

DOI:10. 7522/j. issn. 1000-0240. 2017. 0078
Asadilla Yusup, Anwaer Maimaitiming. Prediction of water consumption in the urbanization course in Kashgar Prefecture, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(3): 688 – 695. [艾萨迪拉·玉苏甫,安瓦尔·买买提明. 新疆喀什地区城镇化过程中用水量预测[J]. 冰川冻土, 2017, 39(3): 688 – 695.]

新疆喀什地区城镇化过程中用水量预测

艾萨迪拉·玉苏甫^{1,2}, 安瓦尔·买买提明^{2,3*}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院/绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院/丝绸之路经济带城市发展研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830054; 3. 新疆教育学院, 新疆 乌鲁木齐 830043)

摘 要: 根据新疆喀什地区城镇化过程中用水量的变化特征,应用系统动力学理论,以仿真模拟技术为手段,以 2002 – 2010 年的统计数据为依据,通过模拟,设计出喀什地区城镇化过程中的用水量系统模型,设定了低、中、高三种城镇化发展速度模式,预测未来 30 年喀什地区用水量及其产业结构的水资源开发利用率。结果表明:喀什地区不宜采取低速和高速的城镇化模式,而适合采取中速城镇化发展模式。通过分析认为,走中速城镇化发展道路,能够保证城镇化发展过程中水资源的可持续利用。
关键词: 城镇化;用水量预测;水资源;系统动力学;喀什地区
中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2017)03-0688-08

0 引言

中共十八大提出走中国特色新型城镇化道路,并把它与工业化和农业现代化相互协调同步发展是推进经济结构战略性调整的重点。2011 年颁布的中央一号文件《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》提出,要实施最严格的水资源管理制度,划定水资源开发利用总量控制红线。我国西北干旱缺水地区城镇化发展过程中,在水资源短缺的情况下,如何协调各行业用水是所面临的现实难题。

新疆喀什地区属于我国最西部干旱缺水的后发展区域。近些年来,随着喀什地区经济发展、人口增长、城镇化水平的提高,水土资源需求量的增加导致环境压力加大。区内有叶尔羌河和喀什噶尔河两大水系,地表水资源丰富,但是径流量年内分布不均,集中在 6 – 8 月。这种水资源时空分布的不均与本区工农业持续发展之间的矛盾日益突出,限制了经济发展。统计显示,与 2002 年相比,2010 年总径流量增长了 $19.27 \times 10^8 \text{ m}^3$,用水总量也增

长了 $25.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。农业用水比重下降了 1.76%,但仍然占用水总量的 90% 以上,而工业、城镇和生活用水量比 2002 年增长了一倍多。水资源利用率为 0.58,低于新疆平均水平。

2010 年 5 月,中央批准设立喀什经济特区,使喀什地区经济社会发展与用水需求面临新的发展形势,喀什地区水资源的合理使用将面临着保障生态安全与发展经济的双重压力^[1-3]。李青等^[4]、陈红梅等^[5]、张文河^[6]通过应用不同的方法对喀什地区水资源承载力进行研究,得出经济活动强度对水资源承载能力影响显著的结论。毛炜峰等^[7]研究了近 50 年来喀什噶尔河流域气温、降水及径流的变化趋势,得出从 20 世纪 90 年代起,全流域年降水量明显增加,喀什噶尔河年径流量近 47 年来呈显著的线性上升趋势。杨宇等^[8]提到了喀什地区城镇经济社会发展与喀什噶尔流域之间具有较好的协调性。隗经斌等^[9]、邓晓雅等^[10]对喀什噶尔河流域进行了综合评价,提到水环境系统脆弱的结论。

以上研究成果对于缓解城镇发展中的内在矛盾,推进城镇化进程,促进区域可持续发展至关重要

收稿日期: 2016-03-25; 修订日期: 2017-01-09
基金项目: 国家自然科学基金项目(41261036)资助
作者简介: 艾萨迪拉·玉苏甫(1990 –),男,维吾尔族,新疆乌鲁木齐人,2016 年在新疆师范大学获硕士学位,现为新疆大学在读博士研究生,从事城市地理与规划研究。E-mail: asadilla@126.com
* 通讯作者: 安瓦尔·买买提明, E-mail: anwaer@xjnu.edu.cn.

