

NONGYE SHUITU ZIYUAN XITONG
FENXI YU ZONGHE PINGJIA

农业水土资源 系统分析与综合评价

付强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

F303.4
F831.1

农业水土资源 系统分析与综合评价

付强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书运用系统工程与资源可持续利用的思想与研究方法,以三江平原为主要研究平台,选取了若干个典型地区,系统分析了该地区水土资源的现状与存在的问题,并提出了相应的对策。全书主要分为四部分:第一部分主要介绍三江平原地区井灌水稻节水灌溉系统建模与优化技术,系统研究了该地区农业水资源合理开发与利用问题;第二部分主要介绍三江平原湿地土壤资源合理开发与利用,湿地土壤资源分类及其质量变化评价方法,建立了多种数学模型;第三部分着重介绍了农业水土资源系统综合评价原理方法及其应用;第四部分通过实例分析,系统研究了区域水资源合理开发利用。

本书可供从事农业水土工程、环境工程、农业系统工程、水文学及水资源、农林经济管理专业的科研、管理和工程技术人员阅读,也可作为相关专业的研究生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

农业水土资源系统分析与综合评价/付强著. —北京:
中国水利水电出版社, 2005
ISBN 7-5084-2805-6

I. 农... II. 付... III. ①土地资源—系统分析
②土地资源—综合评价③农业资源:水资源—系统分析
④农业资源:水资源—综合评价 IV. F303.4

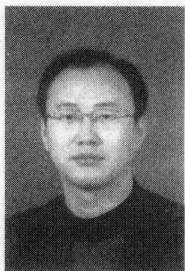
中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第027704号

书 名	农业水土资源系统分析与综合评价
作 者	付 强 著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010)63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 24.25印张 575千字
版 次	2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	68.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

作者简介



付强，男，1973年6月29日生，汉族。中共党员，博士，教授，博士生导师，东北农业大学农业水土工程学科带头人。

1995年7月和1997年7月在东北农业大学分别获得农田水利工程专业和农业水土工程专业工学学士、硕士学位。2000年6月获东北农业大学农业机械化工程专业（农业系统工程方向）工学博士学位。2002年5月，在四川大学水利工程博士后流动站水文水资源专业完成博士后研究工作。2004年6月至今在北大荒农垦集团公司博士后科研工作站做二站博士后研究工作。

主要从事节水灌溉理论与技术、水资源系统分析、湿地水管理及农业系统工程建模与优化技术方面研究。先后为本科生、硕士研究生、博士研究生讲授专业课程9门，指导硕士生23名，已毕业并获学位8人，指导博士研究生1名，协助指导博士研究生8名。

现为国际水土保持协会终生会员，黑龙江省农业专家在线节水灌溉专家，国际期刊《Nature & Science》（美国）副主编，《The Journal of American Science》（美国）副主编，全国中文核心期刊《农机化研究》、《黑龙江水专学报》、《水利科技与经济》编委，水利与建筑学院学位委员会、教授委员会委员，全国高等农业院校学报审稿专家，黑龙江省博士研究会委员。

主持国家自然科学基金、国家“863”专项、中国博士后科学基金、黑龙江省青年基金等国家及省部级科研项目13项，主要参加国家、省部级科研项目15项，生产项目5项。先后在荷兰、美国、英国等国内外40余种学术刊物发表学术论文150余篇，其中EI收录16篇，SCI收录1篇，ISTP收录5篇，CSCD收录32篇，CSCD引用27篇，出版专著2部，主编教材1部，副主编教材3部。获省市级各项科研奖励12项。

水土资源可持续利用成为目前全球研究的热点。世界任何事物都处在系统中,在系统中运行、在系统中寻求发展与完善。系统工程的思想已经渗透并应用到国民经济各个领域。运用系统工程的思想与研究方法,将从生产实践中总结、收集、提取的经验、规律、数据与信息进行系统分析与量化、使之模型化,从理论上分析系统内各个子系统的运行规律,再付诸于实践,并使理论在生产实践中得到检验与完善。这是本书研究的出发点和立足点。

