



中国教师发展基金会教师出版专项基金资助

黄河三角洲 土壤质量时空演变规律

李新举 方玉东 刘 宁 编著

学苑出版社

中国教师发展基金会教师出版专项基金资助

黄河三角洲土壤质量 时空演变规律

李新举 方玉东 刘 宁 编著



学苑出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄河三角洲土壤质量时空演变规律 / 李新举, 方玉东, 刘宁编著.
—北京: 学苑出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-5077-4493-4

I. ①黄… II. ①李… ②方… ③刘… III. ①黄河—
三角洲—土壤—质量—研究 IV. ①S159.252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 065366 号

责任编辑: 郑泽英

封面设计: 陈四雄

出版发行: 学苑出版社

社 址: 北京市丰台区南方庄 2 号院 1 号楼

邮政编码: 100079

网 址: www.book001.com

电子邮箱: xueyuan@public.bta.net.cn

销售电话: 010-67675512、67678944、67601101 (邮购)

经 销: 全国新华书店

印 刷 厂: 北京长阳汇文印刷厂

开本尺寸: 880mm×1230mm 1/32

印 张: 6.5

字 数: 170 千字

版 次: 2014 年 4 月北京第 1 版

印 次: 2014 年 4 月北京第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

前 言

Forward

土壤质量是关系到粮食安全、食物安全、人类健康及生态环境可持续的重要环节,已逐渐成为国际研究热点。黄河三角洲是我们国家最年轻的土地,也是我国最重要的后备土地资源,其土壤质量是影响黄河三角洲开发利用的关键因素。但由于受到黄河和渤海的双重影响,其土壤质量差且变化快,因此如何快速获取土壤质量要素,准确把握土壤质量的现状和变化规律,对于黄河三角洲的利用至关重要。本研究本着实用性的原则筛选了简单的指标体系,并且基于 3S 技术使土壤质量评价实现了自动化,为利用遥感数据快速、准确评价土壤质量提供了技术支持,同时为黄河三角洲土壤质量评价和监测提供了理论依据。

本专著选取土壤有机质、全量养分和速效养分、土壤含盐量、土体构型等 10 个指标,以相关系数确定其权重,采用不同的隶属度函数计算指标隶属度,以指数和法对垦利县土壤质量本底值进行评价。构建了基于 3S 的土壤质量自动化评价的方法流程,筛选出两种适合黄河三角洲的土壤质量指标;建立了基于土地利用/覆被变化的土壤质量变化预警系统;探明了基于地块尺度的土壤质量演变规律。

作者

2014 年 2 月

目 录

Contents

第一章 引 言	1
第一节 研究目的意义	1
第二节 研究内容	7
第三节 研究的技术路线	9
第二章 土壤质量研究综述	10
第一节 土壤质量的概念界定	11
第二节 土壤质量影响因素	12
第三节 土壤质量变化的原因	14
第四节 土壤质量评价指标体系	16
第五节 土壤质量评价方法	18
第六节 土壤质量的动态监测	21
第七节 中国土壤肥力状况与变化	22
第八节 土壤质量研究的研究方向	24
第三章 垦利县概况	25
第一节 地理区位	25
第二节 自然地理条件	25

第三节	水文地质条件	29
第四节	农业生产的障碍因素	30
第四章	垦利县土壤质量特征分析	32
第一节	土壤类型特征分析	32
第二节	表层质地及土体构型特征分析	33
第三节	土壤养分状况特征分析	34
第四节	土壤盐分状况特征分析	38
第五章	土壤质量评价	40
第一节	评价基础资料来源	40
第二节	土壤质量评价的原则	40
第三节	评价的程序和方法	41
第四节	结果分析	47
第六章	基于 3S 的土壤质量自动化评价方法流程	50
第一节	目的和意义	50
第二节	基于 3S 技术的土壤质量自动化评价流程	51
第七章	土壤质量指标筛选	58
第一节	土壤质量指标组合的设计	58
第二节	基于土壤全量养分的评价	59
第三节	基于土壤速效养分的评价	61