要。但是在城镇化与水资源相关研究中，对城镇化、水资源进行单独研究的成果比较多，将两者进行结合研究的成果比较少。多数只是建立简单的模型，讨论两个变量之间的关系。城镇化过程是一个复杂大系统的运动过程，涉及众多变量，用简单的模型分析研究，得出的结果会偏离实际。因此应用系统动力学建立生活-生产-生态等方面的用水模型，可以更实际地得出喀什地区城镇化过程中的用水变化特征，对推动健康发展具有重要意义。

1 研究区概况

喀什地区地处欧亚大陆中部，位于我国西北部、新疆维吾尔自治区西南部。地理位置介于 35°20′~40°18′ N、73°27′~79°57′ E 之间，东西宽约 750 km，南北长 535 km，全区总面积 16.2 万 km²。喀什地区西部与塔吉克斯坦相连，西南与阿富汗、巴基斯坦接壤，边境线总长 888 km。周边邻近国家还有吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、印度 3 个国家^[11-12]。喀什地区属于暖温带大陆性干旱气候，气候干燥、降水稀少、蒸发强烈，光照充足、昼夜温差大，冬短夏长^[13-14]。地形复杂，南、北、西三面环山，东面开口。全区 2010 年水资源总量为 100.24 × 10⁸ m³，其中地表水资源量为 92.34 × 10⁸ m³，地下水资源量为 62.75 × 10⁸ m³，地表水和地下水重复量为 54.85 × 10⁸ m³。6-9 月径流量占年径流量的 60%~80%，年平均气温为 11.4~11.7℃，年降水量为 39~664 mm。2010 年末，全区总人口占自治区总人口的 18.26%，其中城镇人口占 21.98%。全区国民生产总值为 369.85 亿元，人均 9 290 元，城镇居民可支配收入为 10 957 元。

2 数据与方法

2.1 数据来源

统计数据主要来源于喀什地区统计年鉴(2011 年)，以及喀什地区水资源公报(2002-2010 年)。鉴于资料的可得性，以喀什地区为研究单元，状态变量的年变化速率参考了喀什地区“十二五”规划中的现状值和目标值，将水资源利用类型分为农业用水、工业用水、城镇公共用水、生活用水和生态环境用水共 5 个类型^[15]，二级指标中常量和状态变量的初始值如表 1 所示。

2.2 研究方法

2.2.1 系统动力学

对于城镇化与水资源相关的研究，学者们应用了多种研究方法，如灰色预测模型、多目标的规划、等权平均法、系统动力学方法等。其中，系统动力学方法(system dynamics, 简称 SD)1956 年由美国麻省理工学院 J. W. Forrester 教授创立^[16]。它是以仿真技术为手段的定性与定量相结合，系统、分析、综合考虑整个区域的动态协调发展^[17]，专门分析研究复杂系统问题的科学，对长期的战略措施进行有效的分析和提供参考依据。在水资源的利用研究中，通过决策变量设定各种模式，综合考虑各子系统之间的相互联系，再通过 SD 模型模拟不同发展模式，得出人口增长与水资源利用之间的变化趋势并进行对比研究^[18-19]。

2.2.2 研究思路

以方创琳等^[15]对城镇化过程与资源环境之间的研究结果为基础，首先从喀什地区城镇化背景下的水资源利用情况为建模的目的出发，确定整个仿

表 1 常量和状态变量值
Table 1 The values of constants and state variables

常量		状态变量	
水资源量	180.526 × 10 ⁸ m ³	城市生活用水定额	36.50 m ³
生态用水量	1.52 × 10 ⁸ m ³	农村生活用水定额	25.55 m ³
耕地面积	553 013 hm ²	灌溉定额	1 886.80 m ³
林灌面积	151 320 hm ²	有效灌溉系数	0.48
草灌面积	35 453 hm ²	总人口/自治区总人口	18.26%
城市人均日用水量	100 L	城镇人口比重	0.2198
农村人均日用水量	70 L	万元工业产值用水量	65.45 m ³
大牲畜用水定额	21.9 m ³	第一产业产值	128.4059 亿元
小牲畜用水定额	5.475 m ³	第二产业产值	109.8944 亿元
人口自然增长率	3%	第三产业产值	131.5474 亿元

