

# 基于粮食生产能力的 耕地质量评价研究

—— 以重庆市农用地分等为例



袁天凤 著



中国大地出版社

# 基于粮食生产能力的耕地 质量评价研究

——以重庆市农用地分等为例

袁天凤 著

中国大地出版社

· 北 京 ·

## 内容提要

中国的粮食安全倍受世界瞩目,耕地质量评价成为确保国家粮食安全的一项重要的基础工作。可持续土地管理,包括耕地总量动态平衡、基本农田保护、耕地粮食生产能力的核算等,迫切需要对耕地质量进行等级划分,形成以计算机技术为主要手段的、多层次、全覆盖、跨区域横向可比的评价体系。作者在把握农用地分等核心思想和技术规程的基础上,针对机械套用农用地分等模型参数算法,导致各区域等指数可比性差等问题,以重庆市为实证,提出了分模块控制的评价方法、依据独立产量数据和统一标准产量核算的检验方法,以实现跨区域和跨耕作制度间等指数的可比性。该项研究成果以重庆市 39 个县域的耕地为评价对象,改进了自然质量等和土地利用等指数模型,在 GIS 技术支持下,建立了重庆市耕地质量评价体系,确定了耕地等级产能差异。然后采用聚类分析方法,进行了基于县域平均耕地质量等级的分类和分区,并对耕地质量空间分布与自然、经济要素的关系进行了定性和定量的分析,系统揭示了重庆市耕地质量的空间分布规律。

本书适用于国土部门、农业部门、经济部门以及地理科学、土地科学、资源经济、生态经济、区域经济等相关领域的专业人士阅读,亦可作为高等院校相关专业的高年级学生和研究生的教学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

基于粮食生产能力的耕地质量评价研究:以重庆市农用地分等为例/袁天凤著. —北京:中国大地出版社, 2008. 7

ISBN 978-7-80246-123-9

I. 基… II. 袁… III. 耕地—土地资源—评价—重庆市 IV. F323.211

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 102409 号

---

责任编辑:张海凤

出版发行:中国大地出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路 31 号 100083

电话:010-82329127(发行部) 82329120(编辑部)

传真:010-82329024

网址:www.chinalandpress.com 或 www.中国大地出版社.中国

印刷:北京北林印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:8.75

字数:200 千字

版次:2008 年 7 月第 1 版

印次:2008 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册

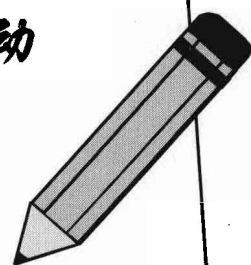
书号:ISBN 978-7-80246-123-9/F·296

定价:30.00 元

---

版权所有·侵权必究

本著述基础研究得到  
国土资源部国土资源大调  
查项目“重庆市农用地分  
等研究”（2004133）、重庆  
市国土房管局项目“重庆市  
农用地按等级折算研究”  
（2005—2006）的资助；后  
期出版得到“内江师范学  
院出版基金”和“博士启动  
基金”资助（2008）。



# 序

当“粮食危机”从寻常百姓饭桌上的话题上升到联合国粮食高峰会议（2008年6月3日—5日罗马会议）的紧急议题时，其严重性已经对所有的人都造成了威胁。以占不足世界10%的耕地养活着占世界22%的人口，中国的粮食问题全球瞩目。耕地资源的数量和质量是粮食生产的基本保证，藏粮于土，全面提高中国土地资源的综合生产力是确保中国粮食安全的基本国策。据此我国实行了世界上最严格的耕地保护制度。1999年1月1日起生效的新的《中华人民共和国土地管理法》，把“耕地总量只能增加，不能减少”作为一项基本原则，明确规定，耕地实行“占一补一”，各省级人民政府必须确保耕地总量的动态平衡。为严格执行占用耕地补偿制度，防止占多补少、占优补劣，确保耕地占补平衡。《国务院关于深化改革严格土地管理的决定》（国发〔2004〕28号）作出了补充耕地数量质量实行按等级折算的规定。对耕地质量进行系统评价是实现补充耕地数量、质量平衡，提高国土管理水平的科学依据。

农用地分等是一项基础性、战略性的工作，是新一轮国土资源大调查“土地资源调查与监测工程”的一项重要组成部分，也是集体土地使用制度改革、征地制度改革、耕地占补平衡、农村税费改革的重要基础。从2001—2006年，国土资源部相继在全国分省启动了农用地分等工作，2003年，国土资源部颁布了《农用地分等规程》（TD/D1004-2003），为全国各省建立跨区域可比的耕地质量评价体系提供了技术规范。在各省开展农用地分等工作过程中，如何将《农用地分等规程》与各地区的实际相结合，提高耕地质量评价成果的质量，是一个值得深入研究的课题。“重庆市农用地分等”项目于2004年6月启动，至2006年12月完成验收。袁天凤作为我的博士生，于2004—2006年进入重庆市土地规划勘测院，参加国土资源部国土资源大调查项目“重庆市农用地分等”和重庆市国土房管局项目“重庆市农用地按等级折算”两个课题的研究工作。袁天凤同志通过对土地评价和农用地分等理论的系统研究，结合重庆市农用地分等工作的实际，对农用地分等模型及其分等参数的计算进行了创新性地探索，对耕地等级折算系数的确定进行了科学的研究，对耕地质量评价结果进行了系统分析。其研究的思路是新颖的，研究的方法是科学的，研究得出的结论是可靠的。该研究虽然依托的是一项省级层次的农用地分等课题，但对国家级农用地分等汇总工作，在思路和方法上也具有借鉴意义。这些研究成果汇聚形成了《基于粮食生产能力的耕地质量评价研究——以重庆市农用地分等为例》这本专著，现在得以出版。希望该同志继续努力，在该领域作出更大的贡献！

