

中国土壤质量研究系列专著

中国灌溉稻田起源与演变及相关 古今水稻土的质量

Origin and Evolution of Irrigated Rice Fields and
Related Ancient and Present Paddy Soil's Quality in China

曹志洪 编著



科学出版社

中国土壤质量研究系列专著

中国灌溉稻田起源与演变及相关 古今水稻土的质量

**Origin and Evolution of Irrigated Rice Fields and
Related Ancient and Present Paddy Soil's Quality in China**

曹志洪 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书分五篇 20 章,包括:一、史前稻作的起源与发展(第 1~3 章):新石器时期中国南方生态条件、古人类文明、野生稻驯化和稻作文化;二、新石器时期我国南方的灌溉稻田(第 4~8 章):鉴别埋藏古水稻田的标准,史前不同时期的灌溉稻田和灌溉系统;三、史前埋藏水稻土的土壤质量(第 9~14 章):展示了埋藏水稻土的剖面,评估了古水稻土的质量;四、时间序列水稻土的生物地球化学特性(第 15~18 章):介绍了姚北平原的十条海塘,界定了国际上唯一由相同的母质、气候、地形、植被下形成的植稻 50~2000 年的序列水稻土和耕种 50~700 年的序列旱地土;揭示了水稻土与旱地土成土过程异同;五、中国稻作文化之传布(第 19~20 章):讨论了陆上和海上“稻米之路”。

本书可供从事土壤学、农学、生态学、环境学、农业考古学研究的专家学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国灌溉稻田起源与演变及相关古今水稻土的质量 / 曹志洪编著. — 北京:科学出版社, 2016.1

(中国土壤质量研究系列专著)

ISBN 978-7-03-046334-0

I. ①中… II. ①曹… III. ①稻田—灌溉—研究—中国 ②水稻土—土壤—质量—研究—中国 IV. ①S511.07 ②S155.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 270032 号

责任编辑:张会格 夏 梁 / 责任校对:张小霞

责任印制:张 伟 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 1 月第一次印刷 印张:21 3/8

字数:473 000

定价:158.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

谨 以 此 书

献给我的博士导师、我国现代土壤学和植物营养学奠基人之一，中国科学院首批学部委员、中国土壤学会前理事长、中国科学院土壤研究所名誉所长，专著《中国水稻土》（科学出版社，北京，1992）的主编李庆逵博士。

献给我的硕士导师、国际著名水稻栽培学家、国际水稻研究所农学系前主任、美国弗吉尼亚大学国际合作中心主任、专著《水稻生产的原理与实践》（*Principals and Practices of Rice Production*, A Wiley-Inter Science Publication, John Wiley & Sons, New York, 1981）的作者 SK. De Datta 博士。

献给我的母校、原浙江农业大学土壤化学系（现浙江大学资源环境学院）的各位师长。

献给我的故乡，迄今发现世界上最早、规模最大的灌溉水稻种植地的河姆渡（7000 年前）遗址所在地、“文献名邦”浙江省余姚市的父老乡亲。

曹志洪 敬上
2015 年 11 月于南京

前言

考古学家把从史前遗址中出土的碳化稻粒，在土壤或陶片中发现的稻谷、稻壳、稻秆、稻叶，或从土壤中鉴定的一定数量的稻植硅体等作为确定该遗址或该地层曾有野生稻或古栽培稻、栽培稻生长的依据，继而对所发现的稻粒（或稻壳）进行甄别以确认究竟是野生稻、驯化古稻、古栽培稻、栽培稻还是粳稻（*Japonica*）、籼稻（*Indic*）等；并通过出土的与稻作相关的用具、工具、食具等来探讨当时稻作的发展阶段。作为农业考古来说，这样考察的内容和方法等无疑是正确和合理的。社会科学家是通过与稻作文化相关的传说、民间故事和语言的沿革及民俗习惯等来考证稻作文化的起源与传布的，当然也是符合学科特点和特色的工作。经过考古部门近 60 年的发掘、研究、论证，其认为最早把野生稻驯化为古栽培稻的是长江中游的江西万年县仙人洞与吊桶环遗址和湖南道县玉蟾岩遗址等地的先民，是在距今 1 万年前后完成的；对江西万年县吊桶环遗址土壤中发现的野生稻和古栽培稻植硅体比例演变的研究，证明从野生稻驯化为古栽培稻曾经历了数千年的时间。对长江下游杭州湾两岸河姆渡、跨湖桥、田螺山、罗家角等距今 7000 年遗址中出土的稻谷、小穗轴等特征的研究，揭示出小穗轴仅可分为粳稻型和野生稻型这两类稻谷，没有发现籼稻型小穗轴特征的稻谷，表明粳稻是栽培稻最初的演化方向，而籼稻则是后来粳稻与野生稻杂交后演化出来的；浙江浦江县上山遗址发现的 1 万年左右的古栽培稻粒证明了上山也是原始稻的驯化地之一。1976 年余姚河姆渡遗址出土的约 120t 稻谷、稻秆、稻叶的堆积，以及其他众多与稻作有关的骨制和石制农具、炊饮和日常的陶器制品、榫卯结构的干栏式建筑、木桨等水上交通工具、纺织、畜禽养殖、原始的宗教与娱乐文化等证明这里是潮汐灌溉水稻的发祥地。稻作的规模比较大、并有充足的余粮，是造就当时最发达的手工业、最繁荣的经济和最先进的文化艺术的河姆渡母系社会的物质基础。