20世纪50年代开始至今,三江平原经过四次大规模的开发,目前每年粮食总产达70多亿kg,成为我国重要的商品粮基地。在三江平原农业综合开发中,水土资源优化利用与综合评价是不可缺少的重要环节。90年代以前,三江平原水土资源较为丰富,然而随着井灌水稻面积的逐年扩大,导致有的地区地下水资源被严重超采。截止到1998年底,三江平原已有水稻面积66.67万 hm^2 ,其中井灌水稻占80%左右。这种人为过量抽取地下水,使地下水动态平衡遭到破坏,致使个别地区已经出现漏斗现象,农业水资源出现了严重危机。同时,由于过度开垦和排干沼泽,三江平原原有的生态环境逐渐恶化,湿地面积缩小了60%,多种动物了无踪迹,土地沙化、流失严重,旱涝灾害频繁,种粮效益大幅度下降。特别是1998年发洪水使三江平原地表植被破坏严重,造成大片耕地被冲刷得千沟万壑。目前,对这种问题还没有系统的分析论证与研究。2002年1月,三江自然保护区被列入《国际重要湿地名录》,这块淡水湿地因此引起了国内外专家、学者的更多关注。当地政府从2001年全面停止持续了半个世纪的垦荒。这个具有历史意义的变化标志着黑龙江垦区结束了过去长期靠开荒增加粮食产量的历史,从而迈进了经济、环境和生态可持续发展的新阶段。这对于改善这里的生态环境,保护这片国际闻名的重要湿地将产生深远的影响。为此,本书运用系统科学和资源可持续发展的研究方法与思想,将该地区水资源、土地资源等列为一个大系统,并选取了佳木斯市富锦试区、建三江分局及其管辖下的创业农场、挠力河流域等作为试验基点,运用现代建模技术、

优化技术、综合评价技术系统研究了该地区农业水土资源的系列问题。本书的基本理论主要包括随机模型理论、回归分析、线性与非线性规划、动态规划、层次分析法、模糊数学理论、灰色系统理论、物元可拓集、人工神经网络技术、投影寻踪技术、遗传算法、集对分析和粗集理论等。综合运用上述基本理论,建立了农业水土资源系统优化模型、预测模型、综合评价模型、节水技术措施以及相关机理模型,给出了合理开发利用三江平原农业水土资源的数量指标与理论依据,为该地区农业水土资源的可持续发展提供决策参考,具有重要的理论价值与现实指导意义,对稳定三江平原粮食生产,节约水土资源,改善生态环境,促进该地区的农业发展与经济建设具有重要的作用。同时,本研究模式、理论方法具有广泛的推广性、普适性,可供其他地区同类研究参考与借鉴。

本书是作者近8年来有关研究工作的总结。本书将最新的一些模型理论、优化技术与综合评价技术与农业水土资源大系统紧密结合,形成农业水土资源系统的独特建模体系,以便解决农业生产中的实际问题。由于时间与精力有限,本书仅做了部分工作,还有许多研究工作需要今后不断的补充和完善。

本书参考和引用了大量国内外许多学者的有关论著,吸收了同行的辛勤劳动成果,作者从中得到了很大的教益与启发,在此谨向各位学者表示衷心的感谢!

本书在研究过程中得到东北农业大学、合肥工业大学、四川大学、华北水利电力学院、中科院地理所、河海大学、黑龙江大学等单位部分同志的帮助与指导;在撰写过程中,东北农业大学水利与建筑学院硕士研究生李伟业、李国良、刘仁涛、冯艳、赵小勇、贺延国参与了部分章节的编写与校对工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于时间仓促及本人精力与水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正!

注:本书得到国家自然科学基金(No.30400275)、国家“863”计划项目(No.2002AA2Z4251-09)、中国博士后科学基金(No.2004035167)、黑龙江省青年基金(No.QC04C28)、黑龙江省教育厅科研基金(No.10541033)、黑龙江省教育厅人文社科基金(No.1054xy006)、黑龙江省博士后科学基金、北大荒集团公司博士后科研工作站博士后科研基金(No.LRB04-069)、东北农业大学博士后科学基金(No.240009)的联合资助。

著者

2005年1月

于哈尔滨东北农业大学

序言

目前, 水土资源可持续利用成为全球研究的热点。我国是农业大国, 农业水土资源的可持续利用关系到人类生存及整个国民经济的发展。三江平原是我国的重要商品粮基地, 同时也是我国最大的自然湿地保护区, 已被列入《国际重要湿地名录》。自 20 世纪 50 年代开始至今, 三江平原经历了四次大规模的垦殖开发, 耕地面积不断扩大, 粮食产量逐年提高。但是, 过度开垦和沼泽排干带来了生态环境的恶化与水土资源的紧缺。如三江平原的沼泽湿地面积已由 50 年代的 500 万 hm^2 减少到 110 万 hm^2 。大量原生植物惨遭破坏, 许多野生动物已不见踪迹, 造成土地沙化、水土流失, 旱涝灾害频繁。因此种粮效益也大幅度下降。尤其是 90 年代以来, 随着井灌水稻面积的逐年扩大, 一些地区地下水资源严重超采, 地下水动态平衡遭到破坏, 出现地下水下降漏斗, 农业水资源面临严重危机。特别是 1998 年的大洪水, 使三江平原地表植被遭到严重破坏, 大片耕地被冲刷成浅沟深壑。上述结果都是由于人类活动违背自然规律而得到的惩罚。根据“人与自然和谐发展”、“人与水和谐共处”等治水新理念, 该书作者针对上述问题进行了较系统的分析和理论研究, 完成了这一具有重要学术价值和现实意义的专著。

