

21世纪战略新兴产业 ——沙产业

史振业 冯 起 主编



科学出版社

21 世纪战略新兴产业 ——沙 产 业

史振业 冯 起 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

《21 世纪战略新兴产业——沙产业》是为纪念人民科学家钱学森诞辰一百周年编撰的专著。本书以中国科学技术协会《中国西部沙产业发展模式与对策研究》课题为基础,对沙产业的概念、研究方法、发展趋势等进行了深入思考,提出了西部沙产业的发展模式、保障措施与政策建议,阐述了沙产业在未来开发利用的广阔空间和巨大潜力。

全书共 13 章,内容涵盖了我国西部沙区沙漠资源开发利用的诸多方面和不同区域沙产业发展的思路与模式,既是沙产业理论研究的重要专著,也是指导沙漠和沙漠化地区生态环境建设和沙产业开发的必备典籍。

本书适合从事沙漠研究、沙漠化环境治理和沙产业开发的科研工作者、环境保护者、政策制定者、企业管理者以及对沙产业感兴趣的广大读者参考和阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

21 世纪战略新兴产业——沙产业/史振业,冯起主
编.—北京:科学出版社,2012.3
ISBN 978-7-03-033618-7

I. ①2… II. ①史… ②冯… III. ①沙漠-
产业-研究-中国 IV. ①F323.211

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 036124 号

责任编辑:韩卫军 唐静仪 封面设计:陈思思

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>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 3 月第一次印刷 印张:19.75

字数:460 000

定价:86.00 元

序

甘肃是我国西北地区重要的生态屏障和战略通道，在全国发展大局中起到重要的稳定作用。同时，甘肃也是中国沙漠分布面积大、沙漠化危害严重的省份之一，境内由西向东分布库姆塔格、巴丹吉林、腾格里三大沙漠和毛乌素沙地。全省沙区总面积为 $24.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占到全省土地总面积的 55.3%，涉及酒泉、嘉峪关、张掖、金昌、武威、白银、庆阳和甘南 8 地区的 25 个县（市）；全省荒漠化土地面积为 $17.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占全省土地总面积的 43.73%，其中沙漠、戈壁和沙漠化土地面积约为 $14.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占全省土地总面积的 31.8%，有 99.4% 分布在河西走廊地区，且仍以每年 0.38% 的速度扩张。

《21 世纪战略新兴产业——沙产业》一书的出版有助于我们从“产业革命”的视角思考沙漠地区发展的思路与举措，寻求新的沙区发展模式，推动沙区的经济发展、社会稳定和生态环境建设。

甘肃作为中华文明的发祥地之一，其生态环境变化有着深远的历史根源。历史上，甘肃地区开发的主要形式是屯田戍边，这是耕战结合的典型形态，对西北生态环境变迁产生了深远影响。纵观中国北方，民族之间、政权之间的矛盾，如秦汉与匈奴，明清与蒙古，等等，反映的都是农耕文化与草原文化的冲突。汉武帝曾在敦煌建郡，先后六次大规模迁徙居民充实边防，最盛时一次竟达“七十余万口”。由于武器装备和粮草供应后备基地的建立，大量的林木遭到砍伐，植被受到严重破坏，整个生态环境趋向恶化，自然灾害不断加剧。从“天下称富庶者无如陇右”到“陇中苦瘠甲于天下”，甘肃所经历的环境变化可见一斑。

甘肃的生态环境与传统农业开发在客观上存在着矛盾冲突，这是我们无法回避的现实，而今天，这种矛盾在一定程度上仍然延续着。如何使沙区农业发展既满足人民群众的物质需求又不损害生态环境的利益，是甘肃经济和社会可持续发展必须解决的重大历史和现实问题。

1984 年，钱学森立足于人类产业发展的整个历史进程，从战略高度提出了沙产业理论，并指出沙产业是“第六次产业革命”的重要内容，“沙漠地区可以创造上千亿元的产值”。这一理论的提出，推动了人们以辩证的思维重新认识沙漠地区的独特的自然条件和资源，开启了运用现代科学技术治理、开发和利用沙漠资源的新篇章。

多年来，甘肃省委省政府高度重视沙区人民的生产、生活，全省广大干部群众积极开拓创新、勇于实践、大胆探索，使干旱、半干旱地区和沙区面貌发生了巨大变化。在河西走廊，长达 1200 多公里的防风固沙林带编制着“林网锁方田，村镇绿阴中”的美好图景；在祁连山下，以水定产业、以水调结构、以水促发展的经济体系，促使节水型

社会建设深入开展，生态文明理念深入人心；在民勤、疏勒河流域和黑河流域，一大批水利工程相继建成，有力地保障了沙区经济社会的发展。同时，我们按照“多采光、少用水、新技术、高效益”的思路，运用科技手段调整产业结构，培育支柱产业，发展特色经济，在干旱、半干旱地区和沙区建成了具有一定规模的对葡萄、啤酒原料、瓜果蔬菜等优质农产品进行生产和加工的基地。应当说，对沙产业的开发，我们在理论和实践上都有一些有益的探索，也取得了一定的成效，但是我们所做的工作仅仅是初步的，还需要不断地深化认识，进一步探索和实践。

