



农业资源

利用效率**评价**及其**优化**管理设计
——以江苏省常熟市、江西省泰和县和陕西省安塞县为例

宋伟著



农业资源利用效率评价 及其优化管理设计

——以江苏省常熟市、江西省泰和县
和陕西省安塞县为例

宋 伟 著

内容提要

本书立足资源高效持续利用的学术前沿和科学管理提高资源利用效率的现实需求,针对农业生产资源利用中出现的资源低效率利用问题,在农业资源利用基础理论分析的基础上,重新诠释农业资源利用效率的内涵,建立农业资源利用效率评价指标体系以及农业资源利用管理优化设计方案。本书不仅探讨了科学管理提高农业资源利用效率的基本原理和优化方式,还选取位于中国东部、中部和西部的典型县以及这些县域行政村(农村社区)的具体农户作为案例,实证科学管理提高农业资源利用效率的方式途径,并从中归纳总结普适性管理方法和措施,以促进农业生产的可持续发展。

图书在版编目(CIP)数据

农业资源利用效率评价及其优化管理设计:以江苏省常熟市、江西省泰和县和陕西省安塞县为例/宋伟著.

—北京:气象出版社,2015.8

ISBN 978-7-5029-6193-0

I. ①农… II. ①宋… III. ①农业资源-资源利用-研究-中国 IV. ①F323.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 208223 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.qxcbs.com>

责任编辑:刘 畅 蔺学东

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京京华虎彩印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:282 千字

版 次:2015 年 8 月第 1 版

定 价:35.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

责任技编:赵相宁

印 张:11

印 次:2015 年 8 月第 1 次印刷

前言

由于规模庞大的人口,中国农业资源的总量虽然较丰富,但人均量相对缺乏。仅以水、土资源为例,中国 2006 年的人均耕地面积为 0.09 hm^2 ;人均淡水资源占有量仅 1900 m^3 ;中国全年缺水总量达到了 $360 \times 10^8 \text{ t}$,其中农业缺水 $300 \times 10^8 \text{ t}$ 。但即使这些农业资源非常有限,也未得到高效利用。由于粗放经营,中国粮食作物的平均光能利用率在 0.5% 以下,农田灌溉水的有效利用率也只有 $30\% \sim 40\%$,中国的化肥利用率仅 36% ,氮肥损失达到了 $70\% \sim 80\%$ 。随着人口的不断增长,中国人口与资源之间的矛盾势必不断加剧。解决这一矛盾,不可能依赖于新的农业资源的大规模投入,而只能走资源高效利用的道路。农业资源的利用效率研究成为中国农业可持续发展的热点议题。

从 20 世纪 90 年代末开始,“九五”农业科技攻关项目“农业资源高效利用与管理技术(96-013)”和中国科学院知识创新工程重要方向项目“中国不同地区粮食生产的资源利用效率与生态环境效应(KZCX3-SW-333)”相继启动,形成了一系列关于农业资源高效利用研究的专著与论文,有效地推动了我国农业资源利用效率的研究。这一时期,也是我国农业资源利用效率研究的热点时期。通过一系列研究项目的带动,我国的农业资源利用效率研究工作得到了全面发展。这些研究工作重点关注了农业资源的组成、农业资源利用效率的内涵、农业资源利用效率的评价指标体系和农业资源利用效率的评价方法等内容。

我国的研究者对于农业资源利用效率开展了广泛而卓有成效的研究工作,并取得了显著进展。但是,已有农业资源利用效率研究中也存在诸多明显的不足。例如,农业资源利用效率的评价多侧重于宏观层次的分析,而微观层次(农户)的农业资源利用效率评价相对欠缺。农业资源利用效率的评价多注重考察农业资源的投入产出状况,而对于农业资源投入的生产配置效率缺乏深入探讨。农业资源利用管理的优化改良,可以有效提高农业资源利用效率,但优化管理措施的研究相对薄弱。

本书在梳理以往农业资源利用效率内涵的基础上,将经济学的配置效率引入资源利用效率的概念,重新诠释农业资源利用效率的内涵,加深了微观层次农业资源利用效率和农业生产配置效率方面的探讨,进一步完善和发展了农业资源利用效率评价的理论和方法,揭示了农业资源低效利用的症结,从宏观、中观、微观三个层次提出了优化农业资源利用管理的设计,以促进区域农业的可持续发展。

本书共分 8 章:第 1 章为绪论部分,介绍了农业资源利用效率的研究进展,以及本书的研究思路和研究方法;第 2 章介绍了农业资源利用效率的人工开放系统原理、作物产量形成的“源、库、流”理论、农业生产的能量转化与流动理论,以及农户资源利用的相关经济理论;第 3 章在分析农业资源利用系统组成的基础上,重新诠释了农业资源利用效率的内涵,提出了相应的农业资源利用效率评价指标体系以及评价模型;第 4 章介绍了江苏省常熟市、江西省泰和县和陕西省安塞县三个案例区的自然、社会经济与粮食生产概况;第 5 章全面介绍了农业资源生

产配置效率的评价方法与评价模型;第6章综合评价了常熟市、泰和县与安塞县三个案例区的农业资源利用效率;第7章提出了常熟市、泰和县与安塞县农业资源优化管理的设计;第8章是结论以及进一步需要研究的问题。

