换系数、投资结构转换系数、农业结构调整转换系数、农灌定额系数、林灌定额系数、草灌定额系数、万元工业产值用水定额、人工种草系数、人工造林系数这 10 个调控参量,将黑河流域水-生态-经济协调发展耦合系统的动力学方程输入计算机进行模拟调控实验,从众多实验方案中选择生成水-生态保护型发展方案(WEP)、水-经济高效型发展方案(WEH)、水-生态-经济协调型发展方案(WEE)3 种有效方案。

1.1 水-生态保护型发展方案(WEP)的生成与预测

在 2001~2030 年期间,当黑河流域生产-生活-生态用水结构转换系数调控为 -0.16% : 0.22% : 0.43%,投资结构(农业:工业:第三产业)转换系数调控为 -0.03% : 0.02% : 0.02%、农业结构(粮:经:草)调整转换系数调整为 -0.81% : 0.71% : 0.86%,黑河上、中、下游农灌定额系数分别调整为 $7200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $10500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,林灌定额系数分别调整为 $4050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $6750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,草灌定额系数分别调整为 $4500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $6750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,人工种草系数分别调整为 0.003、0.004、0.005,人工造林系数分别调整为 0.004、0.04、0.009 时,生成水-生态保护型发展方案。

在 WEP 方案对应下,黑河流域到 2030 年的总用水人口达到 2.60×10^6 人,总需水量达到 $44.22 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中生态用水 $12.44 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 28.13%,生产用水 $30.89 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 69.85%,生活用水 $0.90 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 2.02%(图 1)。在全部用水量中,其中黑河上游用水占 2.38%,中游用水占 79.30%,下游用水占 18.33%。GDP 达到 1.96×10^{11} 元,人均 GDP 达到 75428 元,工业废水排放量 $5.49 \times 10^8 \text{ t}$ 。耕地面积降低至 $30.32 \times 10^4 \text{ hm}^2$,粮食作物面积降低至 $11.98 \times 10^4 \text{ hm}^2$,经济作物面积增至 $8.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$,草地面积增加到 $1.10 \times 10^7 \text{ hm}^2$,林地面积增加到 $1.69 \times 10^6 \text{ hm}^2$,粮-经-草比例由 2001 年的 54.69 : 25.78 : 19.53 调整为 2030 年的 42.85 : 31.90 : 25.25。单方水产值由 3.41 元/ m^3 增加到 44.34 元/ m^3 。

1.2 水-经济高效型发展方案(WEH)的生成与预测

在 2001~2030 年期间,当黑河流域生产-生活-生态用水结构转换系数调控为 0.08% : 0.03% : -0.32%,投资结构(农业:工业:第三产业)转换系数调控为 -0.21% : 0.15% : 0.15%、农业结构(粮:经:草)调整转换系数调整为 -0.93% : 0.84% : 1.10%,黑河上、中、下游农灌定额系数分别调整为 $8250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $12000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,林灌定额系数分别调整为 $3000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $5700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,草灌定额系数分别调整为 $4200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $5700 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,人工种草系数分别调整为 0.001、0.0025、0.003,人工造林系数分别调整为 0.002、0.03、0.005 时,生成水-经济高效型发展方案。

在 WEH 方案对应下,黑河流域到 2030 年总用水人口达到 2.71×10^6 人,总需水量达到 $53.67 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中生态用水 $10.41 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 19.40%,生产用水 $42.33 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 78.86%,生活用水 $0.94 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 1.74%。在总用水量中,其中黑河上游用水占 2.59%,中游用水占 83.35%,下游用水占 14.06%。GDP 达到 5.91×10^{11} 元,人均 GDP 达到 217596 元,工业废水排放

* 国家水利部,《黑河流域水资源评价》,2001 年 9 月

量 $20.98 \times 10^8 \text{ t}$ 。耕地面积降低至 $30.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，粮食作物面积降至 $11.20 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，经济作物面积增至 $8.99 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，草地面积增加到 $1.06 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，林地面积增加到 $1.57 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，粮-经-草比例由 2001 年的 54.69 : 25.78 : 19.53 调整为 2030 年的 42.94 : 34.46 : 22.60。单方水产值由 3.10 元/ m^3 增加到 110.01 元/ m^3 。