第一，要以新的视角审视沙漠资源，寓生态环境保护于经济发展之中。要以全新的视角重新审视过去建立在单一减风灾、防沙害基础上的治理方法和措施，用全新的观念、全新的思维方式去综合分析和研究沙区资源的优劣势，用全新的治理措施去经营和管理沙区生态经济系统。由过去单纯的防沙治沙向综合开发利用沙漠资源转变，做到趋利避害，既控制沙漠化的蔓延，又为实现人与自然的和谐发展探索一条新路子，使沙漠资源造福人类。

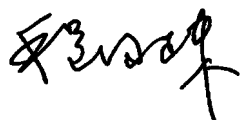
第二，要以新的思路谋划沙区发展，大力发展高科技农业。甘肃的土地资源大体是三分山、三分草、两分沙、一分林、一分田。全省有7个市的21个县区处在风沙沿线，特别是河西走廊被三大沙漠包围，已有的绿洲也受到风沙的严重威胁。但同时，我们也可以看到沙区光热资源丰富，发展沙产业具有独特的优越条件。我们不仅可以充分运用阳光这一取之不尽、用之不竭的“清洁”能源，发展高科技农业，提高农业效益，又可以对沙漠戈壁上天然植物中的乔木、灌木及藻菌类进行开发加工和利用，开辟出农业发展的新领域。近些年来，甘肃省大力推广以日光温室为主的农业新技术，积极发展暖棚蔬菜瓜果和暖棚养殖，取得了较好的经济效益。因此，结合农业新品种、新技术的推广应用，我们在发展高效农业和沙产业方面还大有潜力可挖。

第三，要以新的举措开发沙区特色产业，置产业开发于生态、经济和社会效益的有机统一之中。发展沙产业，不再是到沙漠边缘开垦荒地、打井取水、破坏植被，而是采用高新技术使生态良性循环不断发展和资源再生，通过资源合理利用，形成具有一定规模效益和可持续发展的产业体系，建设具有沙区特色的优势产业。因此，对于干旱、半干旱地区和沙区来说，发展农业生产，实行农业开发，必须摒弃不计资源成本、以牺牲生态环境为代价的经济增长模式，将经济可持续发展上升到战略高度，实现经济效益、生态效益和社会效益的统一。从目前来看，发展沙产业，关键是要在“水”上做文章。要使全社会增强节水意识，积极推进用水制度改革，杜绝水资源浪费。要对现有水资源进行优化调度、合理配置和高效利用，有效缓解水资源的供需矛盾。要坚持禁开荒、慎用地、少用水，调整优化农作物结构，采取退耕、节水和关井等措施，彻底改变广种薄收、不顾后果的落后生产方式。同时，要合理调整农业内部结构和种植比例，大力推广节水作物，改革耕作制度，加快发展草产业和草食畜牧业，积极按照“多采光、少用水、新技术、高效益”的沙产业模式，发展沙区特色产业。

第四，要以新的模式推动沙区可持续发展，使沙产业在甘肃开花结果。实践证明，经济社会发展与生态环境保护并不是一对不可协调的矛盾，关键是要力戒急功近利，将可持续发展的三个要素——经济发展、社会进步和环境保护有机结合起来，改变“先发

展后治理”、“先破坏后恢复”的传统发展模式。以新的模式推动沙区可持续发展，其核心目的就是要努力探索一条既不为发展牺牲环境也不单纯为保护环境放弃发展的道路。作为一个欠发达的省份，尤其是作为干旱、半干旱地区和沙区来说，首先面临的是加快发展的问題，因此，必须建立起经济增长与生态环境保护协调统一的发展模式，逐步建立以资源高效利用和生态环境保护为核心的生态型农业发展体系。我们要在钱学森沙产业理论的指导下，不断加强沙产业的科研体系和科技服务体系建设，开发研究对沙产业和生态环境建设有重大影响的关键性技术，促进产、学、研有机结合，加快科技成果转化。同时，要通过政策、经济和技术等手段的调控和引导，不断完善沙产业开发和生态建设的各项管理制度，使可持续发展的观念深入人心，使沙产业开发和生态建设变为广大人民群众的自觉行动，使沙产业造福广大沙区人民。

我们相信，在沙产业理论的指导下，沙区人民的生活一定会更加美好！
是为序。



前 言

1984年,钱学森立足于人类产业发展的整个历史进程,从战略高度提出了沙产业理论,并大胆预言:“沙产业属于第六次产业革命,是21世纪中叶才能开花结果的”,“用100年时间来完成这个革命,现在只是开始,沙漠地区可以创造上千亿的产值”。沙产业构想的提出推动了人们以辩证的思维重新认识沙漠地区的独特自然条件和资源,指明了我国沙漠和沙漠化地区的可持续发展思路,开启了运用现代科学技术治理、开发和利用沙漠的新篇章。