郎道持

2008年6月于重庆

# 目 录

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 第 1 章 文献综述 .....                  | (1)  |
| 1.1 国外农用地评价研究进展 .....             | (1)  |
| 1.1.1 土地潜力评价 .....                | (1)  |
| 1.1.2 土地适宜性评价与农业生态区 (AEZ) 法 ..... | (2)  |
| 1.1.3 土地评价的综合化发展 .....            | (2)  |
| 1.1.4 土地持续利用评价的发展 .....           | (3)  |
| 1.1.5 土地评价的多元化、精确化和信息化发展 .....    | (4)  |
| 1.2 国内农用地评价研究进展 .....             | (4)  |
| 1.2.1 农用地评价研究的演变 .....            | (4)  |
| 1.2.2 农用地评价的发展趋向 .....            | (5)  |
| 1.3 农用地分等方法及其研究进展 .....           | (6)  |
| 1.3.1 农用地分等的理论基础与主要模型 .....       | (6)  |
| 1.3.2 农用地分等研究演变 .....             | (9)  |
| 1.3.3 农用地分等理论和方法的深化研究 .....       | (10) |
| 1.3.4 农用地分等存在的主要问题与解决的方法探讨 .....  | (12) |
| 1.4 空间自相关分析方法 .....               | (14) |
| 1.4.1 建立空间权重矩阵 .....              | (14) |
| 1.4.2 全局空间自相关分析 .....             | (15) |
| 1.4.3 局部空间自相关分析 .....             | (15) |
| 第 2 章 立题依据和研究方案 .....             | (16) |
| 2.1 立题背景 .....                    | (16) |
| 2.2 立题依据 .....                    | (17) |
| 2.3 研究方案 .....                    | (18) |
| 2.3.1 研究目的 .....                  | (18) |
| 2.3.2 研究内容 .....                  | (18) |
| 2.3.3 技术路线 .....                  | (19) |
| 2.4 研究区概况 .....                   | (19) |
| 2.4.1 位置、面积与行政辖区 .....            | (19) |
| 2.4.2 地质地貌 .....                  | (20) |
| 2.4.3 气候 .....                    | (20) |
| 2.4.4 水文 .....                    | (21) |
| 2.4.5 土壤 .....                    | (21) |

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| 2.4.6 生物 .....                      | (22)        |
| 2.4.7 社会经济概况 .....                  | (22)        |
| 2.5 研究材料与方法 .....                   | (22)        |
| 2.5.1 研究材料 .....                    | (22)        |
| 2.5.2 研究方法 .....                    | (23)        |
| <b>第3章 重庆市耕地质量评价模型建立 .....</b>      | <b>(25)</b> |
| 3.1 分等区划与光温潜力指数的获取 .....            | (25)        |
| 3.1.1 指标区的划分 .....                  | (25)        |
| 3.1.2 标准耕作制度的确定 .....               | (26)        |
| 3.1.3 光温/气候潜力指数的获取 .....            | (27)        |
| 3.2 $\beta$ 系数与最大自然质量等指数可比性研究 ..... | (29)        |
| 3.2.1 最大自然质量等指数可比性分析 .....          | (29)        |
| 3.2.2 最大自然质量等指数算法的改进 .....          | (30)        |
| 3.2.3 基于不同算法的重庆市最大自然质量等指数比较 .....   | (32)        |
| 3.2.4 讨论 .....                      | (35)        |
| 3.3 自然质量分与自然质量等指数模型建立 .....         | (36)        |
| 3.3.1 评价单元基础数据的获取 .....             | (36)        |
| 3.3.2 自然质量分模型参数的确定 .....            | (37)        |
| 3.3.3 自然质量等指数模型建立 .....             | (40)        |
| 3.4 利用系数与利用等指数模型建立 .....            | (40)        |
| 3.4.1 利用系数计算模型建立 .....              | (40)        |
| 3.4.2 利用等指数模型建立 .....               | (41)        |
| 3.5 全市耕地质量评价结果的汇总 .....             | (41)        |
| 3.6 小结 .....                        | (42)        |
| <b>第4章 重庆市耕地质量评价结果的宏观检验 .....</b>   | <b>(46)</b> |
| 4.1 耕地质量评价结果的初步分析 .....             | (46)        |
| 4.1.1 全市耕地等级面积比重分布分析 .....          | (46)        |
| 4.1.2 耕地等级在各县域的分布状况分析 .....         | (48)        |
| 4.2 宏观检验模型的建立与分析 .....              | (49)        |
| 4.2.1 检验数据的获取与处理 .....              | (49)        |
| 4.2.2 县域播面单产-平均等级检验模型建立 .....       | (51)        |
| 4.2.3 等级合理性差异比较与判断 .....            | (51)        |
| 4.2.4 讨论 .....                      | (53)        |
| 4.3 小结 .....                        | (54)        |
| <b>第5章 重庆市耕地等级粮食生产能力的确定 .....</b>   | <b>(56)</b> |
| 5.1 耕地等级粮食生产能力确定的方法 .....           | (56)        |
| 5.1.1 耕地等级类型的选择 .....               | (56)        |
| 5.1.2 不同来源粮食产量数据的比较 .....           | (57)        |

