

水资源约束下西北干旱区城市经济发展与城市化阈值

方创琳¹, 乔 标^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:城市化水平阈值是指在水资源硬约束下, 在确保经济发展达到一定速度与规模、生态环境建设得到基本保障、并具备足以支撑城市接纳一定数量农民进城转为非农人口的经济能力时, 能达到的“农转非”人口占总人口的最大比例。以干旱区河西走廊为例, 分析了在水资源约束下城市经济发展总量及其对应的城市化阈值。采用阈值模型计算表明, 未来 30a 在不跨区调水的前提下, 河西走廊总需水量的上限阈值为 $7.81 \times 10^9 \text{ m}^3$, 其中生态需水、生产需水和生活需水比例调整为 13.2:83.5:3.3, 总需水量对应的国内生产总值为 1.81×10^{11} 元, 历年平均增长速度最快可达到 6.91%, 第一、二、三产业结构调整为 18.99:47.20:33.81。在总需水量阈值、经济总量、需水结构与产业结构调整优化和经济增长速度不低于 7%、农业需水按 0.61% 的速度退水 $9.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、生态需水比例不低于 13% 等多重条件约束下, 求得河西走廊未来 30a 能够达到的总人口为 5.82×10^6 人, 城镇非农业人口可达到 2.05×10^6 人, 城市化水平可达到 35.14%, 这一水平仅相当于中国 2001 年的平均城市化水平。在跨区调水 $1.31 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的条件下, 城市化水平可望达到 47.17%。进而采用总人口人均拥有的 GDP、非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值、农业人口人均拥有的第一产业增加值 3 项经济指标对水资源约束下经济发展总量对城市化水平的保障程度进行了验证分析。由于各城市的缺水状况、取水条件、发展性质、发展阶段与经济发展实力与前景等各不相同, 致使不同城市之间对应的总需水量、经济总量、经济增长速度和城市化水平等均表现出较大的差异性。

关键词:城市经济发展; 城市化水平阈值; 保障程度; 水资源约束; 河西走廊

文章编号:1000-0933(2005)09-2413-10 **中图分类号:**Q148 **文献标识码:**A

Optimal thresholds of urban economic development and urbanization under scarce water resources in arid northwest China

FANG Chuang-Lin¹, QIAO Biao^{1,2} (1. Institute of Geographical Science and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences, 100101 Beijing, China; 2. Graduate School of Sciences, CAS, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2413~2422.

Abstract: Under the constraint of water resource, the threshold for urbanization level in arid area refers to the utmost portion of nonagricultural population transformed from agricultural population in the total population. It is reached by constructing economic capabilities to accommodate a certain amount of transformed nonagricultural population while ensuring certain speed and the scale of economic development and basic environmental construction. This paper, using the arid area of Hexi Corridor in Gansu province as a case study, analyzes the total economic amount of urban development and the corresponding thresholds of urbanization level under the constraint of water resource. The results show that, if there is no interregional water transferring, the upper limit threshold of gross water requirement in Hexi Corridor should be $7.81 \times 10^9 \text{ m}^3$ in the coming 30 years, for which, the proportion of ecological water, productive water and domestic water will be adjusted to 13.2:83.5:3.3. The GDP corresponding to the gross water requirement is 1.81×10^{11} yuan, and the fastest average annual growth rate can reach 6.91%. The adjusted and optimized proportion threshold of primary industry, secondary industry and tertiary industry is 18.99:47.20:33.81. With the multiple restrictions of gross water requirement threshold, economic aggregate threshold, economic increase threshold, water use structure and industry structure optimization threshold, and economic growth rate not

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(40335049)

收稿日期:2004-12-16; **修订日期:**2005-07-18

作者简介:方创琳(1966~), 男, 甘肃庆阳市人, 博士, 研究员, 主要从事区域与城市发展规划研究. E-mail: Fangcl@igsrr.ac.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 40335049)

Received date: 2004-12-16; **Accepted date:** 2005-07-18

Biography: FANG Chuang-Lin, Ph.D., Professor, mainly engaged in regional and urban planning. E-mail: Fangcl@igsrr.ac.cn

less than 7%, agricultural water reduction by $9.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ with a speed of 0.61%, the proportion of ecological water not less than 13%, we project that the total population threshold should be 5.82×10^6 persons, nonagricultural population threshold should be 2.05×10^6 persons, and urbanization level threshold should be 35.14% in the following 30 years which is just the average urbanization level of China in 2001. If water importation reaches $1.31 \times 10^9 \text{ m}^3$, the threshold for urbanization level can reach 47.17%. In order to verify the ensuring of the economic development for the threshold of urbanization level under the constraint of water resource, the paper introduces three economic indexes: gross domestic product per capita, added values of secondary industry and tertiary industry per nonagricultural population and added value of primary industry per agricultural population. The results show that, gross water requirement threshold, economic aggregate threshold, economic increase threshold and urbanization level threshold have great variance among different cities due to the varied water scarcity, water-fetching conditions, developmental character, developmental phase, economic strength and developmental foreground of each city.

Key words: threshold of urban economic development; threshold of urbanization; guarantee extent; restraint of water resource; Hexi Corridor

1 问题的提出

城市化水平阈值是指在水资源硬约束下,在确保经济发展达到一定速度与规模、生态环境建设得到基本保障、并具备足以支撑城市接纳一定数量农民进城转为非农人口的经济能力时,能达到的“农转非”人口占总人口的最大比例。按照这一认识,城市化水平阈值计算的基本思路为:先求出特定区域未来一定时期内的水资源总量;根据水资源总量,分别求出需水量阈值、可供水量阈值和可调水量阈值;再根据需水量阈值、可供水量阈值和可调水量阈值,计算出经济社会发展规模总量;最后根据经济社会发展总量,求出城市化水平阈值。研究城市化水平阈值的主要目的在于通过建立水资源这一约束条件与城市化水平这一目标函数之间的动态制约及依存关系,寻求缺水地区所能允许的城市化水平。

国内外有关探讨城市水资源利用的研究文献诸多。Katerina Donevska 等人分析了马其顿王国当前农业和非农业用水需求状况,从农业、市政、工业、能源用水等角度来分析水资源的供需平衡以及区域水资源冲突产生的原因^①。2002年3月在科威特召开的干旱区水资源管理的国际会议指出,由于农业扩张、工业化、生态环境退化、生活水平的提高、迅速增长的城市化和沙漠化造成的日益增加的需水要求和日益增长的水污染现象,使得水资源问题正在成为经济可持续发展的最大威胁之一^[1,2]。1999年在斯德哥尔摩召开的水资源学术研讨会明确提出全世界没有统一的城市水资源管理体系,必须因地制宜,与当地的气候、经济、社会、环境和文化相结合^②。Howard D. Passell 等人运用系统动力学模型对新墨西哥中北部的3个县的水资源利用状况进行评价,并对水资源规划提出了一些建议^[3]。Olli Varis 等人利用 Bayesian 网络模型分析了非洲萨赫勒地区西部的塞内加尔河流域不同用水户之间的利益冲突,环境意识等,Ruth Meinzen-Dick 认为城市人口的过分集聚,使有限的水资源供给不足。通过分析水资源的不同利用方式的经济效益,来探讨水资源对城市发展的约束与限制作用^[4]。联合国人居环境研究中心指出,非洲大多数的城市存在管理权不明确,导致用水管理混乱、水资源浪费严重的现象,需要建立科学合理的城市水资源管理系统^[5]。从国内外文献综述中发现,目前专门研究城市水资源约束下的城市化阈值的文献很少。本文正是将这一薄弱环节作为研究的起点和切入点,从水资源这一硬约束条件入手,通过求解经济社会发展总量,进而求解对应的城市人口规模和城市化水平阈值。依此作为“量水定城”和“以水定镇”和选择城市化发展道路的依据。