我国的干旱、半干旱地区约占国土面积的1/3,其中大部分为沙漠、戈壁和沙漠化土地。长期以来,由于对干旱地区光热资源、水土资源耦合关系认识肤浅,不合理的人类活动严重破坏了区域生态环境。尤其是近二十年来,我国每年有近2000 km²的土地沦为沙漠化土地。沙漠究竟是“地球的癌症”,还是可供人类开发利用的“希望之海”?沙产业理论为我们指明了开发利用沙漠的方向。

沙漠是地球上独特的地理单元,蕴藏着丰富的光热资源、广袤的土地资源、独特的环境资源、种类繁多的动植物资源和矿产资源。在全球人口急骤增长,粮食、能源、生态危机日益严重的大背景下,沙产业概念的提出将沙漠作为一种资源重新审视,可谓高瞻远瞩。科学地整合并集成现代科学技术,沙区将成为人类新的生存和发展空间,沙产业也将成为引领和支撑人类走向新发展的战略性新兴产业。

基于沙产业理论对我国西部沙区发展具有巨大战略意义,沙产业引起了多方面的关注,学术界就此开展了很多研讨。有关政府部门作出了相应的决策,沙区的人民群众也进行了积极的实践。经过二十多年的实践与探索,沙产业在甘肃、内蒙古、新疆、宁夏等地得到了快速发展,产生了良好的生态、经济效益。

我们受中国科协的委托,2008年10月~2009年6月,开展了《中国西部沙产业发展模式与对策》的课题研究。经对我国西部沙区进行实地调查,研读国内外有关沙产业的论述,撰写了《21世纪战略新兴产业——沙产业》,以期通过对沙产业发展中所面临的重大问题的研究,探求适合我国西部沙产业的发展模式,提出我国西部沙产业发展的对策建议,为我国西部社会经济发展提供科学依据。

全书由史振业、冯起、苗世新、喜文华、司建华、苗政、骆进、席海洋、常宗强、孙登军研定编写;高前兆、伍光和、邸醒民、曲耀光、陈广庭、董光荣等对全稿进行了全面的审阅,并提出了系统的修改意见;鱼腾飞、王昱、陈丽娟等人参与了本书初稿的撰写;司建华、苗政负责全书最后的统稿工作。在本书完成过程中,甘肃省科学技术协会、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、甘肃省自然能源研究所、兰州大学、甘肃农业大学、甘肃省治沙所、武威市科学技术协会的科研与工作人员做了大量的调查和分

析工作；中国科学技术协会、内蒙古自治区科学技术协会、内蒙古沙草产业协会、鄂尔多斯市科学技术协会、鄂尔多斯市沙产业协会等单位给予了大力支持和帮助。在本书编著出版过程中，得到了甘肃省科学技术协会、甘肃省科技重大专项“祁连山涵养水源生态系统恢复技术集成试验示范”的资助，尤其是程国栋院士亲自为本书作序，是对本书的极大肯定和鼓励，在此一并表示感谢！

本书的完成很大程度上得益于前人的工作，正是他们的工作基础和积累，才使本书得以顺利出版，在此，对文献中引用的作者和没有提到的贡献者表示感谢！

由于沙产业综合性强，涉及学科多，覆盖面广，加之我国沙产业还有很多理论和实践问题需要进一步研究和探索，编写组虽几易其稿、增删数次，但因水平所限，错误和疏漏之处在所难免，谨祈读者和专家不吝指正。

作 者

2011年8月5日

目 录

序

前言

第一章 沙产业的概念及其进展	1
第一节 沙产业的概念	1
第二节 沙产业的理论发展	3
第三节 沙产业的实践进展	5
第四节 发展沙产业的重要性和意义	9
第五节 发展沙产业的基本原则	11
参考文献	14
第二章 国外沙产业及高新技术农业的发展现状、特点与趋势	15
第一节 国外沙产业及高新技术农业的发展现状	15
第二节 国外沙产业及高新技术农业的发展特点	18
第三节 国外沙产业及高新技术农业的发展趋势	27
第四节 国外沙产业对中国沙产业发展的启示	27
参考文献	29
第三章 中国西部沙产业的发展现状及问题	31
第一节 我国沙漠和沙漠化地区环境特点	31
第二节 西部沙区环境特征	33
第三节 半干旱地区沙产业的发展现状及特点	40
第四节 干旱地区沙产业的发展现状及特点	43
第五节 内陆河流域沙产业发展的现状及特点	48
第六节 沙产业发展存在的问题	49
第七节 小结	53
参考文献	53
第四章 中国西部沙产业发展潜力及趋势分析	55
第一节 沙漠及沙漠化地区生态系统概述	55
第二节 沙漠及沙漠化地区生态系统的产出层	57
第三节 半干旱地区沙产业的发展潜力及趋势分析	58
第四节 干旱地区沙产业的发展潜力分析	70
第五节 内陆河石羊河流域沙产业的发展潜力分析	83
第六节 小结	84

