

西北内陆干旱区水资源承载能力研究

王 浩,秦大庸,王建华,李令跃

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所,北京 100044)

摘要:在西北内陆干旱区水资源生产能力分析的基础上,定量地给出了该区域重点地区的水资源承载力。针对生态环境脆弱的内陆干旱区特点,探讨了水资源承载力的主要研究内容、特性和影响它的主要因素,然后提出了水资源承载力的指标体系、计算流程和边界条件,分析计算了其水资源生产能力。研究结果表明,利用新疆、河西、宁夏的农产品弥补关中和柴达木农业生产的不足,利用新疆、关中、柴达木的工业生产弥补河西、宁夏工业生产的不足,2020年西北重点地区完全可以承载其 6.384×10^4 人的预测人口,且能保证每人有年均400kg粮食和 2×10^4 元以上的富裕生活水平。

关键词:水资源;承载力;指标体系;内陆干旱区;生产能力

中图分类号:TV213.9

文献标识码:A

文章编号:1000-3037(2004)02-0151-09

一般地说,区域水资源承载力是一个具有自然—社会双重属性的概念,既反映了水资源系统满足社会经济系统的能力,也与社会经济系统开发水资源的深度有关,其大小取决于区域自然环境、水资源量、社会经济技术水平、社会经济结构和承载驱动力大小等诸多因素^[1,2]。所以,水资源承载力可以定义为:在某一具体的区域和发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性发展为前提,在水资源合理配置和高效利用的条件下,区域社会经济发展的最大人口容量。在内陆干旱区,径流性水资源不仅要承载绿洲的社会经济发展,而且要承载脆弱的生态环境;在水资源紧缺的情况下,水资源承载力决定了土地资源的承载力,必须将水土资源和生态系统的水资源保障条件同步考虑。此外,在干旱区农业用水占90%以上的情况下,通过市场对农产品的调入调出对区域水平衡有较大影响,每t粮食的调出相当于 $1 \times 10^3 \sim 2 \times 10^3 \text{m}^3$ 的水量也被调到区域外,因此,还必须同步考虑产业结构的调整和市场条件的变化对水资源承载力的影响^[3]。在本次研究中,首先探讨水资源承载力的主要研究内容、特性和影响它的主要因素,然后提出水资源承载力的指标体系、计算流程和边界条件,最后根据西北地区水资源的生产能力,定量地给出该区域的水资源承载力。

1 水资源承载力的主要研究内容及其特性

1.1 主要研究内容

水资源承载力的主要研究内容包括:水源构成与开发利用方式、水资源与其他资源之间的平衡关系、国民经济发展规模及内部结构、水资源的开发利用与国民经济发展之间的平衡关系、生态系统保护范围及程度、水资源开发利用与生态环境保护之间的平衡关系和人口发展与社会经济发展的平衡关系等7个方面。

(1) 水源构成与开发利用方式:包括水资源的数量与质量、来源与组成,水资源的开发利用方式及开发利用潜力,水利工程可控制的面积、水量等,上述条件构成了绿洲中天然水循

收稿日期 2003-08-19;修订日期 2003-10-21。

基金项目:“十五”国家重大科技攻关计划项目第2课题(2001BA610A-02)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

第一作者简介:王浩(1953~),男,北京人,教授级高工,博士,研究方向为水文水资源规划。

环通量和人工水循环通量的基本比例。

(2) 水资源与其它资源之间的平衡关系:即在国民经济发展过程中,水资源与国土资源、森林资源、草地资源、生物资源、能源、矿产资源之间的平衡匹配关系。上述条件界定了水资源对国民经济直接支撑和间接支撑的基本比例。

(3) 国民经济发展规模及内部结构:国民经济内部结构包括工农业发展比例、农林牧渔副发展比例、轻工业重工业发展比例、基础产业与服务业的发展比例等等。上述条件会直接影响到国民经济用水格局和通过市场产品交换带来的水资源调入调出。

(4) 水资源的开发利用与国民经济发展之间的平衡关系:使有限的水资源在国民经济各部门中达到合理配置,充分发挥水资源的配置效率,使国民经济发展趋于和谐。上述条件在整体上确定了水资源的经济产出效率。