为了剖析西北干旱区城市化与水资源的关系,本文以干旱区的典型区域河西走廊城市化过程为例,分析水资源约束下的城市经济发展与城市化阈值。河西走廊现有7个建制城市,其中地级城市包括嘉峪关、金昌、张掖、武威、酒泉共5个,县级城市包括敦煌、玉门2个,建制城镇85个。2002年底总人口 4.83×10^6 人,其中非农业人口 1.25×10^6 人,城市化水平为25.91%。这些城市是河西走廊经济与人口的重要载体^[6],是各种工业、交通、通讯、文化、教育、人才、信息等生产要素最集中的地区^[7,8],也是西部大开发的主阵地。加快城市化进程是加快河西走廊经济社会发展步伐的重要保证^[9]。但这些城市的发展在很大程度上受到水资源短缺和需水结构不合理的严重约束^[10]。在水资源约束下,城市经济发展、城市产业结构和城市化水平均客观上存在着与其相适应的阈值水平。其计算思路如图1所示。

① Katerina DONEVSKA, Stanislava DODEVA, Jasminka TASEVA. Urban and Agricultural Competition for Water in the Republic of Macedonia. Available from: <http://afeid.montpellier.cemagref.fr/Mpl2003/Conf/DonevskaResu.pdf>

② Workshop on Challenges to Urban Water Management in Developing Countries, Stockholm Water Symposium, Stockholm, 11 August 1999. Available from: <http://www.thirdworldcentre.org/challenge.PDF>

2 水资源约束下河西走廊需水量的阈值分析

2.1 需水量阈值确定的基本原则

2.1.1 “总量控制,定额调控”的原则 面对河西走廊水资源紧缺、供需矛盾日益突出的实际情况,严格遵循宏观上总量控制、微观上定额调控的原则,坚持尽量不增加可用水量资源量、不超采地下水的总量控制原则,坚持调低灌溉需水定额、调低工业需水定额、调稳生活需水定额的定额调控原则。

2.1.2 “节水为主”的原则 始终把节约用水摆在第一位,工业需水充分考虑改进生产工艺,降低耗水定额,提高水资源重复利用率等;生活需水考虑生活水平的提高,特别是城市化率提高的影响;农业灌溉需水依靠节水灌溉和提高用水效率^[11]。

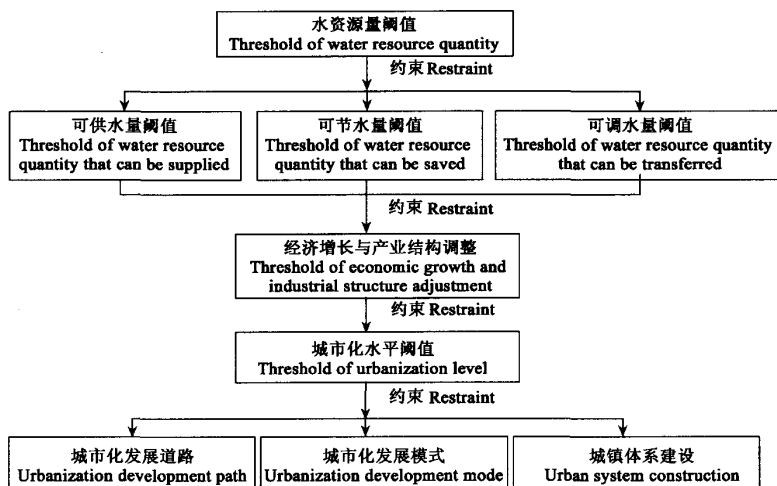


图1 水资源约束下河西走廊城市化水平阈值分析示意图

Fig.1 Threshold analyze of urbanization in Hexi Corridor with restraint of water resource

2.1.3 “退一进二、禁高扩低”的原则 为了确保在可利用水资源量不变的前提下提高单方水产值,需要调整需水结构,降低农田灌溉等第一产业需水量,提高工业等第二产业需水量,严格禁止发展高耗水作物、高耗水工业和高耗水动物,提倡发展耐旱农作物,低耗水工业项目和小牲畜等。通过调整需水结构,调整农业种植结构,提高水分生产率。

2.1.4 “生态环境需水优先,生产生活需水主导”的原则 在进行需水量预测时,一定要考虑走廊生态环境建设所必需的生态环境需水量^[12,13],并坚持优先确保生态需水的前提下,合理分配生产与生活需水量。

2.2 需水量计算的阈值模型

预测河西走廊需水量阈值的主要参数是各城市国民经济各部门需水量历年平均递增速度,需水结构,用水定额等。根据这些参数,分别求出过去 15a(1985~2000 年)和未来 30a(2001~2030 年)各城市各行业需水结构转换系数,进而根据可容许的转换系数求出未来 30a 分阶段可容许的需水结构,根据可容许的需水结构求出在水资源可利用量不变的约束下,各城市各行业分阶段可容许的需水量。最后将各城市各行业可容许的需水量加总,得到河西走廊未来 30a 分阶段各行业的需水量阈值。计算的数学公式为:

$$Q_{Zt} = \sum_{i=1}^m Q_{iZt} = Q_{1Zt} + Q_{2Zt} + Q_{3Zt} + Q_{4Zt} + Q_{5Zt} \geq Q_{Kt} \quad (1)$$

$$Q_{Kt} = \sum_{i=1}^m Q_{iKt} = Q_{1Kt} + Q_{2Kt} + Q_{3Kt} + Q_{4Kt} + Q_{5Kt} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij} Q_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \beta_{0ij} Q_{0ij} \quad (2)$$

式中, Q_{Zt} 、 Q_{Kt} 分别代表第 t 年河西走廊水资源总量阈值和可利用水资源总量阈值, Q_{iZt} 、 Q_{iKt} 分别代表第 t 年第 i 城市水资源总量阈值和可利用水资源总量阈值, Q_{0ij} 代表第 t 年第 i 城市第 j 个行业可利用水资源总量阈值, α_{ij} 代表第 t 年(时段)第 i 城市第 j 个行业(对象)需水结构转换系数,其值定义为第 i 城市第 j 个行业(对象)过去若干年用水比例历年平均的增长速率; β_{0ij} 、 β_{ij} 分别代表基年(2000 年)和第 t 年第 i 城市第 j 个行业需水结构系数,即需水结构比例。 $i=1,2,3,4,5$, 分别代表嘉峪关市、金昌市、武威市、张掖市和酒泉市; $j=1,2,3,4,5,6,7$, 分别代表灌溉需水、林业需水、草场需水、牲畜需水、工业需水、城镇生活需水和农村生活需水。

