

基于粮食安全与农业可持续发展的国家目标和农业资源利用效率综合研究的科学需求,

本书在区域农业资源利用效率评价理论与方法探讨的基础上,

以地处青藏高原.....

GIS

农业资源高效利用

{ 基于GIS 技术方法 }

郑海霞
▲
著



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北京联合大学学术专著出版基金资助

农业资源高效利用

基于GIS 技术方法

郑
海
霞
▲
著



中国经济出版社

CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

农业资源高效利用——基于 GIS 技术方法 / 郑海霞著. —北京:
中国经济出版社. 2007. 11

ISBN 978 - 7 - 5017 - 8233 - 8

I. 农… II. 郑… III. 农业资源—资源利用—研究—中国
IV. F323. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 164047 号

出版发行: 中国经济出版社 (100037 · 北京市西城区百万庄北街 3 号)

网 址: www.economyph.com

责任编辑: 余静宜 (010-68359421, E-mail: Jingyi_v@126.com)

责任印制: 张江虹

经 销: 各地新华书店

承 印: 三河市佳星印装有限公司

开 本: A5

印 张: 7.875

字 数: 200 千字

版 次: 2007 年 11 月第 1 版

印 次: 2007 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5017 - 8233 - 8/F · 7228

定 价: 32.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 68359418 68319282

服务热线: 68344225 68369586 68346406 68309176

前言

人类自 19 世纪，特别是进入 20 世纪以来，经济得到了飞速发展，农业生产也先后经历了传统农业、现代农业和可持续农业阶段，但围绕农业生产的粮食安全、资源安全，以及生态环境效应等问题仍是困扰我国农业发展和国家安全的重要问题。国内生态环境恶化由局部向整体的扩展以及农业生产经济效益低下导致国民经济高速发展势头受阻，使我国高耗低效的农业生产方式已难以持续，我国农业发展面临新一轮的考验。只有提高农业资源利用效率、走高效低耗的可持续农业发展之路，才是我国农业的最佳选择，进行农业资源利用效率的综合研究对于提高我国农业生产力，促进农业资源的合理、高效利用具有重要的现实意义和理论价值。本研究在区域农业资源利用效率评价理论与方法探讨的基础上，以地处青藏高原、西北干旱区、黄土高原区与四川盆地交接位置的甘肃省为例，把理论探讨与案例分析相结合，以 1km 栅格数据为基础，以县域为基本研究单元，较为系统地研究了区域农业资源利用效率的理论与实践问题。

本研究是在中国科学院知识创新工程重大项目“中国不同地区粮食生产的资源效率和生态环境效应（KZCX3-SW-333）”的资助下完成的，在国家 973 项目“中国农村资源的可持续利用（2004CB720401）”的后续资助下完成了修改工作，并在北京联合大学专项出版基金的资助下得以出版。在研究的完成过程中，作者的博士导师中国科学院地理科学与资源研究所的封志明研究

员对文章结构、研究思路和一些研究细节上给予了多方面的指导和支持,在此表示衷心的感谢。

本书分七章,主要研究内容包括:

(1) 第一章作者回顾了国内外农业资源利用效率研究的历史和现状,分析了农业资源利用效率系统性研究的必要性和可行性,确立了区域农业资源利用效率的理论基础和研究框架。随后,对农业资源利用效率进行了系统分析,提出了农业资源利用效率研究的资源目标、能量目标和经济目标,认为农业资源利用效率系统研究应包括农业资源利用效率、能量转化效率和经济效益三个方面。

(2) 第二章是基础数据处理和区域分析,是全书数据和分析的基础。利用气象站点的温度、降水数据和由气象站点数据计算得到的太阳辐射量、蒸散发潜力、土壤水等数据,利用 GIS 统计模块中的空间插值方法,得到甘肃省各月平均气温、降水、太阳辐射量、蒸散发潜力、实际耗水量、土壤水等农业自然生产要素的 1km 空间栅格数据,并以县为统计单元,利用 GIS 空间分析中的区域统计得到分县数据,并对各因子的空间分布特征及形成原因进行了区域分析。基础数据处理为农业生产潜力和资源利用效率的研究提供了数据基础。