1992~1995 年南京博物院、苏州博物院的考古人员与日本考古学家合作在苏州的草鞋山遗址发现了 44 块马家浜文化时期的人为灌溉系统和灌溉稻田，2003~2004 年苏州博物院、南京博物院合作在距草鞋山遗址 6~7km 的昆山绰墩遗址的 5 次发掘和由中国科学院南京土壤研究所、苏州博物院、昆山文物保护所等合作进行的第 6 次发掘，绰墩遗址共出土了 46 块也属于马家浜时期的具有人为灌溉系统、灌溉工具的水稻田，草鞋山、绰墩地区是迄今国内外发现的时间最早、数量最多（共 100 块）的史前灌溉稻田群。

2012 年中国科学院上海生命科学分院、植物生理生态研究所、国家基因研究中心等多部门与美国、日本等国的科学家联合攻关，利用全世界的水稻 DNA 巨型数据库、基因地图进行了深入细致的比较研究，确认全世界最早的亚洲栽培稻是在中国南部长江-珠江流域（湖南醴阳平原-江西万年仙人洞）一带驯化完成的，而且只是粳稻（*Japonica*）这单一起源，籼稻（*Indic*）是中国长江-珠江中下游发源的粳稻传布至南方各地并与当地的野生稻杂交后才逐渐形成出现的。

土壤学家认为水稻土是在灌溉稻田出现后,在较长时期的人为水耕条件下,起始土壤逐渐改造、演变而成的一类独特的人为土壤,即人为水耕土。

发现和界定史前灌溉稻田、论证其出现的时间和当时的条件;测量其面积与形状、探讨其代表的文化特征和当地水稻耕作延续的年限、研究是否有“史前水稻土”形成;进而研究其物理、化学与生物学特征,阐明史前水稻土的肥力质量、健康质量和环境质量等是国内外土壤学界感兴趣的研究内容之一,其结果将对阐明灌溉稻田和水稻土的起源、沿革、传布等有重要的学术价值。

在国家重点基金项目(NSFC, DO115-40335047)和中德科学中心资助项目(GZ-518)的支持下,作者的研究团队对江苏昆山墩墩遗址发掘出土的马家浜文化时期的46块灌溉稻田、苏州澄湖遗址出土的20余块崧泽时期的灌溉稻田、浙江临平茅山遗址出土的5块超大面积良渚时期灌溉稻田及相应的史前水稻土进行了一系列的深入研究。同时也实地考察和比较了浙江、江苏、湖南、江西、四川、广西、贵州、云南等地发现的驯化野生稻、灌溉水稻的许多遗址,阅读了有关的发掘报告和文献,获得了我国长江下游、杭州湾两岸是灌溉稻田和水稻土的起源地的结论,对灌溉稻田和水稻土的演化及土壤质量的变化有初步的认识。2008~2013年,在德中合作项目(DFG: No.995)的支持下,还对杭州湾南岸具有相同母质、气候、植被、水旱耕作生态条件下的浅海滩涂母质上发育形成的50~2000年的现代水稻土和50~700年的现代旱地土这两个时间序列土壤的肥力、环境、健康质量和生物地球化学特征等进行了深入研究,探讨了从母质(浅海沉积物)到成熟水稻土的发生、演化全过程的化学、生物、物理和地球化学过程及其对水稻土可持续利用特性的贡献,从而阐明了灌溉稻田生态系统可持续利用的机制,揭示了灌溉稻田生态系统在全球和区域的环境保护、生态安全与人类可持续发展大局中的重要作用。

本书奉献给读者的是中国灌溉稻田的起源与发展、有关古水稻土和旱地土土壤质量的比较、稻作文化在我国及世界上的传布等,既有鲜活详实的考察、考证记录,又有应用最新技术手段分析测定和试验研究的具体结果,还有科学的发现与求证、谨慎的思考和讨论。绝大部分都是国内外水稻土研究中最近10年内的原创性成果,不少材料是本书首次发表的。

如上所述,本书的内容主要取材于作者主持的国家自然科学基金委(NSFC)资助的重点基金项目“水稻土可持续利用机理研究——五千年来古水稻土与现代水稻土质量比较研究”,编号为DO115-40335047(2005.12~2008.12);德国慕尼黑技术大学土壤与生态中心主任Ingrid Kögel-Knabner教授(Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, 85350 Freising-Weihenstephan, Germany)为德方协调人、作者为中方协调人的德国科学基金会(DFG)资助的德中合作项目“水稻土演变的地球化学研究”,编号为DFG: 995(2008.01~2013.12);以及作者和Ingrid Kögel-Knabner教授共同主持的中德科学中心(北京)资助的中德合作科学项目“埋藏古水稻土生物地球化学特征研究”,编号GZ-518(2010.06~2013.06)。据不完全统计,上述项目已经在国内外科学杂志和国际会议上发表的论文达80余篇;在项目执行过程中分别在中国和德国各召开2次中德(德中)学术研讨会。德国同行多次来中国采样、田间测定,并驻点进行3年的田间试验等。我方也派出了5位博士后(和博士生)分别在德国同行的5个实验室工作、学习了半年。