第四节	基于土壤有机质和含盐量的评价	62
第五节	土壤质量指标筛选	63
第六节	小结	66
第八章	土壤质量时空变化	67
第一节	研究数据来源及处理	67
第二节	土壤养分的时空变化	69
第三节	土壤盐分的时空变化	79
第四节	土壤质量时空变化	82
第五节	小结	84
第九章	土地利用/覆被变化对土壤质量的影响	86
第一节	土地利用/覆被变化信息的提取	86
第二节	土地利用/覆被类型对土壤质量的影响	92
第三节	垦利县土地利用/覆被变化	97
第四节	土地利用/覆被变化对土壤质量的影响	101
第五节	小结	110
第十章	土壤质量预警	112
第一节	土壤质量模型的建立	112
第二节	土壤质量预警	116
第十一章	不同利用方式下的土地特性空间变异研究	119
第一节	土壤样品的采集	119

第二节	不同土地利用方式下土壤特性统计分析·····	123
第三节	不同土地利用方式下土壤特性空间变异分析·····	132
第十二章	主要成果和创新·····	160
第一节	主要研究成果·····	160
第二节	主要创新之处·····	164
参考文献	·····	165

图版

引言

第一节 研究目的意义

一、土壤质量是影响生态系统以及资源和环境可持续性的重要因素

人类农业文明经历了从原始的采集渔猎和刀耕火种、传统的畜力耕作，到近代的“绿色革命”和“白色革命”，直至现代的农业生物技术和信息技术。在这个过程中，农业日益成为地球生物圈和复杂生态系统的重要组成部分。随着科技进步和对自然界的深入探索，人们已经开始认识到农业的基础——土壤的功能不仅仅是生产食物和纤维，它还能对大气和水环境产生强烈的作用和影响。因为土壤的物理、化学和生物学特性使得土壤不仅为动植物生长提供养分和物理支持，而且也是大气、地下水和地表水的过滤器，同时可以通过微生物的作用进行废物分解，是有机和无机废物循环再利用的场所。

环境学家和土壤学家研究表明，全球变暖过程中， CO_2 贡献率为 50%—60%。土壤作为陆地生态系统中最大的有机碳库，是大气 CO_2 的源和汇。土壤碳库大约是大气 2 倍，大气 CO_2 的浓度对土壤碳库的微小变化非常敏感，因此土壤是控制大气 CO_2 浓度增加的重要因素。在过去的 150 年间，土地利用活动向大气释放的 CO_2 和矿物燃烧的排放量相当。 N_2O 是一种温室效应气体，且破坏臭氧层，对全球温室效应的贡献率为 5%—10%。大气层中 N_2O 每增加 1 倍，

臭氧层的臭氧将减少 10%，而到达地面的紫外线辐射强度增加 20%。研究表明，土壤特别是农田土壤和热带地区的土壤是全球最主要的 N_2O 释放源，其中土壤中的硝化和反硝化作用是其产生的主要过程。据估计，目前全球 N_2O 年均排放量约为 $16.3 \times 10^6 \text{ t N}$ ($6.4 \times 10^6 \text{ t N}$ — $34.4 \times 10^6 \text{ t N}$)，其中农业生态系统的排放量为 $3.3 \times 10^6 \text{ t N}$ ，占总排放量的 20%。另外，农业土壤中 N、P 的流失、渗漏是造成地下水和地表水以及流域非点源污染的主要原因。

正因如此，土壤质量对生态环境的影响已经引起世界各国学者、政策制定者的注意。美国在 1991 年和 1992 年连续召开了两届关于土壤质量问题的学术研讨会，并于 1994 年发表了《土壤质量与持续环境》一书，引起了世人关注。鉴于土壤与大气、水等其他生态系统组成部分的相互作用和密切关系，土壤质量对生态系统和环境的可持续性至关重要，土壤质量及其变化的方向可以作为评价可持续性的基础指标，研究土壤质量演变能够更深入地理解全球环境变化以及如何全面改善生态环境等人类面临的共同问题。