农业资源利用效率的研究工作纷繁复杂,既涉及气候变化科学等自然科学领域的研究工作,也涉及经济学、土地科学等社会科学领域的研究工作。驾驭好农业资源利用效率的研究工作,完成书稿的撰写,对作者既是挑战也是机遇。尽管书稿的撰写过程充满艰辛,但得益于书稿的撰写,作者能够深入江苏省常熟市、江西省泰和县、陕西省安塞县等地开展调研工作,熟悉中国东、中、西部典型区域农村的风土人情,了解区域农业资源利用实际。书稿既是作者历时9年研究工作的总结,也将是作者新的研究工作的始点,力争为中国的农业资源高效利用研究添砖加瓦。

本书研究获国家自然科学基金项目“中国粮食生产消费协调度测定模型构建及实证研究”(批准号:41201599)、“设施农地扩张对区域环境的影响——以山东省寿光市为例”(批准号:41171079)、“农村居民点整理潜力测算模型的改进与应用”(批准号:41001108),中国清洁发展机制基金赠款项目“国家可持续发展实验区应对气候变化能力建设研究与示范”(批准号:1214073)共同资助,在此表示由衷的谢意!

宋 伟

2015年4月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 研究背景与意义	(1)
1.2 国内外研究进展	(3)
1.3 研究内容与方法	(17)
第 2 章 农业资源利用效率评价基础理论	(22)
2.1 人工开放系统原理	(22)
2.2 作物产量形成的“源、库、流”理论	(26)
2.3 农业生产中能量转化与流动理论	(28)
2.4 农户资源利用相关经济理论	(33)
本章小结	(40)
第 3 章 农业资源利用效率评价的基本框架与方法	(41)
3.1 农业资源利用系统的组成	(41)
3.2 农业资源利用效率的重新诠释	(43)
3.3 农业资源利用生产率评价指标及其解释	(48)
3.4 作物生产潜力模型的构建	(54)
3.5 农业资源利用生产率评价模型	(60)
本章小结	(63)
第 4 章 案例区农业资源利用生产率评价	(65)
4.1 案例区概况	(65)
4.2 案例区农业资源利用生产率现状	(75)
4.3 案例区农业资源利用生产率评价	(90)
4.4 案例区农业资源利用生产率比较	(97)
本章小结	(99)
第 5 章 案例区农业资源生产配置效率评价	(100)
5.1 生产配置效率的主要测算方法	(100)
5.2 DEA 评价指标的选取与模型设置	(104)

5.3 案例区粮食生产配置效率测算	(108)
本章小结	(127)
第6章 案例区农业资源利用效率综合评价	(129)
6.1 农业资源利用效率综合评价方法	(129)
6.2 农业资源利用效率综合评价结果	(132)
本章小结	(133)
第7章 农业资源利用优化管理设计	(134)
7.1 常熟市农业资源利用优化管理设计	(134)
7.2 泰和县农业资源利用优化管理设计	(140)
7.3 安塞县农业资源利用优化管理设计	(146)
7.4 农业资源利用优化管理设计共性对策	(151)
本章小结	(155)
第8章 结论与讨论	(156)
8.1 结 论	(156)
8.2 讨 论	(158)
参考文献	(160)

第1章 绪论

从马尔萨斯(Malthus,1826)发表《人口原理》一书开始,人口与粮食、人口与土地之间的矛盾逐渐引起了人们的重视。到20世纪60年代末70年代初,全球性的人口膨胀、资源短缺、环境污染等一系列问题的日益严重,更使人们认识到如果不能合理地解决人口—资源—环境—发展(population-resources-environment-development,PRED)之间的矛盾,将会产生灾难性的后果。中国作为一个人口众多、人均资源相对缺乏、环境污染严重、经济高速增长的发展中国家,PRED之间的矛盾尤其尖锐。解决这一矛盾,如果要靠大规模农业资源的投入是不可能的,只能走资源高效利用的道路(石玉林等,1997)。但是,当前中国农业资源利用效率低下,浪费严重。由于粗放经营,中国粮食作物的平均光能利用率在0.5%以下,农田灌溉水的有效利用率只有30%~40%,化肥利用率仅36%,氮肥损失达到70%~80%(石玉林等,1997)。提高农业资源利用效率,走高效低耗的农业发展之路是中国农业可持续发展的必然选择。农业资源利用效率的评价可以掌握农业资源低效利用的症结,为进一步提高区域农业资源利用效率提供科学依据。因而,开展“农业资源利用效率评价及其优化管理设计”研究具有十分重要的理论和实践意义。

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

1.1.1.1 提高农业资源利用效率对农业可持续发展意义重大

低效率的农业资源利用方式已经或正在产生一系列生态经济问题,深刻影响着中国农业的可持续发展。这首先表现为农业生产对投入资源的利用粗放,浪费严重。仅以水肥为例,我国灌溉水利用率平均约为40%,而技术先进国家高达80%~90%(许志方,1996),化肥当季利用率平均为33.3%,比发达国家低10~15个百分点(裴林芝,1999)。农业资源粗放利用造成的巨大浪费增加了对投入资源的数量要求,这在人均农业资源已十分紧张的前提下加剧了资源的“瓶颈”效应(陈百明等,2000,2001;李秀彬,1999)。其次,农业环境迅速恶化,生态破坏日益严重。在经济社会总体发展水平较高的东部,由于化肥、农药等经济社会资源的过量投入,部分地区环境严重污染,不仅阻碍了农地生产潜力发挥,还对地表水与地下水质、土壤属性和生物多样性产生恶劣影响(谢涤湘等,1998;司友斌等,2000),如有的地方因氮肥淋失造成地下水 NO_3^- 含量高达300 mg/L,远远超过饮用水国际标准(张维理等,1998);而在经济欠发达的