2.3 需水结构转换系数 α_{ij} 和需水结构系数 β_{ij} 的计算

根据河西走廊过去 15a 需水结构转换系数,结合当地多年观测统计数据,按照降低农业需水比重,提高城市工业与生活需水比重,农业中降低灌溉需水比例、提高林业和草场需水比例的原则,求得 2001~2030 年间河西走廊及 5 个城市需水结构的转换系数(表 1)。以 2000 年为基年,根据需水结构转换系数求得各阶段各城市的需水结构(表 2)。由表得出如下结论:

(1)城市需水比例显著增加,农村需水比例明显减少 未来 30a,河西走廊城市需水比例最大将由 1985 年的 4.44%,提高到 2030 年的 17.82%,相应地农村需水比例将由 95.56%降低到 82.18%。城乡需水结构的转换利于提高用水效益及加速城市化进程。

(2)农业需水中农田灌溉需水比例大幅度下降,林业与草场需水比例稳步抬升 农田灌溉需水是所有用水行业中耗水最大的部门,同时也是单位需水量创造产值最低的部门。到 2030 年,河西走廊农田灌水比例将由 1985 年的 86.71%降低到 66.50%,降低后结余的水量除一部分用于林草需水外,将大部分用于城市工业与生活需水。林业需水比例将由 1985 年的 3.34%提高到 2030 年的 6.61%。草场需水比例也将由 4.02%提高到 7.11%。

(3)生态需水、生产需水和生活需水比例趋于合理 这里的生态需水包括林业需水和草场需水,生产需水包括农田灌溉需水和工业需水,生活需水包括城镇生活需水、农村生活需水和牲畜需水^[14,15]。1985 年河西走廊生态-生产-生活需水结构比例为 8.01:89.55:2.44,到 2000 年调整为 10.72:86.03:3.24,到 2030 年进一步调整为 13.22:82.96:3.83。

表 1 水资源约束下河西走廊城市需水结构转换系数 α_{ij} 计算值

Table 1 The transition coefficient of water utilization structure with water resource restraint in Hexi Corridor									
城市名称 City's name		α_{i1}	α_{i2}	α_{i3}	α_{i4}	α_{i5}	α_{i6}	α_{i7}	α_{in}
嘉峪关市 Jiayuguan	A	-1.0402	1.8243	2.6412	17.4645	0.0754	1.6443	4.8933	-0.2610
	B	-1.8083	-0.1987	3.7168	-0.8954	0.8120	-1.1771	0.6436	-0.9809
	C	-1.3233	0.8140	1.6242	-0.4844	0.2472	0.0251	0.0697	-0.4292
金昌市 Jinchang	A	-0.1586	0.3958	-0.2221	1.3399	0.6712	2.7662	-0.9762	-0.1368
	B	-1.0170	1.2269	1.1339	0.6688	3.3715	0.4265	0.5364	-0.7581
	C	-0.9029	1.2416	1.1407	-0.5979	1.6850	-0.4974	-0.3087	-0.6137
武威市 Wuwei	A	-0.2937	4.6916	0.7422	2.5957	4.6674	4.3336	4.1685	-0.0746
	B	-0.4971	1.3600	0.7867	1.5182	8.7567	1.1983	0.7132	-0.3091
	C	-0.4804	0.9154	0.3611	1.3598	3.2982	1.1451	0.7760	-0.3081
张掖市 Zhangye	A	-0.4655	1.8567	1.1439	1.2195	8.7878	16.5103	4.5947	-0.1636
	B	-0.7890	0.8871	1.7195	0.4610	7.2435	2.2045	0.3493	-0.4297
	C	-0.5786	0.5241	1.4504	0.0773	1.8266	1.6058	0.2560	-0.2493
酒泉市 Jiuquan	A	-0.2739	2.1743	2.7801	-0.1680	1.3410	1.3656	3.3390	-0.0900
	B	-0.6935	1.7263	2.0747	0.3563	4.0267	0.9670	1.1222	-0.4277
	C	-0.3613	0.1502	0.8046	0.1029	1.2779	0.5159	0.2167	-0.2434
河西走廊 Hexi Corridor	A	-0.3508	2.1070	1.1047	1.2981	2.1458	4.2472	3.4658	-0.1357
	B	-0.7349	1.1816	1.4713	0.7280	4.6258	1.1368	0.6354	-0.4550
	C	-0.6498	0.5588	1.1333	0.4383	2.1590	0.9477	0.4159	-0.3915

* A 1985~2000 年,B 2001~2020 年,C 2021~2030 年; α_{in} 城市需水结构转换系数, α_{in} 农村需水结构转换系数 A represents 1985~2000, B represents 2001~2020, C represents 2001~2020; α_{in} represents the transition coefficient of urban water utilization structure, α_{in} represents the transition coefficient of rural water utilization structure

随着生态环境保护力度的加强,将配出至少 13%的水用于生态环境建设,生态需水比例和生活需水比例不断上升,生产需水比例不断降低。生态-生产-生活需水结构趋于合理。各城市生态-生产-生活需水结构基本符合这种变动趋势。

(4)工业需水比例显著提高 工业化是城市化的原动力^[16],针对河西走廊工业化基础薄弱,用水效益低下,城市化的进程急待加快等现状,在需水结构转换系数中,以工业需水结构转换系数最大可达到 4.63%,按此系数转换,工业需水比例将由 1985 年的 4.43%提高到 2030 年的 16.46%。这从水资源方面确保河西走廊的工业化进程与城市化进程同步加快。

2.4 国民经济各部门需水量 Q_{ij} 的阈值分析

根据河西走廊需水结构转换系数求得各阶段各城市需水结构,采用公式(1)、(2)分别计算各城市、各行业未来 30a 分阶段需水量 Q_{ij} ,计算结果如表 3。

2.4.1 总需水量基本保持 2000 年水平,供需总体平衡 2030 年河西走廊总需水量达到 $7.81 \times 10^9 \text{ m}^3$,与 2000 年相比,30a 净增需水量 $2.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。与走廊可利用的总水资源量 $7.98 \times 10^9 \text{ m}^3$ 相比,在不跨区调水的情况下,已经是总需水量的上限阈值。其中,嘉峪关市、金昌市、武威市、张掖市和酒泉市总需水量的上限阈值分别为 2.40×10^8 、 8.76×10^8 、 2.09×10^9 、 $2.35 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $2.23 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。与各城市可利用水资源量相比,武威和金昌需水量超过了各自可利用水资源量,属于严重缺水城市。