真系统的边界,研究系统结构,分析各变量之间的反馈回路,然后编制模型,通过设定低速、中速、高速的城镇化模式进行模拟,预测未来 30 年喀什地区的用水量、产业结构、各产业的水资源开发利用率,通过分析预测结果找出适合的城镇化模式。研究框架见图 1。

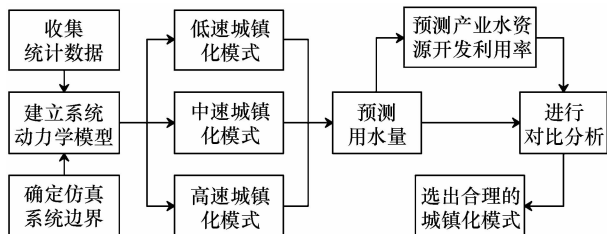


图 1 研究框架

Fig. 1 Framework of the research

3 系统模型的构建

3.1 系统流图的设计

构建城镇化背景下的水资源利用系统模型的核心是,选择状态变量、速率、辅助变量以及由他们组成的结构。状态变量是对输入和输出进行积累的变量。速率是在状态变量方程中代表输入和输出的变量,即在反馈系统中帮助建立速率方程的变量^[20]为速率。通过分析喀什地区水资源与社会经济系统之间的关系,设计出了系统模型(图2)。模型中箭头指向的状态变量随着箭头发源的变量的变

化而变。速率变量是在状态变量方程中,代表输入与输出的变量,如总人口(状态变量)的速率变化是增加人口。

3.2 变量之间的关系

用水总量由生态用水量、生活用水量、工业用水量、农业用水量、城镇公共用水量构成, 关系如下^[21]:

$$W_{\text{用水量}} = W_{\text{生态用水量}} + W_{\text{生活用水量}} + W_{\text{工业用水量}} + W_{\text{农业用水量}} + W_{\text{城镇公共用水量}} \quad (1)$$

$$W_{\text{大牲畜用水量定额}} = 60 \times 10^{-3} \times 365 \tag{18}$$

$$W_{\text{小牲畜用水量定额}} = 15 \times 10^{-3} \times 365 \tag{19}$$

$$Y = 29\,422 \times \ln X - 222\,969 \tag{20}$$

$$G_{\text{总产值}} = G_{\text{第一产业产值}} + G_{\text{第二产业产值}} + G_{\text{第三产业产值}} \tag{21}$$

$$G_{\text{第一产业产值}} = G_{\text{种植业产值}} + G_{\text{林业产值}} + G_{\text{牧业产值}} + G_{\text{渔业产值}} \tag{22}$$

$$G_{\text{第二产业产值}} = G_{\text{工业产值}} + G_{\text{建筑业产值}} \tag{23}$$

$$G_{\text{工业产值}} = 0.56 \times G_{\text{第二产业产值}} \tag{24}$$

根据喀什地区 2002 – 2010 年的数据，用水定额中城市人均日用水量定为 100 L，农村人均日用水量定为 70 L，大牲畜日用水量定为 60 L，小牲畜日用水量定为 15 L。通过分析 2002 – 2012 年的数据，建立了年份与牲畜头数之间的回归方程[式(20)， $R^2 = 0.9576$]，其中 X 为年份， Y 为牲畜头数。城市公共用水量增加值和鱼塘补水量的年平均增加值为 $0.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。总产值是三个产业产值的总和。工业产值占第二产业产值的比重为 0.56，它是喀什地区 2002 – 2012 年间工业

产值占第二产业产值比重的几何平均值。

3.3 设定三种城镇化模式

参考喀什地区“十一五”规划期间城镇化进展速度以及“十二五”规划中城镇化和经济社会的预期目标，设定三种模式(表 2)。低速城镇化是指人口城镇化和经济发展速度相对较低，节水意识较差，缺乏对水资源科学管理，是消极的城镇化模式。与 2002 年相比，2010 年喀什地区城市化率提高了 2.25%，年增长率低于 0.6%，所以 2010 年之前属于低速城镇化模式。中速城镇化是指人口城镇化和经济发展速度保持中速，水资源管理能力强，节水意识较强，是科学的城镇化模式。高速城镇化是指人口城镇化和经济发展保持高速，重视农业水利设施的改善，农业节水意识较强，是急于求成的城镇化模式^[21]。高速城市化模式参数接近喀什地区“十二五”规划中各指标的目标增长率。