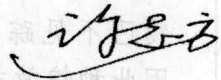
党的十六届三中全会提出坚持以人为本, 全面、协调、可持续发展的科学发展观, 促进经济社会的全面发展。面对新形势, 如何树立和落实科学发展观, 研究农业水土资源的优化配置、合理开发、高效利用和有效保护, 已是迫切需要解决的问题。因此, 必须加强农业水土资源科学管理中的基础理论研究, 深刻认识和重视遵循自然规律, 把高新技术运用到水利建设的实践中去, 坚持人与自然和谐共处理念, 实现以

水土资源的可持续利用支持经济社会全面协调可持续发展。

本书作者在长期的科学研究与工作实践基础上，运用系统工程与资源可持续利用的思想与研究方法，理论结合实际，以三江平原为主要研究平台，选取了若干个典型地区，系统分析了水土资源的现状与存在的问题，提出了相应的对策和建议。并应用现代数学理论和计算方法，分析研究三江平原农业水土资源中的实际问题，建立了该地区农业水土资源系统优化模型、预测模型、综合评价模型、节水技术措施以及相关机理模型，提出了合理开发三江平原水土资源的科学评价体系，为决策提供了理论依据。其研究成果对其他条件类同地区也有参考应用价值。

本书的出版将有利于促进我国农业水土资源的系统分析与综合评价研究工作。同时，对三江平原的合理开发和东北黑土资源生态环境保护 and 建设带来了新的思路和有益探索。相信在新时期新的治水理念指导下，还会有更多类似创新研究成果出现，为繁荣水利科学研究做出新贡献。

国际灌溉排水委员会名誉副主席
武汉大学水利水电学院 教授



2005年3月10日

目 录

前言

序言

第一章 绪论	1
第一节 我国水资源的现状及开发利用程度	1
第二节 我国土地资源现状及开发利用程度	3
第三节 农业水土资源目前存在的问题	4
第四节 黑龙江省农业水土资源开发利用情况	5
第五节 农业节水灌溉及其内涵	10
第六节 三江平原及试验点自然情况简介	17
参考文献	21
第二章 遗传算法原理及其改进	23
第一节 遗传算法简介	23
第二节 改进的遗传算法	26
第三节 洪灾损失风险水平分析的两种新方法	31
第四节 大型灌区非均匀给水系统中分区给水优化的新方法	35
参考文献	38
第三章 地下水系统建模与分析	40
第一节 地下水资源的计算	40
第二节 地下水资源量评价	43
第三节 地下水埋深动态变化的 GM (1, 1) 模型	44
第四节 MGM (1, n) 模型在预测城市地下水水位动态变化中的应用	48
第五节 非平稳时序模型在三江平原井灌水稻区地下水动态变化中的应用	51
第六节 人工神经网络模型 (BP—ANN) 在地下水水位动态变化的应用	61
参考文献	71
第四章 农用机井的优化设计	72
第一节 机井的合理布局	72
第二节 井型、井孔、井径的选择	73
第三节 机、井、泵的选择与匹配	74
第四节 机井节能节水技术措施	76
参考文献	76
第五章 晒水池增温机理及其优化建模	78
第一节 静水情况下晒水池增温机理研究	79
第二节 水温计算中参数求解	81

第三节	晒水池平衡水温 (θ_b) 计算实例	86
第四节	晒水池内水温 (θ_w) 预测模型	87
第五节	晒水池内温度上升率计算实例	89
第六节	晒水池内温度上升度计算实例	90
第七节	灰色系统理论在井灌水稻区渠道水温预测中的应用	90
第八节	晒水池内井水增温与其影响因素关系试验研究	92
第九节	晒水池水温与水深的关系研究	96
第十节	晒水池内土壤渗漏规律研究	97
第十一节	晒水池水面蒸发模型的建立	98
	参考文献	99
第六章	输水渠系增温效果及其渗透规律	101
第一节	渠道长度与增温效果研究	101
第二节	渠内水流速与增温效果研究	102
第三节	渠内水增温与气温关系研究	102
第四节	渠道增温的其他措施	103
第五节	渠道渗透模型的建立	104
	参考文献	108
第七章	井灌水稻本田系统建模及其优化技术	109
第一节	井灌水稻田间生产过程水量平衡模型的初步建立	109
第二节	井灌水稻本田渗漏规律研究	110
第三节	井灌水稻腾发量(需水量)建模、分析与预测综述	111
第四节	充分灌溉条件下灌溉制度及其优化	173
第五节	非充分灌溉条件下作物优化灌溉制度	195
第六节	井灌水稻池内水温分布规律与灌水方法研究	214
第七节	节水灌溉效益综合评价模型	219
	参考文献	224
第八章	降水预测的季节性时序模型	228
第一节	引言	228
第二节	季节性时序模型一般形式	229
第三节	季节性模型的建模方法	230
第四节	季节性时序模型建模实例	230
第五节	典型年频率曲线分析法确定设计降雨	235
	参考文献	235
第九章	水稻收获机械选型与优序关系研究	236
第一节	基于改进模糊综合评判模型的农业机械选型	236
第二节	基于 RAGA 的 PPC 模型在农机选型及优序关系研究中的应用	240
	参考文献	241
第十章	节水、增温灌溉措施	242
第一节	防渗措施	242
第二节	节水的耕作措施	244
第三节	节水灌溉田间水层、水温管理措施	245