|            |                                  |             |
|------------|----------------------------------|-------------|
| 5.1.3      | 粮食标准产量的折算方法 .....                | (57)        |
| 5.2        | 典型县耕地质量评价结果分析与比较 .....           | (58)        |
| 5.2.1      | 典型县选择与概况 .....                   | (58)        |
| 5.2.2      | 耕地等级评价结果分析与比较 .....              | (59)        |
| 5.2.3      | 典型县耕地质量的空间分布特征 .....             | (61)        |
| 5.3        | 典型县样点粮食产量调查 .....                | (62)        |
| 5.3.1      | 典型县样点粮食产量调查方法 .....              | (62)        |
| 5.3.2      | 典型县样点粮食产量调查结果分析 .....            | (63)        |
| 5.4        | 样点粮食产量 - 利用等指数模型建立与分析 .....      | (68)        |
| 5.4.1      | 样点粮食产量 - 利用等指数模型建立 .....         | (68)        |
| 5.4.2      | 耕地等级粮食生产能力的确定 .....              | (74)        |
| 5.4.3      | 耕地等级折算系数和产能系数的确定 .....           | (75)        |
| 5.4.4      | 区域产能系数和单产能力的计算 .....             | (76)        |
| 5.5        | 小结 .....                         | (78)        |
| <b>第6章</b> | <b>重庆市县域耕地质量分类与分区 .....</b>      | <b>(79)</b> |
| 6.1        | 材料与方法 .....                      | (79)        |
| 6.2        | 耕地质量分类 .....                     | (79)        |
| 6.2.1      | 聚类分类 .....                       | (79)        |
| 6.2.2      | 空间自相关分析和分类 .....                 | (82)        |
| 6.2.3      | 不同类别耕地质量的分布特征 .....              | (83)        |
| 6.3        | 耕地质量分区 .....                     | (85)        |
| 6.3.1      | 耕地质量区划 .....                     | (85)        |
| 6.3.2      | 分区耕地质量分布特征 .....                 | (86)        |
| 6.4        | 小结 .....                         | (87)        |
| <b>第7章</b> | <b>重庆市耕地质量分布与自然要素的关系分析 .....</b> | <b>(89)</b> |
| 7.1        | 材料与方法 .....                      | (89)        |
| 7.2        | 气候要素对耕地质量空间分布的影响 .....           | (90)        |
| 7.2.1      | 日照 .....                         | (90)        |
| 7.2.2      | 气温 .....                         | (91)        |
| 7.2.3      | 降水与干湿度 .....                     | (91)        |
| 7.3        | 地貌和土壤要素对耕地质量空间分布的影响 .....        | (93)        |
| 7.3.1      | 全市总体态势 .....                     | (93)        |
| 7.3.2      | 典型县局域态势 .....                    | (93)        |
| 7.3.3      | 自然要素对1等地分布的影响 .....              | (94)        |
| 7.4        | 耕地质量与耕地数量和结构的时空耦合关系 .....        | (94)        |
| 7.4.1      | 关系模型建立 .....                     | (94)        |
| 7.4.2      | 结果分析 .....                       | (95)        |
| 7.5        | 小结 .....                         | (95)        |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| <b>第 8 章 重庆市耕地质量与经济发展的空间耦合关系分析</b> | (96)  |
| 8.1 资源禀赋与经济发展的关系                   | (96)  |
| 8.2 经济指标的选择                        | (97)  |
| 8.3 耕地质量与经济发展的空间自相关耦合分析            | (97)  |
| 8.3.1 经济指标的全局空间自相关分析               | (97)  |
| 8.3.2 基于局部空间自相关的经济指标分类             | (98)  |
| 8.3.3 耕地质量与经济发展局部空间自相关耦合分析         | (102) |
| 8.4 耕地质量与经济发展的相关耦合分析               | (103) |
| 8.4.1 回归方程建立                       | (103) |
| 8.4.2 耕地质量对经济发展的影响分析               | (105) |
| 8.4.3 相关分析中县域样本的空间独立性讨论            | (106) |
| 8.5 耕地质量空间分布的经济效应                  | (107) |
| 8.6 小结                             | (108) |
| <b>第 9 章 结论与展望</b>                 | (110) |
| 9.1 主要研究结论                         | (110) |
| 9.2 研究特色与创新                        | (113) |
| 9.3 拟待解决的问题                        | (113) |
| <b>参考文献</b>                        | (115) |

# 第1章 文献综述

土地评价是土地利用战略规划的重要工具<sup>[1]</sup>。土地评价通常被认为是鉴定土地质量的好坏。联合国粮农组织（FAO）定义为：“当土地作为特定的用途时对土地的特性进行估计的过程。”中国科学院自然资源综合考察委员会定义为：在特定目的下对土地的性能进行鉴定的过程。<sup>[2]</sup>傅伯杰定义为：对土地的自然属性和社会经济要素的综合鉴定，是对土地生物生产能力及其他生产能力的鉴定，是对土地功能的综合评价<sup>[3]</sup>。倪绍祥定义为：土地评价，有人称之为土地质量评价。主要是根据土地的自然生产能力或其他方面利用潜力的高低对土地的质量作出评估<sup>[4]</sup>。

从利用角度来看，土地分农业用地和建设用地两大类，广义的农（业）用地分耕地、林地、牧草地等，而狭义的农用地指耕地和可耕地。耕地是土地的精华，耕地评价不仅是土地评价的起源，而且一直是土地评价的重点。

## 1.1 国外农用土地评价研究进展

国外土地评价体系的产生有两千多年的历史。在古希腊、古埃及、古印度、古罗马的文献中都有关于耕地等级划分的记载。古罗马著名学者和农学家瓦罗的著作《论农业》中提出按农地的价值大小排列进行土壤的分级。