(5) 生态系统保护范围及程度:包括生态系统的总面积、生态系统中绿洲与过渡带的比例、绿洲中天然生态面积与人工生态面积的比例、最低限度的天然水面面积等。上述条件会直接影响到生态建设用水格局。

(6) 水资源的开发利用与生态环境保护之间的平衡关系:大量的水资源进入到人工侧支水循环支撑国民经济发展后,余留在天然水循环中的水资源支撑着绿洲天然生态和过渡带,水资源在生态系统层圈结构中有合理配置的问题,也有提高水分的生物转化率问题,使生态系统保持稳定和改善。

(7) 人口发展与社会经济发展的平衡关系:通过分析人口增长变化趋势、消费水平变化趋势,研究预期人口对工农业产品的需求与未来工农业生产能力之间的平衡关系,人口对生态环境的基本需求与未来生态系统演变趋势之间的关系。

通过对上述7个方面的研究,寻求进一步开发水资源的潜力、提高水资源承载能力的有效途径和措施,探讨人口适度增长、资源有效利用、生态环境逐步改善、经济协调发展的战略和对策。

1.2 水资源承载力的特性

根据水资源承载力的内涵和所研究的内容,随着经济快速发展、科学技术进步、人民生活水平提高、对生态环境重视等,使得水资源承载力具有动态性、相对极限性、模糊性和被承载模式的多样性等特点^[4]。

(1) 动态性是指水资源承载能力与发展阶段和发展水平有直接关系,不同的发展水平有不同的承载能力,这体现在两个方面,一是不同的发展水平下人类开发水资源的技术手段不同,二是不同经济和社会的发展阶段人类利用水资源的水平不同。

(2) 相对极限性是指在某一具体发展阶段所相应的发展水平,水资源可能达到的最大承载能力特性,即可能的最大承载指标。

(3) 模糊性是指由于所面对的水资源生态经济系统的复杂性和不确定因素的客观存在,以及人类认识的局限性,决定了水资源承载能力在具体的承载指标上存在着一定的模糊性。

(4) 被承载模式的多样性是水资源生态经济系统发展模式的多样性。人类消费结构不是固定不变的,而是随着生产力的发展而变化的,尤其是在现代社会中的经贸关系可以弥补一个地区生产能力的不足,因此,其发展模式不是惟一的。如何利用有限的水资源支持合适的生态经济系统的发展模式则是水资源承载能力研究不可回避的决策问题。

水资源承载能力的动态性说明了事物总是处于不断发展变化的历史过程中,相对极限性和模糊性则反映了相对真理和绝对真理的辩证统一关系,而被承载模式的多样性则决定了水资源承载能力研究是一个复杂的决策问题。

2 影响区域水资源承载能力的主要因素

对于我们赖以生存的水资源生态经济复合系统,影响水资源承载能力的主要因素包括自然地理和经济社会两个方面,自然地理因素主要有水资源条件及其开发利用程度、生态环

境状况和其它资源潜力,经济社会因素主要有产业结构与生产力水平、社会消费水平、市场条件和科学技术发展水平等^[5,6]。

(1) 水资源条件及开发利用程度。水资源条件好,对区域的承载能力就大;单位面积产水量大,则单位面积上承载的人口也就更多。水资源开发利用程度高,当前阶段的承载能力高,但未来提高的余地不大;水资源开发利用方式不同,会直接影响到区域水资源的有效蒸发和无效蒸发,也会影响到生产和生态建设的可利用水资源量。因此,在研究水资源承载能力时,一般假定在水资源合理配置的基础上进行。

(2) 生态环境状况。在同等的水资源条件下,生态脆弱地区的生态需水量大,需水的刚性也大,生态需水要占到水资源总量的 1/3 以上,因此,国民经济的水资源可利用量就相对偏小,水资源承载能力也偏小。这时,人类的生存与发展需要两个方面的承载:水资源对经济和社会发展的直接承载;水资源承载生态环境,生态环境再承载经济与社会发展。

(3) 其它资源潜力。社会生产不仅需要水资源,而且还需要其它自然资源,诸如矿产、森林、土地等。在内陆干旱区,社会经济发展不仅直接受到水资源的承载,还受到土地与森林草地资源的承载,而土地和森林草地资源也受到水资源的承载,从而绿洲社会经济发展和生态环境建设对水资源都十分敏感。

