

Research on Distribution Pattern and
Influential Factors of Water Productivity
in Oasis of Arid Areas

干旱区绿洲

水分生产率分布格局及影响因素研究



胡广录 © 著



甘肃人民出版社

中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(0728521001)研究成果

干旱区绿洲 水分生产率分布格局及影响因素研究

Research on Distribution Pattern and Influential Factors
of Water Productivity in Oasis of Arid Areas

胡广录 著



甘肃人民出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

干旱区绿洲水分生产率分布格局及影响因素研究 /
胡广录著. — 兰州: 甘肃人民出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-226-04231-1

I. ①干… II. ①胡… III. ①干旱区—绿洲—水分状
况—研究—甘肃省 IV. ①P941.73

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第 262928号

责任编辑: 高文波

封面设计: 王林强

干旱区绿洲水分生产率分布格局及影响因素研究

胡广录 著

甘肃人民出版社出版发行

(730030 兰州市读者大道 568 号)

兰州瑞昌印务有限责任公司印刷

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 11.5 插页 14 字数 175 千

2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1~800 册

ISBN 978-7-226-04231-1 定价: 25.00 元

摘 要

黑河流域实施水量调度和近期综合治理工程项目之后,地处干流中游的张掖市引用黑河水量减少、地下水位下降,致使农业灌溉用水量降低,农业生产和粮食安全供给受到影响。如何用有限的水资源,生产更多的粮食?开展农业用水的有效性研究,显然成为绿洲节水农业关注的焦点。

本书以黑河中游甘州区、临泽县、高台县绿洲为例,以 2000 年和 2005 年美国 LandsatTM 卫星影像为信息源,利用先进的 GIS、GPS 技术,结合地面调查结果和年鉴年报资料,研究了黑河水量调度前后三县(区)土地利用动态变化,农作物水分生产率分布格局,农作物水分生产率影响因素等科学问题。目的是探索绿洲灌区水资源高效利用和粮食稳产高产途径,为绿洲农业发展模式开发、农作制度制定、产业结构调整提供理论依据。研究得出的主要结论有:

(1)土地利用作为自然和人文过程相互作用的主要表现形式,随着区域社会经济的快速发展,人口增长以及工业化、城镇化过程的广泛推进,干旱区人工绿洲逐渐扩大,土地利用格局随之也发生了深刻变化。黑河水量调度后,三县(区)的各种土地利用类型均发生了不同程度的转移,有些土地类型的面积增加,有些土地类型的面积减小。其中耕地面积在三县(区)呈增加趋势,研究表明:甘州区增加了 49.885km^2 ,年变化率为 0.986%;临泽县增加了 32.004km^2 ,年变化率为 1.505%;高台县增加了 52.468km^2 ,年变化率为 12.684%。

(2)植被是地表自然景观的直接反映,同时指示着一个地区水资源的丰缺及其利用状况。归一化植被指数(NDVI)作为植被变化研究的主要手段之一,能较好地反映地表植被的长势和覆盖度变化。黑河调水后(2005 年)三县(区)的农作物 NDVI 均较调水前(2000 年)发生了很大变化。NDVI 为 0.65~0.84 的区域面积,甘

州区增大了 57.59%，临泽县增大了 40.36%，高台县增大了 56.73%；NDVI 为 0.55~0.65 的区域面积，甘州区减小了 48.66%，临泽县减小了 40.61%，高台县增大了 40.99%；NDVI 为 0.45~0.55 的区域面积，甘州区减小了 48.04%，临泽县减小了 33.23%，高台县增大了 22.86%；NDVI 为 0.35~0.45 的区域面积，甘州区减小了 45.52%，临泽县减小了 24.78%，高台县增大了 78.70%；NDVI 为 0.25~0.35 的区域面积，甘州区减小了 39.04%，临泽县减小了 12.94%，高台县减小了 29.50%。不同 NDVI 的区域面积增减变化，说明因水资源利用格局的改变，三县(区)的农业产业结构也发生了明显变化。