第四节	晒水池、渠道的增温技术	248
第五节	综合优化节水系统典型小区的设计	251
参考文献		253
第十一章	湿地土壤资源分类及其质量变化评价方法	254
第一节	三江平原湿地土壤情况综述	254
第二节	土壤分类的模糊聚类法	257
第三节	自组织竞争人工神经网络在土壤分类中的应用	263
第四节	基于 RAGA 的 PPC 模型在土壤质量变化评价中的应用研究	268
第五节	基于 RAGA 的 PPE 模型在土壤养分等级评价中的应用研究	273
第六节	神经网络在土壤养分流失预测中的应用	275
第七节	加速遗传算法在小流域水土保持多目标综合优化模型中的应用	277
参考文献		282
第十二章	综合评价模型在农业水土资源系统分析中的应用	283
第一节	投影寻踪模型及其应用	283
第二节	物元可拓集原理与应用	292
第三节	Shepard 插值模型	307
第四节	人工神经网络评价模型	314
第五节	属性识别模型	320
第六节	Logistic Curve 逻辑斯谛曲线模型	329
第七节	集对分析及其应用	335
第八节	灰色关联投影法	342
第九节	TOPSIS 法综合评价模型	347
第十节	熵权系数法	350
第十一节	最佳逼近模型 (OAM)	352
参考文献		358
第十三章	农业水资源优化利用案例分析——三江平原挠力	
河水资源优化配置研究		363
第一节	挠力河干流水资源优化配置计算分区及工程总体建设方案	363
第二节	挠力河干流水资源优化配置模型及参数	365
第三节	模型求解	370
第四节	挠力河干流地区水资源配置方案	372
参考文献		375

第一章

绪 论

水是一种极其重要的资源，它是农业的命脉、工业的血液，又是地球上一切生物赖以生存而不可替代的重要物质条件，它也是城市形成、发展和生存的重要条件。随着世界人口的迅速增长和人民生活水平的不断提高，粮食、水土资源和能源的短缺已成为当今全球的三大危机。其中，工业用水与生活用水关系到国民经济的发展与人民生活水平的提高，农业用水直接关系到粮食生产水平的高低，因而更加突出了水资源短缺的严重性。土壤同样是一个国家最重要的自然资源，是农业发展的物质基础，没有土壤就没有农业，也就没有人们赖以生存的衣食基本原料。由于人口不断增加，人类对食物的需求越来越大，土壤在人类生活中的作用也越来越大，了解、利用和保护土壤越来越重要。

自 20 世纪 80 年代以来，我国的水土资源问题引世人瞩目，从天津市接连发生的水危机引发的紧急引黄和引滦工程，到北京的几次水危机，从改革开放诞生的沿海开放城市出现的缺水，到北方地区的缺水，以至今日的黄河断流，大量的水土流失进而引发恶劣的沙尘暴，原先的绿洲退化成沙漠，土壤贫瘠造成粮食减产，农业耕地面积骤减，生态环境被破坏，人们意识到 21 世纪水土资源将是危及人类生存环境和社会经济发展的重大问题。在刚刚踏上 21 世纪征途之时，我们需要对节约用水、规划用地有个新的认识。总结以往的经验教训，找出问题所在，展望未来的发展，以便采取相应的措施，多渠道发展节水技术，多方面进行节水的理论与实践研究，增加对节水方面问题研究的投入，同时对土壤质量动态变化进行监测，增加土壤肥力，减少水土流失，从而实现资源、环境与社会经济协调健康的发展^[1]。

第一节 我国水资源的现状及开发利用程度

从全国来看，我国是一个水资源严重短缺的国家，人均水资源占有量排在世界第 109 位，仅为世界平均水平的 1/4。我国是农业大国，十几亿人要吃饭，随着社会经济的发展，农业用水供需矛盾日益突出。干旱缺水成为制约我国农业发展的主要因素之一。一方面农业缺水，另一方面用水浪费现象又十分严重，水的有效利用率只有 30%~40%，而先进国家达 70%~80% 以上。我国单方水粮食生产力只有 1kg 左右，而先进国家为 2kg，以色列达到 2.35kg。我国目前已建的防渗渠道工程为 55 万多 km，仅占渠道总长的 18%。目前，由于灌溉管理水平相对较低，灌溉技术整体上较为落后，灌溉用水浪费十分普遍，水稻灌水量高达 15000m³/hm²，灌溉水利用率仅为 0.3~0.4。此外，水资源时空分布不均，季节性旱涝普遍存在，随着城市与工业用水量的迅速增加，农业用水量必将逐渐下降，农业缺