2.4.2 生态需水量不断增加 2010 年、2020 年和 2030 年河西走廊生态需水量分别达到 8.19×10^8 、 $9.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.03 \times 10^9 \text{ m}^3$,分别占各年度总需水量的 10.72%、12.13%和 13.20%。与 2000 年相比,生态需水量净增加 $3.25 \times 10^8 \text{ m}^3$,历年平均递增

速度为 1.27%。具体到各城市均呈现出不同程度的增加态势。

表 2 水资源约束下河西走廊需水结构系数 β_{ni} 的阈值计算表

Table 2 The coefficient of water utilization structure with water resource restraint in Hexi Corridor										
城市名称 City's name	年份 Year	β_{n1}	β_{n2}	β_{n3}	β_{n4}	β_{n5}	β_{n6}	β_{n7}	β_{ni}	β_{nin}
嘉峪关市 Jiayuguan	2000	33.12	6.00	2.57	1.57	50.96	5.40	0.38	56.36	43.64
	2010	27.58	5.29	5.88	1.43	54.74	4.66	0.42	59.40	40.60
	2015	25.05	5.43	5.69	1.37	57.56	4.44	0.46	62.00	38.00
	2020	22.99	5.77	5.33	1.31	59.91	4.26	0.43	64.17	35.83
	2030	20.12	6.26	6.26	1.25	61.41	4.27	0.44	65.68	34.32
金昌市 Jinchang	2000	76.74	2.96	4.17	0.95	12.69	1.68	0.81	14.37	85.63
	2010	73.61	3.05	4.69	1.02	15.06	1.71	0.85	16.76	83.24
	2015	70.63	3.33	5.00	1.04	17.39	1.73	0.88	19.12	80.88
	2020	62.55	3.77	5.23	1.09	24.63	1.83	0.90	26.46	73.54
	2030	57.13	4.27	5.86	1.02	29.11	1.74	0.87	30.85	69.15
武威市 Wuwei	2000	86.82	2.42	6.02	1.10	1.29	0.98	1.38	2.27	97.73
	2010	83.73	2.82	6.22	1.29	3.48	1.06	1.41	4.54	95.46
	2015	82.32	2.89	6.33	1.36	4.54	1.10	1.46	5.65	94.35
	2020	78.58	3.17	7.04	1.49	6.89	1.25	1.59	8.14	91.86
	2030	74.89	3.47	7.30	1.70	9.53	1.40	1.72	10.93	89.07
张掖市 Zhangye	2000	81.24	8.02	5.36	1.14	2.50	0.69	1.06	3.18	96.82
	2010	74.97	9.02	6.24	1.22	6.68	0.78	1.09	7.46	92.54
	2015	73.11	9.17	6.61	1.24	7.87	0.89	1.11	8.75	91.25
	2020	69.34	9.56	7.54	1.25	10.11	1.06	1.14	11.17	88.83
	2030	65.43	10.08	8.70	1.26	12.12	1.24	1.17	13.36	86.64
酒泉市 Jiuquan	2000	84.55	3.52	3.31	1.07	6.22	0.75	0.58	6.97	93.03
	2010	79.59	4.21	4.44	1.10	9.22	0.82	0.62	10.04	89.96
	2015	76.58	4.56	4.80	1.12	11.42	0.86	0.66	12.28	87.72
	2020	73.56	4.96	4.99	1.15	13.71	0.91	0.72	14.61	85.39
	2030	68.43	5.12	5.86	1.17	17.67	1.00	0.75	18.68	81.32
河西走廊 Hexi corridor	2000	82.26	4.57	4.74	1.10	5.38	0.99	0.96	6.37	93.63
	2010	77.39	5.20	5.53	1.19	8.64	1.06	0.99	9.70	90.30
	2015	75.07	5.40	5.81	1.22	10.36	1.12	1.03	11.48	88.52
	2020	70.98	5.78	6.35	1.27	13.29	1.24	1.09	14.53	85.47
	2030	66.50	6.11	7.11	1.33	16.46	1.36	1.14	17.82	82.18

2.4.3 生产需水量总体减少,但工业需水量显著增加 从生产需水量分析,2010 年、2020 年和 2030 年河西走廊生产需水量分别达到 6.58×10^9 、 $6.45\times10^9\text{m}^3$ 和 $6.48\times10^9\text{m}^3$,分别占各年度总需水量的 86.03%、84.27%和 83.05%。与 2000 年相比,生产需水量净减少 $1.77\times10^9\text{m}^3$,历年平均递减速度为 0.09%。具体到各城市生产需水量的变化不尽一致。其中嘉峪关、金昌增加,武威、张掖、酒泉减少。

从农田灌溉需水量分析,2010 年、2020 年和 2030 年河西走廊农田灌溉需水量分别降到 5.92×10^9 、 $5.44\times10^9\text{m}^3$ 和 $5.19\times10^9\text{m}^3$,与 2000 年相比,农田灌溉需水量净减少 $1.05\times10^9\text{m}^3$,历年平均递减速度 0.62%。具体到嘉峪关、金昌、武威、张掖、酒泉农田灌溉需水量均呈减少趋势。

从工业需水量分析,2010 年、2020 年和 2030 年河西走廊工业需水量分别提高到 7.42 亿、 $1.11\times10^9\text{m}^3$ 和 $1.39\times10^9\text{m}^3$,与 2000 年相比,工业需水量净增加 $9.10\times10^8\text{m}^3$,历年平均递增速度为 3.59%。具体到各城市均呈现出不同程度的增加态势。

2.4.4 生活需水量呈增加趋势 从城镇生活需水量分析,2010 年、2020 年和 2030 年河西走廊城镇生活需水量分别提高到 8.1×10^7 、 $9.5\times10^7\text{m}^3$ 和 $1.07\times10^8\text{m}^3$,与 2000 年相比,城镇生活需水量净增加 $3.4\times10^7\text{m}^3$,历年平均递增速度为 1.28%。具体到各城市均呈现出不同程度的增加态势。农村生活需水量净增加 $1.6\times10^7\text{m}^3$,历年平均递增速度为 0.66%。牲畜生活需水量净增加 $2.0\times10^7\text{m}^3$,历年平均递增速度为 0.73%。

3 水资源约束下的城市经济发展阈值分析

3.1 基于水资源约束的城市经济发展阈值模型

根据河西走廊需水量和国民经济各行业需水量阈值计算结果,结合各城市各行业节水技术和用水定额降低的最大可能性,以 1985~2001 年 15a 各城市国民经济各行业用水定额历年平均增减速度为基础,确定未来 30a 各城市国民经济各行业用水定额历年平均增减速度,求出未来 30a 各城市各年度国民经济各行业用水定额。依据用水定额,求出水资源容许的各城市各行业经济总量、经济增长速度、经济结构和用水经济效益,然后将各年度各城市各行业加总或平均,即可得出河西走廊国民经济各行业需水量阈值对应的城市经济发展总量。计算公式为:

$$\begin{cases} G_t = \sum_{h=1}^p G_{ht} = \sum_{i=1}^m G_{1ti} + \sum_{i=1}^m G_{2ti} + \sum_{i=1}^m G_{3ti} = \sum_{h=1}^p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\alpha_{ptij} \beta_{ptij} Q_{it}}{\omega_{ptij} W_{ptij}} \\ V_t = \sqrt[t-t_0]{\frac{G_t}{G_{t_0}}} - 1, R_{it1} : R_{it2} : R_{it3} = \sum_{i=1}^m G_{ti1} : \sum_{i=1}^m G_{ti2} : \sum_{i=1}^m G_{ti3} \\ \delta_t = G_t / Q_t \end{cases}$$