早期的土地评价研究主要是为土地征税服务而发展起来的。美国1933年提出的“斯脱利指数分等”（STR）和康乃尔评价系统（Cornell System），德国财政部1934年提出的《农地评价条例》均作为赋税的依据。科学的土地评价起源于美国的土地潜力评价，距今不到一个世纪。

### 1.1.1 土地潜力评价

以合理利用土地为目的的土地评价研究是随着资源调查与土地合理利用和规划而产生和发展起来的，它的历史可上溯到20世纪30年代。

20世纪30年代早期，在美国，尤其是中西部，由于严重的土壤侵蚀和大量的水土流失，很有必要根据自然环境特征，提出合理的土地利用和土地管理。于是，基于土地利用不导致环境退化的原则，提出了土地利用潜力分类。最初是以土壤分类为基础，按土壤、坡度、侵蚀类型和侵蚀强度划分了8个土地利用潜力级，目的是为水土保持服务。1961年，美国农业部土壤保持局正式颁布了土地潜力分类系统。这是世界上第一个较为全面的土地评价系统，它以农业生产为目的，主要从土壤的特征出发来进行土地潜力评价，分为潜力级、潜力亚级和潜力单位三级。

继美国之后，参照美国的系统与方法，加拿大土地清查中的土地潜力分类系统

(1963), 英国土壤调查局的土地利用潜力分类系统(1969)相继推出。澳大利亚哈恩田斯制定的土地评价系统(1963)、日本农林省技术会议事务局制定的土地利用分类系统(1963)、FAO的土壤肥力潜力分类系统等是土地潜力评价的代表<sup>[5]</sup>。此外,在印度、中国、巴基斯坦等许多发展中国家土地潜力评价也得到了广泛的应用。

### 1.1.2 土地适宜性评价与农业生态区(AEZ)法

随着更广泛的资源调查和遥感等技术手段在资源调查中的应用,产生了一系列数据和自然要素图,土地评价从一般目的的土地评价过渡到有针对性的专门评价,土地评价研究进一步深化。1972年10月在荷兰的瓦格宁根举行了国际专家会议,对土地的概念、土地利用类型、土地评价的方法与诊断指标等进行了热烈的讨论,Beek和Bennema基于土地质量是否满足某一土地利用用途的程度作出评价,提出为农业土地利用规划服务的土地适宜性评价分类体系;出版了会议讨论纪要和建议(1973)。在此基础上,FAO于1976年出版了《土地评价纲要》,该纲要是针对特定土地利用方式对土地的适宜性和适宜程度作出评定的土地评价方案。这些特定土地利用类型可以是土地利用大类,如农业、林业、牧业等,也可以是更细的土地利用类型。

FAO在《土地评价纲要》的基础上相继出版了《旱地农业土地评价指南》(1985)、《雨耕农业土地评价纲要》(1985)、《林业土地评价》(1984)、《牧业土地评价》(1986)等文件,提供了相当完整的土地特性及与其匹配的土地利用方式,形成了系统的、全面的土地评价体系。经过长期的应用实践,FAO的《土地评价纲要》已被世界上许多国家采用。其基本的思路是从土地的适宜性出发,按纲、类、亚类和单元4级逐级评价。

1978年FAO利用现代计算机技术研制了“农业生态区(AEZ)”法,这是一种基于气候生产潜力和土壤生产潜力及考虑到土地投入水平的土地适宜性评价方法,并在非洲、东南亚和西亚实施。加拿大的杜曼斯基和斯图尔特发展了这一方法,用来预测加拿大作物生产潜力并估计土地对各种作物的适宜性。最初的工作是对土壤和气候资料进行计算机处理,然后计算作物生长期与气候相关的参数,主要根据的是温度。他们采用半定量的方法评价了土壤制图单位对每种作物的适宜程度,并将其分为三级。根据作物产量资料,找出与土壤有关的减产因素,逐步计算出作物生产潜力。先根据温度和水分指标计算出假定无限制因素的产量和预测产量,再把气候参数、杂草、病虫害、田间耕作条件等因素的作用综合起来,然后,由预测产量得出土地适宜性值,并定出6个适宜性等级。这一研究工作的主要优点是可以对加拿大各地土地适宜性进行直接比较。FAO通过农业生态区计划,曾设计出不同农业投入水平下可养活人口的估算方法,并用它评价117个发展中国家2000年的人口承载能力。至今,国际应用系统研究会(IIASA)采用了AEZ法对中国耕地生产潜力进行评价<sup>[6]</sup>。我国现阶段农用地分等方法也以AEZ法为理论基础。

### 1.1.3 土地评价的综合化发展

继土地潜力评价和适宜性评价之后,土地评价朝着综合化方向发展。

前苏联自1955年以来在大规模的土地资源研究的基础上,农业部于1976年正式颁布了应用于地籍工作的土地评价方法。该方法以区划单位为背景,根据土壤特征确定土地评

价单元——农业土壤组,然后按照经济指标评价土地质量,将土地的自然特征和土地の利用特征(产量和生产费用)相结合,是一种较为综合的土地评价方法。

1985年,特纳(Turner)从土地的生态条件评价、财政与经济分析、社会条件评价等方面论述了土地评价综合分析过程。1984年,斯密特(Smit)等人发展了毕克提出的综合土地评价的概念,他们把土地评价看作是一种综合的方法,主要是为土地利用规划或政策制订者服务,其目的是提供把土地清查与土地利用规划衔接起来的分析手段。通过分析自然、经济和社会条件,建立综合土地评价模型,包括数据处理、建模、求解、评价预测和制图,并应用于安大略省的农业土地评价。这一方法的优点是能进行土地利用和产量预测。预测中考虑了人口结构、农产品需求量、城市用地需求和能源供给条件的变化。

