

生态·环境与生态工程丛书

SHENGTAI HUANJING YU SHENGTAI GONGCHENG CONGSHU

海滨盐土农业 生态工程

钦 佩 周春霖 编著
安树青 尹金来



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

生态·环境与生态工程丛书

海滨盐土农业生态工程

钦 佩 周春霖 编著
安树青 尹金来

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

海滨盐土农业生态工程/钦佩等编著. —北京: 化学工业出版社, 2002.5

(生态·环境与生态工程丛书)

ISBN 7-5025-3783-X

I. 海… II. 钦… III. 海滨盐土-生态农业-耐盐经济植物 IV. S156.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 020274 号

生态·环境与生态工程丛书

海滨盐土农业生态工程

钦 佩 周春霖
安树青 尹金来 编著

责任编辑: 李惠宁

责任校对: 李 林

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 7½ 字数 184 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3783-X/X · 183

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

人类利用盐土向来采用各种使土壤脱盐的措施，努力使土壤的含盐度降到适合一般作物能生长的程度，这样做需要大量资金和淡水，难以全面推广。盐土农业则不需改土，直接栽种盐土植物即可生长收获，既经济又便于推广。美国西南部印第安人曾以潮滩的盐草、大叶藻（*Zostera*）为主食，印度人则以海水浇灌的小米为主食。美国科学院 1990 年出版的《盐土农业》一书中介绍了盐土经济植物 100 余种，标志着各国 20 世纪开发盐土农业的大部分成就。

我国劳动人民虽也有利用海涂的悠久历史，但大部分的盐土资源尚未被开发。在 1963 年的全国农业十年规划会上，周恩来总理针对我国地少人多的国情，决定增设海涂利用会议，号召大家集思广益与海争地。引进大米草促淤造陆就是当时响应周恩来总理的号召而提出的。同年国家科委引进了少量草苗和种子。1964 年南京大学的科研人员进行了繁殖试验，并逐步在浙江省温岭县东片农场潮间带海涂上建立了 200 多公顷的连片草场，随后于 1973 年围得土地 300 多公顷。这是我国首次利用生态工程的方法从大海里争来的第一块新陆地，开创了我国用生态工程方法利用盐土资源的新路子。国家科委充分肯定了这一成果，于 1978 年、1979 年两次召开了全国大米草现场会。到 20 世纪 80 年代初全国大米草总面积已达 36 000 公顷，我国的海涂上出现了许多“绿色长城”。以后又引进了互花米草，它在促淤造陆、保滩护岸方面则更优于大米草。

党的十一届三中全会以后，改革开放的春风吹遍神州大地，大大推动了全国各地开发利用盐土资源的工作，如建造怪柳防护林，栽种意杨、桧柏、沙棘、白刺、沙枣、沙打旺等，筛选出耐盐哺鸡竹，培育出胶用田菁新品种等。它们在保护农业生态环境、提高经济效益等方面发挥了极其重要的作用。这一切都说明我国当前对盐

11-3-91

土资源的开发利用正在从广度和深度上向多方面发展。

本书的作者自 20 世纪 80 年代初即投身于我国盐土农业生态工程的教学、科研和开发工作，20 余年来一直活跃在该领域的前沿，具有很好的理论修养和丰富的实践经验。现将他们多年来的研究心得和成果汇成此书奉献给读者，实在是一件非常及时和有现实意义的事。本书介绍了适合我国国情的海滨盐土农业生态工程的原理、研究实施技术和成功的模式，并介绍了生态经济效益最新的分析方法及其应用。相信此书一定会对沿海地区盐土资源的开发利用工作起到积极的指导和推动作用。

希望通过本书能启发更多的有志之士来关心和参与我国盐土资源的开发利用，为强国富民做出更大贡献。

仲崇信

2002 年 3 月 6 日于南京

前 言

据农业部最新发布的数据，我国年净减粮食从 20 世纪 90 年代中期的 $73.5 \times 10^8 \text{ kg}$ 已经发展到 2001 年的 $95.6 \times 10^8 \text{ kg}$ ，2001 年我国人均粮食占有量已跌落至接近国际公认的粮食安全警戒线 370 kg。我国上上下下都应该清醒地认识到，我们的粮食安全问题不容乐观！虽然入世可以加大粮食进口，但这只能起一定的调节作用，中国的粮食安全问题要靠中国人自己解决。我们一定要牢记祖先的遗训：手中有粮，心中不慌。