1.3 水-生态-经济协调型发展方案(WEE)的生成与预测

在 2001~2030 年期间,当黑河流域生产-生活-生态用水结构转换系数调控为-0.11% : 0.32% : 0.32%,投资结构(农业 : 工业 : 第三产业)转换系数调控为-0.36% : 0.35% : 0.35%,农业结构(粮 : 经 : 草)调整转换系数调整为-0.93% : 0.86% : 0.92%,黑河上、中、下游农灌定额系数分别调整为 $7500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $11250 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15150 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,林灌定额系数分别调整为 $3750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $6000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $15300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,草灌定额系数分别调整为 $4350 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $6000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 、 $16500 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,人工种草系数分别调整为 0.002、0.003、0.004,人工造林系数分别调整为 0.003、0.035、0.008 时,生成水-生态-经济协调型发展方案。

在 WEE 方案对应下,黑河流域到 2030 年总用水人口达到 2.68×10^6 人,总需水量达到 $46.59 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中生态用水 $11.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 25.35%,生产用水 $33.86 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 72.67%,生活用水 $0.92 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 1.98%。在总用水量中,其中黑河上游用水占 2.52%,中游用水占 80.09%,下游用水占 17.40%。GDP 达到 4.27×10^{11} 元,人均 GDP 达到 159234 元,工业废水排放量 $10.88 \times 10^8 \text{ t}$ 。耕地面积降至 $29.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，粮食作物面积降至 $11.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，经济作物面积增加至 $9.24 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，草地面积增加到 $1.08 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，林地面积增加到 $1.72 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，粮-经-草比例由 2001 年的 54.69 : 25.78 : 19.53 调整为 2030 年的 41.74 : 33.63 : 24.62。单方水产值由 3.23 元/ m^3 增加到 91.74 元/ m^3 。

2 WEP、WEE 和 WEH 调控方案的比选分析

根据黑河流域水-生态-经济协调发展和黑河流域生态经济带建设的总体目标,为了实现黑河流域上、中、下游之间、山地、绿洲、荒漠系统之间、生态、生产、生活系统之间的相互协调发展,实现流域上、中、下游地区经济发展一体化、资源配置一体化、集成管理一体化和生态建设一体化,形成全流域经济共同体^[2]和生态环境保护共同体,本文从需水总量与用水配水结构、经济总量与经济结构、生态环境保护与建设、投水产出效益等方面,对 WEP、WEE 和 WEH 3 种调控方案进行比选分析。

2.1 需水总量与用水结构的比较分析

从需水总量的变动趋势分析,3 种方案对应的流域总需水量、生态用水量、生产用水量和生活用水量都在增加。到 2030 年,WEP、WEE 和 WEH 3 种调控方案对应的黑河流域需水总量分别达到 $44.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $46.59 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $53.68 \times 10^8 \text{ m}^3$,需水量的历年平均增长速度分别为 0.40%、0.45%、0.78%。从流域节水角度分析,WEP 方案的需水量最少,增长速度最慢,WEP 方案需水量最多也最快,而 WEE 方案的需水量和增长速度介于 WEP 和 WEH 方案之间,较 WEH 方案相比可节水 $7.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 1,图 1)。3 种调控方案中的生产用水量、生态用水量和生活用水量同样呈现出与总需水量一致的变化规律,说明从用水总量、各行业用水量、节水和用水效益角度分析,WEE 方案是一种最优的方案。

从用水结构分析,WEP、WEE 和 WEH 3 种调控方案对应的黑河流域用水结构总体变动趋势为:WEP 和 WEE 方案的生产用水比例降低,历年平均降低速度平均分别为 0.16%和 0.11%,WEH 方案的生产用水比例提高,历年平均提高速度为 0.08%,但用水比例仍维持在 70%~80%之间;生活用水比例相对缓慢提高,历年平均提升速度平均分别为 0.22%、0.32%和 0.03%,用水比例维持在 2%左右。WEP 和 WEE 方案的生态用水比例提高,历年平均提升速度平均分别为 0.43%和 0.32%,WEH 方案的生态用水比例降低,历年平均降低速度为 0.32%,但 3 种方案的生态用水比例仍维持在 20%~30%之间(见表 2)。可见,从用水结构分析,WEE 方案的生产用水比例降低,生态用水比例显著提高,生活用水比例缓慢提高,生产-生态-生活用水结构为 72.67 : 25.35 : 1.98,符合黑河流域产业结构调整的需求和流域生态建设目标,生态用水总量达到 $11.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,满足另外数据“黑河流域生态用水量达到 $7.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,丰水年份有一定水量进入居延海,确保生态系统不再恶化”的方案,因而是一种相对优化的方案。