参考文献	85
第五章 防沙治沙与沙产业	87
第一节 西部防沙治沙工程	87
第二节 西部生态治理工程与沙产业	103
第三节 西部防沙治沙工程与沙产业	115
参考文献	122
第六章 典型沙产业系统分析	125
第一节 沙区中药材产业	126
第二节 沙区生态经济林	136
第三节 沙区畜牧业	149
第四节 沙区瓜果产业	156
第五节 沙区设施农业	161
第六节 砂料建材业	165
第七节 沙漠旅游休闲业	167
第八节 沙区新能源与可再生能源	169
参考文献	176
第七章 我国西部沙区太阳能和风能利用模式与建议	179
第一节 世界太阳能和风能技术研究进展	179
第二节 世界太阳能、风能利用的启示	191
第三节 我国西部太阳能、风能利用现状与趋势	195
第四节 西部沙区太阳能、风能产业发展潜力	204
第五节 我国西部太阳能、风能利用发展模式	209
第六节 西部太阳能、风能产业发展的指导思想与原则	211
第七节 我国太阳能、风能利用存在的问题及对策	212
参考文献	221
第八章 典型沙产业能量投入产出分析	223
第一节 典型沙产业能量投入产出分析表	223
第二节 沙产业中的能量投入与产出	224
第三节 折能系数	224
第四节 能量型投入产出模型	226
第五节 模型分析	229
第六节 模型结论	231
第九章 西部沙产业发展体系建设现状	233
第一节 概述	233
第二节 半干旱区沙产业发展体系建设现状	234
第三节 干旱区沙产业发展体系建设现状	235
第十章 中国西部沙产业发展原则与模式	236
第一节 西部沙产业发展的原则	236

第二节	中国西部半干旱区沙产业发展模式	237
第三节	中国西部干旱区沙产业发展模式	241
第四节	西部沙产业发展总模式	242
第十一章	西部沙产业发展的保障措施与环境分析	245
第一节	西部沙产业发展的保障措施	245
第二节	法律环境分析	246
第三节	政策环境分析	247
第四节	科技环境分析	251
第十二章	西部地区沙产业发展政策	252
第一节	沙产业发展的指导思想	252
第二节	沙产业发展的目标	252
第三节	完善政策体系	253
第四节	建立国家级沙产业生态经济特区	254
第五节	构建西部沙产业建设体系	257
第六节	建立和完善沙产业发展生态补偿机制	258
第七节	建立沙产业科技与信息服务支撑体系	259
第十三章	西部地区沙产业发展的科技对策	261
第一节	编制西部沙产业发展区划	261
第二节	制定典型区域沙产业发展规划	262
第三节	创新沙产业理论与实践	265
	参考文献	266
附录一	人民网科技频道访谈：甘肃省科协谈沙产业	269
附录二	动植物名录	274
	植物部分	274
	动物部分	295

第一章 沙产业的概念及其进展

第一节 沙产业的概念

沙产业构想萌发于 20 世纪 60 年代的中国西北大地。

在这个注定不平凡的历史节点上，西北这片广袤而荒芜的土地，不仅正孕育着我国国防科研事业的崛起与辉煌，也在“中国航天奠基人”、“火箭之王”钱学森的脑海中勾勒着一个全新的概念——沙产业。

从甘肃酒泉到内蒙古额济纳旗，再到新疆库尔勒、马兰……戈壁荒漠的极端恶劣天气，边疆人民的艰辛生活给钱学森留下了深刻的印象。同时，他发现茫茫戈壁有耐干旱、抗风沙、耐盐碱的植物顽强地生长着，有些植物如沙棘、甘草还有很高的药用和经济价值。一个大胆的判断从那时开始不断在钱学森的脑海中闪现——沙漠并不是死亡之海！

在钱学森思考这道世界性难题的同时，发达国家的尝试正屡屡以失败告终。20 世纪 60 年代末，非洲苏丹萨赫勒地区发生旱灾和土地荒漠化，导致数十万人口死亡，600 多万难民流离失所。人们普遍认为，干旱荒漠地区阳光充沛，只要有充足的淡水供应，荒漠地区大规模农业开发是可能的。但出人意料的是，西方发达国家援助的技术却引发了周围大量牲畜集结践踏，加速了土壤沙化，甚至导致流动沙丘的出现。更为严重的是，以水井为中心的同心圈式带状土地退化为“脓肿圈”，其半径在 5~10 km，脓肿圈互相连接形成新的荒漠化土地。被公认的对抗荒漠化的良策却导致环境退化，这令西方决策者和科学家蒙羞，却使钱学森更加迫切地思考着答案。