(3)农作物水分生产率是衡量农业生产水平和农业用水科学性与合理性的综合指标。利用实测的主要农作物(小麦、玉米)NDVI~生物量(干)关系,结合野外生物量调查数据和绿洲农田 NDVI 空间分布,研究了农作物水分生产率空间分布格局。黑河水量调度后,三县(区)农作物水分生产率空间分布格局的特点是低值区的范围缩小,高值区的范围扩大。不同 NDVI 区域对应的农作物水分生产率,2005 年较 2000 年有所增大,甘州区由 $0.730\sim1.790\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 增大到 $0.815\sim1.987\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 临泽县由 $0.711\sim1.742\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 增大到 $0.755\sim1.853\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; 高台县由 $0.743\sim1.821\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 增大到 $0.747\sim1.833\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

(4)由于地处黑河中游的不同区段,区域地理位置、气候、农业耕作制度、农作物种植结构、黑河水资源利用程度、社会经济发展水平等存在差异,决定了黑河水量调度前后三县(区)不同种植方式的农作物水分生产率、灌溉水分生产率在年际间差异较大。研究表明,1995~2007 年三县(区)不同种植方式的农作物,其平均的水分生产率不相同。大田小麦:甘州区 $1.111\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,临泽县 $1.055\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,高台县 $1.019\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;大田玉米:甘州区 $1.313\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,高台县 $1.097\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,临泽县 $1.044\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;带田作物:甘州区 $0.863\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,临泽县 $0.842\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,高台县 $0.833\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;制种玉米:甘州区 $1.118\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,高台县 $0.803\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,临泽县 $0.788\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。1995~2007 年三县(区)不同种植方式的农作物,其平均的灌溉水分生产率也不相同。大田小麦:甘州区 $1.313\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,临泽县 $1.289\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,高台县 $1.251\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;大田玉米:甘州区 $1.492\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,高台县 $1.378\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,临泽县 $1.299\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$;带田作物:临泽县

1.059kg·m⁻³,高台县 1.045kg·m⁻³,甘州区 1.006kg·m⁻³;制种玉米:甘州区 1.333kg·m⁻³,高台县 1.186kg·m⁻³,临泽县 1.082kg·m⁻³。

(5)影响农作物水分生产率的因素比较多,有的是可控的(如水量、种子、肥料、管理等),有的是不可控的(如温度、降水、沙尘天气等),但对水分生产率大小的影响是众多因素综合作用的结果。根据三县(区)农作物生长发育时期的实际情况,综合分析后,选取劳动力投入、农业机械总动力、化肥施用量、农药施用量、生产用种子、水费、灌溉用水量作为影响水分生产率的可控因素;选取每年农作物生长期间的沙尘天气出现次数、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、降水量作为影响水分生产率的不可控影响因素。对所选取 10 个影响因素进行灰色关联分析,结果表明:三县(区)农作物水分生产率影响因素的灰色关联度及排序结果差异较大:1995~2007 年影响因素排序前 5 位的甘州区是生长期降水>沙尘天数>劳动力投入>水费>化肥施用量;临泽县是化肥施用量>农药施用量>水费>农业机械总动力>劳动力投入;高台县的是农药施用量>沙尘天数>农业机械总动力>生产用种子>劳动力投入。劳动力投入因素在三县(区)排序均在前 5 位,其投入的多少对农作物水分生产率的影响明显。甘州区灰色关联度排序前 5 位的因素中不可控因素 2 个,可控因素 3 个;临泽县 5 个都是可控因素;高台县不可控因素 1 个,可控因素 4 个。表明干旱区农作物水分生产率受可控因素的影响明显大于不可控因素,在水资源有限的前提下,合理高效配置农业生产中可控的投入要素,才是干旱区农业提高水分生产率的根本策略。

关键词:绿洲灌区;水量调度;土地利用变化;NDVI 空间格局;NDVI~生物量关系;水分生产率分布格局;影响因素;灰色关联分析

ABSTRACT

After water allocating and recent integrated control project put into practice in Heihe River Basin, The Zhangye City has decreased its water use from main stream of Heihe River and dropped water table, which led to lower agricultural irrigation water, and the agricultural production and food security is affected. How to use limited water resources to produce more food is a serious problem in this area. Researches on the benefit of agricultural water apparently become the focus of water-saving agricultural in oasis.