参与本项目研究和提供技术支持与帮助的人员有土壤学、农学、考古学、植物学、

地球化学、生态学、环境科学等多学科国内和国外的专家、教授、项目管理人员及博士后和当时在读的博士生、硕士生等共 90 多人。

国内有中国科学院南京土壤研究所（不再注明）及其他单位（注明其单位）的人员（按姓氏拼音排序）：栳海燕、代静玉（南京农业大学）、丁金龙（江苏省苏州市考古研究所）、丁品（浙江省文物管理和考古研究所）、董元华、符建荣（浙江省农业科学院）、符长荣（浙江省余姚农业局农科所）、胡正义（中国科学院大学）、黄昌勇（浙江大学）、黄锦法（浙江省嘉兴市土肥站）、黄铭洪（香港浸会大学）、黄谓金（浙江省余姚河姆渡博物馆）、蒋乐平（浙江省文物管理和考古研究所）、金善杨（上虞县水利局）、金章东（中国科学院南京地理湖泊研究所）、李福春（南京农业大学）、厉仁安（浙江大学）、林先贵、刘勤、陆宏（女，浙江省慈溪市农业经济局农业服务中心）、陆彦椿、马一兵（浙江省农业科学院）、孟赐福（浙江省农业科学院）、冉炜（南京农业大学）、沈其荣（南京农业大学）、苏彦华、王梅农（江苏省苏州市农业局土肥站）、王俊华（女）、王强（浙江省农业科学院）、王校常（浙江大学）、翁解萍（女）、吴胜春（香港浸会大学）、吴艳宏（中国科学院成都山地灾害与环境研究所）、奚彩萍（女，江苏省昆山市文物管理和保护研究所）、严卫东、杨林章（江苏省农业科学院）、叶静（女，浙江省农业科学院）、殷士学（扬州大学）、尹睿、俞元春（南京林业大学）、张进（浙江农林大学）、章钢娅（女）、张华勇、张治中（江苏省物探大队）、赵坤元（江苏省昆山市文物管理和保护研究所）、赵言文（南京农业大学）、郑云飞（浙江省文物管理和考古研究所）、朱永官（中国科学院城市环境研究所）和庄舜尧等。

国内参与项目的有中国科学院南京土壤研究所（名后不再注明）和外单位（名后注明其单位）的博士后、博士生和硕士生（按姓氏拼音排序）：陈武荣、程月琴（女）、慈恩、古小治（南京林业大学）、胡君利、李春海（中国科学院南京地理湖泊研究所）、李久海、刘辉（南京农业大学）、卢佳（女）、申卫收、王辉、杨用钊（南京农业大学）、禹洪双、钟敏（女）和邹平（浙江省农业科学院）等。

参与项目的国外专家有澳大利亚 Griffith University（昆士兰州，布里斯班）的徐志红教授，德方教授有（按姓氏字母排序，名后是单位）：**Wulf Amelung**（Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz, Bereich Bodenwissenschaften, Nußallee 13, 53115 Bonn, Germany），**Kölbl Angelika**（Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, 85350 Freising-Weihenstephan, Germany），**Sabine Fiedler**（Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, 70593 Stuttgart, Germany），**Peter Frenzel**（MPI für terrestrische Mikrobiologie, Karl-von-Frisch-Str. 1, D-35043 Marburg, Germany）；**Piet Grootes**（Leibniz-Laboratory for Radiometric Dating and Isotope Research, Christian Albrechts University Kiel, Kiel, 24118, Germany），**Reinhold Jahn**（Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Weidenplan 14, 06108 Halle, Germany），**Karsten Kalbitz**（Universiteit van Amsterdam, Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Earth Surface Science, Nieuwe Achtergracht 166, NL-1018 WV Amsterdam, The Netherlands），**Kluas Kaiser** [Soil Sciences, Martin Luther University Halle-Wittenberg, Halle (Saale) 06120, Germany]，**Hiker Knicker**（original in Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, 85350 Freising-

Weihenstephan, Germany, now at the IRNAS-CSIC, Avda Reina Mercedes, 10, 41080 Sevilla, Spain), **Peter Schad** (Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, 85350 Freising-Weihenstephan, Germany), **Michael Schlöter** (Helmholtz Zentrum München, Institut für Bodenökologie, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 Neuherberg, Germany), **Lorenz Schwark** (Institute für Geosciences, Christian-Albrechts-University of Kiel, Kiel, Germany).