1984 年 5 月，时任国防科工委科技委副主任的钱学森，在中国农业科学院作学术报告时预言，到 21 世纪，由于生物工程和生物技术的发展，将会引发人类历史上第六次产业革命——农业型知识密集型产业，沙产业作为农业型知识密集型产业类型之一赫然在列。他认为当“人认识客观事物进程有飞跃的时候，这个叫科学革命”，“人改造客观世界在技术上有大的进步、大的变革，叫技术革命”，“有了科学革命，有了技术革命，最后它直接作用到生产，就会引起生产关系、生产结构的变化。当这种变化从量变到质变，有了飞跃，这个时候就出现了产业革命”。据此，钱学森先生把人类历史进程中的产业革命梳理成为六次：第一次，农牧业的出现和兴起，大约发生在公元前七八千年；第二次，商品生产的出现和发展，大约公元前一千多年；第三次，大工业生产，发生在 18 世纪末~19 世纪初；第四次，国家以至跨国大生产体系，发生在 19 世纪末~20 世纪初；第五次，由电子计算机、信息技术等组织起来的生产体系，即将到来的产业革命；第六次，高度知识和技术密集的大农业，农、工、商综合生产体系，可能现于 21 世纪的中国。论述中钱学森指出，农业型的产业是指像传统农业那样，以太阳为直

接能源,靠地面上植物的光合作用来进行产品生产的体系。由于阳光是取之不尽用之不竭的能源,与其他类型产业相比,农业型产业具有得天独厚的优势,但受制于各方面条件,当前太阳能通过光合作用转化成产品的比率仅占 1% 左右,比例很小。所以说农业型知识密集产业,就是将科学技术成果(包括新技术革命的成果)应用到农业型产业体系中,把农业变成一个高度知识密集、技术密集的产业体系,提高光合作用效能和产业效率。由于农业型产业是以阳光为能源靠生物光合作用进行生产的体系,凡太阳资源丰富又具有可直接进行光合作用生物的区域,都可作为农业型产业的空间。因此,农业型知识密集产业体系按生产空间和生产活动的差异可区分为农业、林业、草业、海业和沙业 5 种类型。于是,沙产业这一具有明确内涵的名词便出现在人们眼前。

1991 年 3 月,钱老在北京香山召开的沙产业学术研讨会上,进一步明确了沙产业的概念:“沙产业就是在不毛之地上搞农业生产,而且是大农业生产,是一项尖端技术”,也就是“利用现代生物科学的成就再加上水利工程、材料技术、计算机自动控制等前沿高新技术,能够在沙漠、戈壁开发出新的、历史上从未有过的大农业,即农工贸一体化的产业生产基地,创造上千亿元的产值”。

1993 年 2 月 17 日,钱老在《我为什么要提出沙产业》一文中更加明确地指出,“沙产业就是在‘不毛之地’的戈壁沙漠上搞农业生产,充分利用戈壁上的日照和温差等有利条件,推广使用节水技术,搞知识密集型的现代化农业产业,这是完全可能的。国际上以色列比我国西北地区的自然条件更恶劣,但他们在沙漠上开发了现代化的农业,且经济效益十分可观”。他一反“沙漠是地球癌症”的悲观论断,提出“换一种思维看沙漠”的新观点,指出“人类将来与其搬到月球上,还不如把沙漠利用好,改造好”。

1994 年 9 月,在会见参加“纪念钱学森建立沙产业理论十周年学术研讨会”的部分代表时,钱学森进一步阐述,沙漠戈壁并不是什么都不能生长的不毛之地,沙漠戈壁上依然可以生长、生产其他地方没有的植物;沙漠戈壁上有特别充沛的阳光要充分利用,阳光充足就是沙漠地区的优点。现在生产中药材有很好的发展前途。将来就要开拓思路,找出新路子,提高生产效率,提高利用太阳光生产食品的效率。在不少于 100 年的过程中改造利用沙漠是沙产业的任务,要充分利用现代科学技术、生物技术来发展沙产业。我们要在 100 年内逐步地做,分阶段进行,中间不断使生产有所发展,不断积累资金。沙产业发展前途无量,但必须组织起来,要有有效的组织,否则就会破坏沙漠生态环境。

在 1983~1999 年的 16 年间,钱学森关于“第六次产业革命”的来往信件共计 186 封,其中涉及沙草产业内容的就有 47 封。在钱学森看来,沙产业是以太阳能为直接能源,靠植物的光合作用来进行产品生产的体系,“我国沙漠、戈壁的面积大约有 $1.07 \times 10^8 \text{ hm}^2$,和农业面积差不多。沙漠、戈壁并不是什么也不长,其潜力远远没有发挥出来。”他甚至大胆预言:“沙产业属于第六次产业革命,到 21 世纪中叶才能开花结果的,那时还要利用生物技术这一刚露头的技术革命”,“用 100 年时间来完成这个革命,现在只是开始,沙漠地区可以创造上千亿元的产值。”

为了切实推动我国沙产业的发展,1994 年,钱学森将获得的何梁何利奖金 100 万

港元悉数捐出，成立了中国科学技术发展基金会促进沙产业发展基金。2001年，钱学森又将“第二届霍英东杰出奖”奖金100万港元捐给了中国科协沙草产业协会，并说了一段诙谐而意味深长的话：“我姓钱，但我不爱钱。”钱学森身体力行，感召了一批官员、学者和企业家投身到沙产业事业中来。