表 2 三种城镇化模式下各指标的速率和增量
Table 2 Variations of various economic indexes for the three urbanization patterns in Kashgar Prefecture

城镇化模式	城镇化率 年增长 /%	第一产业 增长率 /%	第二产业 增长率 /%	第三产业 增长率 /%	每年城镇生活 用水定额减少 量/ m^3	每年农村生活 用水定额减少 量/ m^3	每年万元工业 产值用水减少 量/ m^3	每年灌溉 定额减少 量/ m^3	每年草灌 定额减少 量/ m^3	每年有效 灌溉系数 增加量
低速	0.6	7	15	13	0	0	0	0	0	0
中速	1.0	9	17	15	0.5	0.5	2	25	10	0.01
高速	1.5	9	25	20	0.5	0.5	2	25	10	0.01

4 结果与分析

4.1 用水量的预测

根据城镇化背景下的水资源利用系统仿真预测因果反馈模型，应用喀什地区 2010 年的数据进行计算器仿真，得出 2010 – 2040 年间不同城镇化模式下的用水量预测值结果(表 3)。

低速城镇化模式下，用水总量、生活用水、工业用水不断地增加，城镇化、水资源的利用、经济系统都是反馈系统，整个系统最终将会崩溃。中速城镇化模式下，用水总量先保持增长趋势到 2031 年达到峰值($114.8 \times 10^8 \text{ m}^3$)之后下降。其中生活用水量慢速增长；工业用水量先增长，到 2036 年达到峰值($4.9 \times 10^8 \text{ m}^3$)之后下降；农业用水量也是先增长，到 2024 年达到峰值($106.5 \times 10^8 \text{ m}^3$)之后下降。高速城镇化模式下，用水总量先保持增长趋势，到 2038 年达到峰值($138.2 \times 10^8 \text{ m}^3$)之后下降。其中生活用水量不断地增长；工业用水量先增

长，到 2038 年达到峰值($30.1 \times 10^8 \text{ m}^3$)之后下降；农业用水量先增长，到 2025 年达到峰值($106.5 \times 10^8 \text{ m}^3$)之后下降(图 3)。

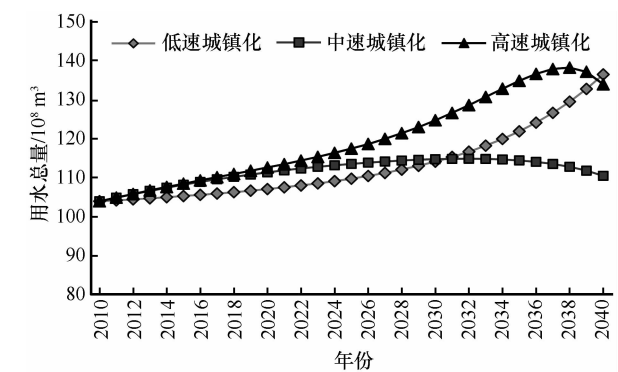


图 3 三种城镇化模式下的用水量预测值
Fig.3 Variations of the predicted water consumption volume for the three urbanization patterns in Kashgar Prefecture

4.2 产业结构和水资源开发利用率的预测

根据计算机仿真值，进一步计算出喀什地区 2010 – 2040 年间的三种城镇化模式下各产业的比

表 3 三种城镇化模式下喀什地区用水量预测 10^8 m^3

Table 3 The predicted water demand for the three urbanization patterns in Kashgar Prefecture 10^8 m^3