(3)

(4)

(5)

式中, G_t 、 G_{1ti} 、 G_{2ti} 、 G_{3ti} 分别代表河西走廊第 t 年国内生产总值, 第 t 年第 i 城市第一产业增加值、第 t 年第 i 城市第二产业增加值和第 t 年第 i 城市第三产业增加值; α_{ptij} 、 β_{ptij} 分别代表第 t 年第 i 城市第 j 行业用水定额转换系数及用水定额系数; R_{it1} 、 R_{it2} 、 R_{it3} 分别代表第 t 年第 i 城市第一产业、第二产业和第三产业产值比例。 V_t 、 δ_t 分别代表第 t 年河西走廊城市经济增长速度和用水经济效益。 $h=1, 2, 3$, $i=1, 2, 3, 4, 5$, $j=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ 。

表 3 水资源约束下河西走廊国民经济各部门需水量 Q_{itj} 的阈值计算表 ($\times 10^8 \text{ m}^3$)

Table 3 The threshold of water requirement for each national economic department with water resource restraint in Hexi Corridor ($\times 10^8 \text{ m}^3$)

年份 Year	总需水量 Gross water consumption	灌溉需水量 Irrigative water	林业需水量 Forestry water	草场需水量 Grassland water	牲畜需水量 Livestock water	工业需水量 Industrial water	城镇生活需水 Urban domestic water	农村生活需水 Country domestic water	城市需水量 Urban water	农村需水量 Country water	生态需水量 Ecological water	生产需水量 productive water	生活需水量 Domestic water
1985	71.0565	61.6149	2.3732	2.8584	0.6425	2.7803	0.3770	0.4102	3.1573	67.8992	5.2316	64.3952	1.4297
1990	73.6145	62.6685	2.6578	3.2388	0.7435	3.2549	0.5306	0.5204	3.7855	69.8290	5.8966	65.9234	1.7945
1995	75.5024	63.5139	2.9250	3.4347	0.7824	3.5776	0.6171	0.6517	4.1947	71.3077	6.3597	67.0915	2.0512
2000	75.9278	62.4750	3.4680	3.6025	0.8333	4.0861	0.7320	0.7309	4.8181	71.1097	7.0705	66.5611	2.3162
2010	76.426	59.1468	3.9709	4.2249	0.9080	6.6032	0.8118	0.7604	7.4150	69.0110	8.1958	65.75	2.4802
2015	76.6029	57.5032	4.1366	4.4487	0.9327	7.9335	0.8590	0.7892	8.7925	67.8104	8.5853	65.4367	2.5809
2020	76.5871	54.3603	4.4233	4.8653	0.9715	10.1794	0.9507	0.8366	11.1301	65.4570	9.2886	64.5397	2.7588
2030	78.1019	51.9368	4.7693	5.5534	1.0350	12.8527	1.0654	0.8893	13.9181	64.1838	10.3227	64.7895	2.9897

3.2 用水定额系数 W_{ptij} 的确定

2000 年河西走廊国民经济各行业用水定额平均为: 农田灌溉需水定额为 $1.24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 林地灌溉定额为 $3.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 草地灌溉定额为 $5.1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 牲畜需水定额为 $30.03 \text{ L}/(\text{头} \cdot \text{d})$, 工业需水定额为 $397.97 \text{ m}^3/\text{万元}$, 城镇生活需水定额为 $170.39 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$, 农村生活需水定额为 $57.16 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ 。这些用水定额普遍偏高, 与河西走廊水资源短缺的现实相矛盾。按照未来各城市各行业需水量阈值, 必须通过降低用水定额, 才能确保在需水量基本不增加的前提下, 使经济总量持续稳定增长。据此, 河西走廊用水定额确定的基本原则是: 农田灌溉定额、林地需水定额、草场需水定额、工业需水定额、城镇生活需水定额普遍调低, 牲畜需水定额, 农村生活需水定额略微调高。根据各城市各行业用水定额降低的可能性, 求出未来 30a 分阶段用水定额转换系数, 进而以 2000 年为基年, 求得河西走廊各城市各行业的用水定额系数(表 4)。

3.3 经济总量

依据各城市各行业需水量阈值和用水定额计算结果, 求得河西走廊 2030 年水资源约束下所能承载的经济总量与产业结构调整值如表 5。

从灌溉面积分析, 到 2030 年河西走廊灌溉面积为 $4.58 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 与 2000 年相比净减少 $4.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 退出的农田灌溉面积主要用于种草, 其次为造林。

从林草地面积分析, 到 2030 年河西走廊林地面积为 $1.15 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 与 2000 年相比净增加 $2.41 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。种草面积达到 $1.16 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 与 2000 年相比净增加 $4.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

从牲畜头数分析, 到 2030 年河西走廊大牲畜头数为 144.76 万头, 与 2000 年相比净增加 21.84 万头。小牲畜头数为 764.31 万头, 与 2000 年相比净增加 126.90 万头。

从国内生产总值(GDP)分析, 在需水量约束下, 到 2030 年河西走廊 GDP 达到 1.81×10^{11} 元, 其中第一产业增加值为 3.43×10^{10} 元, 第二产业为 8.53×10^{10} 元, 第三产业为 6.11×10^{10} 元。

3.4 经济结构

与河西走廊需水量阈值和经济发展总量相对应, 从 2000~2030 年的 30a 间, 产业结构调整优化比例为: 第一产业产值比例将由 2000 年的 28.29% 降为 2030 年的 18.99%, 第二产业产值比例将由 42.15% 提高为 47.20%, 第三产业产值比例将由 29.57% 提高为 33.81%, 朝着产业结构合理化方向发展。

表 4 水资源约束下河西走廊国民经济各部门用水定额系数 W_{pij} 计算表 ($\times 10^4\text{m}^3/\text{hm}^2$)

Table 4 The coefficient of water utilization quota of each national economic department with water resource restraint in Hexi Corridor ($\times 10^4\text{m}^3/\text{hm}^2$)

年份 year	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
1985	1.32	0.67	0.53	0.05	2.03	0.22	0.05
1990	1.34	0.62	0.47	0.05	1.51	0.28	0.06
1995	1.29	0.39	0.55	0.04	0.84	0.26	0.08
2000	1.24	0.38	0.51	0.05	0.60	0.26	0.09
2010	1.21	0.38	0.51	0.05	0.30	0.24	0.09
2015	1.19	0.39	0.50	0.05	0.28	0.23	0.09
2020	1.16	0.40	0.49	0.05	0.26	0.22	0.09
2030	1.13	0.41	0.48	0.05	0.23	0.21	0.10