In this book, the oasis of Ganzhou, Linze and Gaotai which located in the middle reaches of Heihe River is selected as study area. Adopting Landsat TM images in 2000 and 2005, using GIS and RS technology, simultaneity combined with ground survey data and the Yearbook, we studied on the land-use change before and after the water allocating, spatial pattern and influential factors of agricultural water productivity in the three counties. The purpose of this research is to explore the measures to increase effectiveness of agricultural water while promote stable and high agricultural yield. These results may provide theory basis to exploiting the development modes, constituting the farming systems and adjusting the industry structure of the oasis agriculture. The main conclusions are:

(1) As the main manifestation of natural and human mutual activity, land-use pattern has changed along with the region's socio-economic development, population growth, and industrialization and urbanization process advancing roundly. Since the water allocating in Heihe River, the land-use changes in different degrees in the three counties. The area of cultivated land has shown an upward trend: increased 49.885km²

in Ganzhou, changes in rate of 0.986% per year; increased 32.004 km² in Linze, changes in rate of 1.505% per year; increased 52.468km² in Gaotai, changes in rate of 12.684% per year.

(2) Vegetation is an indicator of the surface natural landscape; it also shows water resources abundance or deficiency, and its utilization. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), as an important measure in vegetation changes research, can reflect the growth of surface vegetation and changes in vegetation coverage. After the water allocating in Heihe River, great changes of NDVI of crop have taken place in three counties. The area of NDVI between 0.65 and 0.84 increased by 57.59% in Ganzhou, 40.36% in Linze, and 56.73% in Gaotai; The area of NDVI between 0.55 and 0.65 decreased by 48.66% in Ganzhou, 40.61% in Linze, while increased by 40.99% in Gaotai; The area of NDVI between 0.45 and 0.55 decreased by 48.04% in Ganzhou, 33.23% in Linze, while increased by 22.86% in Gaotai; The area of NDVI between 0.35 and 0.45 decreased by 45.52% in Ganzhou, 24.78% in Linze, while increased by 78.70% in Gaotai; The area of NDVI between 0.25 and 0.35 decreased by 39.40% in Ganzhou, 12.94% in Linze, and 29.50% in Gaotai.

(3) Water productivity is an integrative index that evaluates agriculture production level and the scientificity and rationality of agricultural water using. Using the relationship of NDVI and vegetation biomass measured with main crops (wheat, maize), combined with field investigated data of biomass and the spatial distribution of oasis farmland NDVI, we calculated the spatial pattern of crop water productivity. After the water allocating in Heihe River, the spatial pattern of crop water productivity changes obviously in the three counties, especially manifested in reducing in low-value areas of water productivity, expanding in the high-value areas. The crop water productivity has increased in all of three counties from 2000 to 2005, which is increased from 0.730~1.790 kg/m³ to 0.815~1.987 kg/m³ in Ganzhou; from 0.711~1.742 kg/m³ to 0.755~1.853 kg/m³ in Linze; from 0.743~1.821 kg/m³ to

0.747~1.833 kg/m³ in Gaotai.

(4) As a result of that the three counties are located in a different section of the middle reaches of the Heihe River, the climate, farming systems, crop planting structure, utilization of water resources in Heihe River, level of socio-economic development are different. Therefore the crop water productivity and the irrigation water productivity are different in the three counties for each cropping pattern. From 1995 to 2007 the average crop water productivity is: 1.111 kg/m³ in Ganzhou, 1.055 kg/m³ in Linze, 1.019 kg/m³ in Gaotai for farm wheat; 1.313 kg/m³ in Ganzhou, 1.097 kg/m³ in Gaotai, 1.044 kg/m³ in Linze for farm maize; 0.863 kg/m³ in Ganzhou, 0.842 kg/m³ in Linze, 0.833 kg/m³ in Gaotai for intercropped corps; 1.118 kg/m³ in Ganzhou, 0.803 kg/m³ in Gaotai, 0.788 kg/m³ in Linze for seed maize. From 1995 to 2007 the average crop irrigation water productivity is: 1.313 kg/m³ in Ganzhou, 1.289 kg/m³ in Linze, 1.251 kg/m³ in Gaotai for farm wheat; 1.492 kg/m³ in Ganzhou, 1.378 kg/m³ in Gaotai, 1.299 kg/m³ in Linze for farm maize; 1.006 kg/m³ in Ganzhou, 1.059 kg/m³ in Linze, 1.045 kg/m³ in Gaotai for intercropped corps; 1.333 kg/m³ in Ganzhou, 1.186 kg/m³ in Gaotai, 1.082 kg/m³ in Linze for seed maize.