(4) 产业结构和生产力水平。不同历史时期或同一历史时期的不同地区都具有不同的生产力水平,利用单方水可生产不同数量及不同质量的工农业产品,水资源承载能力研究必须对现状与未来的生产力水平进行预测。

(5) 社会消费水平。在社会生产能力确定的条件下,社会消费水平及结构将决定水资源承载能力的大小。同样生产力条件下,可以承载在较低生活水平下的较多人口,也可以承载在较高生活水平下的较少人口。

(6) 市场条件。商品市场的存在决定了产地与销地之间的调出调入,生产单位产品所耗用的水资源也随之调入调出。政策法规因素对区域产业结构和市场格局均会产生影响,从而对水资源承载力产生影响。

(7) 科学技术发展水平。历史进程已经证明了科学技术是推动生产力进步的重要因素,未来的基因工程、信息工程等高新技术将对提高工农业生产水平产生不可低估的作用,进而对提高水资源承载能力产生重要影响。

3 水资源承载力指标体系

建立水资源承载力指标体系的指导思想是:从我国水资源短缺这个基本国情出发,借鉴国外或国内其它部门的先进经验,建立具有实际操作意义的全面反映我国社会经济和生态环境协调发展的状况与进程、水资源可持续利用的状况与进程,及其相互适应程度的指标体系及评价方法,科学地指导水资源规划与管理。

在制定水资源承载力指标体系时,需要考虑以下原则^[7]:

● 科学性原则,即按照自然规律和经济规律,特别是可持续发展理论定义指标的概念和计算方法。

● 整体性原则,水资源承载力指标体系既要反映社会、经济、人口对水资源承载力的影响,又要反映生态、环境、资源对水资源承载力的影响,还要反映出上述各系统之间的相互协调程度。

● 动态性与静态性相结合原则,即指标体系既要反映系统在某一阶段的发展状态,又要反映系统的发展过程。

● 定性定量相结合原则,指标体系应尽量选择可量化指标,难以量化的重要指标可以采用定性描述指标。

● 可比性原则,指标尽可能采用标准的名称、概念、计算方法,使之与国际指标具有可比

性,同时又要考虑我国的实际情况。

● 可行性原则 指标体系要充分考虑到资料的来源和现实可能性。

依据上述原则并综合 1、2 所述,在文献[2]给出的指标基础上提出以下 4 类 16 项指标:

(1) 可比性指标 水资源无论是承载社会经济发展还是承载生态环境建设,其最终的承载对象是人,因而人口是最高层次的承载力指标。在西北地区生态环境极其脆弱,需要兼顾在某一整体承载水平下的生态状况,因此增加了绿洲人口密度指标。由于还需要兼顾对状态和过程的反映,需要有现状绿洲人口密度作比较基数。经过反复筛选,确定以下 3 个指标:① 可承载总人口 (10^4 人),指某一水平年水资源可承载的区域总人口,反映整体情况;② 单位绿洲面积可承载人口 ($\text{人}/\text{km}^2$),反映生态脆弱地区人口对生态环境的压力;③ 单位绿洲面积现状人口 ($\text{人}/\text{km}^2$),作为比较基数,反映整体演变趋势。

(2) 均衡性指标 均衡性指标反映被承载系统的模式多样性。最高层次的指标反映可以养活多少人,这一层次的指标则反映这些人在什么样的水平下生活。其中人均 GDP 和人均粮食指标最为基本,既可反映产业结构和收入水平,又可反映用水格局。其他指标起补充说明作用,一是在市场交换条件下可相应计算水资源的调入调出,二是在某一生活水平下可帮助界定人均需水量。① 人均 GDP ($\text{元}/\text{人}$);② 人均收入 ($\text{元}/\text{人}$, 城镇、农村);③ 人均粮食占有量 ($\text{kg}/\text{人}$);④ 人均棉花占有量 ($\text{kg}/\text{人}$);⑤ 人均油料占有量 ($\text{kg}/\text{人}$);⑥ 人均蔬菜占有量 ($\text{kg}/\text{人}$);⑦ 人均肉类占有量 ($\text{kg}/\text{人}$)。