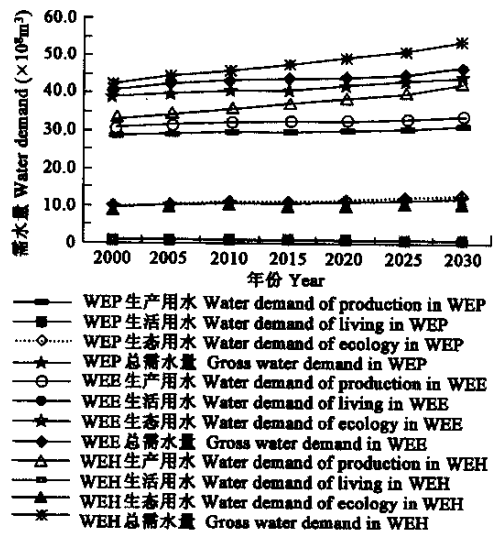


图1 黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 3 种调控方案对应需水总量对比分析图

Fig. 1 Comparison of gross water demand corresponding to WEP, WEE and WEH in the Heihe Watershed

表 1 黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 3 种调控方案对应的用水结构对比分析表(%)

Table 1 Comparison of the structure of water usage corresponding to WEP, WEE and WEH in the Heihe Watershed									
方案代码 Project code	用水结构 Structure of water usage	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2000~2030 年增减速度(%) Increase rate from 2000 to 2030
WEP	生产用水 water demand of production	73.38	72.79	71.82	71.92	71.21	70.22	69.85	-0.16
	生活用水 water demand of living	1.90	1.90	1.93	2.01	2.01	2.02	2.02	0.22
	生态用水 water demand of ecology	24.72	25.31	26.25	26.07	26.78	27.76	28.13	0.43
WEE	生产用水 water demand of production	75.17	74.88	74.22	74.72	73.81	73.12	72.67	-0.11
	生活用水 water demand of living	1.80	1.81	1.84	1.92	1.96	1.98	1.98	0.32
	生态用水 Ecological using of water	23.03	23.31	23.94	23.36	24.23	24.90	25.35	0.32
WEH	生产用水 water demand of production	76.91	77.05	76.93	77.84	77.82	77.76	78.86	0.08
	生活用水 water demand of living	1.73	1.72	1.74	1.77	1.77	1.77	1.74	0.03
	生态用水 water demand of ecology	21.36	21.23	21.33	20.39	20.41	20.47	19.40	-0.32

2.2 空间配水结构的比较分析

从空间配水结构分析,WEP、WEE 和 WEH 三种调控方案对应的黑河流域上游用水量介于 1.1~1.4 亿 m³ 之间,用水空间比例介于 1.8%~2.6%之间;中游用水量介于 35×10⁸~45×10⁸m³ 之间,用水空间比例介于 78%~84%之间;下游用水量介于 7.5×10⁸~8.1×10⁸m³ 之间,用水空间比例介于 14%~19%之间,见表 2 所示。相比而言,WEE 方案对应的黑河流域空间配水结构为上游:中游:下游=2.52:80.09:17.40,比较符合未来流域经济发展与生态建设目标,接近国务院批准的正常年份使正义峡下泄水量达到 9.5×10⁸m³ 的分水方案。因而从空间配水结构分析是一种相对优化的方案。

表 2 黑河流域上、中、下游 WEP、WEE 和 WEH 3 种方案对应的空间配水结构比较表

Table 2 Comparison of the spatial structure of water distribution corresponding to WEP, WEE and WEH in the Heihe Watershed(%)									
流域区段 Watershed section	方案代码 Project code	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2030 年需水量 Gross water demand in 2030(1×10 ⁴ m ³)
上游 Upper reaches	WEP	1.95	1.94	1.98	2.07	2.12	2.24	2.38	10510.78
	WEE	1.89	1.88	1.92	2.01	2.12	2.29	2.52	11726.25
	WEH	1.89	1.86	1.87	1.93	2.04	2.26	2.59	13880.72
中游 Middle reaches	WEP	78.98	79.07	78.89	79.19	79.18	79.13	79.30	350636.10
	WEE	80.01	80.16	80.02	80.45	80.05	79.91	80.09	373093.90
	WEH	81.08	81.49	81.65	82.20	82.30	82.41	83.35	447383.70
下游 Lower reaches	WEP	19.06	18.99	19.14	18.74	18.70	18.63	18.33	81038.91
	WEE	18.10	17.96	18.06	17.55	17.83	17.80	17.40	81038.91
	WEH	17.03	16.65	16.48	15.87	15.66	15.33	14.06	75493.59