西部区域,除经济社会资源不合理使用造成环境污染外,前阶段过度垦荒还带来日益加剧的土壤侵蚀和地表水匮乏等生态破坏(傅伯杰等,2002;Fu等,1995,2001;朱士光,1999;李玉山,1999),如陕西省水土流失面积占全省总面积67%,年输入江河泥沙多达 9.2×10^8 t(把多铎等,2000)。最后,农业经济社会资源投入增长过快,影响农民收入提高。在我国农业发展受自然资源总量限制(陈百明,1997;蔡运龙等,1992,2000,2002)、只能寄希望于经济社会资源投入扩大和结构优化(叶志华等,2002)前提下,低效率资源利用导致其投入规模一味扩大,如1997—2000年,全国农民人均纯收入连续4年下降(孙立刚,2001),而农业生产成本年均增长2.3%(陈锡康等,1999)。在此背景下,提高农业资源利用效率成为解决当前中国农业诸多不可持续问题的希望和出发点。

1.1.1.2 农业资源利用管理中存在诸多弊端

提高农业资源利用效率依赖于农业生产技术进步和管理方法革新。由于技术进步的渐进性以及现有技术应用效果取决于组织管理的优化程度,所以,为显著提高农业资源利用效率,在积极采用适宜技术的同时,应高度重视对现有农业资源利用管理活动的优化改良,向管理要效率。然而,当前农业资源利用管理中存在的诸多弊端限制了管理效果的发挥。首先,管理部门权责不分,协调配合不够。农业资源利用活动整体性特点要求对其进行系统化综合管理,而忽视其系统特点的后果则是一方面法律授予管理部门权力与其所承担责任不相匹配,另一方面又常常条块分割以致协作脱节(农业资源综合管理研究课题组,1998)。其次,法制建设不完善,提高农业资源利用效率缺乏法律依据。近年来,国家从资源持续利用角度陆续颁布资源管理法律及配套行政法规,但对如何通过立法执法提高农业资源利用效率着墨不多,常常导致提高资源利用效率的科学管理没有法律保障。最后,农业资源产权不明晰,欠缺面向不同资源利用管理者的激励机制。由于不同农业资源属性差异以及不同资源利用管理者的利益差别,当前农业资源产权设置尚有许多不规范之处(林卿,1999),难以对不同农业资源利用者产生提高效率的激励机制,他们更多关注的是短期利益的获取,而不是提高效率以促进农业资源的持续利用。

1.1.2 研究意义

正是因为提高农业资源利用效率对于农业可持续发展具有重要意义,而作为提高农业资源利用效率主要途径之一的优化管理又存在诸多缺陷,所以开展“农业资源利用效率评价及其优化管理设计”研究具有紧迫的现实意义。在农业生产中,通过不同层次资源利用活动的优化管理,能够提高现有农业资源利用效率,缓解人口增长和经济发展要求农业稳步发展所造成的资源压力,保障国家资源安全;同时,因为投入资源利用程度的提高,特别是对农业生产中间产物的合理利用,能够减轻农业生产对生态环境的破坏,促进环境保护和生态安全;市场经济条件下,农业生产资源利用的优化管理,可以通过改善资源投入状况、减少不必要资源投入而降低生产成本,经济效益明显;更重要的是,该项研究通过提高单位资源产出、以较少投入生产更多产品,能为正在进行的农业生产结构调整提供保障,在农业安全前提下改善农业生产比较效益低下的弱质性(杨瑞珍,2001),为解决“三农”问题提供更多选择途径,必将产生影响深远的社会效益。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 农业资源及其利用效率的内涵

1.2.1.1 农业资源的内涵

“农业资源”这一概念是对“资源”这一概念限制的结果,农业资源概念的本源应该是来自于“资源”这一概念(许春晓,1994)。联合国环境规划署(UNEP)对资源的定义是:“所谓资源,特别是自然资源,是指在一定的时间、地点条件下能够产生经济价值,以提高人类当前和未来福利的自然环境因素和条件。”所以,按照一般的哲学法则,早期农业资源的定义主要集中在自然或半自然的范畴之内。我国在1979年进行的“农业自然资源调查与区划”也主要遵照此定义进行。但将农业资源仅仅限定在自然资源的范围内,显然无法全面地概括出农业财富的各处源泉。于是,农业资源的内涵被逐渐推广到经济社会因素和劳动力因素。这样,资源就不仅来自于天然,而且要包括经过加工改造的物质,甚至农业生产中所需的技术、信息和管理都属于农业资源(陈跃云等,1990)。

如果再对农业资源进行进一步的划分,农业资源中的自然资源可以划分为水、土地、生物等自然资源(陈百明,2001;鲁奇等,1999,2002;谢高地等,2002;封志明等,2002;徐勇,2001)。农业资源中的经济社会资源的类型则有不同的划分方法。有的学者将其划分为物化劳动(资本)、劳动力、科学技术、信息和管理等(徐勇,2001);有的将其划分为经济资源、人力资源、智力资源、信息资源、文化资源及旅游资源等类型(毛汉英,1990;贾士靖,2001)。

农业资源内涵与外延广泛,而本书主要涉及粮食生产过程中的农业资源利用问题,所以本书使用的农业资源特指在粮食生产过程中所利用和可利用的各种自然、经济、社会资源的总称。其中,将农业自然资源的范围界定为参与粮食生产的气候资源、水资源、土地资源和生物资源;将经济社会资源的范围界定为参与粮食生产的资本、劳动、技术、管理等资源。