在土地潜力分类的基础上,美国农业部土壤保持局于1981年提出了“土地评价和立地评价”系统,并在伊利诺斯州和华盛顿州应用于实践。土地评价子系统包括土地潜力分类,重要农田鉴定和土壤生产力,立地评价子系统主要是对除土壤以外的其他自然和社会经济因素的评价,通常考虑的是那些与土地利用密切相关的因素,如土地的分布、位置、适应性和时间性等。这一系统除了考虑土壤的物理和化学特性外,也反映了经济因素,既考虑了土地管理措施,又考虑了土地税收和法规,同时结合了地方政府的农地政策。具有很强的综合性、精确性和法律性。目前,这一方法与遥感和GIS技术相结合,在美国仍得到广泛的应用,如B. M. Hoobler对怀俄明州 East Park County 评价系统的建立<sup>[7]</sup>, E. J. Ding 对衣阿华州 Black Hawk County 评价系统的建立<sup>[8]</sup>。

### 1.1.4 土地持续利用评价的发展

起源于20世纪30年代德国的景观生态学在20世纪80年代得到迅速发展,使土地生态评价成为土地评价研究的新方向之一<sup>[9~10]</sup>。土地生态评价是以土地生态类型为基础,着重生态价值和功能的评价,它直接服务于景观生态设计和景观生态规划。

20世纪90年代以来,土地持续利用评价成为土地评价的热点<sup>[11]</sup>。土地持续利用评价有机地综合了土地适宜性评价、土地潜力评价、土地生态经济评价,并探求它们在时间上的延伸<sup>[12]</sup>。

1991年9月在泰国清迈(Chiang Rai)举行了“发展中国家持续土地利用评价国际研讨会”<sup>[13~15]</sup>,1993年6月在加拿大Lethbridge大学举行了“21世纪持续土地管理国际学术讨论会”<sup>[16~17]</sup>。FAO于1993年正式颁布了《持续土地利用评价纲要》<sup>[18]</sup>,确定了土地生产性、土地的安全性或稳定性、水土资源保护性、经济可行性和社会接受性等土地可持续利用的5项评价标准,并初步建立了土地可持续利用评价在自然、经济和社会等方面的评价指标。1997年8月在荷兰恩斯赫德又召开了“可持续土地利用管理和信息系统国际学术会议”<sup>[19]</sup>。

Dumanski对加拿大Saskatchewan地区农业系统的持续性研究<sup>[20]</sup>、John等对肯尼亚Machakos地区的研究<sup>[21]</sup>、Berroteran和Zinck对委内瑞拉国家尺度上的研究<sup>[22]</sup>、Gameda等对加拿大农场水平上的研究<sup>[23]</sup>、Lefroy等基于农户调查对Vietnam、Indonesia和Thailand的研究<sup>[24]</sup>等,是具有代表性的研究。

自20世纪90年代中期以来,国际上开始广泛关注有关土地生产力和土地利用生态效

益评价的研究,即土地质量指标(LQIs, Land Quality Indicators)研究<sup>[25-26]</sup>,被世界银行(World Bank)、FAO、联合国环境规划署(UNEP)、联合国发展计划署(UNDP)确定为优先研究项目<sup>[27]</sup>。Pieri 总结研究了土地可持续利用评价中有关土地质量方面的评价因素,如水土流失、土壤肥力下降、林地退化、草地退化、地下水下降、盐渍化等<sup>[28-29]</sup>。《Agriculture, Ecosystem and Environment》杂志 2000 年第 2 期集中发表了第 16 届国际土壤科学会议中有关土地质量评价的 8 篇研究文章<sup>[30-33]</sup>。土壤学家从土壤可持续性角度研究土地质量指标体系,提出了土壤质量指数(Soil Quality Index)和土壤健康指数(Soil Health Index)概念<sup>[34]</sup>。Sarlinas-Garcia<sup>[35]</sup>、Hartmink<sup>[36]</sup>分别对土地持续利用评价的土壤物理、化学指标进行了实验研究,Murage 等探讨了土壤养分和土壤有机质等土壤质量指标<sup>[37]</sup>。

### 1.1.5 土地评价的多元化、精确化和信息化发展

20 世纪 80 年代以来,计算机在资源调查与评价中得到广泛应用,土地评价的理论与方法不断得到改进和完善,向着多元化、精确化、动态化的研究方向发展。从研究手段到评价主体、到评价因素,均走向多元化,计量方法与“3S”等地理信息技术相结合<sup>[38-39]</sup>,被广泛应用到土地评价之中;评价主体从单纯的专家系统到农户参与<sup>[40-44]</sup>;参与评价的因素从单一的自然因素到自然、生态、经济和社会的多种因素的综合集成,促进了土地评价精度的提高、范围的扩大和应用的拓展。

## 1.2 国内农用土地评价研究进展

我国土地评价具有悠久的历史。据《禹贡篇》记载,4200 多年前的夏禹时代,全国疆土划分为九州,按土色、质地、植被、水文将土地划分为三等九级,依其肥力制定贡赋等级。战国时的《管子·地员篇》按土色、质地、结构、空隙、有机质、盐碱和肥力条件等因素,并结合地形、水文等条件,对土地生产力进行分等定级,将九州的土地分为 18 类,按其性质对于农林生产的差别依次排序,分为上土、中土、下土 3 等<sup>[45-46]</sup>。新中国成立后,我国科学的土地评价工作逐步展开,为农林牧业服务的土地评价一直是中国土地评价研究的传统和主流,由于粮食安全和耕地保护的需要,耕地评价备受重视。