2.3 经济总量与经济结构的比较分析

从经济总量分析,到 2030 年,黑河流域 WEP、WEE 和 WEH3 种方案对应的 GDP 分别达到 1.97×10¹¹元、4.27×10¹¹元和 5.91×10¹¹元,WEE 方案比 WEP 方案高 2.31×10¹¹元,比 WEH 方案低 1.63×10¹¹元(见图 2)。从 GDP 增长速度分析,黑河流域 WEP、WEE 和 WEH3 种方案对应的 GDP 增长速度分别为 9.42%、12.3%和 13.51%,WEE 方案比 WEP 方案快 2.88%,比 WEH 方案慢 1.21%。与此同时,3 种方案的农业总产值、工业总产值、第三产业产值历年平均增长速度分别保持在 4%~6%、8%~14%、11%~15%之间,并呈现出 WEE 方案快于 WEP 方案、慢于 WEH 方案的变动趋势。从经济增长的可行性和经济效益角度分析,WEE 方案具有可行性,虽然不是经济效益最高的方案,但却是经济效益和经济增长速度适中的方案。

从粮-经-草种植结构分析,未来 30 年黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 3 种方案对应的耕地面积将由 30.92×10⁴hm² 分别降低为 30.32×10⁴hm²、29.88×10⁴hm² 和 30.60×10⁴hm²。耕地面积总体呈减少趋势,在耕地面积中,粮食作物种植面积比例降低,平均由 55%降低为 42%,经济作物和草料作物种植面积比例明显提高,平均分别由 25%、18%提高到 33%和 24%(表 3)。在 WEP、WEE 和 WEH 3 种方案中,其中 WEE 方案的粮-经-草结构变化最为显著。粮食作物播种面积将以历年平均 1%的速度递减,由 2001 年的 15.51×10⁴hm² 降低到 2030 年的 11.46×10⁴hm²,相反,经济作物和草料作物种植面积分别以历年平均 0.78%和 2.51%的增长速度不断增大,到 2030 年分别达到 9.25×10⁴hm² 和 6.76×10⁴hm²,这种变化趋势符合黑河流域农业种植结构调整的方向与目标。压缩粮食作物面积,扩大经济作物和草料作物种植面积,推进农业产业化,大力发展草产业,是黑

河流域农业发展的主攻方向。同时,WEE 方案对应的粮食作物播种面积比例将以历年平均 0.93%的速度递减,由 2001 年的 55.27%降低到 2030 年的 41.74%,相反,经济作物和草料作物种植面积比例分别以历年平均 0.86%和 0.92%的增长速度不断提高,到 2030 年分别达到 33.63%和 24.62%。这种变化趋势符合黑河流域压缩粮食作物面积,扩大经济作物和草料作物面积的农业结构调整方向^[3]。

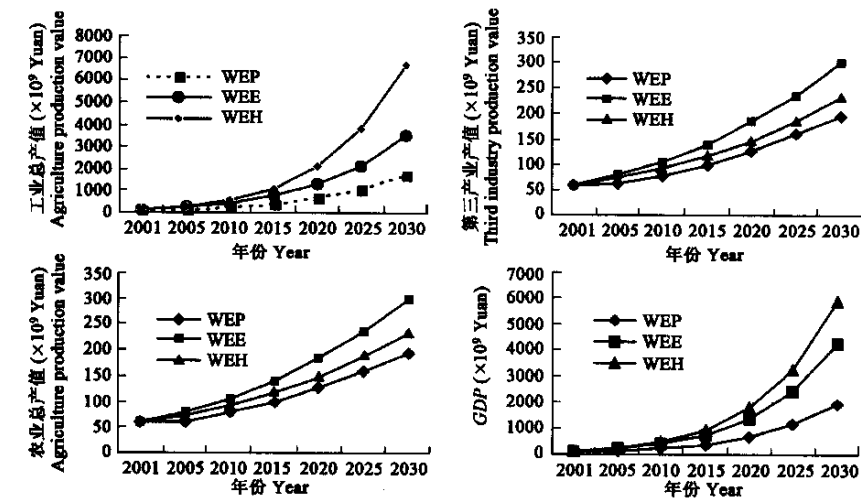


图 2 黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 3 种方案对应的经济总量比较分析图

Fig. 2 Comparison of the economic gross corresponding to WEP,WEE and WEH in the Heihe Watershed(%)