水将更为突出,要实现再增加 400 亿~500 亿 kg 粮食生产能力的战略目标,为我国人口达到 16 亿高峰期实现粮食自给奠定坚实的基础,就必须致力于推广节水灌溉,更为合理的利用有限的水资源,充分发挥水资源的效益,努力提高水的生产效率,发展节水型农业。据水利部在 80 年代水资源评价工作结论中指出,全国多年平均河川径流量为 27115 亿 m^3 ,多年平均地下水资源量为 8288 亿 m^3 ,扣除两者重复计算水量后,全国多年平均年水资源总量为 28124 亿 m^3 ,虽然从水资源的数量上讲,我国在各国中排第 6 位,但由于人口居世界各国之首,因而人均占有水量仅 2749 m^3 。而人均耕地面积仅相当于世界平均水平的 1/2,每亩耕地平均占有水量也仅相当于世界每亩平均水量的 0.8。我国进入 80 年代以来,全国有效灌溉面积一直徘徊在 0.48 亿 hm^2 左右,约占总耕地面积 0.997 亿 hm^2 的 50%。据统计,1979 年全国总用水量为 4433 亿 m^3 ,其中农业用水量为 3811 亿 m^3 ,占总用水量的 85.9%;2000 年在保证率为 75% 时,全国可供农业用水量为 5600 亿 m^3 ,全国灌溉面积达 0.533 亿 hm^2 左右。目前,我国人口已经超过 12 亿,可见依靠增加耕地来增加农业产量潜力是不大的,因此提高现有耕地单位面积的产量,是解决粮食问题的主要途径。发展灌溉农业和水资源紧缺形成了一对尖锐的矛盾,所以合理的开发和利用水资源,发展农田水利,最大可能的保证农业用水的需要,则成为实现农业高产稳产、旱涝保收的一项重要任务^[1~6]。

我国北方缺水现象较为严重。北方地区包括黄、淮、海流域,松辽流域和内陆河流域,总面积大约为 618.4 km^2 ,属于半湿润、半干旱地区。除新疆、内蒙西部等地区外,多数地区年平均降水量在 400~600mm 之间,低于全国 648mm 的平均水平。北方地区人均水量约 988 m^3 ,而黄、淮、海流域人均水资源量仅为 749 m^3 , 505 m^3 , 358 m^3 。若除去汛期弃水及部分不易开发利用的水资源,实际可利用量还远远达不到上述水平。据 1997 年统计资料,全国人均用水量为 450 m^3 ,占人均占有水量的 19%。而黄、淮、海流域的人均用水量已分别达 391 m^3 、349 m^3 、336 m^3 ,分别占人均占有水资源量的 52%、69%、94%。全国亩均水资源量为 1900 m^3 ,黄、淮、海亩均水资源量分别为 400 m^3 、437 m^3 、259 m^3 ,约为全国的 1/4~1/8。由此可见,无论是人均占有水资源量,还是亩均水资源量,北方地区的典型代表黄、淮、海流域都远低于全国平均水平,而人均用水量与人均占有水量的比值却远高于全国平均水平^[2~3]。

水资源开发与利用与社会经济的发展基本上是相适应的,见表 1-1。1993 年全国总用水量比 1980 年净增加 761 亿 m^3 ,13 年共增长 17%,平均增长率为 1.12%。用水中城镇生活和工业用水增长较快,两项共增加 618 亿 m^3 ,年平均增长 10.1% 和 5.4%。农业用水基本持平,13 年仅增加 117 亿 m^3 ,年平均增长 0.28%。值得注意的是黄、淮、海流域农田灌溉面积 1993 年比 1980 年增加 220.8 万 hm^2 ,粮食总产量增加了,但用水量却减少了 93.6 亿 m^3 ,而且亩用水量分别减少 44.7%, 14% 和 24.6%。这是农业节约用水的结果。这些地区节约的水大部分用于工业和城市生活。1993~1997 年总用水量增加了 438 亿 m^3 ,1997 年总用水量达到 5636 亿 m^3 ,平均年增长 109.5 亿 m^3 ,增长率为 2.07%。1993~1997 年工业的年平均递增率为 18.5%,工业用水量也明显增加,年均递增率为 5.5%。城镇生活用水年均递增率为 7.9%,为同期城镇人口年均递增率 4% 的 2 倍。