表 5 水资源约束下河西走廊经济总量与产业结构预测计算表

Table 5 Total economic amount and industrial structure with water resource restraint in Hexi Corridor

年份 Year	灌溉面积 Irrigated area ($\times 10^4\text{hm}^2$)	林果面积 Forest and orchards area ($\times 10^4\text{hm}^2$)	种草面积 Grass land area ($\times 10^4\text{hm}^2$)	牲畜总头数 Total livestock amount ($\times 10^4\text{head}$)	大牲畜数 Large livestock ($\times 10^4\text{head}$)	小牲畜数 Small livestock ($\times 10^4\text{head}$)	总人口 Total population ($\times 10^4\text{persons}$)	农业人口 Agriculture population ($\times 10^4\text{persons}$)	非农业人口 Nonagricultural population ($\times 10^4\text{persons}$)
1985	46.68	3.53	5.41	582.45	108.25	474.20	380.54	311.08	69.46
1990	46.71	4.26	6.90	636.43	115.26	521.17	413.24	335.39	77.85
1995	49.34	7.44	6.27	715.31	126.61	588.70	440.77	342.15	98.62
2000	50.44	9.12	7.06	760.33	122.92	637.41	468.04	350.34	117.70
2010	48.77	10.43	8.31	815.22	130.25	684.97	500.63	364.12	136.51
2015	48.42	10.66	8.90	838.78	135.37	703.41	526.20	371.33	154.87
2020	46.83	11.03	9.91	866.08	139.01	727.07	552.52	375.87	176.65
2030	45.78	11.53	11.64	909.07	144.76	764.31	582.45	377.75	204.70

年份 Year	国内生产 总值 GDP ($\times 10^8\text{yuan}$)	第一产业产值 Primary Industry production value ($\times 10^8\text{yuan}$)	第二产业产值 Secondary Industry production value ($\times 10^8\text{yuan}$)	第三产业产值 Tertiary Industry production value ($\times 10^8\text{yuan}$)	第一产业比例 Proportion of primary industry (%)	第二产业比例 Proportion of secondary industry (%)	第三产业比例 Proportion of tertiary Industry (%)
1985	46.81	12.88	20.50	13.42	27.53	43.81	28.67
1990	71.99	23.18	32.27	16.54	32.19	44.83	22.98
1995	148.44	49.39	63.72	35.33	33.27	42.92	23.80
2000	243.61	68.91	102.67	72.02	28.29	42.15	29.57
2010	633.72	133.52	329.36	170.84	21.07	51.97	26.96
2015	848.58	177.04	420.34	251.20	20.86	49.53	29.60
2020	1169.3	228.95	582.88	357.48	19.58	49.85	30.57
2030	1807.5	343.21	853.13	611.15	18.99	47.20	33.81

3.5 经济增长速度

在需水量阈值约束下,从 2000~2030 年,河西走廊 GDP 历年平均增长速度最快可达到 6.91%,其中第一产业增加值增长速度为 5.50%,第二产业增加值增长速度为 7.31%,第三产业增加值增长速度 7.39%。各城市 GDP 与 3 次产业历年平均增长速度各不相同(表 6)。在五大城市中,以酒泉市经济增长速度最快,次为张掖市,再次为嘉峪关市和金昌市,武威市经济增长速度最慢。反映出越是缺水的城市,越是经济增长速度最慢的城市^[17]。

表 6 水资源约束下 2000~2030 年河西走廊经济增长速度阈值计算表

Table 6 Economic growth rate with water resource restraint in Hexi Corridor in 2000~2030

城市名称 Cities name	GDP 增长速度(%) GDP growth rate	第一产业增长速度(%) Primary industry growth rate	第二产业增长速度(%) Secondary industry growth rate	第三产业增长速度(%) Tertiary industry growth rate
嘉峪关市 Jiayuguan	6.88	5.10	6.79	7.44
金昌市 Jinchang	6.77	5.31	6.70	7.90
武威市 Wuwei	6.62	6.08	7.22	6.65
张掖市 Zhangye	7.02	4.88	8.17	7.66
酒泉市 Jiuquan	7.12	5.51	7.45	7.68
河西走廊 Hexi Corridor	6.91	5.50	7.31	7.39

3.6 用水经济效益

用水经济效益是指国内生产总值与需水量之比。对于干旱缺水的河西走廊来说,水资源约束下的经济发展应该以不断提高

单方水产值为目标。由图 2 看出,1985~2030 年的 45a 间,河西走廊用水经济效益总体呈增加趋势,由 1985 年的 0.66 元/m³,增加到 2000 年的 3.21 元/m³,2010 年的 8.29 元/m³,到 2030 年可增加到 23.14 元/m³,45 年历年平均增长速度为 8.23%。具体到各城市单方水产值均呈增加趋势,但增加幅度各不相同。其中:嘉峪关市单方水产值由 1985 年的 3.00 元/m³ 增加到 2030 年的 55.00 元/m³;金昌市由 1.63 元/m³ 增加到 28.59 元/m³;武威市由 0.45 元/m³ 增加到 20.15 元/m³;张掖市由 3.00 元/m³ 增加到 55.00 元/m³;酒泉市由 0.68 元/m³ 增加到 23.14 元/m³。五大城市中,嘉峪关市、金昌市等工矿城市的单方水产值始终高于武威市、张掖市和酒泉市。可见,加快工业发展步伐,对提高单方水产值,对推动城市化进程至关重要。

4 水资源约束下的城市化发展阈值分析

在总水资源量、总供水量和总需水量基本保持不变、确保经济增长速度不低于 7%、农业需水按 0.61% 的速度退水 9.12×10⁸m³、生态需水比例不低于 13% 等多重约束条件下,分别计算河西走廊未来 30a 能够达到的总人口阈值和城市化水平阈值。

4.1 总人口与非农业人口阈值

在总需水量基本保持不变的约束下,通过调整需水结构、降低用水定额等措施确保未来国民经济各部门用水和城乡生活需水^[18]。根据需水结构调整方案计算总人口阈值。

4.1.1 总人口阈值 2010 年、2020 年和 2030 年河西走廊总人口阈值将分别达到 5.01×10⁶、5.53×10⁶ 人和 5.83×10⁶ 人。与 2000 年相比,30a 净增人口 1.15×10⁶ 人。其中,嘉峪关、金昌、武威、张掖、酒泉到 2030 年人口的最大阈值分别为 2.69×10⁵、6.09×10⁵、2.12×10⁵、1.59×10⁵ 人和 1.24×10⁵ 人。