参与田间试验和室内研究的德国各大学和研究所的博士生(按姓氏字母排序)有: Dr. Andrea Bannert、Dr. Tino Brauer、Dr. Mueller Cornelia、Dr. Axel Don、Dr. Adrian Ho、Dr. Kristina Kleineidam、Dr. Eva Lehdorff、Dr. Philip J. Roth、Dr. Vanessa Vogelsang 和 Dr. Livia Wissing 等。

本人对上述国内外同事(希望一个也没遗漏)在项目中所付出的辛勤劳动和重要贡献表示衷心 and 诚挚的谢意。

此外,在项目执行期间,每阶段都得到过国内外学者的鼓励与支持,这些无疑为本研究得以坚持和本书的写作得以完成增添了强大动力。他们是:中国科学院院士路甬祥研究员、中国科学院院士孙鸿烈研究员;国家自然科学基金委宋长青研究员、冷疏影研究员和王春霞研究员,中德科学中心(北京)陈乐生研究员;中国科学院地质与地球物理研究所韩家懋研究员,中国科学院应用生态研究所肖笃宁研究员;中国科学院新疆生态地理研究所、新疆土壤肥料学会宋郁东研究员和田长彦研究员;中国科学院烟台海岸带研究所骆永明研究员,中国科学院亚热带农业生态研究所吴金水研究员;中国科学院南京土壤研究所龚子同研究员、徐琪研究员、李振高研究员、史学正研究员、施卫民研究员;中国农业大学张福锁教授,沈阳农业大学张玉龙教授,华南农业大学沈宏教授,浙江农林大学周国模教授,江西农业科学院罗奇祥研究员;广西壮族自治区农业科学院谭宏伟研究员等;以及澳大利亚技术和工程科学院院士 J. Frenny 教授,波兰科学院院士、波兰科学院农业物理研究所 J. Glinski 研究员,波兰科学院院士、卢布林理工大学环境学院 L. Pawlowski 教授,波兰卢布林理工大学 W. Stepniewski 教授、M. R. Dudzinska 教授,德国基尔大学 Burkhard Sattelmacher 教授,韩国土壤和肥料学会原理事长 Jae ung Shin 教授,日本土壤肥料学会原理事长东京大学茅野冲男教授,美国弗吉尼亚大学 SK. De Datta 教授,美国北卡罗莱纳州立大学 GL. Jones 教授和 MG. Cook 教授,中华人民共和国香港特别行政区香港浸会大学原校长谢志伟教授等。中外土壤学家关于建设绰墩遗址“史前水稻田和稻田土博物馆”的建议获得了江苏国际文化交流中心的长期支持,得到了苏州市、昆山市领导的重视和响应,遗址博物馆正在原址规划建设中。

中国科学院南京土壤研究所的有关部门对本研究所需的人力、资金、物质和设备给予了积极的配合和支持,并协助在该所的土壤博物馆中建设了“中国灌溉稻田和稻田土起源”陈列室。

本人对上述国内外各位学者和部门的鼓励、支持表示深深的敬意。

我国幅员广博,水稻种植历史悠久;各地考古发掘的新成果将会不断涌现,为我国灌溉稻田起源、演进、稻作文化的传布及古今水稻土质量的研究提供了新的机遇和材料。期待着有更多的青年土壤学家和考古学家参与这项研究,以不断刷新本书的观点和结论。

本书完稿后,由孟赐福先生对全书做了统稿,提出了很好的修改意见,为本书增色不少,作者向他表示真诚的感谢。

同时，作者也要感谢科学出版社的支持，特别是张会格编辑和她的同事们，是他们专业的编辑、辛勤的劳动才使得 973 项目（G19990118）计划出版“中国土壤质量研究系列专著”这一目标基本实现了。该系列专著由曹志洪、林先贵等编著的《太湖流域土水界面物质交换与平衡》；何园球、孙波等编著的《红壤生态系统》；曹志洪、周健民等编著的《中国土壤质量》；徐建明、张甘霖、谢正苗等编著的《土壤质量指标与评价》；曹志洪、孟赐福、胡正义等编著的《中国农业和环境中的硫》；曹志洪编著的《中国灌溉稻田起源与演变及相关古今水稻土的质量》；周启星、王校常等编著的《健康土壤学——土壤健康质量与农产品安全》共 7 部组成。希望这套系列专著能对我国土壤学、植物营养学、农学、环境学、生态学、农业考古学、地理学等相关学科或分支学科的学者、学生和有兴趣的其他读者有所裨益。

曹志洪

2015 年春节写于南京

全书摘要

《中国灌溉稻田起源与演变及相关古今水稻土的质量》一书是通过 90 余位中外学者参与的国家自然科学基金委地学部资助的重点项目、德中合作的德国 DFG 资助的项目、中德合作的中德科学中心（北京）资助的项目等连续 12 年的努力完成的。获得的主要成果和结论摘要如下：

