



水稻

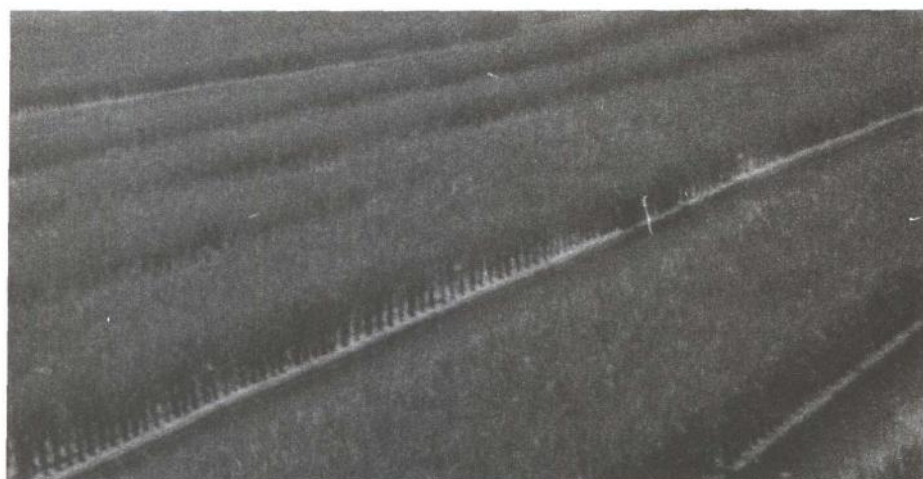
水面无土栽培

宋祥甫 吴伟明 著

SHUIDAOSHUIMIAN
WUTUZAIPEI

水稻

水面无土栽培



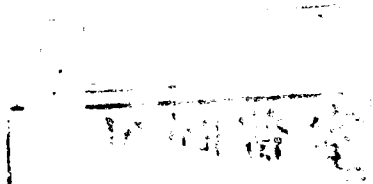
SHUIDAOSHUIMIAN
WUTUZAIPEI

宋祥甫 吴伟明 著



B1211669

山东科学技术出版社





数据加载失败，请稍后重试！

序 言

水稻是我国最主要的粮食作物。我国有一半以上的人口以稻米为主食。与其他粮食作物相比，水稻具有产量高、稳产性好、稻米食味好、营养价值高等特点，所以不管从历史上看，还是从今后的发展趋势来看，水稻生产在粮食生产中具有举足轻重的作用。

我国具有悠久的稻作历史，它一直与我国的文明史紧密相连，并且一样源远流长。浙江省桐乡罗家角及余姚河姆渡遗址出土的稻谷，距今已有 7 000 多年和 6 900 多年。这充分表明，在那个时候，我国劳动人民就已经掌握了非常丰富水稻生产知识。在漫长的历史进程中，我国劳动人民用他们的勤劳与智慧，不断发展和改进水稻种植技术，从种子的筛选、秧苗的培育、水肥的管理、季节的安排等都积累了非常丰富的知识，创造了灿烂的稻作文明。

在我国丰富的水稻生产技术宝库中，有一种水稻生产方式以其独有的特点引起人们的注意，那就是水面种稻技术。但是，由于社会和资源的原因，这一技术中断了几百年。直至 20 世纪末，在老一辈科学家和政府部门的重视下，中国水稻研究所的科研人员经过不懈努力，利用现代科技，给水面种稻这一古老的稻作方式赋予了新的含义，使之焕发出了新的生命力，推动了水面种稻科技进步和生产发展，使水面种稻无论从栽培方式，还是栽培技术上都发生了很大的变化：栽培方式由最初的有土水面种稻，发展到现在的无土水面种稻；水稻种植的载体从起初只是利用植物在自然水面条件下形成的根茎聚集物作为浮体，发展到现在利用人工材料制成的专用浮床；肥料的供应则从最初完全利用农家肥，发展到现代的易溶性化肥再到现在的专用肥；栽培技术由原始的较为简单的种植技术发展成现在的高产水面水稻种植模式；水稻产量也从低产水平提高到目前能取得与水田相仿，甚至更高产量的高产水平。为了使水面种稻技术更好地为我国水稻生产服务，

中国水稻研究所宋祥甫等在进行了长达十余年之久的研究基础上，从水面种稻的历史、水面种稻的技术规范、操作及原理等方面，进行了科学、系统、全面的总结，编写了《水稻水面无土栽培》一书，供农业科技工作者和生产者了解和掌握水域水面浮床无土种稻的基本原理和技术。这是一件令人高兴和值得庆贺的事情。