### 1.2.1 农用土地评价研究的演变

我国土地评价工作开始于 1951~1955 年财政部组织的查田定产工作。系统的土地评价研究工作始于 20 世纪 50 年代的荒地普查。20 世纪 70 年代后期开始,以合理利用土地为目的的土地评价研究蓬勃发展起来<sup>[47]</sup>。在中国科学院、国家计委自然资源综合考察委员会的主持下,参照 FAO 的《土地评价纲要》并结合我国实际拟定的 1:100 万土地资源图分类体系,采用五级分类制,即土地潜力区、土地适宜类、土地质量等、土地限制型和土地资源单位<sup>[48]</sup>,拟订了富有特色的编图制图规范<sup>[49]</sup>,出版了覆盖全国的 63 幅图件<sup>[50]</sup>。

1981 年原农牧渔业部仿照美国农业部土地利用潜力分类系统拟定的《中国第二次土壤普查暂行技术规程》中的土地生产力标准分级,采用单层次分级系统,根据土地的适宜性和限制性,将全国土地分为八级。“七五”期间,中国农业科学院和原农牧渔业部共

同完成了《我国中低产田分布及粮食增产潜力研究》报告,报告将土壤肥力、土壤理化性状、土壤障碍因素与耕地生产水平进行综合比较,把全国耕地划分为5个等级<sup>[51]</sup>。1995年中国农业科学院农业自然资源和农业区划所,以县级为单位对耕地进行了分区评价。1996年农业部颁布了行业标准《全国耕作类型区、耕地地力等级划分》,依此标准把全国划分为7个耕地类型区、10个耕地地力等级<sup>[52]</sup>。

1986年,原农牧渔业部土地管理局和中国农业工程研究设计院等研究制定了《县级土地评价技术规程(试行草案)》,主要以水、热、土等自然条件为评价因素,划分农用地自然生产潜力的级别<sup>[53]</sup>。经过10多年的研究,集国内外系统土地评价之大成,于2003年颁布实施了《农用地分等规程》<sup>[54]</sup>、《农用地定级规程》和《农用地估价规程》3个行业标准,基本构建起了我国农用地的等、级、价技术体系框架。

综上所述,国内农用地评价形成了3大体系:以1990年中国科学院发布的《中国1:100万土地资源图》编图制图规范为标志的土地资源分类体系;以1996年农业部颁布的行业标准《全国耕作类型区、耕地地力等级划分》为标志的农业部耕地地力等级体系;以2003年国土资源部颁布的《农用地分等规程》等为标志的农用地分等定级估价体系。

## 1.2.2 农用地评价的发展趋向

### 1.2.2.1 从潜力评价转向适宜性评价

20世纪80年代,为大农业服务的土地潜力评价在我国土地评价中仍占一定优势,但明显的趋势是已从综合的大农业评价渐趋于农、林、牧的单项土地适宜性评价,甚至单作物的土地适宜性评价。自1990年以来,土地适宜性评价发展更快,并有新的拓展。农用地分等即是一种针对几种指定作物的土地适宜性评价。张红旗建立了评价柑桔土地适宜性的综合评价模型<sup>[55]</sup>;杨子生评定了各类耕地的适宜性和持续性等级<sup>[56]</sup>;欧阳进良等进行了作物种植分区<sup>[57]</sup>。针对特定林、果或作物品种的土地适宜性评价也有一些研究<sup>[58~61]</sup>。与耕地评价相比,林、牧业土地评价仍属薄弱领域。主要是针对人工林地的质量评价<sup>[62~65]</sup>,牧业土地质量评价<sup>[66~67]</sup>等研究。

### 1.2.2.2 强调土地生产力水平的评价

与土地生产力水平评价相联系的是从20世纪80年代中期开始,与FAO合作开展的中国土地人口承载力研究。中国科学院自然资源综合考察委员会1991完成了《中国土地资源生产能力与人口承载力研究》;国家土地管理局与FAO接轨,在1:500万土壤图的基础上,完成了《中国土地资源的潜在人口支持能力研究》(1994);科技部开展了《中国农业资源综合生产能力与人口承载力研究》,更加全面地探讨了中国的土地、食物与人口问题<sup>[68]</sup>。

土地评价一个显著特点是评价中重视定性与定量结合,通过评定土地的生产力水平划分土地等级。如黎夏构建的“农业适宜性值”线性组合模型<sup>[69]</sup>;张军连等通过建立土地生产潜力评价中的土壤修正系数模型<sup>[70]</sup>;孙希华等沿用FAO的土地生产力指数模型,确定了土地生产力自然评价指数及社会经济技术评价指数,然后按不同权重得到土地综合评价指数,据其评定土地等级<sup>[71]</sup>。农用地分等借鉴FAO的土地生产力模型,是一种典型的耕地生产力水平评价。

### 1.2.2.3 土地可持续利用评价受到重视

可持续发展是 20 世纪 90 年代的热门话题,在土地评价研究上也有反映,中国的土地可持续利用指标体系基本都借鉴 FAO《持续土地利用管理评价大纲》而建立。较早有傅伯杰等的研究<sup>[72]</sup>,陈百明等提出了由生态、经济和社会指标构成的土地持续利用评价指标体系<sup>[73]</sup>,蔡运龙等提出了包括生产力、稳定性、恢复力、公平性、协调性的针对变化过程的指标体系<sup>[74]</sup>。