1. 灌溉稻田是距今 7000~6000 年的几次海侵事件前后，一部分河姆渡人跨越杭州湾到达太湖平原，在现今的浙北、苏南一带水网密布的杭嘉湖和苏南平原定居，不断地创造出以人工灌溉稻田为依托的马家浜文化、崧泽文化、良渚文化等璀璨的稻作文明。在综合考古学家和土壤学家意见的基础上提出了诊断埋藏古水稻田的标准；与考古学家合作研究了苏州绰墩遗址距今 6000 年马家浜时期面积较小、形状不定的 44 块灌溉稻田（平均面积为 5.5m^2 /块）；澄湖遗址距今 5000 年崧泽时期面积较大、形状渐趋规整的 20 多块灌溉稻田（平均面积为 12m^2 /块）；杭州临平茅山遗址距今 4000 年良渚时期面积很大、形状规范的长方形的 5 块灌溉稻田（平均面积为 10 亩/块）。灌溉稻田的面积由小到大、形状由不规整到规范的长方形的演变历程长达 2000 余年。

2. 水稻土是在长期淹水耕作下形成的“人为土壤”，不论其原始土壤是什么，只要处于长期种植灌溉水稻的生态环境和人为的水（土）浆管理下，就能形成具有特殊地球化学性质和发生层剖面特征而与其起始土壤不同的水稻土。

根据对杭州湾南岸浅海沉积物上发育的 50~2000 年时间序列水稻土的研究结果，在平原东半部（庵东、坎墩、浒山、横河一线以东）质地逐渐偏黏的母质上连续种植灌溉水稻或灌溉水稻/小麦（油菜）轮作的，经 300 年左右即可发育为成熟水稻土，而质地偏沙的西半部如周巷、廊厦、上虞等地，在同样是稻作条件下，需 700 年左右发育为成熟水稻土。但与相邻的同龄旱地比较，无论是东部还是西部水稻耕作都明显地促进了土壤的发育。

3. 对绰墩遗址史前埋藏灌溉稻田中筛选出来的碳化稻谷的 ^{14}C 测年证明，先人在这里植稻的时间约 900 年，茅山遗址的良渚时期的水稻耕作也在 600~700 年甚至以上，但澄湖遗址崧泽时期的水稻田则稍短，约 300 年。因此基本都发育为成熟的水稻土。对史前埋藏水稻土的质量研究表明，除马家浜时期水稻土的磷素肥力（全磷与有效磷）比现代水稻土高，良渚时期水稻土的磷素肥力水平与现代水稻土持平外，所有史前水稻土的氮素硝化、生产力水平总体上都比现代水稻土的低。史前古水稻土的健康质量总体上比现代水稻土的好，因为其重金属和无机污染物含量很低，主要的有机污染物只是因长期焚烧秸秆所遗留的多烷芳烃（PAH），也不对健康构成威胁。史前古水稻土环境质量的研究表明，甲烷排放潜势都很弱；但马家浜时期古水稻土层的甲烷排放潜势显著高于同时期同深度的非水稻土的；应用产甲烷古菌 16S rDNA PCR 扩增及其嵌套式 PCR 扩增测定，证明了古水稻土层比非水稻土层有更强大的产甲烷古菌群落，说明史前水稻种植也

比旱地有较多的甲烷排放。但当时稻田面积微不足道，不至于会对全球的气候产生严重影响。马家浜时期水稻土中具有很高的有效磷，如果产生的径流排放到周边水体也应是面源污染之源，但史前稻田的数量和总面积都很有限，其对周边水体富营养化的影响应是不大的。史前水稻土有机质储量很高，还含有大量的水稻植硅体和黑炭，与旱地土壤相比显然是更大的碳汇，对当时和现代二氧化碳的储存是有一定贡献的。

4. 通过对杭州湾南岸自 1047 年以来的 11 条海塘的考察、对老农的调查访问，根据余姚、慈溪两市古版地方志资料，构建了迄今世界上唯一的在相同母质、地形、气候、植被条件下发育形成的 50 年、100 年、300 年、500 年、700 年、1000 年、2000 年的时间序列水稻土和相邻的 50 年、100 年、300 年、500 年、700 年的时间序列旱地土。野外描述、记载了序列土壤的剖面形态，采集了整段标本和供室内研究的大量土样。结果表明，时间序列水稻土的肥力质量是随着种植年限的延长而提高的，表现为土壤有机质、全氮和有效氮、速效磷、速效钾含量是逐渐提升的，生产力也是渐次提高且可持续的。这是长期使用有机肥和无机肥，以及水旱轮作下氧化/还原动态平衡和水耕条件下的生物地球化学环境形成的更强生物固氮能力和养分平衡状态所致。时间序列水稻土的环境质量，随着水稻种植时间的延长，水稻土积累的有机碳不断增加，碳汇的功能愈加突出；甲烷排放潜势则是随着植稻年限的延长而逐步减少，因为甲烷氧化菌活力潜势是随着水稻土植稻年限的延长而大大提高的，最大甲烷吸收速率则是随着水稻土植稻年限的延长而急剧增加的；水稻土排放的氮氧化物只有旱地土壤的 1/3；稻田向水体排放的径流量很少，土壤氮和磷的溢出是非常有限的，所以灌溉稻田不是导致周边水体富营养化和排放甲烷污染大气的主因。取样地区水稻土（和旱地土）表层无论是重金属含量还是有机氯残留量都在作物安全生产的范围内。水稻土表层的有机污染物——多烷芳烃（PAH）以 4 环以上的化合物为主，占到 PAH 总含量的 50% 以上。而萘、蒽、二苯并[a, b]蒽等 4 环以下的多烷芳烃化合物较少，总体上不构成对生物生产的威胁。所以时间序列水稻土的健康质量是好的和比较好的。