顾名思义，水面种稻就是在水面上种植水稻，它不仅可以利用水面资源，而且可以生产稻谷，增加农民的收入。在目前我国人增地减、粮食短缺危机始终存在的形势下，充分利用水域水面这一潜在的国土资源，发展水稻生产，对于缓解我国粮食生产压力将具有非常重要的意义。我相信，这部专著的出版，会给有关学术界人士和广大水稻科研或生产领域的工作者有益的启发和帮助，并将推动水面无土栽培水稻生产的发展。

卢良恕

2000年10月

前 言

人口不断增加，耕地面积日益减少，是我国的基本国情。目前，我国的人口以每年 1 300 万左右的速度递增，耕地面积则以每年 45 万 hm^2 以上的速度递减，而且这一趋势在较长时期内将难以逆转。依靠科技投入，不断提高单产，最大限度地发挥现有耕地的生产潜力是我国建国以来所采取的主要增产措施，并取得了极为显著的效果。以水稻为例，总产量从解放初期的 5 400 万 t 提高到目前的近 1.83 亿 t。在此进程中，单产的提高对增加粮食总产的作用始终占主要地位。但是，进一步的统计分析表明，在 1978 年之前的 28 年中，总产量得以较大幅度的提高是在不断提高单产的同时推广新的种植制度、发展多熟制，使水稻播种面积得到了较大幅度增加的前提下取得的。仅仅依靠提高单产，使总产量不断跃上新台阶则主要是在大面积扩大杂交水稻、不断更新常规水稻品种、采用行之有效的高产栽培技术以后取得的。然而从长远的观点来看，单位土地面积的产量总是有限度的。因此，开发新的耕地资源、开辟新的粮食生产基地应予以同等重视，因为这是在单产达到较高水平后唯一可选择的途径。其中，开发我国总面积达 1 300 万 hm^2 的可利用江河、湖泊、库塘等内陆水域表面，发展水上种植业，是一条行之有效的途径。从我国的基本国情来看，此途径极有可能成为缓解我国人多地少、粮食短缺矛盾的一项根本性措施，使水面这一尚未得到开发利用的处女地成为我国未来粮食生产的第二“战场”。与此同时，由于种植在水面上的水稻等陆生植物能直接吸收利用水体中的氮、磷等植物营养元素，而氮、磷则是导致水域富营养化的主要因素，因而，发展水上种植业，不但能为我国的粮食生产作出贡献，而且还能为治理我国广大的以富营养化为主体的污染水域起到巨大的促进作用。

水面浮床无土种稻的研究成功，引起了国内外广大农业科技工作者和生产者的极大兴趣与关注。国内外的新闻报刊相继做了大量报道，国内有关地方的政府部门和农户纷纷来函咨询或要求引进这一技术。为此，我们特编写了《水稻水面无土栽培》一书，供广大读者了解和掌握水域水面浮床无土种稻的基本原理和技术，同时，也为世界各国研究和发展水域水面无土种植水稻乃至其他陆生植物提供借鉴。

全书共分 7 章，其中第一章从古代的有土水面种稻、现代的有土水面种稻和无土水面种稻三个方面分阶段讲述水面种稻的历史。第二章介绍水面种

稻的操作技术, 即从秧苗的培育、浮床的准备、秧苗的移栽、浮床的连接和固定、肥料供应方法以及收割等方面进行了具体介绍, 同时结合前人在植物营养领域取得的成果论述水面无土栽培的原理。第三章主要讲述水面种稻对水体条件、气候条件等环境因素的要求。第四章为水面种稻的高产栽培技术, 讨论不同水域、不同季节、不同水稻品种(组合)的水面种植技术要求。第五章重点论述水面种稻的养分来源和养分供应方式。第六章论述在水面种稻条件下, 水面水稻的生物学表现和特点。第七章讨论水面种稻的发展意义以及今后的发展前景。

由于本书涉及的内容较新, 加上水域浮床无土种稻尚是一项新兴的研究领域, 研究和应用时间均相对较短, 对水域水面浮床无土种稻的生态适应性及其机理方面的研究还很不全面, 深度也不够。同时, 由于我们的知识和写作水平有限, 甚至可能还存在某些认识上的局限性, 书中可能出现某些谬误, 欢迎广大读者批评指正。