年份	低速城镇化				中速城镇化				高速城镇化			
	用水 总量	生活 用水	工业 用水	农业 用水	用水 总量	生活 用水	工业 用水	农业 用水	用水 总量	生活 用水	工业 用水	农业 用水
2010	104.0	1.1	0.4	100.3	103.9	1.1	0.4	100.3	103.9	1.1	0.4	100.3
2013	104.5	1.2	0.6	100.5	106.6	1.2	0.6	102.5	106.7	1.2	0.7	102.4
2016	105.2	1.3	0.9	100.7	108.9	1.2	0.8	104.2	109.3	1.2	1.3	104.2
2019	106.1	1.5	1.4	100.9	110.8	1.3	1.2	105.5	111.7	1.3	2.2	105.4
2024	108.1	1.7	2.8	101.2	113.2	1.4	2.1	106.5	116.3	1.4	5.2	106.4
2025	108.7	1.8	3.3	101.3	113.5	1.4	2.3	106.5	117.4	1.4	6.2	106.5
2028	110.8	2.0	5.0	101.5	114.4	1.4	3.1	106.3	121.4	1.5	10.1	106.2
2030	112.7	2.1	6.6	101.6	114.7	1.4	3.6	105.9	124.7	1.5	13.6	105.8
2031	113.9	2.2	7.6	101.7	114.8	1.5	3.9	105.6	126.6	1.5	15.6	105.6
2035	120.2	2.5	13.3	102.0	114.4	1.5	4.8	103.9	134.8	1.6	25.2	103.9
2036	122.3	2.5	15.2	102.1	114.0	1.5	4.9	103.4	136.6	1.7	27.4	103.3
2038	127.6	2.7	20.2	102.2	112.8	1.6	4.7	102.1	138.2	1.7	30.1	102.0
2039	130.8	2.8	23.2	102.3	111.8	1.6	4.4	101.4	137.1	1.7	29.6	101.3
2040	134.4	2.9	26.7	102.3	110.5	1.6	3.7	100.6	133.9	1.7	27.1	100.6

重和水资源开发利用率(表 4)。水资源开发利用率是指区域用水量占水资源总量的比重,其中水资源总量是总径流量和地下水资源量之和减去重复的水

资源量。根据统计资料,喀什地区的水资源中能开发利用的水资源量为 $129.83\times 10^8\text{ m}^3$,不能开发利用的水资源量为 $50.696\times 10^8\text{ m}^3$ 。因此水资源的开

表 4 三种城镇化模式下喀什地区产业结构和水资源开发利用率预测值

Table 4 The predicted industrial structure and water utilization rate for the three urbanization patterns in Kashgar Prefecture

年份	低速城镇化				中速城镇化				高速城镇化			
	一产比重 /%	二产比重 /%	三产比重 /%	水资源开 发利用率	一产比重 /%	二产比重 /%	三产比重 /%	水资源开 发利用率	一产比重 /%	二产比重 /%	三产比重 /%	水资源开 发利用率
2010	34.72	29.71	35.57	0.58	34.72	29.71	35.57	0.58	34.72	29.71	35.57	0.58
2013	30.59	32.50	36.91	0.58	30.66	32.45	36.89	0.59	27.34	35.29	37.37	0.59
2016	26.74	35.27	38.00	0.58	26.87	35.17	37.96	0.60	20.96	40.80	38.23	0.61
2019	23.19	37.98	38.82	0.59	23.37	37.84	38.79	0.61	15.70	46.09	38.21	0.62
2022	19.98	40.62	39.40	0.60	20.20	40.44	39.36	0.62	11.53	51.04	37.43	0.63
2025	17.10	43.17	39.72	0.61	17.35	42.95	39.70	0.63	8.33	55.60	36.08	0.65
2028	14.56	45.62	39.82	0.62	14.81	45.37	39.82	0.63	5.93	59.76	34.31	0.67
2030	13.04	47.19	39.77	0.63	13.30	46.92	39.78	0.64	4.71	62.32	32.97	0.69
2031	12.33	47.96	39.72	0.64	12.59	47.68	39.73	0.64	4.18	63.54	32.27	0.70
2035	9.81	50.90	39.29	0.68	10.06	50.59	39.35	0.63	2.59	68.05	29.36	0.75
2036	9.25	51.60	39.15	0.69	9.50	51.29	39.21	0.63	2.29	69.09	28.61	0.76
2038	8.22	52.98	38.80	0.72	8.47	52.65	38.89	0.62	1.79	71.08	27.13	0.77
2039	7.75	53.65	38.61	0.74	7.99	53.31	38.70	0.62	1.59	72.02	26.39	0.76
2040	7.29	54.30	38.40	0.76	7.53	53.96	38.51	0.61	1.40	72.94	25.66	0.74