1.2.1.2 农业资源利用效率的内涵

效率(efficiency)是经济学中讨论最多的问题。一般认为,在不会使其他人境况变坏的前提下,如果一项经济活动不再有可能增进任何人的经济福利,则该项经济活动就被认为是有效率的(吕晔等,2003)。再进一步细分,经济理论中的效率主要区分为两种:其一是生产率,定义为产投比;其二是经济效率,即帕累托效率或配置效率。配置效率主要考虑在给定的资源和技术条件下,如何使资源从边际生产率低的地方流向边际生产率高的地方,从而使得资源利用更合理、社会总价值达到最大。

根据以往的研究,农业资源利用效率的内涵既有农业资源生产率的内涵,还有农业资源利用率的内涵,即包括农业资源的产出率和利用率两个层次的含义,前者反映资源利用的广度,后者反映资源利用的深度(封志明等,2002)。此外,也有学者将可持续发展的思想引入农业资源利用效率内涵,认为农业资源利用效率高的具体表现是资源利用率高、产出率高、经济效益好、农

业生产环境不退化等(谢高地等,2002)。因此,科学界定农业资源利用效率的内涵应是本书的立足点和出发点。

1.2.2 农业资源利用方式的发展变化

20世纪70年代以来的全球性生态环境恶化和资源紧缺问题使得世界各国致力于资源节约、高效与持续利用研究。继传统农业之后,在农业生产上先后出现了“石油农业”、“生态农业”、“有机农业”、“低投入持续农业”等思潮,但最终被建立在可持续性基础上的集约农业所替代。传统农业人为干预小、生产水平低,在工业革命后被高投入、高能耗的“石油农业”所取代(Francis,1989;Richgels等,1990;Edwards,1990;许占友等,2000)。但“石油农业”在取得巨大成就的同时,也产生了资源大量消耗、水土流失严重、污染加剧等一系列问题(王秀芬,2006)。针对这些问题,在20世纪80年代西方相继出现了生态农业、保护性农业等自然农业思潮(Francis,1989;Richgels等,1990;Vorst,1990;Blackmore,1994),旨在挖掘现有资源内部潜力以减少外部投入和环境污染(魏虹等,1996;Robert,1990)。但是,由于其过分强调生态而非产出与效率的做法难以大面积推行(Rodale,1990;刘新卫,2005)。

1991年,联合国粮食及农业组织(FAO)在荷兰登博茨会议上首次提及“可持续农业”,将其定义为一种旨在管理和保护自然资源基础,调整技术和机制变化的方向,以获得并持续地满足目前和今后世代人类的需要,能够保护和维护土地、水、动植物资源,不会造成环境退化,同时在技术上适当,经济上可行,能够为社会接受的农业(程序,2001)。可持续农业与自然农业不同,可持续农业兼顾产出与效率,重新肯定了良种、灌溉、化肥、农药对可持续发展农业与粮食安全的重大作用(FAO,1991)。可持续农业的核心思想即农业资源的持续高效利用,它是实现农业可持续发展的重要保证。

农业资源利用方式的发展变化是一个产出、效率与生态环境之间不断博弈的过程。传统农业时期,PRED之间的矛盾不甚突出,再加上受科学技术条件的限制,传统农业在产出与效率方面均不突出,但对生态环境的危害也低。随着人口膨胀等问题的发生,石油农业开始出现,注重产出与效率而偏废生态环境。然而石油农业带来的严重生态环境问题,使得农业资源利用方式偏向生态环境的呼声日益高涨,但却无法大面积推行。最终,农业资源利用方式还是在产出、效率与生态环境之间达到一个相对的平衡,“广遭环保主义者批评的集约农业被认为是减缓饥饿的唯一途径,只是建立在可持续的基础上而已”(许占友等,2000)。

1.2.3 农业生产潜力计算方法

1.2.3.1 机制法

机制法是应用最为广泛的粮食生产潜力研究方法,它依据作物生产力形成的机理,考虑光、温、水、土等自然生态因子及施肥、灌溉、耕作、育种等农业技术因子,从作物光反应特征和光合作用入手,依据作物能量转化及粮食生产形成过程,逐步衰减来估算粮食生产潜力(党安荣,1997)。由于深受De Wit限制因子影响作物生产系统的思想影响,通常将农业生产潜力划分为光合、光温、光温水温和光温水土四个生产潜力层次(陈百明,2001),并开展了不同层次、不

同地区和不同尺度的气候资源生产潜力(Loomis等,1963)以及土地资源特别是耕地资源生产潜力的研究(Wallace,2000;刘新卫,2005)。机制法建立在生理生态学研究的基础上,被公认为是估算作物生产潜力的最基本方法,以瓦格宁根模型(Beek等,1987)和FAO的农业生态区法(agricultural ecology zone,AEZ)为代表(FAO,1978)。

1840年,德国农业化学家Liebig首次提出了最小因子率(law of the minimum)理论,指出植物的生长取决于那些处于最少量状态的营养元素。该理论后来被国外学者用来研究光合作用的过程。在20世纪60年代,Loomis等(1963)、尼取波罗尼奇(1996)、Bonner(1962)等利用量子效率分别从辐射、反射、透射、呼吸、消耗等方面考虑,计算了作物的光合生产潜力,取得了量子效率法在计算光合潜力方面的重大进展(王秀芬,2006)。此后,诸多学者逐步对机制法测算农业生产潜力的模型进行了订正和补充。逐渐形成了以AEZ等为代表的机制法测算农业生产潜力模型。AEZ方法不仅考虑了光、温、水、土等十余个影响生物产量形成的因素及指标,还考虑了作物类型在不同生长条件下产量形成的差异,使估算结果更加接近实际(Gorden等,1991;Wallace,2000)。但此后,该方法没有取得突破性进展。