本书所涉及的研究分别得到原国家科委、农业部、浙江省人民政府、国家自然科学基金、中国农业科学院等的支持和资助。立项和研究过程中, 承蒙中国科学院院士徐冠仁博士和原中国水稻研究所所长熊振民研究员的指导, 并得到了原浙江省省长沈祖伦和浙江省科委副主任陈传群教授的高度重视、鼓励和支持。参加本项工作的还有中国水稻研究所应火冬、朱敏、金千瑜、陆永良, 以及浙江省湖州市农科所、台州地区农科所、淳安县农业局、绍兴县农科所等科研和生产部门的田小明、冯伟勋、冯春梅、杨意军等同志。本书出版得到了山东科学技术出版社泰山科技专著出版基金会的支持和资助。中国工程院院士卢良恕研究员对本书的编写给予极大关注和支持, 并为本书写序。在本书的编写过程中, 得到了中国水稻研究所所长助理顾晓君先生的指导和帮助, 在此一并致谢。

作 者

2000年11月

目 录

第一章 水面种稻的历史与现状	1
第一节 古代的水面种稻	2
第二节 现代的有土水面种稻	4
第三节 现代的无土水面种稻	7
第二章 水面无土种稻的技术与原理	13
第一节 水稻的营养生理基础	13
第二节 水稻的环境生理基础	31
第三节 水面无土种稻的技术要求	39
第三章 适宜水面无土种稻的水域生态条件	46
第一节 气候条件	46
第二节 水体条件	48
第四章 水面无土种稻的高产栽培技术	67
第一节 育苗技术	67
第二节 密度要求	74
第三节 肥料供应与水分管理	76
第四节 品种选择	84
第五节 病虫害防治	87
第六节 水面制种与种植制度	89
第七节 水面种稻与水下养殖相结合的立体种养	90
第五章 水面无土种稻的养分来源	94
第一节 水面水稻对肥料的要求	94
第二节 水面水稻的肥料供应特点	108
第三节 提高水面水稻肥料利用率的途径	113
第四节 水面水稻直接利用水体肥力的可行性	115
第六章 水面水稻的生物学特性	119
第一节 生育特点	119
第二节 产量和经济性状	122
第三节 物质生产与积累	128
第四节 根系特点	136
第七章 发展水面无土种稻的意义与前景	142
第一节 发展意义与应用前景	142
第二节 存在问题与解决途径	151
参考文献	155

第一章 水面种稻的历史与现状

在我国丰富的水稻生产技术宝库中，有一种水稻生产方式以其独有的特点吸引着人们的注意，那就是水面种稻技术。顾名思义，水面种稻就是在水面上种植水稻，亦即利用水面资源生产稻谷。

早在三国时代，我国南方一些地区农民就开始利用菰的根系和茎多年聚集起来的漂浮“板块”，或由植物秸秆编织而成的浮体做栽培床——古称“葑田”或“架田”，在水面上进行种稻。这种种植方式在唐宋时颇为流行，自明代以后随着水面漂浮物的减少，水面种稻也随之逐渐减少乃至消失。这一生产方式实际上是古人充分利用自然资源（水面和水面漂浮物）的一个例证。

在世界其他地方如墨西哥、缅甸等也有类似中国古代的水面种植，主要是利用水草自然形成的浮块，在上面种植蔬菜、玉米等，很少用以种植水稻。而且，无论在技术上、规模上都不及中国。有证据表明，墨西哥等地用来进行水面种植的浮块被称为 Chinampas，因此很可能是由中国传过去的。

20 世纪 80 年代初，中国科学院上海植物生理研究所、南京地理与湖泊研究所以及福建省农科院等单位，或以聚苯乙烯发泡板、稻草把等作为浮载体，铺上泥土后进行种稻；或以聚苯乙烯发泡板作为浮体主材料，辅以竹条、丙烯袋、塑料薄膜等构成浮体栽培床种植水稻等陆生植物，为开发现代的水面种稻技术作了有益的尝试。但是，由于上述种植技术的共同点是均以尿素等水溶性肥料作为养分来源，因而在不增加附加设施的情况下，极易污染水体，且实施较为繁琐，难以形成规模化生产，更难以实现现代农业所要求的模式化和机械化等，故一直未能扩大研究和应用。

在此背景下，中国科学院院士徐冠仁于 1988 年提出了应用现代农业工程技术，开发利用自然水域表面，拓展作物生产领域的设想。中国水稻研究所根据这一设想，并在借鉴前人实践与研究的基础上，于 20 世纪 90 年代初成功地发明了有别于上述水面种稻技术的新型水面种稻技术——水面浮床无土种稻技术。它是根据无土栽培的基本原理，采用人工新材料做浮体栽培床（简称浮床，下同），并通过独特的肥料供应及相应的栽培与工程措施，在自然水域的水面上无土栽培水稻技术。

从有记载的最早的水面种稻到目前的水面浮床无土种稻，我国的水面种稻已经有 1 700 多年的历史。在这漫长的历史进程中，水面种稻作为一种特殊的农业生产方式，经历了产生—发展—消亡—重新兴起—继续发展的历程。在水面种稻的发展历程中，无论从种植水稻的载体材料、形式，还是水稻的栽培方式、技术等方面都发生了很大的变化：种植水稻的载体从起初的只是利用植物在自然水面条件下形成的根茎聚集物作为浮