(5) There are many influential factors of crop water productivity, some are controllable (like water consumption, seeds, chemical fertilizer, management, and so on) and the others are not (like temperature, precipitation, and days of dust). However the water productivity is the result of impact of all factors. The results of gray correlative analysis for the influential factors show that the influential factors of crop water productivity in three counties are different. From 1995 to 2007, the top five factors (ordered by gray relational grade) is: precipitation in growing season, number of days of dust, labour input, charge of agricultural water, amount of chemical fertilizer in Ganzhou; amount of chemical fertilizer, amount of pesticides, charge of agricultural water, total powers of agriculture machine, labour input in Linze; amount of pesticides, number of days of dust, total powers of agriculture machine, seeds,

labour input in Gaotai. Labour input factor is in the top five in all three counties, which means how many labour power inputs in influences crop water productivity significantly. In those five factors, there are three controllable factors in Ganzhou; all of them are controllable in Linze, and four in Gaotai. That means the crop water productivity in the arid zone is influenced more by controllable factors than uncontrollable ones. In arid areas, the basic strategy of improving crop water productivity in agriculture with the background of limited water resources is inputting the factors that arranged efficiently and rationally in agriculture production.

Key words: oasis irrigation districts; water allocating; land-use change; spatial pattern of NDVI; relationship of NDVI and vegetation biomass; spatial pattern of water productivity; influential factors; gray correlative analysis

序

21 世纪中初期,人类面临的主要挑战之一就是解决水危机问题。这种危机体现在水资源缺乏、水驱动的生态系统退化。水资源缺乏直接受影响的是农业生产,同时影响食物的安全供给;也正是由于缺水,目前全球依靠水驱动的大部分生态系统正处于极度脆弱的境地,特别是在干旱、半干旱地区呈现加重趋势,这已威胁到该地区群众的生活和生产,一些严重的地区甚至变成了不宜人类生存的地方。面对如此严峻的水资源问题,如何开发利用水资源和如何管理好水资源,将成为各国政府机构以及从事社会科学和自然科学的研究人员未来长期共同关注的焦点问题。

由于水资源有限,使工农业、生活、生态环境等各部门之间用水需求的矛盾日趋加剧,这在世界各地并不鲜见。而农业是水资源消耗最大的产业,全球平均在 70% 以上,有些干旱地区甚至高达 90% 以上。高耗水并未带来高产出,粮食问题依然成为目前世界上最突出的社会经济问题。引起世界“绿色革命”的美国农学家、诺贝尔和平奖(1970 年)获得者 Norman Ernest Borlaug 曾讲到:“我们如何在有限可能利用的水资源条件下,生产更多的食物来满足日益快速增长的人口需要? 不可置疑的结论是,人类在 21 世纪需要开展‘蓝色革命’——让每一滴水生产出更多粮食(more crop for every drop)”。可见水危机环境下的农业生产必须是以水分的高效利用为中心,而水分高效利用就是提高农业水分生产率。因此,作为最大的耗水行业,农业管理部门必须采取措施进行农业产业结构调整,管理好灌溉用水,不断提高水资源的利用效率,以维持一定水平的粮食产量,才能够确保区域粮食的安全供给。