在国内,竺可桢(1964)最早研究我国气候资源与粮食生产的关系,指出根据长江流域的辐射能推算,如光能利用率 1% ,则亩产可达 471 kg ;如光能利用率提高到 3% ,则亩产可达 1412 kg (郭歧峰等,1992)。20世纪70年代,黄秉维首次提出了光合潜力的概念及估算方法,将太阳总辐射值乘以系数 0.124 便是光合潜力数值。但由于估算误差偏大,黄秉维(1985)对其进行了修正。此后,龙斯玉(1985)估算了我国的光温生产潜力,比较接近实际的农业生产分布形式。接着,邓根云(1986)采用线性温度影响订正函数,李克煌(1981)根据喜凉和喜温作物的种类,李继由(1980)根据不同阶段实际温度与光合适温的比值作为温度订正系数,进一步完善了农业生产潜力测算模型。随后,龙斯玉(1985)、周兆德(1989)等计算了降水对作物生长的满足程度,并估算了不同地区作物的气候生产潜力。20世纪80年代末以来,梁荣欣(1980)、聂庆华(1992)、冷疏影(1992)、王宏广(1993)、杨改河(1994)、党安荣(1998)等相继开展了土地有效系数的计算,并在考虑土壤有效性的基础上进一步完善了农业生产潜力的估算方法。近几年来,许多学者在估算农业生产潜力时,不仅考虑光、温、水、土等自然因素的影响,也考虑农业生产中的经济、社会因素(如化肥、农药、灌溉)因素的影响,并在此基础上探讨了区域和全国尺度的作物单产潜力、潜力系数和总产潜力(周治国等,2003;党安荣等,2000;熊利亚等,2004;刘新卫,2005;王秀芬,2006)。

经过近几十年的发展,机制法已逐渐成熟,并得到了广泛的应用。但目前机制法存在的最大的问题是作物生产力衰减的限制性层次划分不够完善。机制法在作物生产力转化的光、温、水三个限制层次的研究上已非常成熟,但在土地限制层次,尤其是经济、社会因素的限制性层次上的研究仍明显不足。影响土地限制的因素很多,现有的研究多选择一些易从土壤图等相关图件上获取的数据,如土壤养分含量、土壤质地、土壤侵蚀等指标,但其中某些指标的土壤特性响应时间(characteristic response time)明显偏短,极易改变,并不适合作为土地限制性的评价因素。而且,由于缺乏对于这些土地限制性因素对粮食生产影响机理的探索,常用的评价方法(如多因素综合评价法)的评价结果也不一定能够准确地反映土地限制性因素对于粮食生产的影响。

此外,机制法在经济、社会限制性层次及其因素的探讨上则明显混乱,在为数不多的社会限制性因素的选择中,多选取灌溉保证率作为社会限制性评价指标。而实际上,如果可以获取

农业灌溉用水的数据,灌溉用水可与降水一起在水分订正中予以考虑。即使是将灌溉保证率放在社会限制性因素里边,现有的灌溉保证率的计算也明显过于主观与经验化。而且,社会的限制性因素应该更多考虑的是农民的种粮意愿等问题,比如在部分经济发达区域,受比较效益和劳动力机会成本等的影响,农民种粮的积极性不高,粮食生产的辅助投入不足,造成了光温水土限制下农业生产潜力发挥的不足。在经济限制因素方面,目前的研究也存在一些问题。例如,有的学者选择人均农业总产值、人均社会总产值作为经济限制性因素对农业生产潜力进行经济影响的订正,但这些所选因素是否会直接限制粮食生产,怎样限制粮食生产,都未深入探讨。

1.2.3.2 作物生长模型

作物生长模型是指用数学概念表达作物的生长过程(谷冬艳,2007;Edwards,1990)。20世纪60年代,荷兰的De Wit(1967)和美国的Duncan(1967)建立了第一个作物生理生态过程的模拟模型。此后,Curry和Chen(1971)建立了模拟步长为小时的玉米作物生长模型;Stapleton(1971)建立了棉花作物生长模型,并最终发展成为SIMCOT模型。最终, Van Keulen(1975)研究的ARIDCROP模型,成功模拟了地中海半干旱地区施肥、自然草场植被生产和水分利用,标志着作物模型应用时期的到来。

20世纪80年代以后,许多研究者利用一些经验的方法对某些复杂的过程、参数和变量进行简化处理,使作物生长模型更加便于应用。比较具有代表性的是CERES(crop-environment resource synthesis)系列作物模型(谷冬艳,2007)。20世纪90年代以后,研究者们不断对已有的作物生长模型进行完善,使得作物生长模型的模拟结果更加贴近实际。Kiniry和Bockholt(1998)分别用CERES-玉米和ALMANAC(agricultural land management alternative with numerical assessment criteria)模型模拟了美国玉米和高粱的产量。王宗明等(2000)应用EPIC模型模拟了中国黄土高原区冬小麦和春玉米的生产潜力,并取得了较好的模拟结果。

作物生长模型能定量和动态地描述作物生长发育过程中对外界环境的反应和影响,从而能够根据模拟程序模拟出粮食产量。它的优点是省时、省力,但缺点是许多模型适用性研究和参数调整尚未大范围展开,许多模型参数有待检验,所以有些模型的模拟结果不甚理想。