5. 灌溉稻田是人工湿地生态系统，具有自然湿地的基本生态功能，因而是环境友好和可持续利用的土地利用方式。其主要的生态功能是：具有调节土壤蓄水、保水、抗旱、防涝的能力；在淹水嫌氧条件下能更多地积累土壤有机质、产生更多的黑炭（生物碳），水稻植株吸收大量水溶性硅形成的植硅体，其包裹的有机炭（phytoc）残留在水稻土中具有长期（以千年尺度计）储存的功能；在水旱轮作条件下有利于生物多样性的保持、增强有益微生物的活动且具有更大的生物固氮效率；在水旱轮作和氧化还原条件的循环下，有利于土壤中潜在矿物养分的释放和有毒有机物质的分解；大面积表面有淹水层的稻田有利于调节城市热岛效应，有利于城市气温的平衡，并能减少 PM2.5 等扬尘和雾霾等灾害天气；稻田淹水保护了表层土壤不流失，不仅土壤肥力得以保持，也减少了氮、磷及 BOD 向水体的排放，从而降低了对水体面源污染的威胁；随着水稻种植年限的延长，产甲烷优势种群的数量减少而甲烷氧化菌优势种群增加，产甲烷势逐渐下降。因此，在水资源充分、降雨量足够的地方应尽量地保持有足够多的灌溉稻田面积，既有利于粮食安全，也有利于生态和环境的保护。

6. 通过时间序列水稻土和对应旱地土的比较，获得了下列 4 方面的新理论。

(1) 水耕种稻加速了水稻土的形成，总结出从浅海沉积物发育为水稻土的三阶段模式。

第一阶段：在几十年的时间内完成（0~50年），特点是快速脱盐，初步形成犁底层，引导由冲积土（Fluvisol）向人为水耕维形土（Anthraquic Cambisol）的发展。

第二阶段：东部的在300年内，西部的在700年内（取决于母质质地）完成。表现为水耕措施与早耕活动两者对成土的影响之差异渐趋明显；水稻土的加速脱钙、表层有机碳储量持续增加，东部大致在300年，而西部的则在700年左右，表土有机质含量趋于稳定。是耕维人为水形土向成熟人为水耕土过渡的阶段。

第三阶段：东部在300年以上，西部在700年以上，水稻土的心土层，有铁锰氧化物的形成和转化，伴随着明显可见的水耕土形态特征（hydromorphic pattern）的铁锰沉积和移动的锈斑与锈纹，成熟人为水耕土向老年人为水耕土发展过渡。

（2）水稻土中非晶质铁氧化物（用草酸铵缓冲液BCD提取）对有机碳有特别的亲和力，是水稻土的黏土矿物表面积聚和覆盖有机碳的特殊位点之一，有机炭和铁氧化物起着互相保护的作用。从浅海滩涂湿地发育为水稻土的初期成土过程中就有大量新鲜有机质的积累，可能与伴随着或促进了有机质-铁氧化物这种有机无机复合物的形成有关，在旱地土的发育过程中则没有观测到这种机制。

（3）用苯、多甲酸比值作为土壤地球化学的生物标记来评价土壤中黑炭的累积程度，表明黑炭积累会随着耕作年限的延长而增加。当海涂围垦后种稻300年左右时土壤的总有机炭达到平衡，黑炭占耕作表层总有机炭的7%~11%，即每公顷可达13t黑炭，其速率是相邻旱地土的1.8倍。水稻土中残留有大量的稻植硅体，植硅体炭（Phyt-C）是水稻土有机炭的组分之一。这是水耕人为土累积有机质的两个新机理。

（4）时间序列水稻土的微生物学特性研究表明，微生物生物量碳和土壤DNA含量是随水耕年限的延长而逐渐提高的；随水耕年限的延长，微生物多样性模式的变化比那些功能基因丰度的变化更明显，水稻土中氨氧化古菌基因拷贝的绝对数量（以 g^{-1}dw 计算）是高于旱地土的，而滩涂湿地则是最低的。不同耕作年限水稻土氨氧化古菌基因拷贝的相对丰度（归化为提取的DNA总量）没有显著差异，为 $1.7 \times 10^3 \sim 5.5 \times 10^3$ 拷贝/ng DNA。支持了氨氧化古菌在水稻土中能很好地适应变化着的环境条件这个科学假设。