表 3 黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 3 种方案对应的粮-经-草结构比较表

Table 3 Comparison of the food-economic crop-grass structure corresponding to WEP, WEE and WEH in the Heihe Watershed (%)										
作物 Type of crop	方案代码 Project code	2001	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2030 年种植面积 planting area in 2030 year(1×10 ⁴ hm ²)	2001~2030 年增减 速度(%)increase rate from 2001 to 2030
粮食作物 Crop of foodstuff	WEP	54.69	53.62	50.48	48.83	46.85	45.34	42.85	11.98	−0.81
	WEE	55.27	51.94	49.66	47.62	46.31	43.70	41.74	11.46	−0.93
	WEH	56.91	53.53	51.20	48.86	47.55	44.91	42.94	11.12	−0.93
经济作物 Crop of economy	WEP	25.78	25.53	26.99	28.26	29.29	30.76	31.90	8.92	0.71
	WEE	26.05	27.64	28.68	29.67	31.39	32.62	33.63	9.24	0.86
	WEH	26.82	28.48	29.57	30.45	32.22	33.47	34.46	8.99	0.84
草料作物 Crop of fodder	WEP	19.53	20.85	22.53	22.91	23.86	23.90	25.25	7.06	0.86
	WEE	18.68	20.42	21.66	22.70	22.30	23.68	24.62	6.76	0.92
	WEH	16.27	17.99	19.23	20.69	20.23	21.62	22.60	5.89	1.10

从农业产业结构变动趋势分析,未来 30a 黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 三种方案对应的农业产业结构变动趋势为:种植业和林业产值比例分别以历年平均 1%~3%、1%~5%的速度明显降低,分别由 2001 年的 77%、2.5%降低到 2030 年的 43%~57%、1%~2%,相反畜牧业产值以历年平均 1%~3%的速度上升,其比例由 20%上升到 35%~50%。农业产业结构的这种变化以 WEE 方案最为显著。对应的种植业结构比例以历年平均 1.88%的速度降低,由 2001 年的 76.83%降低到 2030 年的 43.44%,牧业结构比例则以历年平均 3.2%的速度递增,由 2001 年的 20.32%增加到 2030 年的 51.14%。这种变动趋势符合黑河流域产业结构调整的主体方向。

2.4 生态环境保护的比较分析

从生态环境保护的角度分析,黑河流域粮-经-草结构的调整和农业产业结构的调整优化利于全流域生态建设和环境保护,草产业的大力发展,生态用水量的增加,退耕还草面积的加大和草原的建设,既提高了流域用水效益,又保护了生态环境^[4,5]。在可供选择的 WEP 数据和 WEH 3 种方案中,WEP 方案作为水-生态保护型方案,所消耗的流域水资源总量最少,为 44.22×10⁸m³,分别比 WEE 和 WEH 方案少 2.35×10⁸m³和 9.46×10⁸m³,草地面积最大为 1.10×10¹¹hm²,分别比 WEE 和 WEH 方案

多 $13.15 \times 10^4 \text{hm}^2$ 和 $36.73 \times 10^4 \text{hm}^2$, 人工种草面积为 $7.06 \times 10^4 \text{hm}^2$, 分别比 WEE 和 WEH 方案多 $0.29 \times 10^4 \text{hm}^2$ 和 $1.2 \times 10^4 \text{hm}^2$, 林地面积、退耕还草面积都比其他两种方案多, 工业废水排放量为 $5.49 \times 10^8 \text{t}$, 分别比 WEE 和 WEH 方案少 $5.38 \times 10^8 \text{t}$ 和 $15.49 \times 10^8 \text{t}$ 。可见, 从生态保护的角度分析, WEP 方案是最利于保护生态环境的优化方案, 但所获取的经济效益和用水效益比较低。

2.5 投水产出效益的比较分析

从投水产出效益分析, 黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 3 种方案对应的单方水产值总体呈增加趋势, 历年平均增长速度分别为 8.93%、11.80% 和 12.63%, 单方水产值分别由 2001 年的 3.41 元/ m^3 、3.23 元/ m^3 、3.10 元/ m^3 增加到 2030 年的 44.34 元/ m^3 、91.74 元/ m^3 、110.01 元/ m^3 。由图 3 看出, WEE 方案的单方水产值比 WEP 方案高 47.4 元/ m^3 , 只比 WEH 方案低 18.27 元/ m^3 。