(3) 效率性指标 效率性指标说明水资源开发利用的合理性。首先是水资源总量中有多少水进入到人工侧支循环,留给天然生态的水量还有多少,说明水资源系统和生态系统的稳定性,其次是说明用多大的经济代价实现的水资源开发利用,第三是说明所开发利用的水资源能够产生多大的经济效益和社会效益。① 水资源开发利用程度 (供水量/水资源量);② 单方供水费用 (系统供水平均投资及运行费/单方供水量, 城镇、农村);③ 单方水国内生产总值 (区域 GDP/区域供水量)。

(4) 极限性指标 极限性指标反映某一发展阶段可能达到的水资源利用的效率极限。① 工业用水重复利用率 (工业生产补水量与生产过程的水循环通量之比);② 单方水粮食产量 (hm^2 平均粮食产量/ hm^2 灌溉毛定额);③ 地表水灌溉平均渠系有效利用系数 (到达田间的水量与灌溉引水量之比)。

4 水资源承载能力计算流程

基于流域水资源二元演化模式的承载能力计算,其最大的进展在于不仅考虑了对社会经济系统的承载能力,同时还考虑了对脆弱生态系统的承载能力,以及生态系统对经济系统的间接承载作用。进行水资源承载能力计算时,不仅考虑了作为被承载客体的社会经济系统的用水格局、用水效率和用水的投入产出效率,而且考虑了作为承载主体的资源环境系统为达到可持续利用目的而发生的自身用水需求。在西北内陆干旱区,流域的社会经济系统和生态环境系统以水为纽带,在发展进程中的相对平衡具有明显的互斥性、动态性、多样性和极限性,承载能力研究需要同时考虑水资源的天然循环与人工侧支循环两个方面。具体的计算流程参见图 1。

5 承载能力分析的边界条件

将新疆、甘肃河西走廊、宁夏、陕西关中平原、青海柴达木盆地五大重点地区作为计算单元,以粮食(包括水稻、小麦、玉米、高粱、大麦、豆类)、棉花、油料、蔬菜、甜菜、其它(麻类、烟叶、啤酒花、药材、打瓜籽、果用瓜等)6种作物描述种植业的种植结构,水果代表果林,肉和奶代表畜牧业,以三大产业描述经济结构。

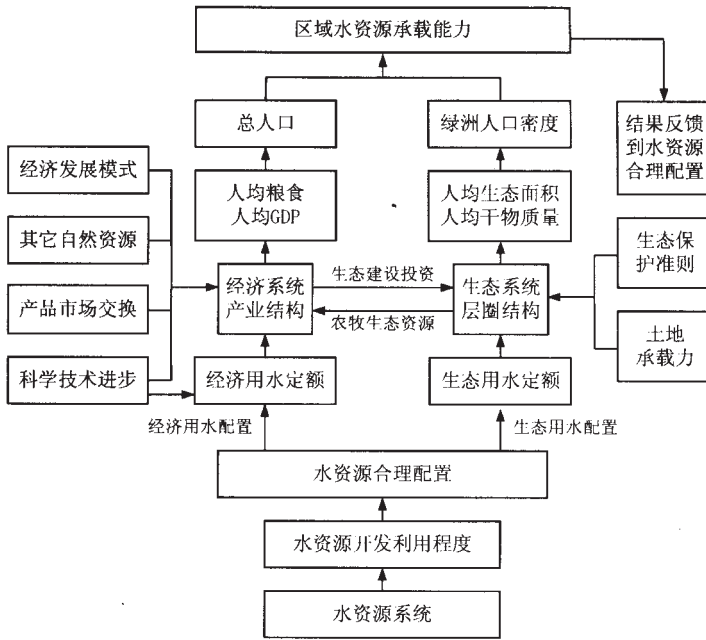


图 1 水资源二元演化模式下的区域水资源承载力计算流程

Fig.1 Flow chart of calculation of carrying capacity of regional water resources under the mode of dual evolution of water resources

比例。例如,在数量相同的三种消费结构中,以粮食为主的消费结构属于低水平,以植物蛋白为主的消费结构属于中等水平,以动物蛋白为主的消费结构属于高水平。食物消费结构取决于社会经济发展水平,同时也是社会经济发展水平高低的一个体现。人类消费的物品包括两类,第一类为维持生命延续的食物,以农产品为主;第二类为维持正常生活的消费品,以工业品为主。本次研究拟用两类指标表示人民群众的生活水平:农产品和 GDP,人均农产品的占有量说明了人民群众的温饱程度,而人均 GDP 则代表富足程度。农产品分粮食、棉花、油料、蔬菜、甜菜、水果、肉、奶等指标,这些指标基本上涵盖了人民群众日常生活所必须的农业消费品。