7. 稻作文化在华夏大地、周边国家及世界各地的传布路线是分别经由3条陆上稻米之路和3条海上稻米之路实现的。3条陆上稻米之路是：①百越人南迁创“神州”入缅甸泰印；②越人经太湖流域越江北上与黄淮下游的龙山文化汇合、出关向东北亚传布；③沿陆上丝路由长江中下游传向西域和中亚。3条海上稻米之路是：①以“徐福东渡”为代表的携带稻米向东传至琉球、日本和朝鲜；②自汉朝开始的海上丝绸之路向南经我国台湾传到东南亚、大洋洲、南亚和南欧；南京制定、刘家港出发的明朝郑和舰队下西洋：沿西太平洋的东南亚各国，经马六甲海峡到印度、斯里兰卡、中东及东非；③郑和舰队在企图绕过好望角继续北上西非和欧洲时，因海难事件而中断折返，有些“失联”的郑和麾下可能随海流漂送到美洲，在现属于美国南卡罗莱纳州沿岸的一个半岛上修筑了灌溉稻田，开始了美洲最早的稻作农业。

Content

Preface

Introduction

Part One Origin and Evolution of Prehistoric Rice Culture

Chapter I: Ecological Condition during Neolithic Age of Southern China

1. Climate
 2. Topography and Water system
 3. Plants
 4. Wild Rice
 5. Animals
- Reference

Chapter II: Pale human-civilization and Domestication of Wild Rice in Southern China

1. Foot Print of the Ape Man Towards Late Homo sapiens
 2. Cave Inhabited, Domestication of Wild Rice, Ancient Cultivated Rice Remains
- Reference

Chapter III: Rice Culture during Late Neolithic Age in Southern China

1. Kuahuqiao Culture
 2. Hemudu Culture
 3. Majiabang Culture
 4. Brief Introduction of Songze Culture
 5. Brief Introduction of Liangzhu Culture
 6. Brief Introduction of Maqiao Culture
- Reference

Part Two Irrigated Rice Fields in Neolithic Age of Southern China

Chapter IV: Buried Rice Fields at Chengtoushan Relic site in Middle Reach of Yangtze River

1. Discovery of “Looks Like” Rice Fields at Chengtoushan Relic
 2. “Looks Like” Rice Fields Might be as Rain fed Rice field
- Reference

Chapter V: Buried Irrigated Rice fields of Majiabang Culture Period at Tai hu Valley

1. Discovery of Buried Irrigated Rice Fields
 2. Shape and Size of Buried Irrigated Rice Fields
 3. Irrigation System and Irrigation Methods for Wetland Rice Fields
 4. Management Model, Cultivation Intention, Years of Rice Cultivation
 5. Outside Shape, Size, Structure Characters of Carbonized Rice Grain
- References

Chapter VI: Buried Irrigated Rice fields of Songze Culture Period at Lower Reaches of Yangtze River

1. Discovery of Buried Irrigated Rice Fields of Songze Culture Period
 2. Age, Size and Shape of Buried Irrigated Rice fields of Songze Culture Period
 3. Irrigation System and Methods of Irrigated Rice fields at Chenghu Relic Site
- Reference

Chapter VII: Buried Irrigated Rice fields of Liangzhu Culture Period at Lower Reaches of Yangtze River

1. Discovery of Buried Irrigated Rice Fields of Liangzhu Culture Period
 2. Size and Shape of Buried Irrigated Rice fields of Liangzhu Culture Period
 3. Cultivation and Irrigation Model for Irrigated Rice Plantation of Liangzhu Culture Period
- References

Chapter VIII: Other Relic Sites Where Might Have Buried Rice Fields

1. Other Relic Sites of Yangtze River Delta Area
 2. Upper Reaches of Qiantang River, Fujian, and Taiwan
 3. Plain between Yangtze River and Huaihe River
 4. Pearl River Valley and Yunnan, Guizhou and Sichuan Area
 5. Possible Area of Middle and Upper Reaches of Yellow River
- References

Part Three Soil Quality of Prehistoric Buried Paddy Soils

References

Chapter IX: Description of Prehistoric Buried Paddy Soil Profiles

1. 6300a BP Paddy Soils of Majiabang Culture at Chuodun Relic Site
 2. 4500a BP Paddy Soils of Liangzhu Culture at Linping Relic Site
- References

Chapter X: Physical Properties of Prehistoric Buried Paddy Soils

1. Particle Contents and Identification of Parent Materials
 2. Mineral Composition
 3. Changes of Magnetic Ratio on the Buried Paddy Soil Profile with Soil Formation Process
- References

Chapter XI: Soil Fertility Quality of Buried Prehistoric Paddy Soils

1. Total Nutrients Content of Buried Prehistoric Paddy Soils
 2. Available Nutrients Content of Buried Prehistoric Paddy Soils
 3. Planting Intention of Buried Rice Fields and Mineralization of Soil N
 4. Comparison of N Supply and Effect of N Fertilization between Prehistoric and Modern Paddy Soils
 5. Fertility Comparison Among Prehistoric Paddy Soils and Wetlands as well as Upland Soils with Same Age
- References