(3) 第三章农业生产潜力的估算,是农业资源利用效率评价的基础。为了准确评价农业生产潜力,作者利用 GIS 技术选取不同的区域化方法对甘肃省各月温度、降水、太阳辐射量和潜在蒸散量等农业自然资源要素进行区域化,得到各要素 1km 栅格型数据库。在此基础上构建了农业生产潜力评估模型,并估算了甘肃省农业生产潜力,分析了 1km 农业生产潜力空间分异规律,通过聚类分析将甘肃省划分为 6 个潜力区和 12 个潜力亚区。结果表明,除了降水生产潜力以外,甘肃省农业生产潜力总体上表现为河西地区高于其他地区,小区域范围内多为平川地区高于山区。

(4) 第四章和第五章在第三章的基础上,以县域为基本研究单元,分别从单项农业资源利用效率和农业资源综合利用效率两个方面对甘肃省的农业资源利用效率进行了系统评价。第四章单项农业资源利用效率围绕气候、水、土等要素,从农业资源表观产出效率、利用率和潜力利用率三个方面选取若干评价指标,基于 GIS 空间分析技术对甘肃省县域农业资源利用效率进行评价、分级,同时依据各单项农业资源表观利用效率和潜力利用率与相应理论最高值的关系,评价了甘肃省县域农业资源开发优势度。第五章农业资源综合利用效率评价则是通过对第四章单项农业资源利用效率评价指标的筛选构建了农业资源利用效率综合评价指标体系,采用遗传投影寻踪方法对农业资源利用效率进行综合评价,并利用 GIS 空间分析技术研究了甘肃省县域农业资源综合利用效率的空间分异规律。研究认为,甘肃省农业资源综合利用效率在河西地区较高,陇中处于中等水平,陇东、陇南、甘南州(甘南藏族自治州)较低。

(5) 第六章依据农业资源综合利用效率评价结果,作者选取了张掖市、通渭县、成县和庆阳县四个典型县域,分别代表河西平川农业资源利用高效率水平区、陇中和陇南农业资源利用中等效率水平区,以及陇东农业资源利用低效率水平区,从 1991 ~ 2001 年 11 年的时间序列评价了农业资源利用的能量转化效率 and 经济效益,选取典型县进行长时段农业资源利用的能量转化效率 and 经济效益评价,并对能量转化效率和经济效益进行了对比分析。结果表明,四个典型县农业资源利用的能量转化效率和经济效益相继在 1991 年和 1994 ~ 1999 年左右达到了临界状态。县域差异表现为农业自然生产条件较好的成县经济效益相对较高,由于研究期初能量投入水平已达到临界状态,能量投入水平越低,能量转化效率越高,如通渭县能量投入水平最低,能量转化效率最高。

(6) 第七章主要总结了农业资源高效利用研究的理论、方法和甘肃省农业资源高效利用的现状和解决方案,并对该课题尚有待于进一步的深入研究和有关问题进行了讨论。

本书利用 GIS 技术、资源科学、经济学和地理学等研究方法,在 GIS 的数据基础构建和农业生产潜力研究的基础上,基于资源效率、能量转化效率和经济效益三个目标对甘肃省农业资源利用效率进行了系统性的研究。本研究主要在以下三个方面取得创新:

(1) 在理论方面,通过对农业资源的系统分析,提出了一个多层次农业资源利用效率的概念框架和评价指标体系与评价方法。

(2) 在方法方面,利用 GIS 等新技术方法研究农业生产潜力和资源利用效率的空间分异,实现了 1km 栅格层次上农业生产潜力的估算和县域层次上农业资源利用效率的综合评估,提高了研究的精度和研究结果的可行性,具有重要的推广意义和价值。

(3) 在案例分析方面,利用遗传投影寻踪方法进行农业资源利用效率的综合评价,解决了多指标综合评价过程中各分量的方向性和权重贡献问题。综合评价的结果能很好地反映甘肃省农业资源综合利用的实际情况,可以作为地方政府进行资源分配和管理决策的参考。

