

干旱区绿洲城市产业结构与用水结构双向调控策略^{*}

唐宏^{1,2}, 黄凤³, 冉瑞平¹, 刘云强²

(1. 四川农业大学四川省农村发展研究中心, 成都 611130; 2. 四川农业大学管理学院, 成都 611130;

3. 四川农业大学经济学院, 成都 611130)

提 要: 选择干旱区典型绿洲城市乌鲁木齐, 构建系统仿真模型对未来城市发展与水资源开发利用进行预警分析, 并在既定经济增速与基本稳定的用水总量控制下, 探讨乌鲁木齐产业结构调整与水资源调配的优化模式。研究表明: 1) 不同供水方案下水资源对城市发展的支撑能力有明显差异, 水资源短缺将较大程度限制城市健康发展; 2) 在供水总量基本稳定状况下, 乌鲁木齐市用水结构的调整方向在于生产用水结构, 工业需水比例大幅上升, 农业需水比例迅速下降; 3) 未来乌鲁木齐市应重点发展第二产业, 农业生产应以满足城市居民的蔬菜需求为主, 工业上应限制高耗水产业发展, 提高低、中耗水行业产值比重。

关键词: 产业结构; 用水结构; 双向优化; 绿洲城市; 乌鲁木齐

中图分类号: TV213

文献标识码: A

随着城市化进程的加快, 水资源已成为区域发展的重要约束条件。国内外学者从水资源对城市发展的作用机制^[1-4]、城市化进程中的水资源管理^[5-7]、水资源约束下的城市发展策略^[8-10]等方面进行了深入研究, 我国尤其西北干旱区水资源与城市发展问题相关研究居多。随着水资源与城市发展研究的不断加强, 学者开始尝试运用各种方法模拟水资源开发利用对城市发展的影响过程、不同城市发展速度对水资源开发利用的影响, 探讨未来城市发展的水资源需求和水资源对城市发展的保障程度^[11, 12]。

乌鲁木齐市是我国西北干旱区典型绿洲城市, 其发展受到水资源短缺和生态环境脆弱的多重胁迫, 与水资源关系尤为密切。随着人口增长、城镇化推进和社会经济发展, 特别是灌溉农业和工业产业规模的不断扩大, 乌鲁木齐市水资源供需矛盾日益突出, 用水结构与经济结构发生了严重错位^[13, 14]。由于水资源供给总量增长和农业退水速度有限, 即使采用跨流域调水和节水措施, 农业用水的减少也难以满足城市发展速度过快带来的生活用水和工业用水的增长, 将出现极大的供水缺口^[15], 未来乌鲁木齐市将长期面临城市发展与水资源开发利用相互协调的艰巨任务^[16], 必须转变供需观念, 及时调整水资源供需关系, 采取“以供定需、限额用水”的协调发展型配置方式^[17]。文中以乌鲁木齐市为研究区, 基于1995-2010年供水情况和城市发展状况, 构建系统仿真模型对未来城市发展与水资源需求进行多情景模拟, 在水资源总量控制下探讨用水结构优化配置及产业结构调整方案, 对未来乌鲁木齐市产业结构和工农业结构进行优化调控, 以期促进乌鲁木齐市水资源开发利用和城市协调发展。

1 论文设计与研究方法

根据城市发展进程中的水资源约束理论与机制, 建立系统动力仿真模型, 构建了水资源与城市发展两个系统, 对城市发展进程与水资源需求进行多情景模拟与预测^[15]。模型中假定区域可利用水资源确定, 可利用土地资源不变, 节水技术改进速度稳定, 城市水平根据设定情景发展^[18]。基于不同方案, 以2010年为现状基础年, 对乌鲁木齐市2011-2030年城市发展水平与水资源需求进行情景模拟, 并计算不同方案下的水资源缺口, 比较各情景下水资源对城市发展的支撑能力。分析结果显示, 各城市发展方案和用水

^{*} 收稿日期: 2016-4-2; 修回日期: 2016-4-22。

基金项目: 四川省社会科学高水平研究团队建设计划“四川农村资源市场化研究团队”; 国家自然科学基金项目(41401050); 四川省哲学社会科学“十二五”规划基地项目(SC13E097); 教育部人文社会科学研究青年基金(13YJCZH140) 资助。