纵观 17 年的用水变化,总用水量平均年递增率为 1.34%,用水组成有明显变化。工业

用水比例增加 10 个百分点, 生活用水增加了 3 个百分点, 农业用水比例减少了 13 个百分点。全国人均用水量变化不大, 稳定在 450m^3 左右, 综合用水率有较大提高。农业用水 1997 年达到 3920 亿 m^3 , 占总用水量的 70% 左右, 17 年间农业灌溉用水量变化不大, 基本维持在 3500 亿~3600 亿 m^3 , 亩均用水量有较大下降, 但节水仍很有潜力, 尤其是部分用水浪费较大地区节水潜力更大。工业和城镇生活用水变化趋势随工业化和城市化的发展与生活水平的提高将会持续增长下去, 但是增长幅度会有所减缓^[1~5]。

表 1-1 我国各流域水资源总量及典型年总用水量情况表

流域片	多年平均 水资源量 (亿 m^3)	1980 年		1993 年		1997 年	
		用水量 (亿 m^3)	利用程度 (%)	用水量 (亿 m^3)	利用程度 (%)	用水量 (亿 m^3)	利用程度 (%)
全国	28134	4437	15.77	5126	18.22	5566	19.78
松辽河	1928	354	18.36	499	25.88	620	32.16
海河	421	384	91.21	409	97.15	433	102.85
黄河	744	358	48.12	406	54.57	403	54.17
淮河	961	531	55.25	568	59.11	657	68.37
内陆河	1304	559	42.87	512	39.26	506	38.80
北方五片	5358	2186	40.80	2395	44.70	2618	48.86
长江	9613	1353	14.07	1663	17.30	1737	18.07
珠江	4708	661	14.04	716	15.21	834	17.71
东南诸河	2592	193	7.45	289	11.15	291	11.23
西南诸河	5853	44	0.75	64	1.09	86	1.47
南方四片	22766	2251	9.89	2733	12.00	2948	12.95

第二节 我国土地资源现状及开发利用程度

我国人口众多, 但耕地土壤资源相对匮乏, 属于土壤资源严重制约型国家, 人均耕地面积不及世界人均水平的 1/2, 农业土壤资源面积自 20 世纪 50 年代末期开始进入衰减期, 1958~1985 年全国耕地总面积减少接近 1500 万 hm^2 , 年均净减少 50 万 hm^2 , 80 年代中期开始到 20 世纪末, 全国耕地减少的年均幅度超过 60 万 hm^2 , 且土壤总体质量不高, 遭受侵蚀、盐渍化和酸化土壤以及不同污染的土壤等中低质量的耕地占总面积的 2/3。但我国人口每年仍净增 1200 万, 后备耕地资源严重不足, 随着社会经济的高速发展, 耕地总面积还将不断下降。即使今后我国 20 亿亩耕地总量动态平衡得以实现, 也只能通过提高作物复种指数和增施肥料等措施来实现我国粮食总量的增加, 为了确保 21 世纪我国人口增长的粮食安全供给, 我们就应该更加合理、有效地利用各类土壤资源。值得注意的是, 在进入 21 世纪后, 耕地减少的速度已显现进一步加大的趋势。我国水土流失状况相当严重, 在部分地区有进一步加重的趋势。1996 年我国水土流失面积已达 183 万 km^2 , 占国土总面积的 19%。从土壤肥力状况来看, 我国耕地的有机质含量一般较低, 水田土壤大多在 1%~3%, 而旱地土壤有机质含量较水田低, 小于 1% 的就占 31.2%; 我国大部分耕地土壤全氮都在 0.2% 以

下,其中严重缺氮面积占其耕地总面积的一半以上;缺磷土壤面积为 67.3 万 km^2 ,其中有 20 多个省(区)有一半以上耕地严重缺磷,而且近年来,农田土壤速效钾含量均有普遍下降的趋势;缺乏中量元素的耕地占 63.3%^[10]。选择土壤有机质、全氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾、pH 值、CEC、物理性粘粒含量、粉/粘比、表层土壤厚度等 11 项土壤肥力指标进行土壤肥力综合评价的结果表明,其大部分土壤均不同程度遭受肥力退化的影响,处于中、下等水平^[6,7]。