从黑河流域上、中、下游的区域分异分析, 3 种方案对应的单方水产值基本上都是上游 < 中游、中游 > 下游、上游 > 下游, 单方水产值历年平均增长速度基本上也是上游 < 中游、中游 > 下游、上游 > 下游。可见, 从提高单方水产值和用水效益角度分析, 黑河流域应将大量的水集中到中游地区, 以获得更大的投水产出效益, 其次是投入到上游地区, 最后投入到下游地区。但从保护生态环境和推行流域生态建设一体化的角度分析^[6,7], 应确保生态环境恶化的下游地区有基本的生态用水和生活用水。

2.6 总体评价

通过对 WEP、WEE 和 WEH 3 种调控方案的比选分析可知, WEP 方案耗水总量相对较少, 利于黑河流域生态环境保护, 但经济发展步伐比较缓慢, 不利于流域建设小康社会和全面建设节水型社会, WEH 方案耗水量大, 经济发展步伐快, 经济效益显著, 但不利于生态环境保护和黑河分水方案的实施, WEE 方案耗水量介于 WEP 和 WEH 之间, 经济效益和生态环境效益都比较显著, 同时兼顾了黑河流域的经济发展目标和生态环境保护目标, 虽然单纯从经济发展或生态保护角度分析, 不是最好的方案, 但从流域可持续发展和建设流域生态经济带的角度分析, 却是一个最优化的方案。

3 提高黑河流域单方水产值的主要途径

从黑河流域单方水产值的空间分异中可看出, 提高流域单方水产值、进而提高流域经济效益的主要区域集中在黑河中游地区, 加之黑河流域用水量的 80% 以上和经济总量的 85% 以上集中在中游地区, 因此, 黑河中游是提高流域单方水产值的重中之重, 同时兼顾黑河上游和下游地区。

3.1 合理安排黑河流域上、中、下游的产业分工和生态建设分工

在安排思路上, 上游以加强天然林保护和天然草场建设为主, 强化预防监督, 禁止开荒、毁林草和超载放牧, 加强森林植被保护, 恢复上游地区生态功能和水源涵养能力。中游建立国家级农业高效节水示范区, 深化灌区体制改革, 大力开展灌区配套改造, 推广高新节水技术, 发展喷灌、微灌和管道输水灌溉等高新节水技术, 优化渠系, 减少平原水库, 适度发展井灌, 搞好防风固沙林的更新改造, 严禁垦荒, 调整农林牧结构, 压缩农田面积, 限制高耗水作物种植, 限制高耗水、高污染的产业^[8,9]。下游建设正义峡水库和内蒙古输水干渠, 建立国家级生态保护示范区, 提高灌溉管理水平, 加强人工绿洲建设, 严禁超载放牧和垦荒, 搞好额济纳绿洲地区的生态建设与环境保护^①。

3.2 大力发展绿色节水产业和红色节水产业, 加大节水型经济结构调整力度

为了落实国务院分水方案, 加大黑河生态环境建设步伐, 扭转生态恶化局面, 同时扭转流域土地产出率低下(种粮食 2100 ~ 2400 元/ hm^2 , 水费成本 900 ~ 1500 元/ hm^2) 的局面, 黑河流域尤其是中游地区必须加大节水型经济结构调整力度。

一是大力发展包括草产业、制种业、畜牧业和造林业等在内的绿色节水产业。实验表明, 在张掖市石岗墩塑料大棚里种植 666.7 m^2 蔬菜只需 300 m^3 水, 比大田种粮食节水 1500 ~ 2250 m^3/hm^2 , 其节水潜力不可低估。同样, 666.7 m^2 苜蓿浇 3 茬水即 300 m^3 就够了, 用水量是粮食的 33%, 效益却翻了几番。可见, 发展草畜产业是黑河流域今后农业发展的第一大绿色节水产

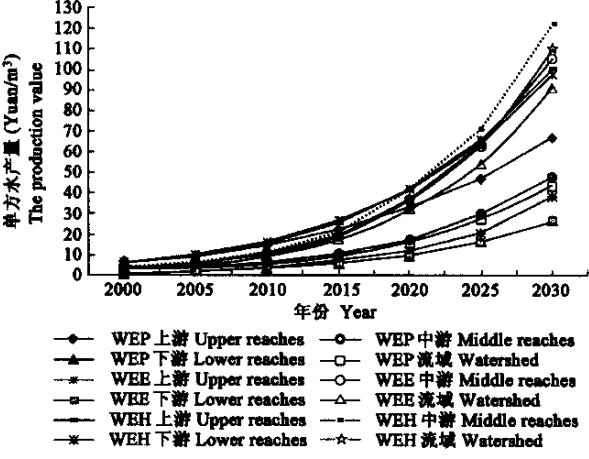


图3 黑河流域 WEP、WEE 和 WEH 三种方案对应的单方水产值比较分析图

Fig. 3 Comparison of the production value corresponding to WEP, WEE and WEH in the Heihe Watershed