1.2.3.3 经验公式法

经验公式法是通过分析某种影响粮食生产的因子(如气候、化肥)与产量之间的关系求得粮食生产潜力的方法。其中,以气候因子为参数的代表模型主要有迈阿密模型、蒙特利尔模型和格思纳—里斯模型。1972年,Lieth根据年平均温度、年平均降水量与植物产量之间的关系建立了迈阿密模型。但由于只考虑了影响粮食生产的部分因素,其准确性不高。1974年,Lieth在Thortwaite研究的基础上,利用蒸散量作为计算因子构建了桑斯维特纪念模型。由于蒸散量受太阳辐射、温度、降水、气压、风等一系列气候因素的影响,因而能较全面地考虑某一地区的水热状况,模型精度略有提高。

由于对于某一具体地区而言,作物产量往往受水肥条件的限制,而不是主要取决于光热条件,因此,我国许多学者从肥料效应和农业技术水平的角度研究了粮食的生产潜力,并认为其更加接近于农业生产的实际情况。其中以曾希柏等(2002,2004)构建的肥料方程为代表。曾希柏等认为,化肥施用量与粮食产量之间的效应曲线应符合报酬递减率,为抛物线形式,并通

过对 1990—1998 年中国各地级市单元的数据分析给出了具体公式,通过计算得出中国耕地的单产潜力为 $7\,462\text{ kg/hm}^2$ 。

经验公式法的优点在于能够考虑较少的、主要的影响粮食生产的因素来估算农业生产潜力。但由于缺乏对于粮食生产的全部生产因素的考虑,其准确性必然不会太高。经验公式法研究的关键问题应该是选择那些最为主要的影响粮食生产的因素(可能为多个因素),并且通过相关的统计分析方法确定这些因素对于粮食生产的影响应该达到很高的贡献份额(其他影响因素的作用已较小)。这样,利用这些影响粮食生产的主导因素构建的农业生产潜力模型,其准确程度才会较高。

1.2.3.4 产量调查法

产量调查法指通过全国范围内大田试验或试验田的调查确定农业生产潜力的方法,即将大田试验或试验田曾经达到的最高单产作为现有科技条件下粮食作物的生物产量极限。林毅夫(1995)曾在 1980—1990 年对 300 余个地市的粮食产量及其粮食生产的技术限制因素进行了调查,并通过对 2000 位有丰富经验的农艺专家的问卷调查评价了粮食生产技术性限制因素的严重程度。根据专家的评议调查结果,如果对每个限制因素投入 100 万元的科研资金(以 1992 年的物价水平计算),那么很可能解决 $2/3$ 的限制因素。以此估算,水稻、小麦、玉米的单产可分别增加 92%、176% 和 172%。

但由于产量调查对象、范围的随机性影响和开展全国范围产量调查的困难性,有的学者对其进行了改进。张晋科等(2006)以粮食作物审定品种的区域试验产量作为计算粮食生产能力的单产基础,分析了全国 105 个农业生态小区的生产潜力,并进行了水分限制因素的订正,由此汇总得到全国的粮食总生产能力为 $9.20 \times 10^8\text{ t}$ 。

产量调查法主要是对作物生长过程做“黑箱”处理,使获得的粮食作物生产能力更具现实性;但由于需要大量调查工作,其操作性较差。改进后的区试产量法虽然在一定程度上更易操作,但也有其不足。区试产量法进行了降水订正,并指出仍需进行灌溉保证率与土壤订正,这实际上是将区域试验产量看作是气候生产潜力。但很明显,区试产量并不能完全看作不受水、土限制的作物产量试验。在区试产量的基础上再进行水分和土地订正实际上是进行了重复的水分与土地订正。正确的订正方法应该是以区试产量所在地块的水分与土地条件为标准,其余区域的水分与土地限制情况与其相比较确定订正系数,但这实际上是非常困难的。因此,如果完全对区试产量进行了常规的水分与土地订正,其农业生产潜力测算结果应该是偏小的。

1.2.4 农业资源利用效率评价

1.2.4.1 气候资源利用效率评价

农业气候资源在《地理辞典》中的解释为,一个地区的气候条件对农业生产发展的潜在能力。从农业的观点看,气候是重要的资源之一,故称“农业气候资源”。从气候资源的类型看,一般可以划分为光能资源、热量资源、水分资源、风能资源和大气成分资源。光能资源主要来自太阳的辐射能。热量资源是指某一地区在特定的气候条件下所能提供的热量多少,它是太阳辐射和地表、大气中各种物理过程的综合结果。水分资源主要指天然降水。风能资源就

是大气运动产生的能量,是由太阳辐射能转换而来。大气成分资源中最主要的是二氧化碳。大气中二氧化碳的含量、分布及季节变化除对气候有影响外,对作物的光合作用至关重要,二氧化碳是陆生植物光合作用的碳源。由于风能资源和大气成分资源在作物生长过程中的投入状况不好评价,农业资源利用效率的评价主要集中在光能资源、热量资源和水分资源三个方面。气候资源利用效率评价指标的类型主要分为利用率指标和产出率指标两类,分别用来评价气候资源的利用广度和深度。评价气候资源利用广度的指标主要有理论光能利用率、有效光能利用率、相对光能利用率、光合潜力利用率、光温潜力利用率、天然降水利用率、气候资源利用率和综合气候资源利用率等(徐勇,2001;崔读昌,2001;谢高地等,2002)。评价气候资源利用深度的指标主要有热量资源利用效率、复种热量资源利用效率、降水资源利用效率、复种降水资源利用效率等(崔读昌,1995,2001;谷小平等,1996;刘秋海等,1998)。