作者简介: 唐宏(1985-) 男, 四川金堂人, 博士, 副研究员, 主要从事水资源利用与区域可持续发展研究。

E-mail: tanghongwa@126.com

方案下水资源需求量有所差异,不同的供水方案也影响区域的水资源缺口(表1)。

由于近年来乌鲁木齐市可利用水资源量已完全被开发^[13],文中在进行用水结构调整时,不考虑气候变化和水资源丰枯变化的影响,假设区域多年平均水资源量相对保持稳定。地下水资源量的减少使乌鲁木齐市地下水资源长期处于超采状态,地下水供给难以增加,地表水供给量则随调水能力的增强而增加,但调水量难以大幅增长,区域内供水量不会发生明显变化。用水结构调整中采用的供水方案为跨流域调水方案,调水量以每年 $0.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的速度匀速增加,到2030年调水量达 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$,供(需)水总量达15.15亿 m^3 ,用水方案则采用节水利用方案。

表1 不同情景下需水量与水资源缺口的仿真结果
Table 1 The simulation results of water demand and supply – demand balance in different situations

用水方案	年份	城市发展方案	需水量(亿 m^3)					水资源缺口(亿 m^3)	
			农业	工业	生活	生态	总量	现状供水方案	跨流域调水方案
现状用水方案	2020	高	5.33	9.25	1.97	0.81	17.37	6.87	4.87
		中	5.33	5.37	1.72	0.81	13.24	2.73	0.73
		低	5.33	3.67	1.61	0.81	11.42	0.92	-1.08
	2030	高	5.06	44.75	2.36	1.63	53.80	42.65	38.65
		中	5.06	15.09	1.79	1.63	23.58	12.43	8.43
		低	5.06	7.05	1.56	1.63	15.31	4.16	0.16
节水利用方案	2020	高	5.03	8.36	1.97	0.81	16.17	5.67	3.67
		中	5.03	4.85	1.72	0.81	12.42	1.92	-0.09
		低	5.03	3.32	1.61	0.81	10.77	0.26	-1.74
	2030	高	4.46	36.85	2.36	1.63	45.30	34.15	30.15
		中	4.46	12.43	1.79	1.63	20.32	9.17	5.17
		低	4.46	5.81	1.56	1.63	13.46	2.31	-1.69

2 结果与分析

2.1 用水结构优化调控

立足于节水、产业结构调整 and 当地水资源的深度开发及优化配置,在确保区域水资源基本能够达到动态供需平衡的基础上,建立较为合理的用水结构,在一定程度上有助于缓和乌鲁木齐市水资源短缺的矛盾,促进社会经济的可持续发展^[19]。为保障区域生态环境,生态用水比例逐渐提高,2030年增至 $1.63 \times 10^8 \text{ m}^3$;生活用水量由城镇(农村)人口和城镇(农村)居民用水定额确定,2030年在城市中速、高速发展情景下分别为 $1.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $2.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这里主要对工业生产用水和农业生产用水的合理配置进行重点探讨。

2.1.1 用水总量的优化调控

1995 – 2010年用水结构显示,乌鲁木齐市的工业用水占总用水量的20%左右,农业用水占总用水量的60%左右,即生产用水是乌鲁木齐市用水的重要组成部分。在供水总量、生态用水、生活用水确定的情况下,调整工业和农业内部的产业结构,挖掘节水潜力,有助于促进乌鲁木齐市社会经济发展进程。分析结果表明,在中、高速城市发展情景下,到2030年生产用水总量应分别控制在 $11.726 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $11.160 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表2)。

按照现有供水条件进行水资源调控,乌鲁木齐市的用水结构将发展显著变化。2010年用水总量为 $9.855 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中生态用水占4.30%,生活用水占15.19%,生产用水占80.51%。到2030年用水总量为 $15.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,在城市中速发展情景下,生态用水、生活用水和生产用水比例分别为10.76%、11.84%和77.40%,高速发展情景下则分别为10.76%、15.58%和73.66%。两种城市发展情景下的生态用水比例均最小,但上升明显;由于节水措施的实施,生活用水比例在中速发展情景下有所下降,在高速发展情景略有上升;受水资源总量的约束,生产用水比例均呈下降趋势。