中国不仅是世界上严重干旱缺水的国家之一,也是农业严重缺水的国家之

一。据统计,中国多年平均的水资源总量 28405 亿 m^3 ,人均水资源量约 2100 m^3 ,仅为世界人均水平的 1/4,耕地亩均水资源占有量只有 1440 m^3 ,约为世界平均水平的 1/2。农业用水量多年平均在 3600 亿 m^3 左右,约占全社会用水总量的 64%。特别是西北内陆河流域面积占全国总土地面积的 35%,而水资源只占全国水资源总量的 5.0%左右,农业用水量却占到总用水量的 90%。干旱缺水成了西北内陆河流域最主要的自然灾害。美国学者 Lester R. Brown 曾在《谁来养活中国》的报告中指出:“中国水资源短缺、农田减少、环境恶化、人口膨胀等问题非常突出,尤其中国的水资源短缺可能动摇世界粮食安全”。据有关资料预测,本世纪中叶,中国人口预计将达到 15 亿,若按人均每年 400kg 粮食计算,粮食的总需求量为 6.0 亿 t。也就是说,在未来的近半个世纪内,中国粮食产量必须在 5.0 亿 t(2007 年)的基础上再提高 1.0 亿 t,才能基本满足人口增长和生活水平提高对粮食的需求。然而,在目前耕地资源有限的情况下,农业水资源紧缺已成为继耕地资源之后长期制约中国农业发展的主要因素。要想增加粮食生产能力,必须改善现有耕地的水资源利用条件,即就是要大力发展节水农业,提高农作物水分生产率,只有这样才能稳定解决中国未来粮食的安全供给问题。另据有关研究资料分析,中国的水分生产率偏低,每立方米水生产粮食不足 1kg,而一些发达国家大都在 2kg 以上。这意味着,只要水分生产率达到 2kg,在同样灌溉水量下可使中国粮食产量翻番,也可极大地缓解各行业对有限水资源的竞争。因此,开展农作物水分生产率研究,对于解决中国水资源短缺问题和保障粮食安全供给都具有十分重要的意义。

水分生产率概念的雏形是 Viets(1966)最早提出的水分利用效率(Water Use Efficiency, WUE)。一直以来,研究者们都在各自的专业领域内开展工作,形成了许多相近的概念体系,这不利于学术界对水分生产率研究工作进行交流和合作。为了统一研究者的认识,方便研究成果的比较,国际水管理研究院(IWMI)于 1997 年首次提出水分生产率(Water Productivity, WP)概念,即单位(体积或价值)水资源所能生产出的产品数量或价值。而农作物水分生产率(Crop Water Productivity)则是指作物单位面积产量与作物全育期耗水量的比值(kg/m^3),此值越大,说明农业生产的产量越高,或是生产单位农产品过程中水分的消耗越小。因此,它是衡量

农业生产水平和农业用水科学性与合理性的综合指标。一个地区水分生产率的高低,既可反映该地区农业生产水平和节水灌溉发展状况,也可映射出该地区的环保、生态意识以及生态农业、生态环境建设水平。

国外对水分生产率的研究起步较早,有许多学者在非洲、中东、中亚、南美洲、欧洲开展过大量研究工作。中国的研究则相对较晚,许多学者曾在长江中下游平原、华北地区、东北地区、黄土高原地区对小麦、水稻、玉米、棉花等农作物水分生产率开展过一些研究,特别是漳河灌区水稻水分生产率的研究成果,对国内外开展农业节水研究工作产生了积极影响。而目前在干旱缺水的内陆河流域开展农作物水分生产率研究还比较少。本书作者能敏锐地捕捉水资源紧缺这一国际热点问题,积极开展干旱缺水地区水分生产率研究,这对维持绿洲可持续发展,改善生态环境,建设节水型社会是非常必要的。同时,通过对干旱区绿洲水分生产率的研究,在缓解干旱区对水资源竞争、防止环境退化、提高粮食安全方面具有重要的现实意义。相信该书的出版,也能够在干旱地区农业节水模式开发、农作制度制定、农业产业结构调整等方面起到一定的促进作用。

中国工程院院士

2011.12.15.

