山地研究(SHANDI YANJIU)=MOUNTAIN RESEARCH,1998,16(3):198～204

吐鲁番水土资源开发利用动态分析*

何洪林　彭补拙　王良健　濮励杰

(南京大学城市与资源学系　南京　210093)

提　要　在分析吐鲁番水土资源特点的基础上,运用系统动力学方法建立吐鲁番水土资源开发利用的仿真模型,并对该模型作了模拟调试及多方案的仿真实验,为提高吐鲁番水土资源开发利用的经济、社会、环境效益提供了依据.

关键词　水土资源　动态分析　合理开发利用　吐鲁番

1　吐鲁番的水、土资源特点

1.1　水资源贫乏,开发利用程度高,有效利用率低

吐鲁番地处干旱地区,绿洲内部降水稀少,地表水和地下水同出于四周的山区降水和冰川积雪融水,其中地表水资源 $3.127\times10^8m^3$,地下水资源按补给量计算为 $3.75\times10^8m^3$,水资源总量 $4.04\times10^8m^3$,人均占有水资源量 $1\ 750m^3$,远低于全国人均占有水资源量 $2\ 600m^3$ 和全疆 $5\ 300m^3$ 的水平,因此水资源极为贫乏. 1995 年水资源引水量达 $5.51\times10^8m^3$,引水率达 77%,开发利用程度高. 水资源现状利用结构(表 1)不合理,农业(农、林、牧)用水 $44\ 480.1\times10^4m^3$,占总用水的 94.4%. 且灌溉技术落后,毛定额高达 $17\ 640\ m^3/ha$,高于全疆的 $12\ 000m^3/ha$ 的水平,工业用水 $670.8\times10^4m^3$;生活用水 $1\ 982.5\times10^4m^3$;水的有效利用系数为 0.55,有效利用率低,水资源浪费严重.

表 1　吐鲁番水资源利用现状及有关参数[1)]　($\times10^4m^3$)

Table 1　The related parameters and present conditions of utilization of water resources($\times10^4m^3$)

项　目	地表水		地下水				合计
	河水	水库	坎尔井	机电井	自流井	泉水	
多年平均用水	13810	490	14608	12380	1300	12505	55093
渠系利用系数	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	0.4	0.55
可利用净水量	5524	294	8764.8	9904	1040	5002	30528.8
总水资源量	31270		37530				68800
引用率　(%)	44		110				77

1)资料来源于吐鲁番市水电局

1.2　土地资源相对丰富,利用结构不合理,利用率低

全市共有土地 1 706 573.70ha,人均土地面积 7.49ha,土地资源相对丰富. 全市已利用土地 471 383.79ha,人均占有已利用土地面积 1.912ha,"有效"土地资源稀缺. 从土地利用的现状结构(表 2)看,土地利用率低,仅为 29.28%,农林牧结构不甚合理,能用于放牧的人工草场面积不到草地面积的 1%. 从土地利用的营养结构看,耕地系统的负熵流输

* 新疆土鲁番市土地局资助课题"吐鲁番市土地利用总体规划"的一部分.
收稿日期:1997-11-14,改回日期:1998-01-11.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

入少,耕地重用轻养,有机质 1.35%～1.40%,全氮 0.068%,全磷 0.064%,有机质贫乏,缺磷少氮,土壤肥力低,中、低产田比重大,占 85.4%. 由于水土资源的开发利用不合理,土壤盐渍化、荒漠化现象较为严重. 此外,受大风、干旱等自然灾害的影响,作物产量偏低,单产仅 3900kg/ha.

表 2　吐鲁番土地利用现状结构表(1995)[1)]

Table 2　The current composition of land use in Turpan city(1995)

土地利用类型	面积(ha)	占土地面积(%)
耕　地	19990.4	1.17
园　地	7684.3	0.45
林　地	4561.4	0.27
牧草地	226800.9	13.29
城镇工矿用地	22988.2	13.4
交通用地	3159.4	0.19
水　域	10337.7	0.51
未利用土地	1206888.9	70.72