2.1.2 生产用水的优化调控

生产用水的优化调控是在大力发展节水高效农业、有选择发展甚至限制发展高耗水低效工业基础上,根据工农业内部各行业用水量进行优化。未来20年农业用水总量将大幅减少,所占比例大幅下降,工业用水比例则将大幅上升。2010年生产用水量为 $7.934 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中工业用水 $1.9612 \times 10^8 \text{ m}^3$,农业用水 $7.0111 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占用水总量的19.90%和60.61%。城市中速发展要求下,到2030年乌鲁木齐市生

产需水调整为 $11.726 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中工业需水 $8.477 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均增长 $0.3259 \times 10^8 \text{ m}^3$, 农业需水为 $3.249 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均减少 $0.1362 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工、农业需水占需水总量的比例分别为 55.95 和 21.45%, 占生产需水总量的比例分别为 72.29%、27.71%。城市高速发展要求下 2030 年生产需水调整为 $11.160 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中工业需水 $9.0456 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均增长 $0.3542 \times 10^8 \text{ m}^3$, 农业需水 $2.1144 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均减少 $0.1929 \times 10^8 \text{ m}^3$, 工、农业需水占需水总量的比例分别为 59.71% 和 13.96%, 占生产需水总量比例分别为 81.05%、18.95% (表 3)。

表 2 不同情景下的乌鲁木齐市需水量调整

Table 2 Structure of water resources demand in different situations

城市发 展情景	年份	供水总量 (10^8 m^3)	需水总量(10^8 m^3)			需水结构(%)		
			生态用水	生活用水	生产用水	生态用水	生活用水	生产用水
现状	2010	9.855	0.424	1.497	7.934	4.30	15.19	80.51
中速	2015	11.180	0.572	1.683	8.925	5.12	15.05	79.83
	2020	12.500	0.811	1.720	9.969	6.49	13.76	79.75
	2025	13.830	1.150	1.757	10.923	8.32	12.70	78.98
	2030	15.150	1.630	1.794	11.726	10.76	11.84	77.40
高速	2015	11.180	0.572	1.803	8.805	5.12	16.13	78.76
	2020	12.500	0.811	1.973	9.716	6.49	15.78	77.73
	2025	13.830	1.150	2.158	10.522	8.32	15.60	76.08
	2030	15.150	1.630	2.360	11.160	10.76	15.58	73.66

表 3 乌鲁木齐市生产用水总量与用水结构调整

Table 3 Adjustment of production water resources demand and structure in Urumqi

城市 发展	用水 行业	用水量(10^8 m^3)					占用水总量比例(%)				
		2010	2015	2020	2025	2030	2010	2015	2020	2025	2030
中速	工业	1.9612	2.8995	4.0806	5.8592	8.4770	19.90	25.93	32.65	42.37	55.95
	农业	7.0111	6.0255	5.8885	5.0638	3.2490	60.61	53.90	47.11	36.61	21.45
高速	工业	1.9612	3.3620	5.2387	7.6509	9.3413	19.90	30.00	41.64	54.56	59.71
	农业	7.0111	5.4430	4.4774	2.8711	1.8187	60.61	48.76	36.09	21.52	13.96

林地、草地和牲畜用水量在用水总量中所占比例较小,为保障区域生态环境和畜牧业、林业发展,农业内部的林地、草地用水保持不变,牲畜用水随牲畜数量而稳定变化,用水调控主要是灌溉用水的控制。2010 年乌鲁木齐市灌溉用水量为 $6.6502 \times 10^8 \text{ m}^3$,在城市中、高速发展情景下,到 2030 年灌溉需水应分别调整为 $2.8812 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $1.7466 \times 10^8 \text{ m}^3$,占农业用水的比例由 2010 年的 94.85% 分别降至 2030 年的 88.68% 和 82.60%。由于灌溉用水量的减少,林地、草地和牲畜用水虽然变化不大,但所占比例均呈上升趋势。

2.2 产业结构优化调控

水资源总量控制下,基于用水结构优化配置方案,探讨与其对应的产业结构调整方案,对乌鲁木齐市的三次产业结构、农业结构、工业结构等进行优化调控,以实现水资源供需平衡和经济增速满足城市发展需求的双重目标,促进乌鲁木齐市向节水高效型产业结构演进。