—— 万方数据 ——
① 张掖地区计划发展委员会资助项目

业*。

二是大力发展包括西红柿种植加工与贸易、葡萄种植与加工贸易、胡萝卜种植与加工贸易等为主的红色节水产业。相对于粮食来说,西红柿是既节水、产量又高、又有良好市场前景的朝阳产业,据调查统计,黑河流域甘州、高台、临泽、金塔共有番茄酱加工能力 $9\times 10^4\text{t}$,平均单产 $120\text{t}/\text{hm}^2$,收购价 $220\text{元}/\text{t}$,对于农民来说,收入可达 $25500\text{元}/\text{hm}^2$,相当于种粮食收入的 12 倍。对于企业来说,将西红柿进行初加工后,按每吨西红柿可加工 $0.85\sim 0.90\text{t}$ 番茄酱计算,每吨出口 $500\sim 700$ 美元,则每 666.7m^2 可产出 $3400\sim 4700$ 美元,合计人民币 $28000\sim 39770$ 元,产品畅销俄罗斯、澳大利亚等西方发达国家,经济效益十分显著。建议大力发展西红柿种植加工与贸易产业,同时兼顾发展葡萄种植与加工贸易、胡萝卜种植与加工贸易等红色节水产业。

3.3 强抓节水灌溉,建立高效节水型社会

提高流域单方水产值的核心就是要实现水资源的科学管理、合理配置和高效利用。国家制定的分水方案,已经确定了黑河流域上、中、下游允许可用的水资源总量。在用水总量的硬约束下,提高流域单方水产值一是要通过节水工程的实施,不断挖掘用水潜力,进一步提高水资源的承载能力,做到既不影响现有的生产水平和生产能力,又能扩大对下游的下泄量。二是要立足于经济增长方式的转变,对现有的经济结构实行战略性调整,进一步优化工农业生产布局,发展壮大支柱产业和二、三产业。农业生产要以市场为导向,合理确定内部结构和种植比例,绝不能用无限制扩张生产规模和开展粗放经营,要大力发展高科技农业、节水农业,推广优良品种、提高单位面积产出和效益,大力发展农产品的深加工、提高农产品的综合效益和附加值。普及常规节水措施,大力发展高新技术节水,推广低压管灌、滴灌,减少蒸发渗漏^[10]。合理分配城乡用水、工农业用水。同时,按照甘肃省府做出的“三个禁止”的决定,坚决禁止开荒、禁止向流域内移民,禁止种植高耗水作物。逐步做到以水定规模,以水定产业布局,使有限的水资源发挥最大的经济、社会和生态效益^[11]。同时,要加强节约用水的宣传教育,增强水资源的忧患意识、危机感和节约用水的责任感,建立节水型社会。强化现代化示范节水亮点精品工程建设,使采用的管灌、喷灌、滴灌技术分别节水达到 40% 、 50% 和 37% 以上^[12]。

3.4 逐步建立定额水价制度和水权贸易制度,继续推进水票制和用水户参与式管理模式

建立宏观水权指标体系和微观定额指标体系对于实现黑河分水目标,加强用水管理具有重要的指导意义。按照国家确定的水权,尽快制定并实施黑河干流沿线各县市的水量分配方案,据此合理确定各个行业的用水量,逐步实行用水定额管理。在用水制度改革上,要逐步建立起合理的价格机制,合理核定流域内不同行业的水价,包括城市用水、生活用水。推行定额水价制度,超定额实行累进加价。运用经济杠杆,科学合理用水。同时,大力推行城乡水务一体化管理,实现依法治水和科学管理。

在实际操作中,为了在用水总量控制的前提下,不断提高用水效益,建议继续推行水票制,以灌区为单元制定出水资源配置方案,赋予灌区对水资源的总体经营权和各部门、各行业对水资源的有限使用权^[13],逐级将水权落实到各用水户,成立农民用水者协会,依靠协会的作用发放水权证并监督用水状况。从黑河中游梨园河灌区推行水票制的情况来看,该灌区与推行水票制之前相比年节水 $4.50\times 10^6\text{m}^3$,农业灌溉水费节省 $105\text{元}/\text{hm}^2$,但单方水经济效益反而提高了 32% 。可见,科学而又合理的用水管理制度是节水和提高用水效益的重要手段。