经过二十多年的实践与探索，沙产业已经在甘肃、内蒙古等地结出累累硕果。2008年春节期间，胡锦涛总书记探望钱学森时高度肯定了沙产业理论创新：“前不久，我到内蒙古鄂尔多斯考察，看到那里沙产业发展很快，沙生植物加工搞起来了，生态正在得到恢复，人民生活水平也有了明显提高。您的沙产业理论设想正在变成现实。”

第二节 沙产业的理论发展

在钱老提出沙产业概念后的二十多年里，众多专家、学者对沙产业的概念和理论进行了探讨，从不同角度对沙产业的概念及其内涵进行了阐释。

中国科协原副主席、中国科技发展基金促进沙产业管委会主任、著名沙漠专家刘恕是钱学森沙产业理论的最早理论探索者和实践推动者。1989年10月12日，时任中国科协主席的钱学森写信给甘肃省后转到中国科协任书记处书记的沙漠治理专家刘恕，提出要她“写一篇建设社会主义中国沙产业的论文”，并送上他首次提出沙产业概念的论文。后来与刘恕的一次交谈中，钱学森再次提到农业、林业、草业、海业和沙业五种产业构想。“现代农业技术太落后，使得有些产业没有发展。只有科学技术发展了，综合利用的可能性才会大大提高，尤其是沙产业、海产业”，他分析道，“沙产业属于第六次产业革命，是21世纪中叶才能开花结果的，那时还要利用生物技术这一刚露头的技术革命”。钱学森语重心长的解释，使刘恕思想上产生很大震动，自那时起，刘恕开始不断探索思考沙产业的内涵。刘恕认为，沙产业是在荒漠戈壁的不毛之地上创造大产值的知识密集型产业，即沙产业有四条标准：一要看太阳能的转化效益；二要看知识密集程度；三要看是否与市场接轨；四要看是否保护环境、坚持可持续发展。一般而言，沙产业是指利用沙地、荒漠半荒漠地区的独特优势进行经济开发，由社会投资并实现自我循环的经济运行活动（刘恕，2003）。在《留下阳光是沙产业立意的根本——对沙产业理论的理解》一文中，刘恕进一步指出：“20世纪80年代初，钱学森提出农业型知识密集产业论述时，对沙产业解释用的笔墨不多，但论点明确。”“今天，当我们重读这些论述时，除了惊叹他超前的预见性外，更能体会到留下阳光，充分发挥沙区阳光优势，是他倡导的沙产业立意的根本和追求的目标。”“以干旱沙区为发展空间的农业型沙产业，不追求耕地面积的扩大和地理景观的改变，而是将目标锁定在充沛阳光独特的资源上，依靠人的智慧和技能，支配、驾驭固有光合作用要素的盈缺，集约经营占地球陆地表面35%的阳光充沛的干旱地区的不毛之地，将阳光固定保留下来，转换成人们所需求的食物和营养品。”在目前的技术条件下，发展沙产业的主要途径“一是改善光合作用的环境条件；二是优化或置换太阳能转化器的科学方案”。同时，刘恕也指出：“一个沙漠开发利用的科学构想和新的理论完善，需要长期的实践和不断充实，需要在形成和发展过程中，在多元和多角度扩展中优化。最好的办法是从当前实际水平和条件开始起步，用实践检验和筛选实用技术，在创建形成和壮大过程中，学会优选和完善。审慎、有序作

为沙产业发展的规则只是体现出沙产业理论内涵的科学性,丝毫不能减弱沙产业作为一种新的科学概念对事物超前预见和对实践指导价值形成的理论品格,以及在人类知识宝库之中熠熠生辉的地位。”

钱学森沙产业基金会副理事长、中科院自然资源考察委员会原副主任、荒漠化治理研究专家田裕钊是“高技术沙产业”的积极倡导者和领军人物。早在 1991 年 3 月,中国林学会在北京香山召开的第一次沙产业研讨会上,田裕钊就提出,提高太阳能转化率的关键技术包括了两个方面:一是改善光合作用条件的设施装置;另一个是能够提高光合作用效率的微藻生产。1995 年 8 月,在呼和浩特召开的“全国绿洲建设的理论与实践学术研讨会”上,他提出,在钱学森沙产业理论指导下建设新绿洲的目标,应确定为充分利用沙漠戈壁地区充沛的阳光。其实质是利用现代化的手段,对光合作用要素实行系统的、有效的调控。由于微藻类具有利用无机形式的碳和碳水化合物通过光合作用合成高品质蛋白的能力,是具有巨大潜力的太阳能转化器,沙产业未来的新绿洲将使用以提高光合作用效率为目的的大型人工装置。这些论述勾画出了沙产业发展的基本技术路线,对于沙产业理论的进一步发展作出了重要贡献。也正是在这一次会议上,原“三北”防护林建设局局长李建树概括出了便于一般干部和群众理解沙产业理论的通俗表达,即“多采光,少用水,新技术,高效益”。田裕钊认为,沙产业理论告诉人们的,不是一种实用技术,不是一些办法,沙产业理论指出的是一种思路,一个努力方向,一个奋斗目标,一个科学构想,一种战略。所谓战略,应当概况地规定奋斗的目标以及达到这种目标的手段,“留住阳光”就是这个战略思路的概括。在对沙产业理论进行探索的同时,田裕钊等在室内进行了微藻人工养殖的试验,并在甘肃建成了玻璃管道总长 390 m 的微藻生产车间。构建“叶绿体工厂”的设想与实践引起了钱学森的高度重视。1992 年 10 月,钱学森在给刘恕的信中写道:“裕钊同志提出的高技术沙产业是前途无量的。”1996 年,钱学森再次对微藻产业开发予以重视:“对微藻开发,我想其意义还不限于沙产业,要想到微藻产品的利用。例如,用微藻调剂人们爱吃的食品,开发微藻烹饪,形成微藻调制工业。”