人口增加、可耕地减少、灾害不断、环境恶化等等原因迫使我们瞪大眼睛去发掘新的土地资源，寻求发展多种逆境农业模式，去补充我们的传统农业，宏观而长远地去解决我国的粮食安全问题。利用我国现有的盐土资源（海滨盐土就有 2 亿亩），发展盐土农业，就是值得重视的一个方面。

2001 年 9 月，我陪同美国特拉华大学盐生植物生物技术中心（HBC）负责人 J. 盖莱哥教授和 D. 茜丽思卡博士访问海滨城市大连、天津和江苏盐城，考察那儿的盐土农业。我们知道，这几个城市的淡水资源是紧张的。但没有想到的是，大连的淡水已紧缺到令人吃惊的地步，市政府做出决定：停止对海滨地区的传统农业（如水稻种植）供应淡水，鼓励和要求沿海农民发展咸水农业和盐土农业。于是，当盖莱哥教授和茜丽思卡博士出席三地的盐土农业座谈会时，与会者不仅包括三地的政府人士和学术同行，而且还有来自农业第一线的朋友，他们是农业公司的总经理、农场主和村代表。我认为，这样的座谈和交流标志着我国的盐土农业已经走出书斋和实验室，走向海滨的田园和滩涂。

沿海地区经济发展对盐土农业的需求，使我深深感觉到出一本盐土农业参考用书（一定意义上的指导用书）的责任和迫切性。它不同于我和安树青同志翻译并由海洋出版社 1993 年出版的《盐土

农业》——那是美国科学研究委员会出版的一个专家组的报告，提出适合发展中国家的盐土农业方向，介绍了上百种耐盐经济植物及其在盐土农业中的应用；该译著是我国第一本有关盐土农业的参考书，被许多相关研究的作者多次引用甚至节录。它也不同于刘兆普等同志编著的，由中国农业科技出版社1998年12月出版的《滨海盐土农业》——该书主要介绍的是轻盐渍土上有关的农业种植技术，其中不少是传统农业在盐土上的延伸。我和我的合作者撰写本书的宗旨是根据我国国情，从海滨生态系统的特点出发讨论海滨盐土的问题，运用生态工程的原理和技术解决问题并实施海滨盐土农业，引导读者追求海滨系统生态、经济、社会综合效益的提高，推进我国沿海地区的可持续发展。

感谢化学工业出版社给了我们一个机会，让本书得以早日问世。本书的出版之日正是南京大学百年校庆佳节，我们献上本书，恭贺母校百年华诞！

本书汇集了我的课题组和我的合作者多年来在海滨盐土农业生态工程的研究开发方面积累的成果，它们有一定的代表性和示范推广作用，但不免也有一定的地域局限性和不足。希望若干年后，能有一部“中国盐土农业”或“中国盐土农业生态工程”问世，弥补本书的局限和缺憾。

实验研究员丁金海、王茂文、博士生周长芳、朱洪光、硕士生刘金娥、周军、陈兴龙、吕文良、张晟途、万树文等参加了本书汇集的有关课题研究，并参与了一定量的材料整理工作；硕士生周军和博士生周虹霞参与了“耐盐植物名录”的打印，在此一并表示感谢。

本书汇集的有关研究得到国家863计划（819—08—04）、国家自然科学基金（30070146）、江苏省农业科技攻关（BE2001337）、江苏省自然科学基金（BK2001036）以及南京大学985计划等项目的资助，在此一并致谢。

钦佩

2002年2月16日于南京

编委(以姓氏笔划为序)

尹金来 王 凯 安树青

何祯祥 周春霖 钦 佩

洪立洲 谢 民

内 容 提 要

介绍了适合我国国情的海滨盐土农业生态工程的原理、研究实施技术和成功的模式，以及关于生态经济效益的最新分析方法及其应用。

本书内容丰富，图文并茂，文字深入浅出，不仅适于高校和有关科研院所的专业人员参考，也适于作为沿海地区政府、相关部门和海滨盐土农业的从业人员实施盐土农业生态工程的指导用书。