在气候资源利用效率评价方面,我国学者开展了广泛而卓有成效的工作。李锋瑞等(1994)利用光能利用率、热量产出率和降水生产率评价了陇东黄土高原轮作复种模式下各作物的气候资源利用效率,并发现8种轮作复种模式均明显优于冬小麦连作生产系统的气候资源利用效率。崔读昌(1995)利用相对光能利用效率、热量资源利用效率、降水资源利用效率和综合气候资源利用效率评价了世界谷物产量的农业气候资源利用效率,并发现光热、降水量与作物要求的条件配合较一致的地区,谷物转化效率高。谷小平等(1996)利用光资源利用效率、热量资源利用效率、降水资源利用效率和综合气候资源利用效率,计算了贵州省81个县(市)谷物的光、温、降水资源利用效率,并分析了各种资源利用效率的地域分布特征,探讨了造成利用效率地域差异的原因。马树庆(1995)等用实际产量占光、热、水、土壤资源生产潜力(资源可能产量)的比率作为粮食生产中自然资源的开发利用率,计算了吉林省各县市主要粮豆作物资源利用率现状。刘新卫(2005)利用理论光能利用率、光温潜力利用率、水分产出率计算了陕西省安塞县和江苏省常熟市的气候资源利用效率,并指出了限制气候资源利用效率提高的原因。王秀芬(2006)则利用光能利用率、光合潜力利用率、光温潜力利用率和热量产出率分析了中国县域气候资源利用效率的空间差异,并发现气候资源利用效率的空间分布整体上表现为由东南向西北递减,且东南高于西北的基本格局。

1.2.4.2 农业水资源利用效率评价

农业水资源利用效率或水分利用效率(water use efficiency, WUE)一般用来描述植物产量与消耗水量之间的关系。根据农业水资源的组成(天然降水、灌溉水和土壤水),农业水资源利用效率包括作物水分利用效率、灌溉水利用效率和降水利用效率三个方面。

目前,在三个类型的农业水资源利用效率研究中,作物水分利用效率方面的研究开展得较多。Briggs和Shantz最早提出用作物需水量来评价农业水资源利用效率,并发现小麦的作物水分利用效率最高,为1.97 g/kg,而苜蓿的最低,仅为1.16 g/kg,其余介于两者之间(Briggs等,1913,1914;Shantz等,1927)。后来,De Wit在1958年证实了作物产量和蒸腾蒸发量之间存在显著的线性关系,为作物水分生理研究奠定了基础(黄占斌等,1998)。1969年,Tranquillini提出了蒸腾效率(光合速率与蒸腾速率的比值)的概念来衡量水分利用效率;1976年Begg和Turner利用作物产生的干物质量与耗水量的比值作为评价农业水资源利用效率的指标(李荣生等,2003)。国内有关水分利用效率的研究起步相对较晚,20世纪80年代才开始系统研究。“七五”和“八五”期间,中国科学院立项重点项目对作物需水量、耗水量和水分利用效

率进行了研究,并取得了重要成果(王会肖等,2000;谢贤群等,1991)。进入20世纪90年代,光合水分利用效率计算机模拟研究的开展,极大地丰富了作物水分利用效率的研究内涵。秦钟等(2004)则运用农田生态系统模型RZ-SHAW对禹城水热过程和作物水分利用效率进行了模拟和分析,并发现夏玉米4个生育期的群体水分利用效率在日出以后,随着光强的增强迅速升高,至10时左右达到最大后开始下降,其最大水分利用效率为24.30 g/kg,平均水分利用效率为10.32 g/kg。

1977年,国际灌排委员会提出了一个灌溉效率标准,将总灌溉效率划分为输水效率、配水效率和田间灌水效率,总灌溉效率为三者的乘积(蔡守华等,2004)。之后Hart等(1979)和Burt等(1997)又提出了储水效率和田间潜在灌水效率等灌溉效率指标。我国现行的灌溉水利用效率指标体系及其计算方法则主要形成于20世纪50—60年代,主要参考苏联的灌溉水利用效率指标体系而建立。后来,汪富贵(2001)考虑越级现象、回归水利用和管理水平三方面的影响修正和改进了传统的连乘灌溉水系数计算方法。高传昌等(2001)对串联渠系、等效并联渠系和非等效并联渠系的灌溉渠系水利用系数进行了研究。谢柳青等(2001)根据灌溉系统水量平衡原理,建立了田间水量平衡数学模型,并通过灌溉定额反推了灌区渠系水利用系数和灌溉水利用系数。蔡守华等(2004)则分析了目前灌溉水利用效率指标体系存在的问题,并系统地修正和提出了由渠道水利用效率、渠系水利用效率、田间水利用效率、作物水利用效率和灌区灌溉水利用效率组成的灌区水利用效率指标体系,并分别给出了这些指标的定义及计算方法。

降水资源是作物,尤其是旱地作物可以直接利用的自然资源,降水利用率的研究一直得到国内外学者的普遍关注。蓝祖佑(1996)利用玉米平均产量和玉米生长季降水总量的比值刻画了滇东北旱作条件下玉米对降水的利用率。刘文兆(1997)则在充分考虑降水入渗、储存,进而消耗、转化诸环节后,给出了旱作物雨水利用效率的统一表达式。冯浩等(2007)在此基础上进一步探讨不同条件下降水资源利用效率概念的内涵,提出了提高黄土区农田降水利用率的方法和途径。高涛等(2003)利用1991—2000年内蒙古的降水和主要粮食作物产量数据,计算了降水量的利用效率。