2.2.1 三次产业结构调整

2010 年乌鲁木齐市地区生产总值为 303.83 亿元(1978 年可比价),其中一、二、三产分别占 1.49%、44.86%、53.65%,表现为“三、二、一”的产业结构,一产比重极低。乌鲁木齐市作为新疆的社会经济中心,是新兴的综合性工业城市,正处于走新型工业化道路的历史阶段^[20],未来发展中第一产业结构将继续下降,二、三产业产值持续快速增长。中速发展情景下,2030 年乌鲁木齐市地区生产总值达 2605.62 亿元,较 2010 年年均增长 11.34%,一、二、三产产值比重调整为 0.37:54.04:45.59,工业为乌鲁木齐市未来主要发展方向。高速发展情景下,到 2030 年地区生产总值达 8895.62 亿元,年均增长 18.39%,一、二、三产产值比重调整为 0.09:49.68:50.23,依然保持“三、二、一”的产业结构(表 4)。

2.2.2 农业产业结构调整

乌鲁木齐市第一产业产值比重较小,但农业用水比重较大且利用率极低,其中灌溉用水占农业用水总量的 90% 以上,而种植业产值仅占 50% 左右,用水比例高且效率低。调整农业结构,适当压缩农业用水,逐渐提高林、牧、渔业比重,降低种植业比重,是水资源总量控制下乌鲁木齐城市发展的关键。2010 年,乌鲁木齐市农林牧渔总产值为 8.51 亿元,种植业和畜牧业居主导地位。城市中速发展情景下,对农业结构

进行总体优化,到2030年农林牧渔总产值达16.36亿元,其中种植、牧、林、渔、副产值比例分别为32.28%、61.00%、1.38%、2.85%和2.50%。种植业产值比例年均下降1.05%,牧、林、渔、副业产值比例略有上升。城市高速发展情景下,2030年农林牧渔总产值达13.78亿元,种、牧、林、渔、副产值比例分别为19.64%、72.39%、1.63%、3.38%和2.96%(表5)。

表4 不同情景下的乌鲁木齐市产业结构调整

Table 4 Industrial structure adjustment for Urumqi in different situations

指标	年份	城市中速发展				城市高速发展			
		GDP	一产	二产	三产	GDP	一产	二产	三产
产值 (亿元)	2010	303.83	4.53	136.30	163.00	303.83	4.53	136.30	163.00
	2015	517.75	6.16	244.30	267.29	703.95	5.92	325.20	372.83
	2020	884.96	7.64	438.00	439.32	1636.46	6.83	775.90	853.72
	2025	1516.77	8.92	785.40	722.45	3812.77	7.35	1852.00	1953.42
	2030	2605.62	9.61	1408.00	1188.01	8895.62	8.10	4419.00	4468.52
比重 (%)	2010	100	1.49	44.86	53.65	100	1.49	44.86	53.65
	2015	100	1.19	47.19	51.62	100	0.84	46.20	52.96
	2020	100	0.86	49.49	49.64	100	0.42	47.41	52.17
	2025	100	0.59	51.78	47.63	100	0.19	48.57	51.23
	2030	100	0.37	54.04	45.59	100	0.09	49.68	50.23

种植结构是影响灌溉用水定额的主导因素^[21],由于灌溉用水定额的变化已考虑节水因素^[15],因此对灌溉用水量的控制主要通过调整种植结构与灌溉面积。乌鲁木齐市的种植业结构基本呈蔬菜—粮食型布局^[22],且蔬菜、薯类在种植业中具有较高的综合比较优势^[23],近年粮食作物播种面积有所下降,蔬菜面积呈增长趋势。为减少灌溉用水、提高经济效益,实行“压粮调结构节水”工作,在压缩现有灌溉面积的同时,应减少粮食播种面积,扩大蔬菜、瓜果等的生产。