中国治沙暨沙产业学会副理事长兼秘书长朱俊凤认为,沙产业是在沙区利用生物机能,采用高新技术,提高太阳能的转化率,经过人工培育和科学管理,使其资源不断发展和再生,通过资源合理利用,形成以产品生产、加工和经销为主要内容,具有一定规模效益和持续发展的产业体系,为人类提供生活产品(朱俊凤,2003)。

内蒙古自治区沙产业、草产业协会副会长兼秘书长郝诚之认为:“沙产业就是利用阳光,通过生物延伸链条、依靠科技对接市场、创造财富。”他将沙产业分为四个环节:第一阶段是通过阳光,把二氧化碳、水、叶绿素转化为植物蛋白的“过光转化”过程;第二阶段是家畜把草变为乳、肉、皮、毛、绒、内脏和骨杂的过程,就是通过消化器官把植物蛋白变为动物蛋白的“过腹转化”过程;第三阶段是把动物蛋白经过现代设备“流水线式的生产”和科学管理进行初加工、深加工、精加工的“过机(器)转化”过程;第四阶段是商品通过市场营销网络、全程服务、品牌打造,形成核心竞争力,变为“增了值的货币”,是“过市(场)转化”的过程。通过这些过程的循环,促进沙漠增绿、资源增值、农牧民增收、企业增效,实现恢复生态、发展生产的目标,提高农牧民

生活,保证可持续发展。同时,他也指出对钱学森的沙产业理论进行经济学思考,必须把握四个要点:一是要讲投入产出,追求物质回报;二是要讲规模经济,形成核心竞争力;三是变生物链为产业链,生产终极产品,通过龙头企业提高附加值含量,变粗加工为深加工、精加工,获取最大利润;四是寓生态环境的保护于科学开发之中,不以牺牲环境为代价,也不搞为生态而生态,坚持循环经济、节约经济和可持续发展。

甘肃省治沙研究所高级工程师常兆丰认为,沙产业是利用沙漠、戈壁土地资源和光热资源的产业,是知识密集型产业,是大农业产业组合,是节水型农业产业,即资源保护型产业。综上,沙产业就是在沙漠这个“不毛之地”上搞科学化大生产,而且是先进的产业化生产。利用沙漠面积大、阳光充足的有利条件,采取少用水的高新技术,在温室大棚内,生产出我国日常需要的蔬菜水果、花卉和中药材等。利用太阳能生物转化器微藻进行产业化生产,使不毛之地的沙漠也能创造出亿万产值(常兆丰,2007)。

甘肃省治沙研究所副研究员贺访印认为,沙产业是在干旱、半干旱地区,在基于生态系统承载力的条件下,以提高沙区水土资源合理利用率和光能利用率为目的,发展具有高效经济过程及和谐生态功能的荒漠生态产业,即发展以生态草业、生态药业,生态林果业、生态农业、生态畜牧业和生态旅游业为主体的生态产业(贺访印,2006)。

除以上学者外,还有众多专家学者对沙产业理论进行了多角度的论述,由于篇幅所限,在此不一一列举。梳理这些论述,从中可以看出,沙产业理论经过二十多年的实践与探索,取得了众多的理论研究成果,也有过一些争论与激辩,但按照钱老提出的“沙产业属于第六次产业革命,是21世纪中叶才能开花结果的”预期,目前我们所开展的关于沙产业理论研究还只是万里长征第一步。沙产业理论和其他科学理论一样,势必要经过一个从理论探索到实践验证,再到成熟、丰富和发展的历史过程。我们应该像钱老说的那样,“对沙产业我们现在只是做初步探索工作,包括从地理科学明确治沙范围;通过试点,建立沙区植物、动物繁殖加工事业;引入生物技术,做些试验”,在理论与实践的互动中,逐步研究和探索沙产业理论的科学内涵,不断丰富和发展好钱老的这一伟大的战略构想。