本书可以作为大中专院校和科研部门从事农业资源、GIS 和资源经济等领域研究的参考,也可以作为地方政府和决策部门的参考资料。限于作者水平,本书难免出现一些问题甚或错误,敬祈读者批评指正。

作者

2007 年 11 月

目 录

第一章 绪 论

1.1 研究依据与意义	(1)
1.1.1 依据之一：国家粮食安全与区域农业 可持续发展的国家需求	(2)
1.1.2 依据之二：区域农业资源利用效率 系统性研究的科学需要	(6)
1.1.3 研究尺度和范围：以 1km 栅格为基础 和县域为单元的甘肃省	(7)
1.2 国内外农业生产潜力与资源利用效率研究 进展	(9)
1.2.1 农业生产模式的深化与发展	(9)
1.2.2 农业生产潜力研究进展	(13)
1.2.3 农业资源利用效率及其评价	(15)
1.2.4 甘肃省农业资源利用相关研究进展	(28)
1.3 农业生产潜力与资源利用效率研究的基本 思路与特色	(31)
1.3.1 研究思路	(31)
1.3.2 研究内容	(38)
1.3.3 研究方法	(39)
1.3.4 创新与特色	(40)

第二章 基于 GIS 的数据基础构建与区域分析

- 2.1 数据来源 (41)
 - 2.1.1 间接资料 (42)
 - 2.1.2 直接资料 (43)
 - 2.1.3 图形数据 (44)
 - 2.1.4 统计数据 (44)
- 2.2 数据处理与模型估算方法 (45)
- 2.3 空间插值与区域化 (47)
 - 2.3.1 资料来源与处理 (47)
 - 2.3.2 数据分析 (49)
 - 2.3.3 方法的选取 (52)
 - 2.3.4 区域化参数优化结果 (56)
 - 2.3.5 区域化及其验证结果 (58)
- 2.4 小结 (78)

第三章 基于 GIS 的甘肃省农业生产潜力评价

- 3.1 基于 GIS 的农业生产潜力模型构建 (79)
 - 3.1.1 作物光合生产潜力 (81)
 - 3.1.2 作物温度有效系数与光温生产潜力 (82)
 - 3.1.3 作物降水有效系数与降水生产潜力 (82)
 - 3.1.4 作物水分有效系数与水资源潜力 (83)
 - 3.1.5 作物土地有效系数与土地生产潜力 (84)
 - 3.1.6 作物结构订正与区域农业生产潜力 (84)
- 3.2 甘肃省农业生产潜力空间差异分析 (85)
 - 3.2.1 光合生产潜力空间差异分析 (85)
 - 3.2.2 光温生产潜力及温度有效系数空间差异
分析 (86)
 - 3.2.3 气候生产潜力及降水有效系数空间差异
分析 (88)

3.2.4 农业水资源生产潜力及水分有效系数 空间差异分析	(89)
3.2.5 土地生产潜力及土地有效系数空间差异 分析	(90)
3.3 以县域为单元的农业生产潜力分类与分区	(92)
3.4 甘肃省农业生产潜力与现实生产力的对比 分析	(100)
3.5 小结	(102)
第四章 单项农业资源利用效率研究	
4.1 气候资源利用效率	(105)
4.1.1 气候资源利用效率评价指标	(105)
4.1.2 甘肃省县域气候资源利用效率现状 分析	(106)
4.1.3 甘肃省县域气候资源开发优势度分析	(111)
4.2 农业水资源利用效率	(114)
4.2.1 多层次农业水资源利用效率评价指标	(114)
4.2.2 甘肃省县域农业水资源利用效率现状 分析	(119)
4.2.3 甘肃省县域农业虚拟水资源利用效率 空间和结构分异	(122)
4.2.4 甘肃省县域农业水资源开发优势度	(124)
4.3 耕地资源利用效率	(126)
4.3.1 耕地资源利用效率评价指标	(126)
4.3.2 甘肃省耕地资源利用效率评价结果 分析	(127)
4.3.3 甘肃省县域耕地资源开发优势度分析	(129)
4.4 农业辅助投入效率	(131)
4.4.1 农业辅助投入效率评价指标选取	(131)