土地评价的应用领域进一步拓展,其中的一个重要方面是针对土地退化及其防治的土地评价。如孙武等的土地沙质荒漠化评价方法<sup>[75]</sup>;陕北长城沿线地区的土地退化评价<sup>[76]</sup>,金沙江干热河谷的土地荒漠化评价<sup>[77]</sup>。另一个新的研究方向是脆弱生态环境和特殊生态环境的土地评价。如脆弱生态环境定量评价方法<sup>[78]</sup>;吉林西部生态环境脆弱度定量评价<sup>[79]</sup>,三江平原湿地生态脆弱性评价<sup>[80]</sup>。为土地整理服务的土地评价也开始受到重视。如土地整理后的生态效益评价<sup>[81]</sup>,耕地和农村建设用地的整理潜力评价<sup>[82]</sup>。

### 1.2.2.4 土地评价向定量化、精确化和信息化方向发展

计量方法和数学模型使土地评价向更精确的方向发展。多元回归分析法、层次分析法、因素成对比较法、加权求和法、模糊综合评价法、灰色关联度分析法被广泛应用于土地评价<sup>[83~89]</sup>。人工神经网络技术在土地评价中得到越来越多的应用<sup>[90~92]</sup>。模糊物元贴近度聚类分析模型、遗传算法、退火算法及组合预测等一些新算法在土地评价中得到应用<sup>[93~94]</sup>。

遥感、GIS 和 GPS 等地理空间技术被广泛应用到土地评价中<sup>[95~97]</sup>,为跨区域、高精度耕地质量评价提供了强大的技术支撑。在遥感土地利用动态观测数据和气候观测数据的支持下,刘纪远等研究了 20 世纪 90 年代 LUCC 过程对农田光温生产潜力的影响<sup>[98]</sup>。传统的土地评价过程、图件绘制及面积量算和统计分析等费时费力,准确性差,为具有强大空间分析能力、空间—属性数据一体化处理的 GIS 留下了越来越大的应用空间,促进了地理信息系统在农用地分等中的应用<sup>[99~100]</sup>。ARC/INFO GIS<sup>[101]</sup>,GIS 支持的定量化、自动化农用地评价方法<sup>[102]</sup>,利用 GIS 获取土地评价单元和评价数据<sup>[103]</sup>,农用地分等定级与估价信息系统建设<sup>[104]</sup>等,是这类应用的代表性研究。

## 1.3 农用地分等方法及其研究进展

### 1.3.1 农用地分等的理论基础与主要模型

#### 1.3.1.1 农用地等、级、价的内涵及其相互关系

农用地是指市(县)行政区域内的全部耕地和土地利用总体规划划定的宜农未利用土地。农用地包括耕地,可用于农耕用途的林地、草地、农田水利用地、养殖水面等和宜农未利用土地;不包括建设用地、自然保护区,也不包括土地利用总体规划中的永久性林地、永久性草地和永久性水域。

农用地等别是依据构成土地质量的自然条件和经济条件,在全国范围内进行的农用地质量综合评定,强调耕地的粮食生产潜力评价。农用地等别划分侧重于反映农用地潜在的

(或理论的)区域自然质量、平均利用水平和平均投资效益水平。农用地分等工作中所划分的等别不仅要在省内具有可比性,而且在全国范围内也应具有可比性。农用地级别也是依据构成土地质量的自然因素和社会经济因素,在县级行政区内进行的农用地质量综合评定,农用地级别在县域内可比。农用地分等与定级因其服务目的不同和应用范围的差异而存在着复杂的关系,二者之间可以是从属关系,又可以是相对独立而又有一定联系的两个系列。从我国目前的工作而言,等别系列要求在全国范围内可比;级别系列只要求在县级范围内可比,级别的划分不采用修正法,因此二者之间是一种相互独立的关系。农用地价格是农用地质量高低的货币化体现,一般情况下,较高等级,特别是较高级别的农用地收益能力应该较大,价格也应该较高。因此,农用地分等定级与估价在内涵上是统一的,都是从不同的角度反映农用地的质量特征,区域内农用地等、级、价的差异反映其质量状况的变异。

### 1.3.1.2 农用地分等的理论基础

农用地分等模型是一种应用于耕地质量评价的作物生产潜力模型,是一种综合了土地适宜性和土地生产力水平的评价方法。国内外作物生产潜力模型主要分3大类<sup>[105]</sup>:①经验统计模型,建立植物生长量和环境因子的相关统计模型,代表性模型有迈阿密模型和Thonhwaite纪念模型;②生理生态模型,从能量转换的角度,考虑植物生理生态特性的机理或半机理的生产潜力逐级衰减模型,采用环境因子对光合潜力逐段订正,物理意义清晰,要求的参数相对简单,具有较大的普适性,其订正包括光合潜力<sup>[106~107]</sup>、光温潜力<sup>[108~110]</sup>、气候潜力<sup>[110~112]</sup>、土地潜力等几个步骤<sup>[113]</sup>,代表的方法如FAO的AEZ法<sup>[114]</sup>;③作物动力生长模拟模式,强调作物生长的过程和机理,要求的参数复杂,具有特定的针对性,大范围推广尚存在问题,如CERES<sup>[115]</sup>、InfoCrop<sup>[116]</sup>等模型。农用地分等光温/气候潜力指数的计算综合了国内外相关研究。农用地分等技术方法应用了FAO的AEZ法,AEZ法是将气候图和土壤图等图件叠加生成农业生态区,作为土地生产潜力的基本空间单元,按潜力衰减的方法,揭示土地生产潜力。