1)资料来源于吐鲁番市土地管理局

2　水土资源开发利用系统的动态分析

2.1　水土资源开发利用系统分析

吐鲁番水土资源系统是在吐鲁番特定的自然环境和社会经济环境影响下,在人类长期开发利用水土资源的过程中,通过区内水土平衡反馈机制形成的具有一定耗散结构的人工生态系统. 我们采用系统动力学方法[4],将水土资源开发利用系统分为人口(1)、水土资源开发利用(2)、粮食(3)、环境(4)子系统. 各子系统间的关系可表述为 $R=\{R(i,j)\mid S_i\times S_j\},i,j=1,2,3,4\}$,其中 S 表示各子系统;R 表示子系统之间的所有相互关系;$R(i,j)(i\neq j)$代表子系统 i 与子系统 j 之间的相互关系;$R(i,j)(i=j)$代表子系统 i 的内部关系. R 充分体现了系统与社会、经济及生态环境的各种关系. 整个系统选定以下变量作为主要状态变量:以可供净水量、土地资源的开发利用面积、土地资源的构成来反映水土资源的开发利用程度;以水的供需差额来反映水土平衡的程度;以人口规模、人均粮食占有量、环境绿化率来反映水土资源开发利用所带来的社会、经济、环境效益.

2.2　水土资源开发利用系统总体反馈机制

基于上述的系统分析结果,通过对水土平衡两方面进行深入的因果反馈分析,得到如下水土资源开发利用系统总体关联图(图 1). 显然,系统在总体上由两个负反馈回路耦合而成:

1. 水资源开发利用$\xrightarrow{+}$总供水量$\xrightarrow{-}$供需差额$\xrightarrow{-}$水土平衡压力$\xrightarrow{-}$水资源开发利用

2. 土地资源开发利用$\xrightarrow{+}$总需水量$\xrightarrow{+}$供需差额$\xrightarrow{+}$水土平衡压力$\xrightarrow{-}$土地资源开发利用

在水土资源开发利用中,水资源开发利用占据主导地位. 整个系统以供需水平衡为核心,水土平衡压力为连接纽带和维持系统平衡的重要砝码.

2.3　模型各子系统

2.3.1　人口子系统

总人口包括农村人口和城市人口. 人口规模受机械增长率和自然增长率的影响. 其主要方程如下:

总人口(RK)L　RK.K=RK.J+DT×(RKN.JK+RKJ.JK)

A　CRK.K=RK.K×M1.K;　A　NRK.K=RK.K−CRK.K

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

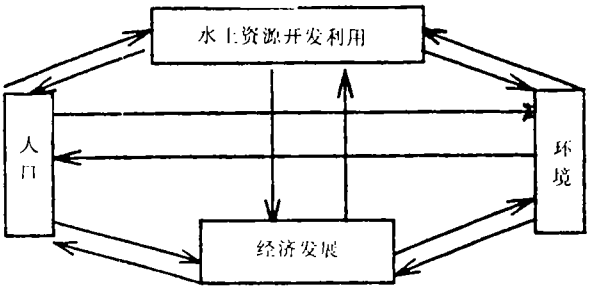

图1 水土资源开发利用系统关联图

Fig. 1 The relation of water and land resources exploitation and ntilization system

式中 RKN 为人口自然增长率；RKJ 为人口机械增长率；CRK 是城市总人口；NRK—农村总人口；M1 表函数，城市人口占总人口比例.

2.3.2 水土资源子系统

为深入研究此系统，将其再分出以下 4 个子系统.

1. 水资源开发利用子系统 吐鲁番的水资源开发利用率高达 77%. 地表水除大河沿水库、亚尔乃孜水库的兴建可增水外，在近 20 年内基本上已无其它开源的可能性；地下水除合理打井可增加少量水源之外，也无多大开源的可能性. 水资源的开发利用主要是节流. 随着渠系利用系数的提高和节水技术的推广，喷、滴灌面积的增加，水资源的可供净水量会增加；从发展看，开发丰富的石油资源以及国民经济的发展都需要用水，工业用水占总用水量的比重必然会增加. 扣除工业用水和生活用水的总供水量进行供需平衡，这一平衡决定了各项农业自然资源的开发速度和规模. 主要方程如下

地表水 L DBS. K＝DBS. J＋DZ×DBSZ. JK；

R DBSZ. KL＝DBSKKL×DBSNKL×CLIP(0,1,DBSKL. K,DBSKKL)

地下水 L DXS. K＝DXS. J＋DZ×DXSZ. JK；

R DXSZ. KL＝DXSKKL×DXSNKL×CLIP(0,1,DXSKL. K,DXSKKL)