4.4.2 甘肃省县域农业辅助投入效率评价结果 分析	(132)
4.5 小结	(133)
第五章 农业资源利用效率综合评价	
5.1 多层次农业资源利用效率综合评价指标体系的 构建	(136)
5.1.1 评价指标体系选取的原则	(136)
5.1.2 县域农业资源利用效率综合评价指标 体系的建立	(137)
5.2 甘肃省县域农业资源利用效率综合评价	(145)
5.2.1 基于遗传加速算法的投影寻踪方法	(145)
5.2.2 甘肃省县域农业资源利用效率综合评价 结果分析	(148)
5.3 小结	(151)
第六章 典型县域能量转化效率和经济效益的时序分析	
6.1 典型县域的选取和区域分析	(152)
6.2 典型县域能量转化效率的时序分析	(154)
6.2.1 数据来源	(154)
6.2.2 评价体系	(154)
6.2.3 典型县能量转化效率的时序分析	(156)
6.3 典型县域农业资源利用的经济效益时序分析	(168)
6.3.1 经济效益评价指标	(169)
6.3.2 典型县域经济效益的时序分析	(170)
6.4 小结	(181)
第七章 结论与讨论	
7.1 结论	(183)
7.2 讨论	(189)

附 录

附表 1	中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZ CX3-SW-333) “中国粮食生产的资源利用 效率与生态环境效应” 农户调查表	(191)
附表 2	中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZ CX3-SW-333) “中国粮食生产的资源利用 效率与生态环境效应” 专家调查表	(194)
附表 3	甘肃省县域气候资源利用效率及参数值	(196)
附表 4	甘肃省县域水资源利用效率及参数值	(201)
附表 5	甘肃省县域耕地资源利用效率及参数值	(205)
附图 1	甘肃省 1km 月均温度空间分布图	(208)
附图 2	甘肃省 1km 月均降水空间分布图	(210)
附图 3	甘肃省 1km 月均太阳辐射量空间分布图	(212)
附图 4	甘肃省 1km 月均潜在蒸散量空间分布图	(214)
附图 5	作物生产潜力与资源有效系数聚类分析 结果	(216)
参考文献		(217)
后 记		(238)

第一章

绪 论

1.1 研究依据与意义

人类自 19 世纪，特别是进入 20 世纪以来，经济得到了飞速发展，农业生产也先后经历了传统农业、现代农业和可持续农业阶段，但围绕农业生产的粮食安全、资源安全及其生态环境效应等问题仍是困扰我国农业发展和国家安全的重要问题。经济全球化的加速和中国加入 WTO 将对作为弱势产业的农业发展带来更大的压力和挑战。同时，国内生态环境恶化由局部向整体的扩展，以及农业生产经济效益低下导致国民经济高速发展势头受阻，使我国高耗低效的农业生产方式已难以持续，我国农业发展面临新一轮的考验。因此，只有提高农业资源利用效率，走高效低耗的可持续农业发展之路，才是我国农业的最佳选择。目前关于农业资源利用效率的研究多集中在单项农业自然资源利用效率方面，缺乏对农业资源综合利用效率的系统性研究，而单项农业资源利用效率达到最高并不意味着农业资源利用效率整体上达到最高，农业资源利用效率与农业生产潜力基础的差距可以进一步揭示农业资源开发利用的程度与空间。因此，农业资源利用效率问题需要多层次、多目标的系统性研究。此外，农业资源利用效

率问题是一个理论与实践相结合的科学问题，必须基于典型区域进行重点研究。甘肃省位于青藏高原区、西北干旱区、黄土高原区和四川盆地的交接地区，农业生产具有一定的代表性和典型性，作者选择甘肃省作为研究的案例区域。同时，由于研究尺度不同会对研究结果造成一定的影响，本书试图以 1km 栅格为基础和县域为基本研究单元，分别代表自然系统的小尺度区域和行政单元的中尺度区域，对区域农业生产潜力与资源利用效率进行系统性探讨。主要立题依据可以归纳为以下两点：一是面向国家目标的国家粮食安全与区域农业可持续发展的国家需求，二是面向科学目标的区域农业资源利用效率系统性研究的科学需要。