农用地分等依据的基本理论是作物生产力原理、生产要素理论、地租理论等。农用地分等基于高度综合的模块集成思想,从光温/气候潜力指数出发,主要包括3个层次指数的计算:自然质量等指数、利用等指数、(经济)等指数。根据3个层次等指数的计算结果,进行自然质量等、利用等、(经济)等的划分。农用地自然质量等指数是农用地分等的最主要成果,它主要反映影响农作物生长的气候、地貌、土壤条件以及田间工程状况,可应用于一切有关土地质量评价的工作,在土地利用总体规划和耕地占补平衡评价等工作中有广泛应用价值。作物产量不仅受农用地的质量影响,而且还受投入与管理的影响。农用地利用等指数等于农用地自然质量等指数乘以土地利用系数,它反映了土地、资本和劳动3个生产要素的综合结果,它与农用地自然质量等指数相结合,反映了人们利用土地的能力和意愿,可间接指导通过增加投入和改进管理挖掘农业生产潜力,直接应用于耕地占补平衡评价工作。农用地经济等指数等于农用地利用等指数乘以土地经济系数,农用地经济等指数可以考察农业生产效益,可用来指导农业税费改革。

农用地分等的核心是全国可比的分等指数计算<sup>[117]</sup>和等级体系建立,即建立跨区域可比评价体系,这是农用地分等有别于其他土地评价的一个基本特征。由于各地气候、地

貌、土壤、土地利用水平、土地投入水平的巨大差异,区域之间可比的分等指数计算和等级体系建立是异常困难的。因此全国可比的分等指数计算和等级体系建立是农用地分等方法研究的重点和难点,涉及多个技术环节和参数的确定。省内可比的分等指数计算和等级体系的建立是全国体系建立的基础和缩影。

### 1.3.1.3 农用地分等主要模型

(1) 光温/气候潜力指数模型。为农用地分等的前期模型,由国土资源部统一计算和控制。据国土资源部农用地分等办公室邱维理提供的模型<sup>①</sup>,经整理获得潜力指数:

$$Y_c = K \cdot C_H \cdot \sum_{i=1}^n (E \cdot Q_i) [h(1 - C_A)]^{-1} \cdot f(T_i) \cdot f(W_i) \quad (\text{式 } 1.1)$$

式中,  $Y_c$  为气候潜力指数,  $i=1, 2, \dots, n$  为农作物生长季内各月;  $Q_i$  为生长季内各月总辐射 ( $\text{kJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{月}$ );  $E$  为理论光能利用率;  $h$  为干物质燃烧热;  $C_A$  为作物灰分含量;  $C_H$  为收获指数,是作物收获物占生物产量的比重;  $K$  为单位换算系数;  $f(T_i)$ 、 $f(W_i)$  分别为各月温度、水分影响函数。当  $f(W_i) = 1$ , 即水分充分满足时,气候潜力指数  $Y_c$  转化为光温潜力指数  $Y_{PT}$ ;  $f(T_i)$  与作物特性和生长季月平均温度相关;  $f(W_i)$  与作物生长季月平均实际水气压、降水量、灌溉量等因素相关。

(2) 自然质量等指数计算模型:

$$R_i = \sum \alpha_{ij} \cdot \beta_j \cdot C_{lij} \quad (\text{式 } 1.2)$$

式中,  $R_i$  为第  $i$  评价单元农用地自然质量等指数;  $\sum \alpha_{ij} \cdot \beta_j$  为气候因子模块,即光温/气候生产潜力指数加和,根据标准耕作制度(实际耕作制度的概括和简化)的不同,由 1~3 种指定作物(标准耕作制度中涉及的作物)的光温/气候潜力指数加和获取,  $\alpha_{ij}$  为第  $j$  种作物的光温/气候生产潜力指数;  $\beta_j$  为第  $j$  种作物的产量比系数;  $C_{lij}$  为第  $i$  评价单元第  $j$  种作物的自然质量分。

自然质量分  $C_{lij}$  即土地因子模块,反映地貌、土壤因子的综合限制性。其计算式为:

$$C_{lij} = \left[ \sum_{k=1}^m w_k \cdot f_{ijk} \right] / 100 \quad (\text{式 } 1.3)$$

式中,  $w_k$  为第  $k$  个评价因素的权重;  $f_{ijk}$  为第  $i$  评价单元第  $j$  种指定作物第  $k$  个评价因素的标准值。

《农用地分等规程》规定由各省负责分区制定产量比系数  $\beta_j$ , 并提供了计算方法:

$$\beta_j = \text{基准作物单产} / \text{指定作物单产} \quad (\text{式 } 1.4)$$

式中,基准作物和指定作物的单产是指各省 2 级指标区内最大单产,基准作物是指小麦、玉米、水稻等 3 种主要粮食作物中的一种,是《农用地分等规程》中所称理论标准粮的折算基准,指定作物是指标准耕作制度中所涉及的作物。

(3) 利用等指数计算模型:

$$Y_i = \sum Y_{ij} = \sum R_{ij} \cdot K_{lj} \quad (\text{式 } 1.5)$$

<sup>①</sup> “邱维理、安萍莉, 2005 年度全国农用地分等定级估价技术研修班”讲义之三——全国农用地分等标准耕作制度与作物生产潜力测算, 2005, 11。