表5 不同情景下的乌鲁木齐市农业结构调整

Table 5 Adjustment of agricultural structure in different situations

城市 发展	年份	农林牧渔总 产值(亿元)	农林牧渔产值结构(%)				
			种植业	畜牧业	林业	渔业	副业
现状 中速	2010	8.51	53.32	42.05	0.95	1.96	1.72
	2015	10.49	51.05	44.10	0.99	2.06	1.80
	2020	12.99	48.94	45.99	1.04	2.15	1.88
	2025	15.19	43.53	50.87	1.15	2.37	2.08
	2030	16.36	32.28	61.00	1.38	2.85	2.50
高速	年均变化	0.39	-1.05	0.95	0.02	0.04	0.04
	2015	10.07	49.01	45.93	1.04	2.14	1.88
	2020	11.63	42.94	51.39	1.16	2.40	2.10
	2025	12.50	31.43	61.77	1.39	2.88	2.53
	2030	13.78	19.64	72.39	1.63	3.38	2.96
	年均变化	0.26	-1.68	1.52	0.03	0.07	0.06

2.2.3 工业产业结构调整

工业用水的调整分为企业内部节水和外部节水两个方面。在模型假设中,乌鲁木齐市未来水资源利用采用节水方案,水资源重复利用率提高、节水工艺等广泛采用,水资源利用效率大幅提高,因此不考虑工业企业内部促进循环用水以提高水资源重复利用率、通过改造工业设备和生产工艺^[24]的节水措施,主要从工业企业外部,考察水资源供给条件一定时,不同耗水率的产业结构调整及整体工业结构的优化升级。

采用全国各行业部门的平均耗水量,根据耗水状况对工业行业进行分类^[25]。1995—2010年,乌鲁木齐市低度耗水行业的万元产值平均耗水量为 1.3796m^3 ,中、高度耗水行业分别为 6.6616m^3 、 65.3726m^3 ,是低度耗水行业的4.84倍、47.39倍。从不同耗水行业产值占工业总产值比例看,1995—2010年乌鲁木齐市低、中、高度耗水行业产值平均比重分别为13.07%、11.75%、75.18%,其中低度耗水行业产值比例呈上升趋势,中度耗水行业产值比例有所下降,高度耗水行业的产值比例最高且较为稳定。2010年,低、中、高耗水工业行业的产值比重分别为19.54%、4.17%、76.29%。工业结构中高耗水行业过高与乌鲁木齐市水资源供给短缺的状况不相适应,也与其作为首府的城市功能相违背,需进行优化调整。

2010年乌鲁木齐市工业总产值为1674.76亿元,占全疆工业总产值的31.35%。现在乌鲁木齐市正处于新型工业化道路的历史阶段^[22],随着新一轮援疆行动的开展、国家主体功能区规划的进一步推进和天山北坡经济带被纳入国家西部大开发战略重要环节,乌鲁木齐市的新兴产业尤其高新技术产业迎来了重大发展机遇,进行工业结构优化调整,对于新疆和全国均具有极其重要的意义^[22]。借助构建的用水结构与产业结构的优化模型,对乌鲁木齐市未来20年的工业总产值与第二产业增加值进行计算。城市中速发展情景下,乌鲁木齐市第二产业增加值由2010年的136.30亿元增至2030年的1408亿元,工业总产值

由391.40亿元增至4281亿元,均增长了近10倍,二产产值比例由44.86%上升到54.04%。在城市高速发展情景下,第二产业增加值和工业总产值分别增加到4419亿元和12691亿元,增长近30倍,第二产业产值比重上升到49.68%。要保障较低的工业需水增长和较高的工业产值增长,必须大力调整工业内部结构,降低工业需水定额。工业内部行业结构的调整结果显示,未来20年乌鲁木齐市工业中的高度耗水行业比例将逐渐降低,低度耗水行业所占比重大幅上升,工业结构向节水型转变(表6)。

乌鲁木齐市工业内部产业结构的调整,也带来工业用水定额的变化。若按照现在的工业结构发展,在采用节水新技术、提高工业用水重复利用率的情况下,到2030年乌鲁木齐市工业用水定额为29.04m³/万元,经过产业结构的调整,加快低、中耗水行业的发展,而限制高耗水行业,到2030年中、高速城市发展情景下工业用水定额分别降低到19.80m³/万元、7.13m³/万元(表7)。工业内部产业结构的调整和工业用水重复利用率的提高,将减缓工业用水总量的变化趋势。

表6 乌鲁木齐市工业内部结构调整

(单位: %)