1.1.1 依据之一：国家粮食安全与区域农业可持续发展的国家需求

由于全球性的资源短缺、粮食紧张、人口膨胀和环境污染等一系列问题的日益严重，世界各国都十分重视国家的粮食安全（Food Security）、资源安全（Resources Security）和环境安全（Environment Security）等问题，我国作为世界上人口最多的国家，用 7% 的耕地养活占世界 22% 的人口，粮食安全和资源安全对我国来说尤为重要，已成为我国国家战略安全的重要组成部分。而粮食系统安全（Food System Security）与农业资源利用效率、发展潜力及支持能力等紧密相连，农业资源利用效率（Agricultural Resources Use Efficiency）研究，已构成国家粮食安全与资源安全研究的重要内容。但由于我国农业生产规模过小、生产技术与管理方式落后，以及农民生产积极性不高等原因，我国农业生产和资源利用存在较大的问题，严重影响了我国的粮食安全和农业可持续发展。

第一，人口、粮食和资源矛盾趋于加剧。中国农业自然资源

绝对量大,但人均相对量少,特别是耕地紧张,灌溉水资源不足,已成为中国农业持续发展的重要限制性因素。按1996年土地详查数据,我国人均耕地面积 0.11hm^2 ,人均水资源量不足 2240m^3 ,分别是世界人均水平的 $1/3$ 和 $1/2$,并且耕地持续下降和水资源污染的势头在短时期内仍难以逆转。据张凤荣等预测,1997~2010年、2011~2030年和2031~2050年我国耕地分别净减少 $6.488 \times 10^5\text{hm}^2$ 、 $3.414 \times 10^5\text{hm}^2$ 和 $2.796 \times 10^5\text{hm}^2$,土地整理、开发和复垦的耕地远不能补充耕地的减少(张凤荣,薛永森等,1998)。水污染加重,工业和城镇用水逐年增加,农业灌溉用水将更加紧缺。据2000年中国水资源公报,在评价的11.4万公里河长中,水质劣于Ⅲ类的占评价河长的41.3%,劣于Ⅴ类的占17.1%,其中处于我国主要粮产区的黄淮海流域和松辽流域水质劣于Ⅲ类的都达到50%以上。重点评价的24个湖泊中,水质受到污染的15个,其中11个湖泊水污染严重,国家重点治理的“三湖”中,只有太湖水质稍好,富营养水平占83.5%,巢湖和滇池水质全部处于富营养状态。同时,工业和城镇用水将使农业用水紧缺的局面进一步加剧。根据世界观察署的预测,到2030年中国工业和城镇用水将由1995年的10.8%、6.4%分别升至25.2%和12.5%,农业用水比例将由82.8%下降到62.3%(Lester R. Brown, Brian Halweil, 1998)。江河湖泊的严重污染以及工业与城市用水的增加将使我国本已紧缺的水资源形势更为严峻,也使农业灌溉用水更为紧缺。而我国灌溉面积占可耕地面积的46.6%,全国80%的粮食、90%的棉花和95%的蔬菜产量来自灌溉区,水资源的短缺使我国粮食安全受到挑战。同时,我国人口进一步增长的趋势还将持续几十年,2020~2030年中国的人口将达到15亿~16亿,粮食需求将会随人口的增加而增长,而届时人均耕地占有量和人均淡水占有量可能较目前分别减少 $1/4$ 和 $1/5$ 强(石玉林,封志明,1997);另一方面,由于人均收入水平的

逐步提高,人均粮食消费水平和对高品质粮食的需求将不可遏制的迅速扩张。资源的限制、人口的增加和人均消费水平的提高,将使我国的粮食供需平衡受到挑战,人口、资源与粮食的矛盾将进一步加剧。要靠大规模投入新的资源,尤其是自然资源来缓解这一矛盾是不现实的。对有限的农业资源而言,只能提高利用效率,走资源高效、节约与可持续利用之路才是最佳的选择。