References:

- [1] Gao Q Z, Li F X. *Rational Development and Utilization of Water Resources in Heihe River Basin*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1990. 21~26.
- [2] Daniel P. loucks, John S. Glandwell, transtaled by Wang Jianlong. *Standard of sustainability for Water Resources System*. Beijing: Tsinghua University Press, 2003. 66~68.
- [3] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D, etc. Measuring the Total Economic Value of Restoring Ejina Banner's Ecosystem Services. *Acta Geographica Sinica*, 2002, **57**(1): 107~116.
- [4] Chen L H, Qu Y G. Rational Development and Utilization of water and land resources in Hexi Corridor. *Acta Geographica Sinica*, 1988, **43**(1): 11~18.
- [5] Cheng G D, Zhang Z Q, Li Y, *et al.* On Some Issues of the Ecological Construction of West China and Proposals for Policy. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, **20**(6): 503~510.
- [6] Fang C L, Yehua Dennis Wei. Evaluation on the Sustainable Development Capacity and Regularity of Its Regional Differentiation in Hexi Region. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(5): 86~94.
- [7] Fang C L. Discrepancy Laws of the Eco-economic Zone in Heihe River Basin and Its Coupling Development Pattern. *Acta Ecologica*

Sinica, 2002, **22**(5): 196~202.

[8] Li B C. An Investigation and Study on the Desertification of the Ancient Oases from Han to Tang Dynasties in Hexi Corridor. *Acta Geographica Sinica*, 1998, **53**(2): 106~115.

[9] Li F X, Yao J H. *Comprehensive Study on Economic Development and Environmental Recondition in Hexi Corridor*. Beijing: China Environmental Sciences Press, 1998. 33~38.

[10] Fan S Y, Yuan Z K, Xiao H L. *Study on the Harmonious Development of Economy and Environment in Hexi Corridor*. Beijing: China Environmental Sciences Press, 1999. 109~123.

[11] Wang J, Wei W F. *Study on the Comprehensive Development of Economy in Hexi Corridor*. Lanzhou: Gansu People's Press, 1992. 26~27.

[12] Fan S Y, Cheng H F. *Development Countermeasures and Key Technology of Sand Industry in Zhangye District*. Beijing: China Environmental Sciences Press, 1998. 33~34.

[13] Fang C L. The adjust advice of using-water system and special structure of the oasis in the middle reaches of Heihe river. *Aridity Regional Research*, 1990, **3**: 23~25.

参考文献:

[1] 高前兆,李福兴. 黑河流域水资源合理开发利用. 甘肃科学技术出版社,1990. 18~21.

[2] Daniel P. loucks, John S. Glandwell, 王建龙译. 水资源系统的可持续性标准. 北京:清华大学出版社,2003. 47~52.

[3] 徐中民,张志强,程国栋. 额济纳旗生态系统恢复的总经济价值评估. 地理学报, 2002, **57**(1): 107~116.

[4] 陈隆亨,曲耀光. 河西地区水土资源的合理开发利用. 地理学报,1988, **43**(1): 11~18.

[5] 程国栋,张志强. 西部地区生态环境建设的若干问题与政策建议. 地理科学,2001, **21**(6): 12~16.

[6] 方创琳, Yehua Dennis Wei. 河西地区可持续发展能力评价与地域分异规律. 地理学报, 2001, **56**(5): 86~94.

[7] 方创琳. 黑河流域生态经济带分异协调规律与耦合发展模式. 生态学报,2002, **22**(5): 196~202.

[8] 李并成. 河西走廊汉唐古绿洲沙漠化的调查研究. 地理学报,1998, **53**(2): 106~115.

[9] 李福兴,姚建华. 河西走廊经济发展与环境整治的综合研究. 北京:中国环境科学出版社,1998. 25~33.

[10] 樊胜岳,爰周坤,肖洪浪. 河西地区经济与环境协调发展研究. 北京:中国环境科学出版社,1999. 56~76.

[11] 王杰,魏武峰. 河西走廊经济综合开发研究. 兰州:甘肃人民出版社,1992. 45~48.

[12] 樊胜岳. 程华芳. 张掖地区沙产业发展对策与关键技术. 北京:中国环境科学出版社,1998. 33~34.

[13] 方创琳. 黑河中游绿洲用水系统与空间结构调整建议. 干旱区研究,1990, **3**: 23~25.