Table 6 Industrial structure adjustment in Urumqi

年份	城市中速发展			城市高速发展		
	低耗水行业	中耗水行业	高耗水行业	低耗水行业	中耗水行业	高耗水行业
2010	19.54	4.17	76.30	19.54	4.17	76.30
2015	18.55	12.56	68.88	26.05	16.31	60.13
2020	24.04	13.37	62.59	39.04	20.87	45.09
2025	29.52	14.19	56.29	52.02	25.44	30.04
2030	35.00	15.00	50.00	60.00	25.00	15.00

表7 乌鲁木齐市工业内部结构调整引起用水定额变化

(单位: m³/万元)

Table 7 Changes of water quota based on industrial structure adjustment in Urumqi

年份	不同行业用水定额			调整前	调整后工业用水定额	
	低耗水行业	中耗水行业	高耗水行业	工业用水定额	中速	高速
现状	1.38	6.66	65.37	50.11	—	—
2015	1.22	5.88	57.74	44.26	40.74	35.91
2020	1.03	4.99	48.92	37.50	31.54	23.35
2025	0.90	4.35	42.65	32.69	24.89	14.19
2030	0.80	3.86	37.89	29.04	19.80	7.13

乌鲁木齐市现已形成具有多种工业门类、一定生产规模和物质技术基础的工业体系,发展到工业化的后期阶段。但目前产业结构仍以重工业为主,主要集中在粗放型的资源型工业行业,工业生产力水平不高、发展潜力有限,低耗水、高产出的新兴产业发展相对薄弱。未来应根据区域产业结构调整的总体方向,重点发展低、中耗水的产业,而限制高耗水产业的发展。

3 讨论

文中对不同城市发展情景与水资源供给、利用方案下的水资源供需差额进行模拟,各种情景下均出现不同程度的水资源缺口。选择调水—节水情景下的水资源利用方案,对城市中速、高速发展要求下的用水结构和产业结构调整,是探讨现有水资源条件下,满足城市发展速度需求的重要尝试。但是,农业结构的调整与农业用水的压缩,没有充分考虑乌鲁木齐市未来农业发展的趋势。在产业结构调整中,因为缺少乌鲁木齐市工业各行业的用水定额,因此仅仅简单讨论了低、中、高三种不同耗水程度行业的比例划分,无法具体到各个行业,这可能与乌鲁木齐市未来工业发展的要求与趋势有所差异。若数据与资料支持,可更为详细探讨水资源总量限制下乌鲁木齐市产业结构优化调整,为区域未来发展提供实际的指导意义。

4 结论

文中构建系统仿真模型探讨了满足国民经济发展需要的增长速度和用水总量基本稳定的前提下,用水结构与产业结构的优化调整,选择了适合城市发展需要和水资源开发利用现状的城市发展模式与水资源调配模式。主要结论如下:

(1) 在供水总量基本稳定的情况下,要保持区域的水资源供需平衡,对用水结构进行优化调整,首先满足区域的生态、生活用水,对生产用水结构进行调控,工业需水比例大幅上升,农业需水比例迅速下降,农业用水减少主要表现为灌溉用水的减少。

(2) 产业结构调控方面,主要是降低第一产业产值比重,重点发展二产产业。其中,农业内部的产业结构调整表现为林、牧、渔业比重逐渐提高和种植业产值比重下降,农作物种植面积以保障蔬菜供应为主,其他农作物播种面积稳步下降;工业用水优化调控主要从产业结构调整入手,限制高耗水产业发展,提高低、中耗水行业产值比重。