4.1.2 城镇非农业人口阈值 2010 年、2020 年和 2030 年河西走廊城镇生活需水量比例分别提高到 1.06%、1.24% 和 1.36%,对应的城镇生活需水量分别提高到 8.1×10⁷、9.5×10⁷m³ 和 1.07×10⁸m³,对应的城镇生活需水定额分别降低为 162.93、147.45、142.59L/(人·d)。对应的城镇非农业人口阈值将分别达到 1.37×10⁶、1.77×10⁶ 人和 2.05×10⁶ 人。与 2000 年相比,30a 净增加城镇非农业人口 8.7×10⁵ 人。

4.2 不跨区调水条件下的城市化水平阈值

在不跨区调水的条件下即保持现有水量的条件下,到 2030 年,河西走廊城镇非农业人口将达到 2.05×10⁶ 人,城市化水平达到 35.14%。这一水平仅相当于中国 2001 年的平均城市化水平。与 2000 年相比,城镇非农业人口净增 8.7×10⁵ 人,城市化水平净提高 10.01%。这应该是未来 30 年河西走廊城市化水平的上限。但由于 5 个城市的城市发展性质与功能、人口条件、取水条件、经济社会发展实力、用水定额、节水技术与能力、生态环境状况、体制制度等各不相同,所以有着不同的城市化水平的上限阈值^[19]。嘉峪关市、金昌市、武威市、张掖市、酒泉市 5 个城市到 2030 年城市化水平的上限阈值将分别为 86.64%、57.01%、22.82%、30.53%、40.22%。

4.2.1 到 2010 年河西走廊可承载 1.85×10⁵ 农民进城,城市化水平可提高到 27.27%。其中,嘉峪关市、金昌市、武威市、张掖市、酒泉市 5 个城市分别新增进城非农业人口 3.25×10⁴、4.17×10⁴、2.65×10⁴、4.08×10⁴ 人和 4.66×10⁴ 人。

4.2.2 到 2020 年可承载 2.18×10⁵ 农民进城,城市化水平可提高到 31.97%。其中,嘉峪关市、金昌市、武威市、张掖市、酒泉市 5 个城市分别新增进城非农业人口 1.12×10⁴、2.59×10⁴、6.47×10⁴、8.22×10⁴ 人和 3.37×10⁴ 人。

4.2.3 到 2030 年河西走廊可承载 2.8×10⁵ 农民进城,城市化水平可提高到 35.14%。其中,嘉峪关市、金昌市、武威市、张掖市、酒泉市 5 个城市分别新增进城非农业人口 2.33×10⁴、2.35×10⁴、8.07×10⁴、9.80×10⁴ 人和 5.50×10⁴ 人。

4.3 跨区调水条件下的城市化水平阈值

根据武威、金昌、嘉峪关等城市缺水程度,2030 年后可能采取跨区调水计划。如果调水计划能全部实现,最终将有 1.31×10⁹m³ 的水调入。与此同时,通过近 30a 的节水,到 2030 年后河西走廊节水潜力接近极限值,何况农民对高成本节水技术如低压管灌、喷灌、微灌、滴灌技术并不一定接受,基数庞大的农民也使再从农业中退水的难度加大,只有当农业灌溉定额由 2030 年的 1.14×10⁴m³/hm² 降低为 6×10³m³/hm² 时,最多有望再退水 2.74×10⁸m³。节水与调水两种途径最终可望有 1.58×10⁹m³ 的水,如果将这些水的 70% 用于城市需水,则按照城市化水平每提高 1% 所需要的城市需水量为 9.09×10⁷m³ 的比例关系推算,那么:当城市化水平达到 40% 时,需要新增城市需水量 4.42×10⁸m³;当城市化水平达到 45% 时,需要新增城市需水量 9.97×10⁸m³;当城市化水平达到 50% 时,需要新增城市需水量 1.35×10⁹m³。

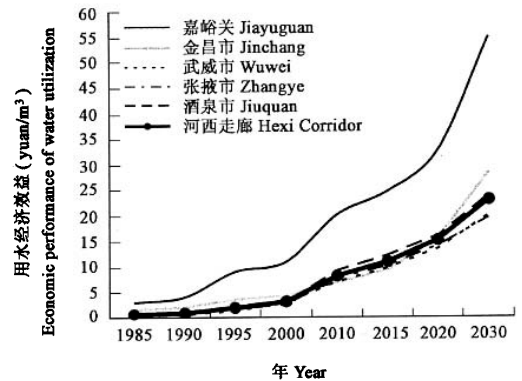


图 2 水资源约束下 1985~2030 年河西走廊用水经济效益变化
Fig. 2 The change of economic benefit of water utilization with the restraint of water resource in Hexi Corridor in 1985~2030

将通过节水与调水获得的 $1.58\times10^9\text{m}^3$ 的水量打 7 折后与上述城市化水平相对照可知,河西走廊城市化水平最终可望达到 47.17%,何时达到 47.17%,主要取决于节水力度和跨区调水工程何时完成。据此,受水资源的约束,河西走廊未来城市化水平的极限阈值应为 47%。超过 47%后的城市需水量将无法保证。

5 水资源约束下经济发展阈值对城市化水平阈值的保障程度

在水资源约束下,到 2030 年河西走廊城镇非农业人口达到 2.05×10^6 人、城市化水平达到 35.14%以后,所有的农业人口和非农业人口是否会具备相应的经济保障能力和充足的就业能力。采用总人口人均拥有的 GDP、非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值、农业人口人均拥有的第一产业增加值 3 项经济指标进行验证^[20](见表 7)。

表 7 水资源约束下河西走廊经济发展阈值对城市化水平阈值保障程度分析表

年份 Year	总人口人均拥有的 GDP Per capita gross domestic product (yuan/person)	非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值 Per nonagricultural capita added value of secondary and tertiary industry (yuan/person)	农业人口人均拥有的第一产业增加值 Per agricultural capita added value of primary industry (yuan/person)
1985	1230.04	4883.73	414.21
2000	5204.98	14842.63	1967.07
2010	12658.46	36642.08	3666.88
2020	21163.04	53233.27	6091.04
2030	31032.69	71532.99	9085.77

从人均拥有的 GDP 保障程度验证,1985 年河西走廊人均拥有的 GDP 只有 1230.04 元/人,2000 年达到 5204.98 元/人,2010 年达到 12658.46 元/人,2030 年达到 31032.69 元/人,是 1985 年的 25.75 倍,是 2000 年的 5.96 倍,1985~2030 年人均 GDP 历年平均递增速度为 7.44%。各城市人均 GDP 均呈快速增加趋势(图 3)。可见,从人均拥有的 GDP 保障程度验证^[21,22],河西走廊未来 30a 的经济总量足以承载 5.83×10^6 人提高生活水平和建设小康社会。

从非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值保障程度指标验证,1985 年河西走廊非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值只有 4883.73 元/人,2000 年达到 14842.63 元/人,2010 年达到 36642.68 元/人,2030 年达到 71532.99 元/人,是 1985 年的 14.64 倍,是 2000 年的 4.83 倍,1985~2030 年非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值历年平均递增速度为 6.15%。各城市非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值均呈快速增加趋势。可见,从非农业人口人均拥有的第二、三产业增加值保障程度指标验证,河西走廊未来 30a 的第二、三产业经济总量足以承载 2.05×10^6 人就业和提高生活水平。

从农业人口人均拥有的第一产业增加值保障程度指标验证,1985 年河西走廊农业人口人均拥有的第一产业增加值只有 414.21 元/人,2000 年达到 1967.07 元/人,2010 年达到 3666.88 元/人,2030 年达到 9085.77 元/人,是 1985 年的 21.94 倍,是 2000 年的 4.62 倍,1985~2030 年农业人口人均拥有的第一产业增加值历年平均递增速度为 7.11%。各城市农业人口人均拥有的第一产业增加值均呈快速增加趋势。可见,从农业人口人均拥有的第一产业增加值保障程度指标验证,河西走廊未来 30a 第一产业经济总量可以保证 3.78×10^6 农民就业和提高生活水平。

References:

[1] Shadananan K Nair. An Assessment of the Water Resources in the Catchments of Kerala, India, *Geophysical Research Abstracts*, 2001, 3:23.