发利用率最大限度值为 71%，开发利用率不能超过这个值。系统动力学模型在不同的城镇化模型中预测出的结果不同。

在低速城镇化模式下，2010–2040 年第一产业比重从 34.72% 逐渐下降到 7.29%，第二产业比重由 29.71% 持续上升到 54.30%，而第三产业比重先从 35.57% 增加到 38.92%，但从 2030 年以后开始下降为 38.40%。同时，水资源开发利用率在 2038 年超过了 71% 的阈值。在中速城镇化模式下，第一产业比重的预测值下降到 7.53%，第二产业比重不断上升到 53.96%，而第三产业比重先增加到 39.82%，从 2029 年以后下降，到 2040 年达到 38.51%。水资源开发利用率先增长，到 2028 年达到峰值(0.64)之后下降，没有超过阈值。水资源的开发利用情况对各产业的发展速度不起到限制作用。在高速城镇化模式下，第一产业比重持续下降到 1.40%，第二产业比重上升到 72.94%，第三产业比重先增加，后下降。水资源开发利用率不断上升，在 2031 年之后超过 71% 的阈值。水资源对城镇化和生产经济发展的约束十分明显。

5 结语

(1) 农业用水量。农业发展的基础是灌溉，利用有限的水资源获得生产效益、社会效益和生态效益，需要改变传统的灌溉方式和用水结构，提高灌溉技术水平，应降低灌溉用水比重。顺应水资源时空分布规律合理布局生产力，如丰水期提高生产，储蓄富余的水资源用到枯水期，水资源条件好的地区有很大的农业节水潜力。喀什地区 2010 年农业用水量占用水总量的 96%，低速和高速城镇化模式下，农业用水量占用水总量的比重每年以 0.72 和 0.71 个百分点的速率下降；中速城镇化模式下每年以 0.18 个百分点下降。这是由于低速和高速城镇化模式下用水总量年平均增加 1% 左右，所以农业用水比重变化率较大；而中速城镇化模式下用水总量年平均增加 0.2% 左右，变化幅度小，所以农业用水比重的变化小。在低速城镇化模式下由于缺乏技术和对水资源的科学管理，有效灌溉系数不能增加，灌溉定额较高导致农业用水量的不断增长；中速和高速城镇化模式下灌溉定额年均以 1% 的速率增加和灌溉定额有所下降，因而农业用水量呈先增加后下降的倒“U”型变化。2010 年农业用水量地下水所占的比重由 2002 年的 7.2% 增长到 20.5%，地下水开采以及平原水库的调节，可以满足季节性

缺水，这对城镇化发展中调整用水结构和绿洲生态有重要作用。

(2) 工业用水量。经济活动所消耗的水资源主要是工业用水，从三种城镇化模式预测值来看，低速城镇化模式下万元工业耗水量较高，随着工业产值的增长工业用水量不断增长。中速城镇化模式下万元工业用水量年均下降速率为 20%，工业用水量在达到稳定状态后呈降低趋势，并没有随着工业产值的增长而增加，表明了工业用水重复利用，节水水平提高。快速城镇化模式下，虽然万元工业用水量不断下降，但是工业产值的高速增长必然导致工业用水的增长趋势。

(3) 生活用水量。经济发展、人口的快速增长、生活水平的提高等导致人们的用水需求日益增加。从用水需求角度来分析，农村人口生活用水量较低，平均日用水量为 70 L，而城镇人口生活用水量较高，平均日用水量为 100 L，所以城镇人口的快速增长是引起生活用水量增加的主要原因，需要控制人口的快速增长。低速城镇化模式下，由于节水意识较差，生活用水定额较高导致生活用水量的增加。高速城镇化模式下，由于人口的城镇化保持高速增加趋势，生活用水量将长期保持增长。中速城镇化模式下，生活用水定额年均以 5% 的速率下降，意味着居民素质的提高，生产效率和节水技术的进步，因而城镇化发展到一定程度时将会使用水量减少成为可能。

(4) 水污染治理。水污染相当于间接地减少水资源总量。喀什地区主要的水资源污染物来源是未经处理的养殖废水、生活污水及农田灌溉水，污染情况基本相同^[22]。对于水污染问题必须高度重视，采取治理措施，改进技术，提高水资源开发利用率和重复利用率，增加节水型水利工程的投资，规划短期和长期的节水性用水方案。提高居民的节水意识，优化产业结构，使产业向节水、污染减少的方向发展，节能减排，推广建立节水型农业结构，提高灌溉水利利用系数，提高水资源的利用综合效益。

参考文献 (References)：

[1] Alimigul Aisa, Zhang Shengjiang, Yue Chunfang. Reasonable configuration of water resources in Kaxkar River basin based on water supply limitation[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2013, 24(2): 43–49. [艾力米古力·艾萨, 张胜江, 岳春芳. 基于供水限额的喀什噶尔河流域水资源合理配置[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(2): 43–49.]