第三节 沙产业的实践进展

我国沙产业发展大体上经历了三个阶段。

一、沙产业的启蒙和萌芽阶段

我国的绿洲集中分布于贺兰山—乌梢岭一线以西的干旱地区,基本上分为三个区:东部河套平原绿洲区、西北干旱内陆绿洲区和柴达木高原绿洲区。我国绿洲农业始于秦代,其经历了分区推进并逐步在不同地理部位发展的过程,而军屯和民屯是绿洲农业开发的主要方式。内地先进农具及农耕技术的引入,加快了绿洲农业发展的步伐,促成了绿洲从单一脆弱的游牧经济向游牧经济与农牧经济并存的经济结构过渡,使中国农业区域扩大,自然资源得到充分利用。

河套平原绿洲区的农业开发历史过程如下。春秋战国时期,匈奴占据河套大部分地区,过着“逐水草迁徙”的游牧生活。战国后期,魏、秦、赵先后占据河套地区南部边

沿和东套平原地区，设郡置县，驻兵戍边，奏响了以潜在沙漠化地区为主的农业开发的序曲。秦汉时期，河套地区首次出现大规模土地开发，人口达到 170 万。移民还带来了先进的农耕工具和耕作技术，促进了边郡及居延城的沙产业活动。西汉的开垦重点主要在银川平原、内蒙古西山嘴以东河套平原和鄂尔多斯高原东部等水土条件较好的地方。进入唐代，河套地区进行了第二次大规模开发，屯田使内蒙古黄河与乌加河之间的广袤区域得到深入开发。但鄂尔多斯高原区农业成分进一步减少，套区农牧业界限愈加明显。清代，河套地区迎来了农业开发的第三次高潮，清政府废除军屯，将屯田军士一律转为自耕农，提高了农业开发的效率，对农业生产的恢复起了重要作用。道光年间，鄂尔多斯高原和长城以北的“黑界地”、“白界地”也相继得到全面开垦。

河西走廊绿洲的农业开发历史过程如下。战国至汉初，河西走廊主要以畜牧业为主。汉武帝开始在河西大举屯田移民，这次大规模屯田使河西地区得到初步开发。唐代，河西走廊农业开发再次复兴，成为当时以农业为主的富庶之地。安史之乱后，河西处于四分五裂的状态，畜牧业又上升为主要产业，河西走廊农业开发减弱，屯垦仅仅集中于几个主要绿洲之中。明代以后，河西屯田再度复兴，而嘉峪关以西地区，由于蒙古等民族不断侵占，农业发展缓慢，仍是农牧兼重，沙产业实践的活动减少。到了清代，随着河西地区外来移民的增多，人口大幅度增长，土地开垦加速。随着水利工程的兴建，农业垦殖规模逐步扩大。至嘉庆年间，仅敦煌就有耕田 8000 hm^2 。

新疆绿洲的农业开发历史过程如下。汉以前，北疆地区基本上过着游牧生活，而南疆各地，畜产作兵，略与汉同，以农业经济为主的沙产业有一定的发展。汉朝统一新疆后，西域第一次得到大规模开发。唐朝开始在西域进行第二次大规模屯田，除了南疆地区屯垦农业有了较大发展外，屯垦重心已经开始向天山以北地区转移，但当地的牧业比重还是很大，沙产业的实践局限在较小范围内。清朝统一西域后开始大举屯田，屯田重心转移至北疆。屯垦初期以兵屯和犯屯为主，乾隆二十六年起，大力提倡户屯，由兵屯向户屯的转变，促成了北疆新兴农区的建立和巩固，至乾嘉之交北疆耕地面积达 $6.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，改变了以往“北牧南农”的传统经济格局。至光绪年间，全疆有灌溉干渠 944 条，支渠 2332 条，灌溉面积 $74.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，随着农业规模的逐步扩大，沙产业的实践活动范围进一步扩大。

但是，由于对于干旱地区水土资源耦合关系认识肤浅，人类在从事以农业为主的沙产业活动中，不合理利用水土资源，同样导致了部分绿洲沙漠化。绿洲的开发程度与政权控制能力及组织能力密切相关。国力鼎盛，疆土面积大，民族关系缓和，才有雄厚的人力和财力进行大规模农业开发，并得到军事、政治上的保证。然而，历史上该区战乱频繁，农业生产缺乏长期安定的环境，以农业为主的沙产业开发时断时续，表现出不连续性。

解放后，西北地区，特别是甘肃、青海、新疆在建设大西北的号召下，屯田开发又进入新的发展时期。以自然绿洲为依托，引用河水灌溉开辟新的人工绿洲，如新疆、甘肃河西和青海，这种河流中游的人工绿洲开发就是具体沙产业活动的体现。而沙区的农牧民在防沙和治沙过程中，也一直自觉和不自觉地从从事着沙产业的实践。因此，可以说今天各种高效生态农牧业、节水方法技术、节水材料的问世和推广使用都凝结着人类从