第三节 农业水土资源目前存在的问题

对于我国的水资源与节水问题,不仅要考虑 21 世纪将会出现什么样的局面,而且更为紧迫的是目前已出现的许多征兆说明,水资源问题已经亟待解决。例如,全国河流因大量排入污水而受到污染,使得有 23.3%的河段不宜灌溉;符合饮用水、渔业用水标准的只占 14.1%,特别是北方的一些河流,流域内人口集中、工业发达,排入的污水量大,河流水量又较南方河流小,而且年径流量变化幅度大,在枯水期,主干流水质甚至已降到不能利用的程度。南方的河流水量虽然较大,但一些大城市附近的河段,已出现局部的水污染,有些河段污染已相当严重。像上海黄浦江,在 1977 年以前江水每年发臭天数为 20~58d,近年已达到 150d 以上。不少城市水资源不足,供水紧张,据 10 年前调查,全国 236 个城市,共计每天缺水 1240 万 t,为全国日供水能力的 12.5%。浙江舟山 1995 年的干旱使当地池塘干涸,河水断流,水库几乎无水可供,只好从长江口装运淡水,每立方米成本达 16 元,并对居民实行定量供水。地下水,特别是城市地下水源污染较为严重,据调查的 47 个以地下水为主要水源的城市,43 个城市的地下水受到不同程度的污染,由于开发利用水资源不合理,特别是超量开采,许多城市的地下水水位出现了大面积的下降。例如北京地下水位累积下降 12.5m,降落漏斗面积达 1000 km^2 ,同时引起严重的地面沉降,东郊八里庄一带地面向下沉累积已达 532mm,平均下降速率为 31mm/a;天津地下水位下降漏斗面积已达 2000 km^2 ,漏斗中心的水位降低至海平面以下 63~87m,地面沉降自 1959 年年沉降量最大达 216mm。另外,上海、石家庄、保定、邯郸、唐山、温州以及山东寿光、蓬莱、崂山等沿海地区,都发现大面积地下水位下降,其中有些地方也出现了地面下降^[1~6]。

中国农田灌溉用水目前面临的问题是:①管理制度不健全,管理不严,灌排设施老化失修,效益衰减;②水资源浪费严重,水资源短缺和农业灌水技术落后,水的有效利用率只有 40%左右,全国灌区年缺水 300 亿 m^3 ,因缺水少收粮食 300 多亿 kg;③洪涝干旱灾害频繁,进入 90 年代,旱灾更加严重,平均每年受旱面积达到 2670 万 hm^2 左右,经济损失巨大;④水资源污染严重,环境恶化,也严重影响了农业的发展,上述问题成为当前中国农业发展的主要制约因素;⑤现有灌溉面积中,还有不少灌区田间工程配套不齐全,土地不平整。约有 0.07 亿 hm^2 ,灌溉供水保证率低,绝大部分渠道缺乏衬砌防渗措施,输水渗漏损失大,还有不少灌区用水浪费,灌溉效率低;⑥机电排灌已成为农村消耗能源的大户之一,由于设备陈旧老化,运行管理落后,能源浪费大,需要进行技术改造,降低能耗;⑦北方黄、淮、海、辽河地区,耕地面积和灌溉面积约占全国的一半,人口稠密,工业比重大,但水源不足,近年来水量供需矛盾和工农业用水矛盾日益突出。地面水资源短缺,地

下水资源出现超采现象,出水量逐渐减少,亟待采取有效的节水对策,积极发展节水型灌溉^[1~6]。

我国目前土壤面临的主要问题是:

(1) 土壤污染严重。土壤污染物主要涉及有机污染(以农药污染为主)、化肥污染、重金属污染和其他污染。近20年来,随着经济的迅猛发展,出现了城市和工业污染向农村和农业环境转移,由于新的有毒有害化学物质出现,土壤环境污染物种类和数量、发生的地域和规模、危害特点等都发生了很大变化。可以说,这20年是我国土壤环境污染不断加剧和土壤环境质量变化较为严重的时期。因此,土壤生态环境安全将成为未来我国可持续发展的制约因素,对食品安全、水资源安全和大气环境安全关系重大。确保土壤资源的可持续利用和土壤生态环境安全是我国整个国家安全及生态环境安全的重要组成部分和基础。为此,国家于2001年组织开展了“典型区域土壤环境质量状况探查研究”。

(2) 土壤退化严重。当前,因各种不合理的人类活动所引起的土壤和土地退化问题,已严重威胁着世界农业发展的可持续性。据统计,全球土壤退化面积达1965万 km^2 。造成土壤退化的最主要原因:森林的破坏、过度放牧、不合理的农业管理,土壤化学退化(包括土壤养分衰减、盐碱化、酸化、污染等)。针对土壤退化严重问题,应开展土壤品质调查,了解我国耕地资源品质的现状及其发展趋势,为我国粮食安全生产提供基础资料 and 对策,并制定长期的土壤品质保育计划^[6~10]。

第四节 黑龙江省农业水资源开发利用情况

一、黑龙江省水资源态势与粮食生产

黑龙江省国土总面积45.45万 km^2 ,占全国国土面积的4.7%,总人口3782.5万(1999年),占全国3%^[11],地理位置较为独特,是我国重要的商品粮基地,尤其是三江平原和松嫩平原,经过建国后近50年的开发,已由过去的北大荒变成今日的北大仓。1999年,粮食产量为3074.6万t,是全国粮食总产量46217.5万t的6.75%。该省共有耕地面积932万 hm^2 ,占该省总面积的20.49%,占全国耕地面积(13003.8万 hm^2)的7.1%,其中有效灌溉耕地面积230.2万 hm^2 ,占全省耕地面积的21.8%,人均耕地0.25 hm^2 ,是全国人均水平的3倍。黑龙江省地理位置独特,是解决中国12.59亿人口温饱问题的主要粮食产区,对水资源的需求量日益加大,供需矛盾日益突出,水已经成为该省粮食生产持续发展的限制因素^[12]。