[2] Wang Yanfeng, Yin Xianzhi, Huang Wubin, et al. Study of the precipitable water over the semi-arid regions of the Loess Plateau

- [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(3): 643–649. [王研峰, 尹宪志, 黄武斌, 等. 黄土高原半干旱地区大气可降水量研究[J]. 冰川冻土, 2015, 37(3): 643–649.]
- [3] Li Wei, Mao Wenliang. A study of spatial structure of urban system in ecology-vulnerable regions in northeastern periphery of Tibetan Plateau: a case study in Gannan Tibetan Autonomous Prefecture[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(6): 1427–1434. [李巍, 毛文梁. 青藏高原东缘生态脆弱区城镇体系空间结构研究: 以甘南藏族自治州为例[J]. 冰川冻土, 2011, 33(6): 1427–1434.]
- [4] Li Qing, Chen Hongmei. Comprehensive assessment on water resources carrying in Xinjiang Kashi area based on FAHP[J]. Resource Development and Market, 2013, 29(8): 851–854. [李青, 陈红梅. 基于 FAHP 的新疆喀什地区水资源承载力综合评价[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(8): 851–854.]
- [5] Chen Hongmei, Li Qing. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity based on the principal component method: a case study of Kashi area in Xinjiang[J]. Journal of Tarim University, 2013, 25(2): 96–103. [陈红梅, 李青. 基于主成分分析法的水资源承载力综合评价[J]. 塔里木大学学报, 2013, 25(2): 96–103.]
- [6] Zhang Wenhe. Analysis of factors on water resources carrying in Xinjiang Kashi area[J]. Journal of Chifeng University, 2011, 3(12): 24–27. [张文河. 喀什地区水资源承载力影响因素分析[J]. 赤峰学院学报, 2011, 3(12): 24–27.]
- [7] Mao Weiyi, Sun Benguo, Wang Tie, et al. Change trends of temperature, precipitation and runoff volume in the Kaxgar River basin since recent 50 years[J]. Arid Zone Research, 2006, 23(4): 531–538. [毛伟峰, 孙本国, 王铁, 等. 近 50 年来喀什噶尔河流域气温、降水及径流的变化趋势[J]. 干旱区研究, 2006, 23(4): 531–538.]
- [8] Yang Yu, Zhang Xiaolei, Lei Jun. The coordination degrees of economy-social system and resource environment system in Tarim River basin, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(4): 771–779. [杨宇, 张小雷, 雷军. 塔里木河流域城镇经济社会与资源环境系统协调性研究[J]. 冰川冻土, 2009, 31(4): 771–779.]
- [9] Wei Jingbin, Li Yunhua, Gul Bahar, et al. Protection and countermeasure of the water resources quality in the Kaxkar River basin, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(5): 645–649. [隗经斌, 李云华, 古丽巴哈, 等. 新疆喀什噶尔河流域水资源质量保护及对策[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 645–649.]
- [10] Deng Xiaoya, Yang Zhifeng, Long Aihua. Ecological operation in the Tarim River basin based on rational allocation of water resources[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(6): 1600–1609. [邓晓雅, 杨志峰, 龙爱华. 基于流域水资源合理配置的塔里木河流域生态调度研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(6): 1600–1609.]
- [11] Tayierjiang Tuerhun, Anwaer Maimaitiming. Study of comprehensive risk evaluation of urban natural disaster in Kashgar Prefecture, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(5): 1321–1327. [塔依尔江·吐尔浑, 安瓦尔·买买提明. 新疆喀什地区城市自然灾害综合风险评估[J]. 冰川冻土, 2014, 36(5): 1321–1327.]
- [12] Zhu Hong, Zhou Hongfei, Chen Xiaobing, et al. Analysis on the characteristics of groundwater resources in Kashgar Prefecture, Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2005, 22(2): 152–156. [朱宏, 周宏飞, 陈小兵, 等. 新疆喀什地区的地下水资源特征分析[J]. 干旱区研究, 2005, 22(2): 152–156.]
- [13] Reyangul Umar, Mansur Sabit, Lotpulla Emin. Spatial dynamic changes of ground water resources in Kashghar Prefecture during recent 10 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(7): 63–68. [热汗古丽·吾买尔, 满苏尔·沙比提, 陆吐布拉·依明. 喀什地区近 10 年地下水资源时空动态变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(7): 63–68.]