1.2.4.3 土地资源利用效率评价

不同的学科、不同的研究者对于土地概念的认识略有差别。总体来看,土地的概念一般有广义和狭义、平面和立体等划分方法。就地理学科来说,FAO(1976)发表的《土地评价纲要》对土地的定义是:“一片土地的地理学定义是指地球表面的一个特定地区,其特性包含着此地面以上和以下垂直的生物圈中一切比较稳定或周期循环的要素,如大气、土壤、水文、动植物密度,人类过去和现在活动及相互作用的结果,对人类和将来的土地利用都会产生深远影响。”这个土地概念的定义一般被认为是广义的和立体的土地概念。我国学者对于土地资源概念的界定多受此影响。例如,石玉林(1978)认为“土地是由气候、地貌、岩石、土壤、植被和水文组成的一个独立的自然综合体和人类生产劳动的产物”;陈百明(1993)认为土地是地球表面一定范围,由岩石、地貌、气候、水文、生物要素相互联系、相互作用的自然综合体,包括人类过去和现在长期活动的影响。仅从以往学者对于土地的定义分析,土地概念的范围实际上与本书农业资源中界定的气候资源相互交叉,甚至可以说包括气候资源这个农业资源类型。此外,也有学者对土地和土地资源这两个概念的区别与联系进行了探讨。刘胤汉(1987)认为,土地类型与

农业土地资源是既有区别又有联系的两个不同的概念;农业土地资源是人们在一定的生产技术条件下,通过劳动生产,能够从这种农业土地上获得一定的农业经济效益;如果没有经济价值可言,就不能看作是土地资源,仅是客观存在的土地类型。陈百明(1993)则认为国内外都是泛用土地和土地资源这两个名词,并不作严格地区分。

土地概念的范围是宽泛的,功能也是多样化的(蔡运龙,1986)。本着便于操作和能够与其他类型农业资源利用效率评价相协调的原则,本书需要对土地资源利用效率的评价内容进行进一步的限定。根据本书的研究目的,土地资源利用效率的评价主要侧重于其生产功能的评价,研究范围也仅界定为土壤及其地表的岩石和地貌层次上。

常见的评价土地资源利用效率的指标一般有土地利用率、复种指数、土地当量比(land equivalent ratio)、复种当量(sequential cropping equivalent)、耕地利用效率、土地潜力利用率、土地生产率、耕地资源消耗系数等。土地利用率可以分为广义的土地利用率(指农、林、牧、工、商等的总土地开发面积占土地总面积的比例)和狭义的土地利用率(指农用地占该区域土地总面积的比例),常被用来反映地区土地利用程度。随着土地利用的深入,田彦军等(2003)对土地利用率的观念进行了改进,将土地利用率划分为土地利用率复种指数、产出指数和效益指数三部分,并用其评价了河北省曲周县的种植制度、有效生物产出和经济产出三个方面的综合土地利用程度。土地当量比是 Willy 和 Osira 首先提出的,在 20 世纪 80 年代末被我国耕作学界接受并引入,其内涵为获取与某种种植方式单位面积同等产量所需该种植方式中各作物单位面积之和(刘玉华,1998)。Mead 等(1980)、冯宗炜等(1992)、刘玉华(1998,1999)曾经利用这一指标来评价土地利用效率。复种当量是指一年内单位面积复种农田的产量或产值与相同地块上各作物单位一熟产量或产量算术平均数的比值,又可分为复种当量、产量复种当量和产值复种当量三种。刘玉华(1999)运用复种当量的概念来定量地刻画了复种在生产上的适宜性。而土地资源消耗系数是指生产每个单位粮食所需的耕地面积,其实是土地生产率的倒数,它们只是从不同的角度来反映土地资源利用效率。谢高地等(1998)计算了我国的耕地资源消耗系数为 $2.15 \text{ m}^2/\text{kg}$,仅为世界水平的 60% 左右。俞勇军等(2002)把耕地利用效率定义为耕地在农业生产中充分发挥作用部分的比例,即有多少比例的耕地被充分利用进行农业生产,并对江苏省江阴市耕地利用效率和耕地变化的驱动力进行了定量分析。在土地资源综合利用效率方面,谢高地等(1999)把以一年生产周期中单位土地面积的产出作为指标衡量了全球土地资源综合利用效率。

除了土地的生产效率和利用率外,土地的质量和其对农业生产的限制性评价也是土地资源利用效率研究的一个重点内容。1976 年 FAO 提出了土地评价的基本框架;随后,FAO 与联合国开发计划署(UNDP)、联合国环境规划署(UNEP)和世界银行联合开展了土地质量评价指标体系的研究(张露等,2004),并共同建立了土地质量指标体系(land quality indicators, LQI),产生了较大的影响(Turner 等,1995)。Pieri 等(1995)曾根据土地质量的定义提出了相应的土地质量指标体系,把土地条件和土地生产能力、自然保护和环境管理等联系在一起。Dumanski 等(2000)针对拉丁美洲和非洲撒哈拉地区等农业生态区的主要土地问题建立了相应的土地质量指标。前期的土地质量评价因素主要针对土壤侵蚀、土壤肥力下降、过度引水造成地下水位下降、盐碱化等问题。随着研究的深入,许多研究者发现土地质量并不只受土地自然条件的影响,实际上农户的行为等经济社会因素对其影响也很大。

国内土地质量评价的研究工作开展得相对较晚,评价的指标体系也未形成统一的标准。