目 录

第一章 概论	1
第一节 关于盐土农业	1
一、盐土的定义及盐土资源	1
二、盐土农业	1
三、海滨盐土农业生态工程	4
第二节 我国盐土农业发展战略	6
第三节 几种海滨盐土农业生态工程的模式	9
第二章 海滨盐土农业的复合系统原理及应用	21
第一节 海滨盐土农业生态工程的复合原理	21
一、生态工程的概念	21
二、整体论原理	23
三、海滨盐土农业生态工程复合系统	25
第二节 海滨盐土农业生态工程的生物学原理	26
一、主要生物学原理	26
二、耐盐植物引种的生物学原理	27
三、滩涂围堤养鱼的生物学原理	28
第三节 海滨盐土农业复合系统原理的应用	30
一、海滩盐沼与生物多样性	31
二、耐盐植物引种模式研究	34
第三章 海滨盐土农业生态工程的工具种	37
第一节 盐土农业的工具种：耐盐经济植物	37
一、食物类	37
二、饲料类	40
三、药物类	40
四、纤维类	41
五、观赏类及其他	42
第二节 耐盐蔬菜三角叶滨藜及其研究开发	43

一、滨藜属简介	43
二、三角叶滨藜的引种生态学	43
三、三角叶滨藜引种的生态经济意义	45
四、三角叶滨藜的营养价值和开发前景	47
第三节 耐盐谷物碱谷及其研究	48
一、研究简述	49
二、营养成分分析	49
三、开发利用分析	52
第四节 耐盐油料/饲料海滨锦葵及其研究开发	53
一、试验区的自然环境	54
二、海滨锦葵的引种生态学	54
三、海滨锦葵的生态习性	58
四、海滨锦葵的应用开发前景	59
第五节 耐盐牧草狐米草及其研究开发	60
一、试验区自然条件特点	60
二、狐米草引种实验	61
三、样地选择与土壤状况指标测定	61
四、主分量分析	62
五、运用生态工程理论建设滩涂牧场	65
第四章 耐盐经济植物的组培、扩繁、育种研究与应用	68
第一节 组织培养技术	68
一、植物组织和细胞培养的内容	68
二、植物组织和细胞培养生产次生物质的研究进展	69
三、体细胞无性系变异	70
四、植物细胞突变体的筛选	71
第二节 狐米草的组织培养	72
一、狐米草组培外植体的选取处理	72
二、提高愈伤组织的诱导频率	73
三、改善愈伤组织继代培养的条件	74
四、提高植株的再生频率	75
五、狐米草细胞培养和快繁技术体系	75
第三节 离子束注入与耐盐经济植物的育种研究	76
一、离子束注入设备	76

二、工作原理	77
三、离子束生物学效应实例	78
四、离子束注入技术在生物遗传育种中的应用	82
五、问题与展望	83
第四节 耐盐经济植物的分子育种	83
一、我国抗盐和耐海水植物培育与应用概况	84
二、植物的育种与发展	84
三、耐盐经济植物的分子育种	86
第五节 耐盐经济植物的试管苗扩繁及工厂化生产	90
一、植物快速繁殖技术	90
二、狐米草再生苗扩繁技术的研究	91
三、狐米草滩涂引种	94
第五章 海滨盐土农业生态工程的模式和示范	97
第一节 海滨盐土农业生态工程的模式研究	97
一、我国沿海地区经济和社会发展的科技需求	97
二、海滨盐土农业生态工程模式的研究目标及内容	98
三、滩涂盐土农业产业化经营及其经济效益分析	99
第二节 海滨盐土种植模式和示范	100
一、不同品种黑麦草产量和草质研究	100
二、江苏海涂平衡供草技术的研究	104
三、新筑海堤绿化护坡植被的直播技术	112
第三节 滩涂框围养殖模式和示范	118
一、海涂节律性鱼草利用模式研究	118
二、克氏螯虾生物学特性和混养技术	124
第四节 海滨农林牧复合生态系统模式	127
一、试区概况	127
二、林草子系统的构建与优选	129
三、农田系统的生物量和生产力	134
四、畜牧系统的生物量和生产力	134
五、农林牧复合生态系统优化模式配置	135
第五节 米草生态工程模式和示范	139
一、米草生态工程的设计	139
二、米草生态工程的三级效益评估	142