(3) 工业结构的调整重点在于,限制食品饮料等高耗水行业发展,积极扶持电子、机械等具有比较优

势的行业,依托高新技术园区有选择地发展高新技术产业,并加大政策扶持力度,营造良好的工业发展环境。

参考文献

- [1] Merrett S. Introduction to the Economics of Water Resources: An International Perspective [M]. London: University College London Press, 1997.
- [2] 高云福. 城市化发展与水系统的演变 [J]. 城市勘测, 1998(3): 5-8.
- [3] Jenerette G D, Larsen L. A global perspective on changing sustainable urban water supplies [J]. Global and Planetary Change, 2006, 50(3-4): 202-211.
- [4] 程怀文, 李玉文, 徐中民. 水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 [J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1430-1439.
- [5] 霍利斯·钱纳里, 莫伊思·赛尔昆. 发展的型式: 1950-1970 [M]. 北京: 经济科学出版社, 1988.
- [6] 贾绍凤, 周长青, 燕华云, 等. 西北地区水资源可利用量与承载能力估算 [J]. 水科学进展, 2004, 15(6): 801-807.
- [7] 聂春霞, 孙慧, 闫海龙, 等. 新疆艾比湖流域经济社会水资源配置研究 [J]. 经济地理, 2014, 34(1): 156-160.
- [8] Atef A K, Rakad T. Influence of urbanization on water quality deterioration during drought periods at South Jordan [J]. Journal of Arid Environments, 2003, 53(4): 619-630.
- [9] Fitzhugh T W, Richter B D. Quenching urban thirst: growing cities and their impacts on freshwater ecosystems [J]. Bioscience, 2004(54): 741-754.
- [10] 方创琳, 李铭. 水资源约束下西北干旱区河西走廊城市化发展模式 [J]. 地理研究, 2004, 23(6): 825-832.
- [11] 宋建军, 张庆杰, 刘颖秋. 2020 年我国水资源保障程度分析及对策建议 [J]. 中国水利, 2004(9): 14-18.
- [12] 杜湘红. 水资源环境与社会经济系统耦合建模和仿真测度——基于洞庭湖流域的研究 [J]. 经济地理, 2014, 34(8): 151-155.
- [13] 唐宏, 夏富强, 杨德刚. 干旱区绿洲城市水资源开发利用潜力——以乌鲁木齐市为例 [J]. 干旱区研究, 2013, 30(6): 973-980.
- [14] 夏富强, 唐宏, 杨德刚, 等. 干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析 [J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5883-5892.
- [15] 唐宏, 夏富强, 杨德刚, 等. 干旱区绿洲城市发展与水资源需求预警分析——以乌鲁木齐市为例 [J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1168-1174.
- [16] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源对城市化约束强度的情景预警分析 [J]. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1509-1519.
- [17] 陈曦, 秦艳芳, 周可法. 新疆水资源开发和优化配置研究 [J]. 中共乌鲁木齐市委党校学报, 2009(4): 16-18.
- [18] 鲍超. 新疆与中亚邻国水资源开发对城市化和生态环境的影响机理研究 [R]. 中国科学院博士后研究报告, 2009.
- [19] 张豫芳. 基于系统动力学方法的流域社会经济与用水结构双向优化研究 [D]. 中国科学院研究生院, 2010.
- [20] 张芳芳, 高志刚. 基于 SSM 的乌鲁木齐市工业结构与竞争力变动分析 [J]. 新疆财经大学学报, 2011(1): 10-14.
- [21] 王晓愚, 迟道才, 张志新. 新疆灌溉用水定额分区初步研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(3): 263-266.
- [22] 陈彩苹, 楚新正, 张素红. "九五"期间乌鲁木齐产业结构变动及发展分析 [J]. 地理学报, 2003, 22(4): 48-53.
- [23] 张竟竟. 新疆农业优势分析及主导产业选择 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49(5): 1260-1262.
- [24] 郭磊, 张士峰. 北京市工业用水节水分析及工业产业结构调整对节水的贡献 [J]. 海河水利, 2004(3): 55-58.
- [25] 国家计委宏观经济研究院课题组. 北方地区工业产业结构与布局发展趋势研究(北方地区水资源总体规划(第一阶段)研究专题) [R]. 北京: 国家计划委员会, 2001: 254-264.
- [26] 邓铭江, 李湘权, 龙爱华, 等. 支撑新疆经济社会跨越式发展的水资源供需结构调控分析 [J]. 干旱区地理, 2011, 34(3): 379-390.

Mutual optimization of industrial structure and water utilization structure in the arid oasis city

TANG Hong^{1,2}, HUANG Feng³, RAN Ruiping¹, LIU Yunqiang²

(1. Sichuan Center for Rural Development Research, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. College of Management, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

3. College of Economics, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: System simulation model was built to analyze the optimal adjustment of industrial structure and water utilization structure based on meeting the growth rate of economic development and the stability of total amount water resources. Then urban development patterns and water resource allocation patterns were chosen for adapting to the needs of urban development and water resources utilization. Some suggestions were also taking for adjustment urban development and water resources utilization.

Key words: industrial structure; water utilization structure; mutual optimization; oasis city; Urumqi