前言

水是维持地球生态系统平衡的重要因素,是一切生命活动不可或缺的主要物质,也是基础性的自然资源和战略性的经济资源。近半个世纪以来,由于世界人口和经济的快速增长,对水资源量的需求越来越大,加之人们对水资源的重要性认识不足,节水意识淡薄,水资源浪费和水污染现象日趋严重,导致因水资源匮乏和水污染所构成的水危机成为当今世界人类所要面临的主要挑战之一。因此,增强人们的节水意识,提高水资源利用效率,建设节水型社会,以缓解水资源短缺的现状,应是当前人类社会急需要解决的主要问题。

我国水资源总量多年平均约为 2.8 万亿 m^3 , 低于巴西、俄罗斯、加拿大、美国和印度尼西亚,居世界第六位。但由于人口众多,人均水资源占有量低,按照 2011 年公布的第六次人口普查的数据计算,人均水资源占有量仅为 2119 m^3 , 不足世界人均水平的 1/3, 是全球人均水资源最贫乏的国家之一,全国 2/3 以上的地区不同程度缺水。同时,由于我国水资源存在时空分布不均且与生产力布局不相匹配、农业灌溉与工业用水效率低下、水环境污染严重、地下水超采等问题,致使水资源短缺的形势更为严峻,尤其西北干旱半干旱地区,缺水问题已严重影响农业生产,并引起生态环境不断退化。可见水资源短缺已是制约我国经济快速发展、粮食安全供给、社会和谐稳定的主要因素之一。如何破解我国水资源短缺问题,已成为政府部门、研究人员乃至全社会共同关注的焦点。

张掖市位于甘肃河西走廊中段,地处我国西北第二大内陆河——黑河流域的中游,是我国典型的干旱地区之一。张掖绿洲曾是全国十大商品粮基地之一,十二大蔬菜基地之一,具有“金张掖”之美誉。20 世纪 60 年代以来,张掖市以甘肃省 5% 的耕地,提供了全省 35% 的商品粮,但在张掖绿洲种 1 hm^2 粮食作物需要用至

少 1.05 万 m^3 以上的水灌溉,远远高于全国平均水平;同时农业生产用水量占到总用水量的 90%以上,而每立方米水的农业产出平均只有 2.81 元,仅为全国平均水平的 1/6。所有这些都是以消耗大量水资源为代价的。进入 20 世纪 90 年代,随着黑河中游地区人口增加,人工绿洲不断扩大,增加了对有限水资源的消耗,导致正义峡下泄水量逐年减少,河流断流期加长,使地处黑河下游额济纳盆地的尾间湖泊——东、西居延海分别于 1992 年和 1961 年干枯,从而引起河湖周围地下水位下降、生态植被退化死亡、沙尘天数增多,严重威胁到中下游群众的生产和生活。生态环境的日趋恶化,成为制约黑河流域乃至西北干旱地区社会经济可持续发展的主要障碍,已引起党和政府的高度关注。因此,在大量调研基础上,国务院决定于 2000 年 7 月起在黑河流域中游地区实施水量统一调度和近期综合治理工程项目。根据国务院批准的《黑河流域近期治理规划》项目方案,张掖市确定了黑河近期治理的主要任务:即通过灌区节水改造、水资源合理调配、作物结构调整等措施,以确保中游农业持续发展及下游生态建设用水。按照规划报告中提出的黑河水量分配方案,要求张掖市采取多种节水措施,减少中游灌区渠口引水量 $5.36 \times 10^8 \text{ m}^3$,增加正义峡下泄量 $2.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。截至 2009 年 11 底,黑河实施水量统一调度已近 10 年,共 21 次调水入东居延海,10 次调水入西居延海,使居延绿洲的生态环境明显发生了好转。黑河调水一方面为下游地区的生态恢复做出了贡献,另一方面则对中游各县(区)农业生产造成了一定影响,严重制约着该地区农作物播种面积的扩大和产量的提高,进而影响区域粮食的安全供给。