三、米草生态工程的实用意义与生态学意义	143
第六章 海滨盐土农业生态工程的系统分析	146
第一节 生态经济效益的分析方法	146
一、物质循环	146
二、能量流动	147
三、价值增值	147
四、信息传递	147
五、能值与能值分析	148
六、能值分析方法	149
第二节 耐盐模式种栽培的能值分析	153
一、无土栽培试验池的设计	153
二、狐茅草耐盐实验	154
三、能值分析	155
四、本试验系统能值分析的意义	158
五、狐茅草的应用前景	159
第三节 农林牧复合生态系统的能值分析	160
一、农林牧复合生态系统能值分析表	160
二、农林牧复合生态系统主要能值指标	161
第四节 互花米草生态工程的能值分析	163
一、三种治理和利用方式	163
二、能值分析计算与能值分析表	164
三、主要能值指标和能值的 15 年预测	166
第七章 海滨盐土农业生态工程的可持续发展	170
第一节 人类社会的可持续发展战略	170
一、人类发展进退维谷	170
二、增长的极限	171
三、人类社会的可持续发展战略	172
第二节 可持续发展战略的操作	173
一、向自然投资的必要性	173
二、可持续发展战略的操作——向自然投资	176
三、向自然投资的模式——盐土农业	178
第三节 沿海农业可持续发展的评估	180
一、指标体系建立的基本原则	181

二、指标体系建立的方法	182
三、指标体系的结构和内涵	184
四、指标体系应用实例——江苏大丰农业发展的持续性评价	188
第四节 海滨盐土农业生态工程的可持续发展	190
一、海滨农林牧复合生态系统的可持续性	190
二、互花米草生态工程的资源配置分析	198
附录 主要耐盐植物名录（中文、拉丁文对照）	202
参考文献	213

第一章 概 论

第一节 关于盐土农业

一、盐土的定义及盐土资源

盐土为一系列受土体盐碱成分作用的土壤，它包括不同程度盐化和碱化的各种类型土壤，也称为盐渍土或盐碱土。当土壤表层或亚表层（即耕作层，一般厚度为 20~30 cm）中，水溶性盐类的累积含量超过 0.1%（100 g 风干土中含 0.1 g 水溶性盐类）或 0.2% 时（富含石膏情况下），或当土壤碱化层的碱化度（即交换性钠占整个交换性阳离子总量的百分数）超过 5% 时，就属盐渍土范畴。

世界上除南极洲尚待调查研究外，其余五大洲及其大多数主要岛屿的滨海地区和干旱、半干旱地带，涉及 100 多个国家和地区，都有各种类型的盐渍土分布。据联合国教科文组织（UNESCO）和粮农组织（FAO）不完全统计，全世界盐渍土面积约有 9.55 4 38 亿公顷。根据中科院南京土壤所的最新研究，我国各种类型的盐渍土总量为 14.87 亿亩（约合 9 913 万公顷），其中：现代（活性）盐渍化土壤约 5.54 亿亩；残余盐渍化土壤（包括残余盐土和绝大部分含显量水溶性盐类的漠境土壤，如石膏棕漠土、盐化灰漠土、盐化寒漠土等）约 6.73 亿亩；潜在盐渍化土壤（包括一旦发展灌溉，由于采取的水利措施不当，导致地下水位上升，而有可能发生次生盐化和次生碱化的各种土壤，即一些心底土体中存在积盐层的土壤，如低层盐化淡栗钙土、淡灰钙土、棕钙土等）为 2.6 亿亩左右。

二、盐土农业

（一）盐度与耐盐植物

盐度即溶液系统中的含盐量或可溶性固体的含量。盐度单位可

用%、‰、 $\times 10^{-6}$ 等来表示。灌溉水或土壤水样本的盐度也常用电导率（EC）来表示，盐分越高，电导率越大。一些具有代表性的水资源盐度如表 1-1 所示。