衡量水资源承载力大小的标准,归根结底是承载的人口数量和相应的生活水平。一般来说,承载的人口越多,其生活水平必然相对较低。生活水平的高低主要决定于对工农业产品的占有量,占有量越高,生活水平也越高。因此,未来人口对工农业产品的单位占有量水平必然影响水资源承载力的计算。

通过上述分析,综合考虑世界、全国以及西北地区的社会经济发展历程,给出 2020 年的农产品和 GDP 的人均期望值,作为分析水资源承载力的主要依据。农产品指标给出了高、低两套标准,低标准反映了人民群众生活达到基本温饱条件下每人所能占有的人均农产品,而高标准是指人民群众生活达到温饱并略有赢余条件下每人所能占有的人均农产品(表 1)。

表 1 2020 年主要农产品期望值(kg/人)

Table 1 Expected output of main farm produce in 2020

| | 粮食 | 油料 | 棉花 | 水果 | 甜菜 | 蔬菜 | 肉 | 奶 | 水产品 |
|-----|-------|------|------|------|------|-----|------|------|------|
| 低标准 | 385.0 | 18.0 | 6.0 | 35.0 | 15.0 | 140 | 35.0 | 35.0 | 15.0 |
| 高标准 | 420.0 | 25.0 | 12.0 | 40.0 | 20.0 | 180 | 40.0 | 40.0 | 20.0 |

生活水平标准划分原则:人均农产品占有量达到上述指标,则生活水平只是温饱;在温饱的基础上,2020 年人均 GDP 超过 1×10^4 元,则进入中等富裕水平;同样条件下人均 GDP 超过 2×10^4 元,则进入富裕水平。

在进行具体的承载能力分析计算时,并不要求农产品的人均指标都超过上述期望值,可以允许某些指标低于期望值,但必须建立农产品的市场交换机制,即可以用超出期望值的农产品在国际市场或国内市场上去等价交换低于指标期望值的农产品,使农产品的人均占有量与指标期望值达到总体平衡。农产品交换比价受市场、政策、国际国内政治形势等多种因素的影响与干扰,参考现状农产品的市场销售价格预测分析了未来主要农产品之间的交换比价(表2)。表中价格以粮食价格为基本单位,其它都是相对价格。

表2 农产品相对交换比价

Table 2 Price relations among farm produce

| | 粮食 | 棉花 | 油料 | 甜菜 | 蔬菜 | 水果 | 肉 | 奶 | 水产品 |
|------|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| 相对比价 | 1 | 5 | 3 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 10 | 0.3 | 2 |

6 西北地区水资源生产能力分析

水资源是控制西北干旱地区社会经济发展的主要因素之一。在水资源得到合理开发利用之后,西北重点地区的工农业生产规模将达到何等程度?根据上述思路 and 边界条件,对2020年的水资源生产能力进行了较为详细的分析。然后根据“九五”攻关研究中提出的农业结构调整方向,结合承载能力模型中更为细致的农、林、牧业种植结构,对未来重点地区的主要农产品产量进行了预测(表3)。

表3 西北重点地区农产品生产能力(10⁴t)

Table 3 Expected output of farm produce of key areas in Northwest China (unit: 10⁴t)