- [14] Du Qing, Xu Hailiang, Zhao Xinfeng, et al. Changing characteristics of land use/cover and landscape pattern from 1990 to 2010 in the Kaxgar River basin, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(6): 1548–1555. [杜清, 徐海量, 赵新风, 等. 新疆喀什噶尔河流域 1990–2010 年土地利用/覆被及景观格局的变化特征[J]. 冰川冻土, 2014, 36(6): 1548–1555.]
- [15] Fang Chuanglin, Bao Chao, Qiao Biao, et al. During the process of city ecological environment effect[M]. Beijing: Science Press, 2008. [方创琳, 鲍超, 乔标, 等. 城市化过程与生态环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [16] Yang Shujuan, Wang Chuanwu. The system dynamics of water resource carrying capacity: a case study of Jining City[J]. Journal of Jining University, 2009, 30(3): 39–41. [杨书娟, 王传武. 基于 SD 模型的水资源承载力研究: 以济宁为例[J]. 济宁学院学报, 2009, 30(3): 39–41.]
- [17] Shi Manjiang, Xu Zhongmin. An analysis of the sustainable development in Zhangye municipality based on system dynamics model[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, 32(4): 851–859. [师满江, 徐中民. 张掖市可持续发展系统动力学模拟分析[J]. 冰川冻土, 2010, 32(4): 851–859.]
- [18] Amgad E, Hector M, Teri E. Using system dynamics to model water-real location[J]. Environment, 2007, 27(1): 3–12.
- [19] Xu Zongxue, Takeuchi K, Ishidaira H, et al. Sustainable analysis for Yellow River water resource using the system dynamics approach[J]. Water Resources Management, 2002, 16(3): 239–261.
- [20] Wang Qifan. System dynamics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1994: 50–51. [王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994: 50–51.]
- [21] Nie Chunxia, Liu Yanliang. The prediction of urbanization in Xinjiang under water resource constraint[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(6): 193–197. [聂春霞, 刘晏良. 水资源约束下的新疆城市化过程预测[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 193–197.]
- [22] Ge Tong, Li Qingjiang. Changes in surface water quality and irrigation evaluation in Kashgar Prefecture[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2002, 39(1): 49–51. [葛彤, 李庆江. 喀什地区地表水质变化及灌溉评价[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(1): 49–51.]

Prediction of water consumption in the urbanization course
in Kashgar Prefecture, Xinjiang

Asadilla Yusup^{1,2}, Anwaer Maimaitiming^{2,3}

(1. College of Resource and Environment Science / Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Xinjiang University, Ürümqi 830046, China; 2. College of Geographical Science and Tourism / Research Center for Urban Development in Silk Road Economic Belt, Xinjiang Normal University, Ürümqi 830054, China; 3. Xinjiang Education Institute, Ürümqi 830043, China)

Abstract: In this paper, according to the variation of water resources in the urbanization course in Kashgar Prefecture, water consumption and water use efficiency of various industrial structures in the next 30 years are predicted by using system dynamics theory and simulation technology, as well as the statistical data from 2002 through 2010. For better applying the prediction result about water resources under urbanization to simulation, three urbanization patterns (low, medium and high speed) were considered in the prediction. It was found that the Kashgar Prefecture was suitable to apply the medium speed pattern of urbanization. Through analysis, it was clear that adjust the relationship of urbanization speed with quality, than it will be able to guarantee sustainable utilization of water resources in the urbanization course.

Key words: urbanization; water consumption forecast; water resources; system dynamics; Kashgar Prefecture

(本文编辑：武俊杰)