表 1-1 一些代表性水资源的盐度

盐度的表示	灌溉水的质量		美国西部 科罗拉多河	以色列 尼捷乌地下水	太平洋
	好	临界			
电导率 (dS/m) ^①	0~1	1~3	1.3	0~7.0	46
可溶性固体/ $\times 10^{-6}$	0~500	500~1 500	850	3 000~4 500	35 000

① $1\text{ dS/m} = 1\text{ mS/cm} = 0.06\% (\text{NaCl}) = 0.01\text{ mol/L} (\text{NaCl})$ 。

广义的耐盐植物是指所有在盐环境中能不同程度地耐受、拮抗和生活的植物。严格地说，耐盐植物和盐生植物是不同的。在一般的盐度（如 5‰左右）下能正常生长，但盐度稍高生长发育即受到明显抑制的植物称为耐盐植物。在较高盐度（如海水盐度）下仍能正常生长甚至增产的植物称为盐生植物（如图 1-1 所示）。盐土农业所需要的是可作为粮食、油料、蔬菜、饲料、药材等开发的有经济价值的耐盐植物和盐生植物，我们通常称为耐盐经济植物。

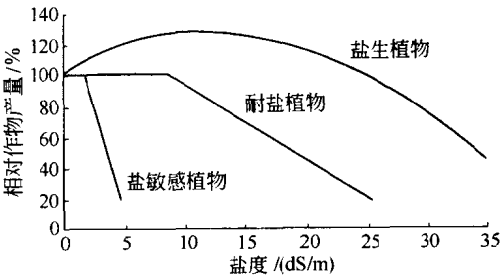


图 1-1 3 类植物对盐度的生长反应

（二）耐盐经济植物及盐土农业的研究

多年来，耐盐经济植物的开发和盐土农业的发展引起国际学术界和多国政府的重视。20 世纪 50 年代联合国教科文组织出版干旱

地区生态学研究专著，就提出耐盐经济植物的开发研究，引起学术界和各国政府的重视。20 世纪 50 年代末，以色列学者在蒙特利尔召开的国际植物学会上报告用稀释海水浇灌 183 种植物的试验结果，推进了耐盐经济植物的研究。近年来这方面研究活跃的国家有美国、以色列、巴基斯坦、印度、埃及等。1990 年美国国家研究委员会国际事务办国际科技开发部（BOSTID）发表了多国专家小组的报告《盐土农业》，系统介绍了在土地资源和淡水资源日益匮乏的形势下适合发展中国家利用的数百种耐盐植物。许多国家的科学家做出很大努力，筛选出一系列宝贵的耐盐经济植物种质资源。如耐盐植物盐角草（*Salicornia bigelovii*）就是美国亚利桑那大学科学家从 1970 年中期开始，积 18 年的时间，投入经费 2 000 万美元，从 800 种耐盐植物中筛选出来的。其中最好的一个品种，筛选花了 10 年时间，因而定名为 SOS-10（意为 *Salicornia oil seed* 10 号）。据研究分析，SOS-10 的种子含油量高达 30%，和红花种子相当，约为大豆的两倍；而且，其种子油中的亚油酸酯含量高达 72%，具优良的抗氧化抗衰老功能。除此而外，SOS-10 的种子中含蛋白质约 40%，与大豆相仿，是很好的食品蛋白和饲料蛋白资源。美国科学家的一系列成果已在若干中东国家得到富有成效的推广，如沙特、阿联酋、科威特、埃及、叙利亚、伊朗等。沙特打算在其两边海岸发展耐盐植物种植面积到 200 000 公顷；而印度也已完成一系列盐土作物的引种，打算未来实现 100 000 公顷的面积。

过去，特别是“八五”、“九五”期间，全国滩涂开发取得了可喜的成绩，许多省的滩涂开发社会年总产值已超过百亿元。在滩涂农业方面也有所作为，如江苏的“养鱼改土”、“田管旱改”等技术已日臻成熟，为盐碱地改良走出一条可行的路子；江苏射阳县沿海滩涂农业综合开发实验区，采用优良品种和较成熟的水稻种植技术，使万亩滩涂水稻产量 4 年增加 6.6 倍。然而，这些滩涂农业项目仅限于堤内，而且缺乏用海水灌溉。