中国幅员辽阔，具有丰富的土壤多样性，而且土壤分布状况非常复杂。根据 1978 年全国土壤分类会议制定的《中国土壤分类暂行草案》，全国土壤类型划分为 46 类，163 个亚类，近年增加了火山灰土、石质土等新类。几千年来，中国就是依靠对这些土地的精耕细作创造了辉煌的农业文明和民族历史。中国具有如此丰富而且分布复杂的土壤类型，以土壤为基础的农业文明高度发达，按照一般的逻辑推理判断，土壤变化对生态环境的变迁存在巨大影响，但是中国对土壤和环境的研究特别是关于土壤与大气以及水的研究在近十几年才逐渐受到重视，并且大部分是局部和个案研究。由于缺乏长期一致的宏观时间序列数据，因此无法在总体上准确把握和判断中国土壤与大气、水等自然资源之间的互动关系和影响程度。但从已有的个案研究中可以判断，中国土壤对环境的负影响无论从广度还是强度上都存在扩张的趋势。据估计，1991 年我国农田 N_2O —N 排放量为 $9.1 \times 10^4 \text{ t}$ ，占世界总量的 1%—1.5%。研究者运用基于 N_2O 产生、传输和消耗机理的反硝化分解模型 (Denitrification and Decomposition—DNDC Model) 估计，我国农业土壤 N_2O

每年排放量为 0.31 (0.18—0.44) t N, 平均每公顷每年排放 3.58kg N。研究表明, 由于土壤中元素的排放和渗漏造成的非点源污染已经超过点源污染。

二、土壤质量直接影响国家粮食安全

人们普遍关心的另一个问题是粮食安全, 它与土壤的持续生产能力密切相关。在许多发展中国家, 土壤退化已经形成了对粮食安全的潜在威胁。中国是世界上最大的发展中国家之一。在 20 世纪 80 年代, 中国用占世界近 10% 的土地养活了占世界 20% 的人口, 基本实现了粮食自给, 满足了人们对粮食和纤维的需要, 创造了世界奇迹。但是我们应该清醒地认识到, 有许多限制因素制约着中国未来的粮食生产和供给。

首先, 中国人口众多, 人均耕地资源非常稀缺。据预测, 到 2003 年, 中国人口将达到 16 亿, 对粮食的需求将达到 6.5 亿 t, 而耕地面积 (统计数据) 将下降到 0.9 亿 hm^2 , 人均耕地资源将下降到 0.05 hm^2 (按实际普查耕地面积预测, 人均耕地将下降到 0.07 hm^2 。耕地复种指数已从 1978 年的 151% 上升到 2000 年的 162% 左右。因此依靠提高复种指数和拓展耕地面积来增加农产品产量的潜力和空间几乎为零。

其次, 中国是一个水资源短缺国家。众所周知, 灌溉对农业生产有显著的促进作用, 大约有 65% 的粮食作物、75% 的经济作物和 90% 的蔬菜都生产在灌溉土地上。中国有效灌溉面积的比例从 1952 年的 8% 提高到 2000 年的约 14%, 灌溉对中国农业和粮食安全至关重要。但中国水资源极为短缺。目前全国水资源总量约为 28120 亿 m^3 , 但人均水资源占有量仅为世界平均水平的 14%, 华北仅为世界平均水平的 1.24%, 是世界上 13 个贫水国之一。到 2030 年, 随人口增加, 人均水资源大约减少 1/4, 约 1750 m^3 。同时中国水资源时空分布不均衡, 长江以北地区耕地占全国的 63.9%, 水资源仅占全国总量的 17.2%, 而长江以南地区耕地占全国的 36.1%, 水资源则占全国的 82.8%。而且水污染问题日益严峻, 目前有 20%—30% 的地表水不符合农田灌溉水质标准。因

此水资源及灌溉对未来中国食物生产的形势不容乐观。

另外,目前世界上农业生物技术的研究和应用方兴未艾,对于解决粮食增产、降低生产成本以及减少农业生态环境污染等具有光明的前景。但是由于转基因农产品可能潜在的食品和环境安全问题在世界范围内还有争论,消费者在心理上对转基因农产品特别是食物尚未完全接受,因此短期内依靠农业生物技术解决食物安全问题还存在一定的困难。