喷、滴灌节水 L PDGJS. K＝PDGJS. J＋DT×PDGJSZK；

RPDGJS2. KL＝(ZJDE. K－PDGMS)×PDGMZ. K

可利用净水总量 A ZKLYJS. K＝DBS. K×M2. K＋DXS. K×M3. K＋PDGJS. K

工业用水 A GYYS. K＝ZKLYJS. K×M4. K

农村生活用水 A ASYS. K＝APOP. K×M5. K

城市生活用水 A CSYS. K＝CPOP. K×M6. K

式中 DBS—地表水开发量；DBSKKL—地表水可开发量；DBSZ—地表水开发量年增量；DBSNKL—地表水开发量年增加率；DXS—地下水开发量；DXSKKL—地下水可开发量；DXSZ—地下水开发量年增量；DXSNKL—地表水开发量年增加率；PDGJS—喷滴灌节水量；PDGJSZ—喷滴灌节水年增量；ZJDE—总净灌定额；PDGMS—喷滴灌亩用水量，PDGMZ—喷滴灌面积年增量；M2，M3—地表水、地下水渠系利用系数，表函数；M4—工业用水分水系数，表函数；M5，M6—农村、城市生活用水定额.

2. 耕地和园地开发利用子系统 耕地面积随着不断开垦荒地而增加，随非农业用地和人口的增加而减少. 开荒垦地受到宜农荒地潜力的限制，耕地面积有一个最大开发量；同时，耕地面积增加的速度和规模受到总水量供给的限制，耕地面积的增加，总需水量将增加，会超过总供水量，反过来限制了开垦荒地的规模，又影响到耕地面积增加的速度. 吐鲁番丰富的光热资源为葡萄、棉花等经济作物生长提供了优势的条件，同时，一定数量

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

的经济作物面积,有利于提高绿洲整体的经济效益,在水土平衡、粮食得到一定保障的前提下,应大力发展经济作物. 其主要方程如下

耕地面积 L GM.K=GM.J+DT×(GMZ.JK−GMJ.JK);

R GMZ.KL=MIN(GMZ.K,SGMZ.K)×CLIP(0,1,GGXS.K,GGGS.K)×CLIP(0,1,GM.K,YND);

R GMJ.KL=RZGZ.K+TGMJ.K+QGMJ.K

粮食作物面积 A LXMJ.K=GM.K×M7.K

其它作物面积 A QTZWMJ.K=GM.K−M7.K

园地面积 L YD.K=YD.J+DT×YDZ.JK;

R YDZ.KL=YD.J×CLIP(M8,M9,TIME.K,2000)

式中 GMZ、GMJ—耕地面积年增加、减少量;SGMZ—水资源允许增加的耕地面积;GGGS、GGXS—耕地的灌溉供水、需水量;YND—宜农地总面积;RZGZ—年增加人口的非农业占地面积;QGMJ、TGMJ—年弃耕、退耕面积;M7—粮经比.

3. 林地开发利用子系统　林灌地面积主要受制于农区生态环境的良性循环和林地灌溉水量的供给. 主要方程如下

林地面积 L LMJ.K=LMJ.J+DT×RLZ.JK;

R LZ.KL=LZL.K×RLMJ.K;

A LDXS.K=LMJ.K×N×M8.K

式中 RLMJ—林地面积;RLZ—林地面积年增量;LZL—林地面积年增率;M8—林地灌溉净定额;LDXS—林灌地需水量;N—灌溉林地系数.

4. 草场开发利用子系统　草场总面积是指有效利用的天然草场面积,其增长来自于宜牧土地的开发利用并受宜牧地的最大面积限制. 在有效利用的天然草场中,考虑人工草场和灌溉草场面积在一定速度下增加,天然草场在一定速度下退化. 同时,畜牧出栏量受草场载畜量的限制,灌溉草场的面积又受供水量的限制. 其主要方程如下

草场面积 L CMJ.K=RMJ.K+TMJ.K

人工草场 L RMJ.K=RMJ.J+DT×RMJZ.JK

天然草场 L TMJ.K=TMJ.J+DT×TMJZ.JK

草场灌溉需水 A CCXS.K=RMJ.K×CCDE

牲畜量 L SXL.K=SXL.J+DT×SXZL.JK

牲畜需水 A SXXS.K=SXL.K×SXDE

式中 RMJZ—人工草场年增加量;TMJZ—天然草场年减少量;CCDE—草场灌溉净定额;SXZL—牲畜年增加量,受载畜量的影响;SXDE—牲畜饮水定额.

2.3.3 粮食子系统

随着耕地面积增加,粮食单产提高,粮食总产量也高;经济作物面积增大,经济效益增加,农业总产值增加,人们的生活水平提高. 其主要方程如下

粮食总产 L GRAT.K=LXMJ.K×CMV.K;

A RJLX.K=LXZC.K/POP.K

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

农业总产值 A NYZCZ. K=ZZY. K+LYCZ. K+XMY. K

式中 CMV—粮食单产;ZZY—种植业产值;LYCZ—林业产值;XMJ—畜牧业产值.