[2] Lerner D N, and Barrett M H. Urban groundwater issues in the United Kingdom. *Hydrogeology Journal*, 1996, 4(1):80~89.

[3] Conan C, Marsily G de, Bouraoui F, et al. A Long-Term Hydrological Modelling of a Semi-Arid Mediterranean Watershed. *Geophysical Research Abstracts*, 2001 3:39.

[4] Ruth Meinzen-Dick, Paul P Appasamy. Urbanization and Intersectoral Competition for Water. *Urbanization and Water*, 2001: 27~51.

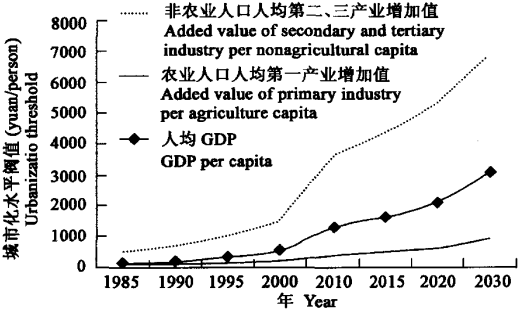


图 3 水资源约束下河西走廊经济发展阈值对城市化水平阈值保障程度曲线图
Fig. 3 The guarantee extent of Economic development to the threshold of urbanization with the restraint of water resource in Hext Corridor

- [5] United Nations Centre for Human Settlements (Habitat) & United Nations Environment Program. Developing a Strategy for Urban Water Demand Management, Expert Group Meeting. Cape Town, 1999:1~23.
- [6] Gayl D Ness, Michael M. Low. *Five Cities: Modeling Asian Urban Population-Environment Dynamics*. Oxford:Oxford University Press, 2000. 26~32.
- [7] Hu X W, Zhou Y X, Gu C L. *Studies on the Spatial Agglomeration and Dispersion in China's Coastal City-and-Town Concentrated Areas*. Beijing:Science Press, 2000. 46~49.
- [8] Allen J Scott. *Global City-Regions: Trends, Theory, Policy*. Oxford: Oxford University Press, 2001. 72~76.
- [9] Takabito Saiki, Robert Freestone, Maurits Van Rooijen. New Garden City of the 21st Century. Published by Kobe University, 2002: 76~81.
- [10] Niu F R, Song Y C. *The Development of Western Regions is Focused on the Cities and Towns*. Beijing:Social Scientific Literature Press, 2002. 167~169.
- [11] Chen J Y, Liu C M. Urban water Saving Potential and Comprehensive Evaluation of Water Resources Management. *Journal of Geographical Sciences*, 1998, **53**(2): 141~148.
- [12] Daily G C, Alexander Ehrlich S P R, et al. Ecosystem services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems, Issues in Ecology. *The Ecological Society of America*, 1997, (2): 25~27.
- [13] Cotanza R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997:12~16.
- [14] Simon K H, Anna Musinszki. Scenario Techniques as a Tool for Supporting Endeavours to Analyse Complex Problems in Urban Ecology. in: J. Breuste, H. Feldmann and O. Uhlmann Eds. *Urban Ecology*. Berlin:Springer-Verlag, 1998. 65~69.
- [15] Daniel P. loucks, John S. Glandwell edits. JianLong Wang translates. *The Continuable Standard of Water Resource System*. Beijing:The Publishing House of Tsinghua University, 2003. 234~239.
- [16] Fang C L. Hexi Corridor; Oasis Supporting Urbanization! Discussing with Mr. Zhong Weizhi. *Journal of Desert Research*, 2003, **23**(1): 98~100.
- [17] Huang J C, Fang C L. Analysis of Coupling Mechanism and Rules between Urbanization and Eco-environment. *Geographical Research*, 2003, **22**(2):68~72.
- [18] Ning Y M. New Process of Urbanization——Dynamics and Features of Urbanization in China Since 1990. *Journal of Geographical Sciences*, 1998, **53**(5): 470~477.
- [19] Yang X B, Wu Q S. *Urban Ecology*. Beijing:Science Press, 2001. 201~210.
- [20] He C Y, Shi P J, Chen J. Process and Mechanism of Urbanization in Beijing Area. *Journal of Geographical Sciences*, 2002, **57**(3): 363~371.
- [21] Xue F X. A Historical Review on Theories Related to the Development and Change of Chinese Cities. *Journal of Geographical Sciences*, 2002, **57**(6): 723~730.
- [22] Fang C L. Evaluation on the Sustainable Development Capacity and Regularity of its Regional Differentiation in Hexi Region. *Journal of Geographical Sciences*, 2001, **52**(5):118~124.

参考文献:

- [7] 胡序威,周一星,顾朝林. 中国沿海城镇密集地区空间集聚与扩散研究. 北京:科学出版社,2000. 46~49.
- [10] 牛风瑞,宋迎春. 西部大开发聚焦在城镇. 北京:社会科学文献出版社,2002. 167~169.
- [11] 陈建耀,刘昌明. 城市节水潜力估算与用水管理水平评定. 地理学报,1998,**53**(2):141~148.
- [15] Daniel P. loucks, John S. Glandwell 主编,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. 234~239.
- [16] 方创琳. 河西走廊:绿洲支撑着城市化! 中国沙漠,2003, **23**(1): 98~100.
- [17] 黄金川,方创琳. 城市化与生态环境交互耦合的机制与规律性分析. 地理研究,2003,**22**(2): 68~72.
- [18] 宁越敏. 新城市化进程——90年代中国城市化动力机制和特点探讨. 地理学报,1998,**53**(5): 470~477.
- [19] 杨小波,吴庆书. 城市生态学. 北京:科学出版社,2001. 201~210.
- [20] 何春阳,史培军,陈晋. 北京地区城市化过程与机制研究. 地理学报,2002,**57**(3):363~371.
- [21] 薛凤旋. 中国城市与城市发展理论的历史. 地理学报, 2002, **57**(6): 723~730.
- [22] 方创琳. 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,**52**(5): 98~124.