另一个不利的因素是农业资源环境退化。虽然中国在过去的 20 余年里取得了令世人瞩目的农业成就,但在农业增长和扩张的同时,由于农业的高度集约和不合理的利用如森林砍伐、过牧、不适当的耕作习惯等在不同地区带来土地和环境不同程度的退化。据统计,20 世纪 90 年代,中国水土流失面积达 367 万 km^2 , 占土地总面积的 38% (鲁胜力, 1999); 耕地水土流失面积达 4540 万 hm^2 , 占耕地面积的 34.3%; 土地盐渍化面积达 100 万 km^2 , 其中耕地盐渍化面积 7.72 万 km^2 ; 荒漠化面积 262.2 万 km^2 , 占土地面积 27.3%。资源与环境的退化造成土地生产下降,而且环境退化往往会加剧干旱、洪涝等自然灾害的发生。这些自然灾害无疑降低了土地生产率,造成巨大的农业损失。据统计,20 世纪 90 年代全国平均洪涝灾害受灾 1601.3 万 hm^2 , 成灾 912.8 万 hm^2 , 年减产粮食约 1857 万 t。据《国家水旱灾害报告》统计,1992—1998 年按全国累计洪涝受灾面积和累计减产粮食计算,平均减产 1000 kg/hm^2 ; 旱灾灾害面积 2431.2 万 hm^2 , 成灾 11424 万 hm^2 , 年均减收粮食 1957 万 t; 按 1991—1998 年粮食播种面积和旱灾粮食损失量计算,平均因旱粮食损失量 183.22 kg/hm^2 。以上的数据表明,资源与生态环境退化对中国农业造成巨大损失,也直接影响到中国未来的粮食安全。

尽管中国粮食总产量从 1978 年的 30477 万 t 上升到 1999 年的 50838.6 万 t, 粮食单产从 2.5 t/hm^2 增加到 4.5 t/hm^2 , 但是上述约束条件以及中国农业在 WTO 框架下可能接受到的冲击都对未来中国的粮食安全提出了巨大挑战。中国粮食短缺不仅影响到国内的社会稳定和经济发展,而且可能造成国际粮食市场的动荡,因此中国粮食安全一直是国际社会关注的焦点问题。1995 年美国世界观察研究

所所长 Brown 发表“谁来养活中国”的文章，引起了世界各国学者和政府的广泛关注。尽管许多学者从理论和事实两方面给予了有力驳斥，但是 Brown 的文章仍为中国的粮食安全敲响了警钟。

农业土壤是粮食生产的基础，土壤质量对土地生产率起决定性作用。在上述外部条件日益严峻的情况下，人们开始更为全面深入地研究土壤质量研究。国内乐观的估计认为，中国耕地最大承载力可以生产粮食约为 8.3 亿 t。但是人们更为关心中国土壤长期的持续生产潜力有多大？特别是在上述不利情况下，中国土壤质量变化趋势能否支持农产品需求量的快速增长？因此土壤质量特别是肥力质量的研究对于回答这些问题尤为重要。

三、动植物和人类健康至关重要

随着收入提高、农产品供给增加以及生活方式的改变，“粮食安全”概念正逐渐向“食物安全”概念转变，而且人们愈加重视食物品质安全对人类健康的影响。

尽管土壤具备降解有机和无机废物的功能，但是如果化肥、杀虫剂、重金属以及其他有毒物质等在土壤中的残留超过一定的临界值，就会形成土壤污染。土壤环境污染的直接后果就是通过生物链和食物链影响人体的健康。中国过去 20 年农业高速增长的另一个不容争议和忽视的事实是土壤环境不断退化，主要原因是化肥和农药的大量使用、酸雨、有机物污染以及重金属污染等。这些土壤污染已经影响到人体的健康。例如对北京 737 块菜地 1256 个样本的蔬菜硝酸盐含量测试表明，叶菜类和根菜类蔬菜硝酸盐污染非常严重。如果按生食计算，北京市人均每日从蔬菜中摄入的硝酸盐为 885mg，超出世界卫生组织规定的成人摄入量的 302%；以熟食减少 65% 计算，人均每日摄入量为 310mg，仍超标 41%。据统计，我国每年杀虫剂有效成分的使用量达 30 万 t，其中仅 1% 发挥作用，30% 残留在植物上，其他则进入土壤和包括地下水在内的各种水系。在新疆的一项调查中，新疆废旧地膜残留量平均为 37.8kg/hm²，而这些残留农膜 50 年内不会分解，将严重影响农产品的品质和产量。