基于这样的背景,作者于 2005 年开始研究干旱区绿洲水资源高效利用方面的问题,并申请得到中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(0728521001)的资助。在该项目资金支持下,以黑河干流中游甘州区、临泽县、高台县绿洲为研究对象,以 2000 年和 2005 年美国 LandsatTM 卫星影像为信息源,利用先进的“3S”技术,结合地面调查测量结果和年鉴年报资料,研究了黑河水量统一调度前后因水资源利用发生变化而引起的三县(区)土地利用动态变化、主要农作物 NDVI 与生物量关系变化、农作物水分生产率时空格局变化等一系列科学问题。同时采用灰色关联分析方法,对绿洲农作物水分生产率影响因素的年际变化也进行了分析研

究。目的是探索干旱区绿洲水资源高效利用和粮食稳产高产的途径,并为张掖绿洲农业节水模式开发、农作制度制定、农业产业结构调整等提出可供参考的理论依据。研究表明:在干旱区绿洲,有水就有农业,无水就没有农业,高水分生产率的农业不能靠减少农业用水来获得,而是要靠“利用有限的淡水资源,生产更多粮食”的途径来实现。影响水分生产率的因素有很多,有的因素是可控的,有的因素是不可控的,但对水分生产率大小的影响是众多因素综合作用的结果。总体上张掖绿洲农作物水分生产率受可控因素的影响要明显大于不可控因素的影响。农业是物质生产过程,没有投入就不会形成新的生产力,生产资料、劳动力和管理费用等可控因素的投入是对以种植业为主的农业生产贡献率最大的投入,在农业生产中占有重要的地位。因此,在干旱区绿洲水资源有限的前提下,要生产更多的粮食,合理高效配置农业生产过程中可控因素的投入,应是干旱区农业提高农作物水分生产率的主要对策。同时,研究还认为:干旱区绿洲农作物生长需要适宜的气候条件来保证,生长发育期的温度、降水、沙尘天数等不可控因素也会对农作物正常生长和产量形成产生一定的影响,改善农业生态环境是农作物高产稳产的重要保障。

本项目的创新之处是把农作物 NDVI 与水分生产率结合,对绿洲灌区水分生产率空间格局动态变化进行研究,进而评价了黑河水量统一调度前后中游地区农业对水资源的利用情况和利用效率。本项目还将灰色关联分析方法首次应用于农作物水分生产率影响因素的定量分析中,这也成为本项目有别于其他同类研究项目的独特之处。

本书是中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(0728521001)的研究成果。该项目从研究内容制定、到技术路线构建,再到成果总结和报告撰写,始终得到了中国科学院寒区旱区环境与工程研究所博士生导师赵文智研究员的悉心指导和大力支持。鲁东大学常学礼教授,南京消息工程大学李守波副教授,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所何志斌研究员、常学向副研究员、张智慧副研究员,甘肃农业大学张恒嘉教授,兰州交通大学张济世教授等都在该项目开展研究期间提出了许多宝贵的建设性意见,并给予了很大帮助。另外,在资料的收集过程中,甘州

区、临泽县、高台县水务部门均给予了大力协助;在资料整理和实地测量调查中,张掖市水务局藏兴辉工程师,甘州区水务局王启朝工程师、陈海牛工程师、赵文雅工程师,临泽县水务局刘立彬工程师、徐得亮工程师,高台县水务局武俊霞工程师、殷录成工程师等均给予了热情帮助和大力支持。还有许多同仁朋友也给予了关心和鼓励,在此一并表示衷心的感谢。

特别值得一提的是中国工程院院士、水文水资源研究专家、中国水利水电科学研究院教授级高级工程师王浩院士,在百忙之中审阅了书稿,并给予了指导和支持,在此表示由衷的感谢。

同时,兰州交通大学,寒区旱区水资源综合利用教育部工程研究中心,为本书的出版也给予了资助,在此表示感谢。

当然,本书中对有些问题的研究还不够深入,加之研究内容本身涉及到诸多领域的资料和相关学科的知识、技术和方法,也由于本人的知识储备不全面,科研水平也有限,对有些科学问题的关键点不能有效捕捉,抑或未考虑到,致使本研究尚有许多不足之处,有待今后继续学习的过程中再进一步深入研究。本书撰写过程中,作者虽然竭尽所能,力图完善,但是由于水平所限,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正,并见谅。

胡广录

2011年12月于兰州