第二,农业资源利用效率和产出率低,出现农业资源紧缺和资源浪费并存的严重局面。虽然中国的人均资源形势严峻,但目前农业资源利用方式仍是粗放型的,农业资源利用效率低下,浪费严重。我国平均光能利用率在 0.5% 以下,只有世界高产国家的 60%,气候资源利用率为发达国家的 50% ~ 70%,耕地复种指数仅为 155%,可望提高到 160% 以上。由于灌溉技术及管理落后,农业灌溉用水浪费十分惊人,单位面积灌溉耗水量普遍偏多,灌溉水有效利用率平均只有 30% ~ 40%,而水资源利用技术先进的国家可达到 50% ~ 70%,以色列甚至达到 90%。由于肥料施用比例失调、空间分布不合理等原因,我国化肥利用率只有 36%,氮肥损失达 70% ~ 80%,浪费极为严重(石玉林,封志明,1997)。1980 ~ 2000 年的 20 年间,化肥施用总量从 1.2694×10^7 t 增至 4.1460×10^7 t,增加了 267%,年平均递增 11.3%;而同期全国粮食总产从 3.1822×10^8 t 增至 4.6218×10^8 t,只增加了 45%,年均递增率为 2.26%,单位化肥粮食生产量由 25.07 kg/kg 降至 11.15 kg/kg,随着化肥投入量的增加,化肥利用效率逐步降低。农业资源利用效率低下与产出率的降低将严重影响我国的粮食安全和资源安全,提高我国农业生产潜力和资源利用效率具有十分重要的现实意义。

第三,由于农业资源利用效率低而导致了一系列生态环境效应问题。由于化肥、农药的大量投入、不合理的耕作方式和灌溉方式等,产生了一系列的生态环境退化现象,如土壤侵蚀、盐碱

化、土壤污染等，由此造成全球退化的土地面积大约为 $2.0 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ，占地球上植被区面积的 17%。我国水土流失面积已由解放初的 $1.10 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 扩大到目前近 $3.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，沙漠化土地面积已经占全国土地面积的 27.3%，盐碱化耕地面积已达 $8.0 \times 10^6 \text{ hm}^2$ （董治宝，陈渭南等，1995）。与此同时，大量化肥和农药的施用使土壤和水域污染严重，也进一步影响了我国农业可持续发展。

第四，全球化的加速和中国加入 WTO 对我国农业发展的机遇与挑战，也将影响我国的粮食安全，促进我国农业生产模式和农业资源利用方式的改变。新的全球经济来自于三大推动力量：技术进步、市场的力量和全球化（Lawrence H. Summers, 1999）。这三大经济力量不仅推动全球经济，也是解决资源环境问题的有效途径。技术创新将有力地促进节能环保、资源高效利用；市场的力量能够矫正计划体制下严重的价格扭曲，有效防止资源过度利用，实现资源的合理配置和环境收益；全球化则大大强化了技术和市场的力量，使一国在开放的条件下能够有效利用全球的技术、资源、资金和管理，有助于形成一种资源高效利用、低环境损害的经济发展模式（胡鞍钢，王亚华，2000）。加入 WTO 加速了中国全球化的进程，对中国农业发展是机遇与挑战并存。一方面，利用全球化提供的技术、资金和管理等有利条件将为解决中国农业可持续发展和粮食安全提供难得机遇；另一方面，全球化所带来的市场和经济一体化，将对中国农产品的价格、品质、市场及农业经济转轨等问题是一个很大的挑战。由于农业生产规模小、技术落后和生产效率低，使粮食生产成本居高不下，我国主要粮食大米、小麦、玉米的平均批发价格分别高于国际市场的 27%、48% 和 55%。同时，由于化肥农药在局部地区的过量投入和作物品种等原因，使农产品的品质也低于国际水平。随着中国加入 WTO，外贸经营权的开放、单税制和外贸配额的实施，