| 地区 | 水平年 | 粮食 | 棉花 | 油料 | 甜菜 | 蔬菜 | 其它农作物 | 水果 | 肉 | 奶 |
|-----|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 新疆 | 1995年 | 730.6 | 99.3 | 49.3 | 288.7 | 272.2 | 121.0 | 114.4 | 52.2 | 49.9 |
| | 2000年 | 864.9 | 123.3 | 63.5 | 323.7 | 310.5 | 126.8 | 130.8 | 61.1 | 58.5 |
| | 2010年 | 985.3 | 161.6 | 83.7 | 372.0 | 366.7 | 130.8 | 154.8 | 77.8 | 74.5 |
| | 2020年 | 1 118.4 | 179.9 | 105.5 | 425.9 | 440.3 | 132.4 | 174.7 | 100.4 | 96.1 |
| 河西 | 1995年 | 203.7 | 2.2 | 13.1 | 0.0 | 83.3 | 38.1 | 19.0 | 13.4 | 13.8 |
| | 2000年 | 230.1 | 3.4 | 23.0 | 0.0 | 87.8 | 47.2 | 20.1 | 15.6 | 15.9 |
| | 2010年 | 279.2 | 4.3 | 28.1 | 0.0 | 91.7 | 54.3 | 23.8 | 19.0 | 19.3 |
| | 2020年 | 332.8 | 5.5 | 34.6 | 0.0 | 96.6 | 62.9 | 25.5 | 22.0 | 22.3 |
| 宁夏 | 1995年 | 250.1 | 0.0 | 5.6 | 41.0 | 77.0 | 12.8 | 11.7 | 14.8 | 17.2 |
| | 2000年 | 292.6 | 0.0 | 17.3 | 49.5 | 93.0 | 15.8 | 13.5 | 17.1 | 19.8 |
| | 2010年 | 371.9 | 0.0 | 22.4 | 62.9 | 122.8 | 21.4 | 16.4 | 20.8 | 24.1 |
| | 2020年 | 445.5 | 0.0 | 26.5 | 79.9 | 150.5 | 28.3 | 19.9 | 24.0 | 27.9 |
| 关中 | 1995年 | 605.9 | 3.9 | 18.9 | 0.0 | 229.3 | 10.2 | 169.4 | 60.9 | 25.0 |
| | 2000年 | 516.8 | 3.3 | 28.4 | 0.0 | 202.5 | 10.8 | 174.7 | 70.4 | 28.9 |
| | 2010年 | 755.9 | 5.2 | 35.9 | 0.0 | 268.4 | 11.9 | 182.5 | 85.5 | 35.1 |
| | 2020年 | 934.6 | 7.4 | 38.5 | 0.0 | 327.4 | 13.1 | 191.3 | 98.9 | 40.6 |
| 柴达木 | 1995年 | 11.1 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.6 | 2.3 | 2.3 |
| | 2000年 | 12.6 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 4.6 | 0.5 | 1.0 | 2.6 | 2.6 |
| | 2010年 | 19.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 9.0 | 0.6 | 1.5 | 3.2 | 3.2 |
| | 2020年 | 21.7 | 0.0 | 2.1 | 0.0 | 14.5 | 0.6 | 1.7 | 3.7 | 3.7 |
| 合计 | 1995年 | 1 801.4 | 105.4 | 87.5 | 329.7 | 661.8 | 182.6 | 315.1 | 143.6 | 108.2 |
| | 2000年 | 1 917.0 | 130.0 | 133.5 | 373.2 | 698.4 | 201.1 | 340.1 | 166.8 | 125.7 |
| | 2010年 | 2 441.3 | 171.1 | 172.0 | 434.9 | 858.6 | 219.0 | 379.0 | 206.3 | 156.2 |
| | 2020年 | 2 923.0 | 192.8 | 207.2 | 505.8 | 1 029.3 | 237.3 | 413.1 | 249.0 | 190.6 |

7 西北重点区水资源承载能力

根据对水资源生产能力的分析,对西北重点区的水资源承载能力进行了计算。有必要指出的是,计算采用了一个特定的农业生产结构,即在现状生产结构的基础上,结合各地区自然地理特点作必要的调整,应该说,换一种农业生产结构可能会对水资源承载能力计算的结论有影响,但由于本次计算采用了农产品价格交换比的平衡分析方法,故农业生产结构的变化对水资源承载能力的最终结论影响不大。具体计算结果见表 4。

表 4 2020 年西北重点地区水资源承载能力指标

Table 4 Indexes of carrying capacity of water resources of key areas in Northwest China in 2020