土壤的清洁生产能力不仅影响本国生产者和消费者的健康，而

且对整个国家的农产品国际贸易产生深远影响。随着经济的全球化和世界市场的不断开放,国际间农产品贸易的关税将逐步降低,但出于本国生产者和消费者以及国际的政治经济利益,各国政府都制定了农产品中痕量毒物污染在食物中的最大允许限量。联合国粮农组织(FAO)也公布了多种化学污染物在食物中的最大限量控制标准,目的是协调国际间的农产品贸易。许多国家特别是发达国家经常运用此类技术控制农产品国际贸易从而实现其特定目的。中国已经正式加入WTO,开始面临国际和国内市场的双重压力。中国蔬菜、水果等园艺产品和畜禽产品生产具有较强的相对比较优势,在国际竞争中具有很强的价格优势,但是在检疫中往往受到进口国农产品品质安全标准的限制而被拒之门外,从而在国际竞争中处于劣势。因此研究土壤自身环境质量的变化,改善土壤质量,提倡清洁生产对人体健康和农产品国际贸易具有重要的现实意义和深远影响。

因此土壤质量是关系到粮食安全、食物安全、人类健康及生态环境可持续的重要环节,已逐渐成为国际研究热点。

本研究结合黄河三角洲实际就其土壤质量进行调查和研究,在现有数据和充分调查的基础上筛选黄河三角洲土壤质量指标,探讨土壤质量的评价方法,通过不同年份的土壤质量的变化对其演变规律进行深入研究,寻找土壤质量演变的影响因素,建立土壤质量演变的动态监测模型,对土壤质量进行预测预报,进而指导土地利用。

黄河三角洲是我国三大三角洲中开发程度最低的三角洲,是我国农业的最重要的后备资源。1988年以来,国家和山东省对黄河三角洲给予充分关注,黄河三角洲开发相继被单独立项,予以扶持。1992年,山东省又把黄河三角洲开发作为推动全省经济,实现由经济大省向经济强省转变的两大跨世纪工程之一。1993年国务院批准东营市列入沿海经济开放区。1994年,国务院把黄河三角洲的资源开发与环境保护列入《中国二十一世纪优先项目计划》,联合国开发计划署也把“支持黄河三角洲持续发展”作为支持中国21世纪议程的第一个优先项目。1995年,山东省再次确定,在该地区开发建设1000万亩商品粮、棉生产基地,实现将黄河三角洲建设成为中国新五大粮仓之一的目标。

黄河三角洲由于其特殊的成因,地貌类型较简单,虽然由于黄河多次改道形成了岗、坡、洼等微地貌类型,但总体以平原为主,在利用方面地形基本没有限制,因此黄河三角洲开发的主要限制因素是土壤质量问题。

黄河三角洲在长期的利用过程中,在人为作用和自然因素的影响下,土地利用/土地覆被发生了较大的变化,导致土壤质量乃至整个三角洲生态环境也在不断变化。土壤肥力下降、土壤次生盐渍化是黄河三角洲土壤质量变化的主导趋势。如何防治土壤质量下降是黄河三角洲利用的关键所在。在以往的研究中,大量的工作集中在对土地利用/覆被的研究,不同学者从不同角度采用不同的方法分析土地利用/覆被的变化,但对土壤质量的研究较少。目前黄河三角洲的土壤家底是数量清晰,质量不明,在土地利用结构布局和土地利用方式的选择中难免会出现许多不合理的问题。

垦利县地处黄河入海口,土地利用类型多而复杂,从入海口新形成的滩涂到西部质量较好的耕地,从光板地、盐荒地、芦苇地到粮田包括十几种类型,并且随着黄河的淤积,陆地不断向渤海延伸,土地利用类型和土壤质量也在不断地变化,其变化的频率和幅度是黄河三角洲最大的区域,也是黄河三角洲各种生态环境的典型代表,因此本研究选择垦利县作为研究的区域范围。