2.3.4 环境子系统

农业生态环境的良性循环是水土资源开发利用系统存在并发展的前提和基础. 环境的演变制约或促进水土资源的开发利用. 其主要方程如下

环境绿化率 A HJLX. K=LMJ. K/GL

农田林网化 A NTLW. K=FFL. K(A. K+B. K)

式中 GL—土地总面积;FFL. K—人工防护林面积.

3 仿真结果分析

在仿真模型运行之前,首先对该模型中所有参数赋值,模型的主要参数的确定均来源于吐鲁番市历年统计资料和有关文献记载. 在此基础上对模型进行调试,同时对该模型的灵敏性、强壮性进行检验,检验结果表明,模型的数值灵敏度和行为灵敏度都很小,模型的强壮性好,在通过模型检验后,利用该模型进行了一系列的仿真实验.

通过不同的政策仿真实验可以看出,水资源条件是制约水土资源开发利用系统乃至整个绿洲系统的关键因素. 吐鲁番土地资源开发、经济发展、生态环境改善都依赖于水资源. 同时,在有限的水资源条件下,土地资源的合理利用也是一个非常重要的因素. 以水资源为约束条件,结合水资源分配、土地资源的合理利用,选取其中两种方案作比较.

3.1 方案一——加大水利投入,保持现有土地利用结构不变条件下的水土资源开发(趋势型)

不改变吐鲁番现有水资源分配方式、土地利用结构,水利投入较大的前提下(渠系利用系数由 0.55→0.70,兴建水库,增加滴灌面积),保持农林牧现有发展速度的动态变化如图 2、3 和表 3.

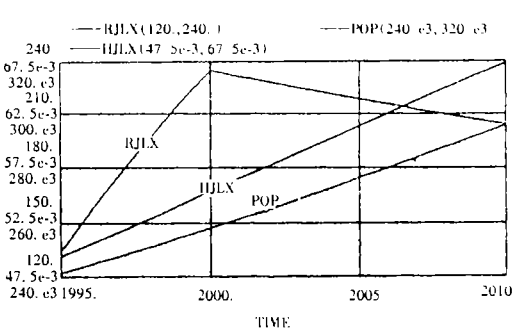

图 2 人口、人均粮食、环境绿化率动态变化图

Fig. 2 Dynamic change trend of population, food and green rate

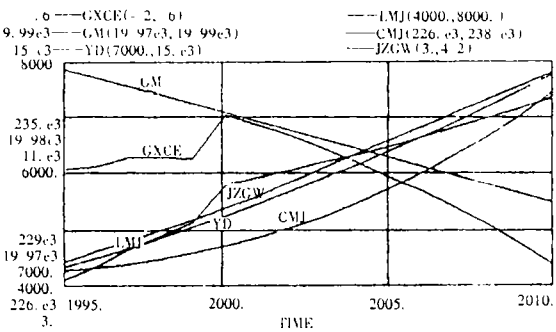

图 2 人口、人均粮食、环境绿化率动态变化图

Fig. 3 Dynamic change trend of the water and land resources

可以看出,由于水利投入的加大可利用净水量,由 1995 年的 $3.03\times10^8m^3$ 增至 2010 年的 $4.005\times10^8m^3$;土地资源大幅度的开发,随着粮食单产的提高,耕地面积基本上持平,由于经济利益的驱动,粮经比由 1995 年的 2∶3 变化为 2000 年的 9∶16,2005 年的

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

3∶7,园地面积增幅最大,净增 6 856ha,林地、牧草地均有所增加;但随着水土资源的开发,2007 年水资源的"瓶颈"作用开始发挥,供需差额呈负值,水土开始不平衡,国民经济的发展处于停滞不前的境界.

表 3　动态仿真结果

Table 3　Dynamic simulate results

时间 (a)	可利用净水量(10^8m^3)	人口 (千人)	人均粮食 kg/(人)	环境绿化率(%)	耕　地 (ha)	园　地 (ha)	林　地 (ha)	牧草地 (ha)	供需差额 (10^8m^3)
1995	3.0305	241.5	134.9	5.275	19990	7684	4561.4	226800	0.2913
2000	3.5348	258.2	234.7	5.536	19990	904.8	5442.2	228200	0.4823
2005	3.7363	276.3	218.03	6.137	19980	11760	6493.0	231100	0.39619
2010	4.0048	295.6	203.89	6.732	19980	14540	7746.7	236300	−0.1208

3.2　方案二——加大水利投入的同时,合理分配水资源、调整土地利用结构下的水土资源开发(协调型)

耕地、园地、林地、牧草地比例,由 1995 年的 1∶0.38∶0.22∶11.37,调整为 2000 年的 1∶0.46∶0.28∶11.72,2010 年的 1∶0.48∶0.42∶11.9. 动态变化如图 4、5 和表 4.