Chapter VII Soil Health Quality of Buried Prehistoric Paddy Soils

1. Distribution of Total PAH in Soil Profiles of Chuodun Relic Site
2. Possible Sources of PAH in Buried Prehistoric Paddy Soils at Chuodun Relics

3. Distribution Characteristic of PAH in Other Prehistoric Paddy Soil Profiles

References

Chapter XIII: Soil Environment Quality of Buried Prehistoric Paddy Soils

1. Methane Production Potential and Diversity of Archaeal Methanol-bacterial communities
2. Composition and Stabilization of Organic Matter in Buried Historic Paddy Soils
3. Rice Phytolith Content and Carbon Sequestration by Buried Historic Paddy Soils
4. Black Carbon Content and Carbon Sequestration by Buried Historic Paddy Soils

References

Chapter XIV: Microbiology Properties of Buried Prehistoric Paddy Soils

1. Number of Anaerobic Oligotrophic Bacteria and Community Diversity of Microbes in Buried Prehistoric Paddy Soils bacteria
2. Number of Ammonia Oxidization Bacteria in Buried Prehistoric Paddy Soils
3. Effects of Rice Plantation on Diversity of Microbe Function in Prehistoric and Modern Paddy Soils
4. PCR-DGGE Analysis for Bacteria and Archaeal Community in Buried Prehistoric Paddy Soils

References

Part Four Biogeochemistry of 50-2000a Chronosequence Paddy Soils

References

Chapter XV: Sea Dykes at South Bank Plain of Hangzhou Bay and Chronosequence Soils

1. Sea Dykes at South Bank Plain of Hangzhou Bay
2. Estimated Age of Soil and Profile Sampling
3. Observation and Description of Chronosequence Soil Profiles

Reference

Chapter XVI: Comparison of Soil Formation Process between Paddy Soil and Non Paddy Soil

1. Physical Properties of Paddy and Non Paddy Soils
2. Geochemical Properties of Paddy and Non Paddy Soils
3. Biochemical Properties of Paddy and Non Paddy Soils
4. Process of Paddy Soil Formation Promoted by Irrigated Rice Culture and “Three Stages Model” of Paddy Soil Evolution

Reference

Chapter XVII: Soil Quality of Chronosequence Paddy Soils

1. Soil Fertility Quality of Chronosequence Paddy Soils
2. Soil Environmental Quality of Chronosequence Paddy Soils
3. Soil Health Quality of Chronosequence Paddy Soils

References

Chapter XVIII: Microbiology Properties of Chronosequence Paddy Soils

1. Microbiology Properties, Micro Biomass and Enzyme Activities
2. Intention of Main Microbial Process of Chronosequence Paddy soils
3. Evolution of Microbial Communities for N Fixation, Nitrification and Denitrification as well as Diversity of Functional Genes
4. Ammonia Oxidize Archaeal Community and Abundance of Lipid Biomarker

References

Part Five Distribution Roads of Irrigated Rice Culture to Other Area

Chapter XIX: Terrestrial Rice Roads

1. Yue Man Move to South and Created “Shenzhou” in Yunnan and Further Move to Southeast Asia and Indian
 2. Yue Man Move to North and Mixed with Jiahu Man in Lower reaches of Yellow River and Forward to Northeast Asia
 3. From Central China towards West Asia and Middle East as Company with Ancient Silk Road
- References

Chapter XX: Marian Rice Roads

1. Marian Rice Roads I – Brining Rice Culture by F. Xu Sailing to Japan
 2. Marian Rice Roads II – Brining Rice Culture to Southeast Asia, India and East Africa by Ancient Marian Silk Road and H. Zheng’s Naval ship Team
 3. Marian Rice Roads III – Is Those Seaman Who “Out of Contact” with Journal H. Zheng and Drifting to America, and Grow Rice there?
- References

目 录

前言

全书摘要

第一篇 史前稻作的起源与发展	1
参考文献	3
第一章 新石器时期中国南方的生态条件	4
第一节 气候	4
第二节 地貌和水系	5
第三节 植被	6
第四节 野生稻	8
第五节 动物	10
参考文献	12
第二章 新石器时期中国南方古人类文明与野生稻驯化	14
第一节 猿人向晚期智人进化的足迹	14
第二节 洞穴聚居、野生稻驯化、古栽培稻遗存	16
参考文献	21
第三章 新石器晚期中国南方的稻作文化	22
第一节 跨湖桥文化	22
第二节 河姆渡文化	27
第三节 马家浜文化	35
第四节 崧泽文化	42
第五节 良渚文化	43
第六节 马桥文化简介	45
参考文献	46
第二篇 新石器时期我国南方的灌溉稻田	49
参考文献	51
第四章 长江中游澧县城头山遗址埋藏的稻田	52
第一节 城头山遗址发现的“模样疑似稻田”	52
第二节 城头山遗址的“模样疑似稻田”可能是旱稻田	52
参考文献	55
第五章 太湖流域马家浜文化时期埋藏的灌溉稻田	56