第二节 研究内容

一、土壤质量评价方法研究

采用传统方法和基于 3S 技术对土壤质量进行评价比较,构建基于 3S 的土壤质量自动化评价的方法流程。

二、筛选土壤质量指标

从众多指标中选择几组指标组合分别对黄河三角洲土壤质量进

行评价, 然后对评价结果进行对比分析, 筛选出适合黄河三角洲的土壤质量指标。

三、土壤质量时空变异规律研究

(一) 土壤养分时空变异

研究土壤养分在时间和空间上的变化, 探索其变化规律, 建立土壤养分的动态变化模型。

(二) 土壤盐分时空变异

研究土壤盐分在时间和空间上的变化, 探索其变化规律, 建立土壤养分的动态变化模型。

(三) 土壤质量的时空变异

根据评价结果, 分析土壤质量在时间和空间上的变异规律, 结合统计资料, 建立土壤质量变异模型。

四、土地利用/覆被变化对土壤质量的影响

(一) 土地利用/覆被遥感解译技术研究

重点针对黄河三角洲地区土地盐碱化严重、地物分布复杂的情况, 探讨适于该地区的土地利用/覆被变化遥感分类方法。

(二) 土地利用/覆被变化研究

应用基于专家知识的遥感信息提取方法对 1987 年和 2002 年的陆地卫星 TM 影像进行遥感解译, 得出两个年份的土地利用/覆被状况, 并在此基础上对其变化情况进行研究。

(三) 不同土地利用/覆被类型的土壤质量状况研究

对不同土地利用/覆被类型的土壤养分、盐分和综合质量进行分析, 探讨土地利用/覆被对土壤质量的影响。

(四) 土地利用/覆被变化对土壤质量的影响

根据土地利用/覆被变化和土壤质量变化的对比分析, 探讨土地利用/覆被变化对土壤质量的影响, 据此构建土壤质量预警系统。

第三节 研究的技术路线

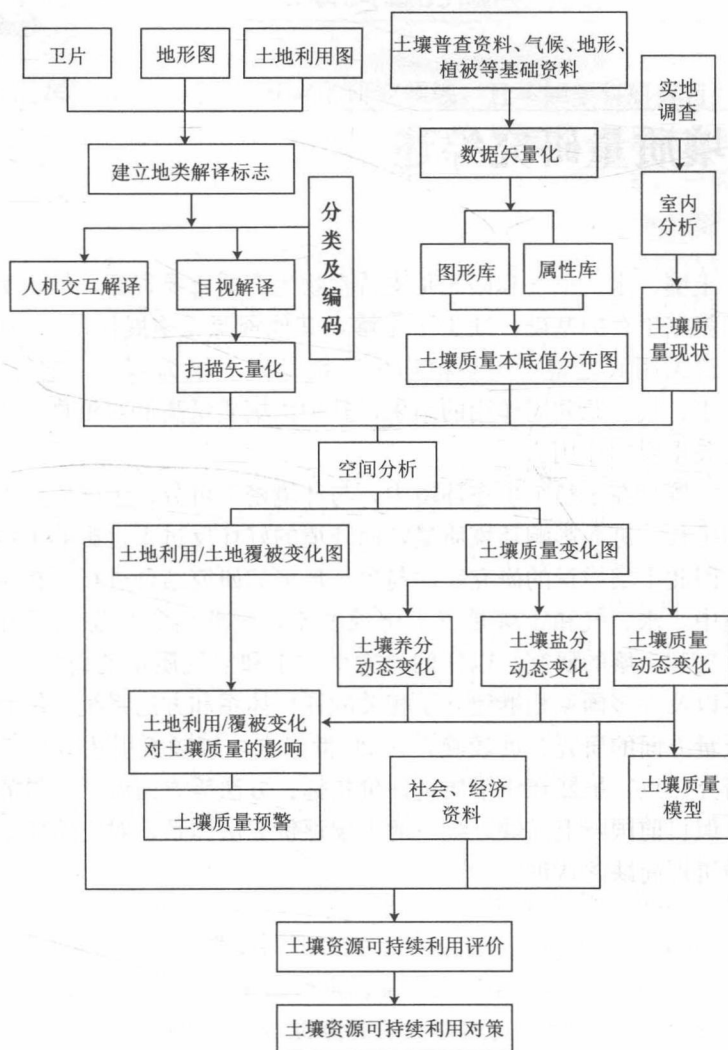


图 1.1 研究的技术路线