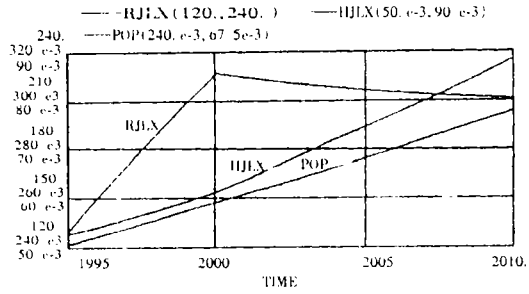

图 4　人口、人均粮食、环境绿化率动态变化图

Fig. 4　Dynamic change trend of population, food and green rate

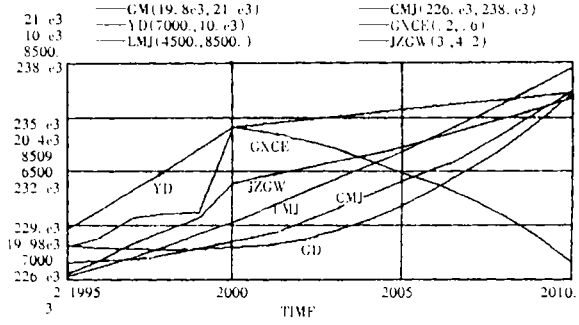

图 5　水土资源动态变化图

Fig. 5　Dynamic change trend of the water and land resources

可以看出,在整个国民经济发展的 15 年内,水土基本上保持平衡. 土地资源开发速度比较合理,耕地面积虽然略有下降,但由于单产水平的提高,人均粮食稳定在210kg/人,满足国民经济发展的需要;园地、林地、牧草地都有所增加,环境绿化率增至 9.254%,提高了生态效益,保证了国民经济的持续发展.

比较以上两种结果,可以看到:在水资源尽可能加大投入的情况下,土地利用结构的调整对于水土资源的合理开发有着非常重要的影响. 在未来的 15 年内,吐鲁番应在加大水利投入的前提下,合理分配水资源、调整土地利用结构,稳定耕地,适当提高经济作物面积;增加园地,提高全市的整体经济利益;扩大人工草场,提高载畜量;增加人工林面积,提高森林覆盖率.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

表4 动态仿真结果

Table 4 Dynamic simulate results

时间 (a)	可利用净水量(10^8m^3)	人口 (千人)	人均粮食 (kg/人)	环境绿化率(%)	耕地 (ha)	园地 (ha)	林地 (ha)	牧草地 (ha)	供需差额 (10^8m^3)
1995	3.0305	241.5	134.9	5.275	19990	7684	4561.4	226800	0.25913
2000	3.5348	258.2	227.43	6.123	19980	9126.2	5565.6	228200	0.48235
2005	3.7363	276.3	216.51	7.456	20210	9356.6	6889.4	231100	0.39619
2010	4.0048	295.6	211.38	9.254	20830	9592.9	8414.2	236300	0.23227

参 考 文 献

[1] 中国自然资源学会,中国地理学会,中国农学会等. 中国干旱半干旱地区自然资源研究. 北京:科学出版社,1988.56～73.

[2] 吐鲁番地区统计处. 吐鲁番统计年鉴,北京:中国统计出版社,1995.319～360.

[3] 王其藩. 系统动力学. 北京:清华大学出版社,1993.

第一作者简介 何洪林,男,27岁,南京大学95届环境地理学专业硕士研究生. 现主要从事环境系统分析和环境GIS工作.

THE STUDIES ON THE DYNAMIC IMITATION FOR UTILIZATION OF WATER AND LAND RESOURCES IN TURPAN CITY

He Honglin Peng Buzhuo Wang Liangjian Pu Lijie

(*Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing* 210093)

Abstract

On the basis of analysing the characteristic of water and land resources in Turpan city, using the method of dynamic system, the author establish the dynamic imitation model for utilization of water and land resources. Several imitation experiments and their results provides a scientific foundation to improving effect of society, economy and environment of water and land resources exploitation and utilization.

Key words Turpan, water and land resources, dynamic analysis, reasonable utilization

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n