| 标准 | 项目 | 单位 | 新疆 | 河西 | 宁夏 | 关中 | 柴达木 | 西北 | |
|------------------|------------------|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 温 饱 标 准 | 承载人口 | 10 ⁴ 人 | 3 350 | 680 | 765 | 2 485 | 77 | 7 357 | |
| | GDP | 10 ⁴ 元/人 | 1.88 | 1.49 | 1.70 | 2.28 | 2.32 | 1.97 | |
| | 粮食 | kg/人 | 354.7 | 489.5 | 582.2 | 376.1 | 283.3 | 397.3 | |
| | 棉花 | kg/人 | 53.7 | 8.1 | | 3.0 | | 26.2 | |
| | 油料 | kg/人 | 31.5 | 50.9 | 34.6 | 15.5 | 26.7 | 28.1 | |
| | 甜菜 | kg/人 | 127.1 | | 104.5 | | | 68.7 | |
| | 蔬菜 | kg/人 | 131.4 | 142.0 | 196.7 | 131.8 | 188.9 | 139.9 | |
| | 其它农作物 | kg/人 | 39.5 | 92.6 | 36.9 | 5.3 | 8.3 | 32.3 | |
| | 水果 | kg/人 | 52.1 | 37.4 | 26.0 | 77.0 | 22.0 | 56.1 | |
| | 肉 | kg/人 | 30.0 | 32.4 | 31.4 | 39.8 | 47.8 | 33.9 | |
| | 奶 | kg/人 | 28.6 | 32.8 | 36.4 | 16.4 | 47.8 | 25.9 | |
| | 绿洲人口密度 | 人/km ² | 271 | 358 | 147 | 444 | 68 | 281 | |
| | 富 裕 标 准 | 承载人口 | 10 ⁴ 人 | 3 000 | 506 | 651 | 2 480 | 77 | 6 714 |
| | | GDP | 10 ⁴ 元/人 | 2.10 | 2.00 | 2.00 | 2.28 | 2.31 | 2.15 |
| 粮食 | | kg/人 | 396.1 | 657.7 | 684.3 | 376.8 | 282.3 | 435.3 | |
| 棉花 | | kg/人 | 59.9 | 10.8 | | 3.0 | | 28.7 | |
| 油料 | | kg/人 | 35.2 | 68.4 | 40.7 | 15.5 | 26.6 | 30.9 | |
| 甜菜 | | kg/人 | 142.0 | | 122.8 | | | 75.4 | |
| 蔬菜 | | kg/人 | 146.8 | 190.8 | 231.2 | 132.0 | 188.3 | 153.3 | |
| 其它农作物 | | kg/人 | 44.1 | 124.4 | 43.4 | 5.3 | 8.3 | 35.3 | |
| 水果 | | kg/人 | 58.2 | 50.3 | 30.6 | 77.2 | 21.9 | 61.5 | |
| 肉 | | kg/人 | 33.5 | 43.5 | 36.9 | 39.9 | 47.7 | 37.1 | |
| 奶 | | kg/人 | 32.0 | 44.1 | 42.8 | 16.4 | 47.7 | 28.4 | |
| 绿洲人口密度 | | 人/km ² | 222 | 266 | 125 | 443 | 68 | 246 | |
| 预测人口 | | 10 ⁴ 人 | 2 549 | 571 | 710 | 2 478 | 77 | 6 384 | |

注:新疆、河西、宁夏农产品采用高标准,关中、柴达木采用低标准。

西北重点地区水资源的承载能力特点如下:

(1) 到 2020 年,新疆、河西、宁夏、关中、柴达木 5 个地区可以承载其预测人口 6 384×10⁴ 人,考虑到地区之间的互补性,平均每个预测人口可以占有 2.26×10⁴ 元的 GDP、458kg 粮食、30.2kg 棉花、32.5kg 油料、64.7kg 水果、39kg 肉、30kg 奶。

(2) 由于新疆水土资源较为丰富,承载能力还有一定潜力,属于潜力较大区。这表现在:根据预测,到 2020 年新疆人口将达到 2 550×10⁴ 人,而新疆的水资源可以承载 3 000×10⁴ 人,且每个承载人口可以占有 2.1×10⁴ 元 GDP、396kg 粮食、60.0kg 棉花、35.2kg 油料,换句话说,承载人口可以有一个较为富裕的生活水平。