(一) 水资源及其利用现状

黑龙江省属温带大陆性季风气候,1970~2000年的30年间年平均气温 $-5\sim 5\text{ }^\circ\text{C}$,年降水量400~650mm,1999年全省平均降水量443.44mm,比多年平均少16.9%。境内黑龙江、乌苏里江、松花江、绥芬河四大水系的大小河流遍布其中,江河、水库、湖泊、湿地等水域面积共计210.42万 hm^2 ,占该省土地面积的4.63%。根据1999年统计资料表明^[13],全国水资源总量为28100亿 m^3 ^[13],黑龙江省多年平均水资源量为772.22亿 m^3 ,其中地表水资源655.80亿 m^3 ,地下水资源273.52亿 m^3 ,地表水与地下水重复量为157.10亿 m^3 ,具体情况如表1-2所示。概括起来,该省水资源现况如下:

(1) 水资源相对贫乏。该省人均水资源为 2041m³，亩均水资源为 552m³，低于全国亩均 1545m³，属于我国相对缺水地区之一。尤其进入 20 世纪 90 年代以来，由于气候原因以及水资源的无限制使用，该省水资源量逐步减少，以 1999 年为例，水资源总量减少 28.4%，加剧了水资源的匮乏^[11,14]。

(2) 水资源的时空分布不均，与农业生产的需求及耕地分布的匹配不佳。该省的水资源在时间分布上具有明显的季节性，75% 的水量集中在 6 月到 8 月，而该省农业生产最需水的季节是 4 月到 6 月，时间上不对应。该省耕地面积约占全国的 7.1%，而水资源仅占全国的 1.9%，两者匹配不佳。

(3) 水资源的地区分布不均。该省的三江平原地区是主要农业区，水资源相对丰富，约占全省的 70%，而西北部地区水资源短缺。全省 310 个万亩以上灌区，水稻灌溉定额多者达 15000m³/hm²，少者为 7500m³/hm²，平均 11250m³/hm²。既说明水稻用水浪费现象十分严重，又说明水稻节水还蕴藏着巨大的潜力^[2]。

表 1-2 黑龙江水资源现状分布 单位：亿 m³

地表水资源量		地下水资源量		重复量		总水资源量	
多年平均	1999 年	多年平均	1999 年	多年平均	1999 年	多年平均	1999 年
665.80	423.50	273.52	241.20	157.10	111.89	772.22	552.99

从用水上看，黑龙江省人均综合用水量低于全国水平。1999 年，全国人均综合用水量 480m³，黑龙江省人均用水量仅为 395m³，处于相对紧张状态。从用水结构上看（见表 1-3），1999 年该省用水总量 303.55 亿 m³，其中工业用水占 19%，农业用水占 75.7%，生活用水占 5.3%，可见农业是用水大户，工农业用水比为 1:4，水资源供需的矛盾主要在农业。

(二) 黑龙江省的粮食生产与农业灌溉情况

黑龙江省光热充足、土质肥沃，农业生产潜力高，是我国重要的商品粮基地。根据 1980 年以来的统计资料^[14]，该省的粮食产量逐步增加（见图 1-1），变化趋势与全国粮食产量变化趋势相一致。1999 年，黑龙江省粮食总产 3074.6 万 t，占全国总产量（46217.5 万 t）的 6.75%，地位相当重要。1999 年，该省共有耕地面积 932 万 hm²，粮食播种面积 809.9 万 hm²，主要作物为水稻、玉米、小麦和大豆，具体情况如表 1-4。

表 1-3 黑龙江用水量（1999 年）

单位：亿 m³

地区	农业	工业	生活	总用水
黑龙江省	230.26	57.80	17.67	303.55
全国	3919.72	1121.1	525.15	5566.0

表 1-4 黑龙江省粮食结构（1999 年）

项 目	小 麦	水 稻	玉 米	大 豆	小 计
播种面积（万 hm ² ）	95.3	161.4	265.2	229.2	751.1
占总面积比重（%）	11.7	19.9	32.7	28.3	92.6

从图 1-1 中看出有效灌溉面积单位万 hm²，粮食播种面积单位 10 万 hm²，粮食产量单位 100 万 t 粮食播种面积的变化分析可见，1980 年以来，黑龙江省粮食播种面积变化稳定中略有上升，1990 年以后粮食播种面积相对稳定，而粮食产量却稳定上升。这说明黑龙江