(3) 河西、宁夏水资源的温饱承载能力比预测人口略高,而富裕生活标准的承载能力低于预测人口。2020 年这两个地区的生活水平不高,仅能维持中等富裕生活水平。

(4) 关中、柴达木虽然承载人口与预测人口基本持平,但其人均农产品的占有量偏低,人

均粮食不足 400kg,部分农产品靠外部地区输入,只能依靠工业产品进行补偿。

(5) 五大重点地区内部水资源承载能力不平衡,新疆虽然属于潜力较大区,但东疆的工业发达、农产品不足,南疆农产品丰富而工业欠发达。宁夏属于水资源承载能力平衡区,没有移民移入或移出,但南部山区承载能力不足,需移民到引扬黄灌区。河西地区的石羊河、黑河两流域水资源承载能力已无潜力,由于 $53 \times 10^3 \text{hm}^2$ 农业综合开发和 20×10^4 移民安置工程的实施,疏勒河流域承载能力也将达到饱和。

(6) 西北重点地区虽然整体上属于农业占主导的地区,但其经济结构、农业种植结构仍有一定的互补性。柴达木属于矿业地区,新疆的北疆和东疆以及关中地区工业基础设施好,属于较发达地区;从农产品来看,新疆(特别是南疆)和疏勒河是棉花生产大户,其它地区棉花生产不足,关中地区油料生产不足,而新疆和石羊河生产的油料有余。

参考文献(References):

- [1] 夏军,朱一中.水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J].自然资源学报,2002,17(3):262~269.[XIA Jun,ZHU Yi-zhong.The measurement of water resources security:A study and challenge on water resources carrying capacity.*Journal of Natural Resources*,2002,17(3):262~269.]
- [2] 姚治君,王建华,江东,等.区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J].水科学进展,2002,13(1):111~115.[YAO Zhi-jun,WANG Jian-hua,JIANG Dong,et al.Advances in study on regional water resources carrying capacity and research on its theory. *Advances in Water Science*,2002,13(1):111~115.]
- [3] 中国科学院新疆资源开发综合考察队.新疆生态环境研究[M].北京:科学出版社,1989.[Group of Investigating Resources Development of Xinjiang,Chinese Academy of Sciences.Study on Ecological System of Xinjiang.Beijing:Science Press,1989.]
- [4] 王建华,江东,顾定法,等.水资源承载力的概念与理论[J].甘肃科学学报,1999,11(2):1~4.[WANG Jian-hua,JIANG Dong, GU Ding-fa,et al.The concept and theory of the carrying capacity of regional water resources.*Journal of Gansu Sciences*,1999,11(2):1~4.]
- [5] 高彦春.区域水资源供需协调分析及模拟预测[D].博士学位论文.北京:中国科学院地理研究所,1998.[GAO Yan-chun. Harmonic Analysis and Simulation Prediction on Supply-Demand of Regional Water Resources.Doctoral thesis.Beijing: Institute of Geography,Chinese Academy of Sciences,1998.]
- [6] 王建华.SD支持下的区域水资源承载力预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2000.[WANG Jian-hua.The Study on the Forecasting Model of Regional Water Resources Carrying Capacity Supported by SD.Doctoral thesis.Beijing:Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,Chinese Academy of Sciences,2000.]
- [7] 王浩,陈敏建,秦大庸,等.西北地区水资源合理配置与承载能力研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003.[WANG Hao,CHEN Min-jian,QIN Da-yong,et al.Study on Rational Allocation and Carrying Capacity of Water Resources in Northwest China. Zhengzhou:Yellow River Water Conservancy Press,2003.]

Study on carrying capacity of water resources in inland arid zone of Northwest China

WANG Hao, QIN Da-yong, WANG Jian-hua, LI Ling-yue

(Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower

Research, Beijing 100044, China)

Northwest China was quantitatively estimated based on the analysis of productivity of water resources. In accordance with the characteristics of the fragile ecological system in the inland arid zone, the main content, characteristics and influencing factors of carrying capacity of water resources were firstly discussed, then the index system, flow chart of calculation and boundary conditions of carrying capacity of water resources were proposed, and finally the productivity of the water resources was analyzed and calculated. The study result indicated that on condition that shortages of farm produce of the central Shaanxi plain and Qaidam Basin are compensated by surplus of farm produce of Xinjiang, Hexi and Ningxia and shortages of industrial products of Hexi and Ningxia are compensated by surplus of industrial products of Xinjiang, the central Shaanxi plain and Qaidam Basin, in the target year 2020, an expected population of 63.84 million can be supported in the key areas of Northwest China, and a wealthy living condition of per capita 400 kg grain and RMB 20 000 yuan income can be ensured.

Key words: water resources; carrying capacity; index system; inland arid zone; productivity