体,到现在利用人工材料制成的专用浮床;栽培方式由原来的有土水面种稻,发展到目前的无土水面种稻;肥料的供应则从最初的完全利用农家肥,到可溶性化肥再到现在的混合肥乃至专用包膜肥;栽培技术也由原始的较为简单的种植技术发展成现在的高产水面水稻种植模式;水稻的产量也从低产水平提高到了现在的能取得与水田相仿甚至更高产量的高产水平。随着科学技术的进一步发展,水面种稻这一古老的农业生产方式,必将得到更进一步的拓展和完善,并有望发展成为一项可与陆地稻作生产并行的新型稻作生产方式。

第一节 古代的水面种稻

历史上的水面种稻是利用水面上自然生成的一种由植物的根茎及其残体组成的“浮块”作为浮体。根据游修龄先生考证,这种“浮块”在古籍上称之为“葑”,它是由丛生于浅水湖泊边缘的多年生草本植物菰(*Zizania caduciflora*)的宿根和茎,经过多年的生长聚结纠缠在一起而逐渐形成,其中夹带有一些泥土。由于容易受到降雨、干旱等的影响,它常常与水下的泥土处在一种若即若离的状态。当雨水多或遇上大水,湖、塘水位升高,它便浮于水面。如遇干旱水涸,湖、塘的水位下降,它便完全暴露在空气中,甚至被太阳晒干。一旦降雨,水位恢复,它又会吸收一定的水分,并再一次浮于水面。这种现象,在公元前2世纪的《淮南子·天文训》中有记载:“大旱,菰葑燠(音汉)。”高诱注:“菰,葑草也。生水上,相连持,大如薄也(草聚生称薄),名曰葑燠。燥,故燠也。”

最早有记载的有关葑田种稻的史料是在三国时期,在魏明帝青龙元年(公元233年)时,孙权派陆逊、诸葛瑾率军进驻江夏、沔口(今湖北黄冈、汉口)。一天,诸葛瑾有重要情报告知陆逊,当时“逊未答,方催人种葑、豆,与诸将弈棋”。据宋史召的解释,“葑,菰根也。江东有葑田”。这说明在我国三国时的湖北汉口一带,有众多的湖泊等水域,连军队也知道利用葑田种稻。由此推算,我国有可靠历史记录的水面种稻历史已有1700多年。

我国早期史料上关于“葑田”的记载也很多。如晋郭璞的《江都赋》中有“标之以翠葑,泛之以游菰,播匪艺之芒种,挺自然之嘉蔬”等描述。意思是说:“湖泊里生长着绿色的水生植物,又有浮游的菰葑,上面种植的水稻已经在抽穗了”。唐秦系诗中也提及:“树喧巢鸟出,路细葑田移。”此诗的背景在浙江绍兴镜湖,说明浙江绍兴一带早在唐朝已应用葑田了。

游修龄先生的考证结果还表明,宋朝是人们对“葑”加以利用的一个高峰,不仅利用自然条件下的“葑”,而且还对其加以改造,使之成为一种人工化的“栽培浮床”,在其上种植水稻以及其他作物。这一时期史料上关于“葑田”的记录也详细起来。如北宋时期苏颂的《图经本草》(公元1061年)对“葑田”进行了比较详细的描绘:“今江湖陂泽中皆有之,即江南人呼为茭草者。二浙下泽处,菰草最多,其根相结而生,久则并浮于水上,被人谓之菰葑。割去其叶,便可耕治。俗名葑田。”这是关于葑田种稻的较为明确完整的早期记录。著名的农学家陈敷撰写的《农书》(公元1149年),则对“葑

田”作了更加详尽的描述。陈敷在《农书》中论及种稻的地势一节中提到：“若深水藪泽，则有葑田，以木缚为田丘，浮系水面，以葑泥附木架上而种艺之。其木架田丘，随水高下浮泛，自不淹溺。《周礼》所谓‘泽草所生，种之芒种’是也。”从陈敷的记述可知，这时的“葑田”已经不仅仅是苏颂《图经本草》所说的“割去其叶，便可耕治”，而是进行了人工改造，做一个木制的框架，将葑泥置于架上进行种稻，因此是名副其实的“架田”。为了不让架田随水漂走，还得用绳子系在岸上的树桩上（图1-1）。在《农书》中，陈敷还把“架田”作为一种与水田等并列的生产方式的一种，可以说，他的论述是我国关于水体生态农业的最早记载。

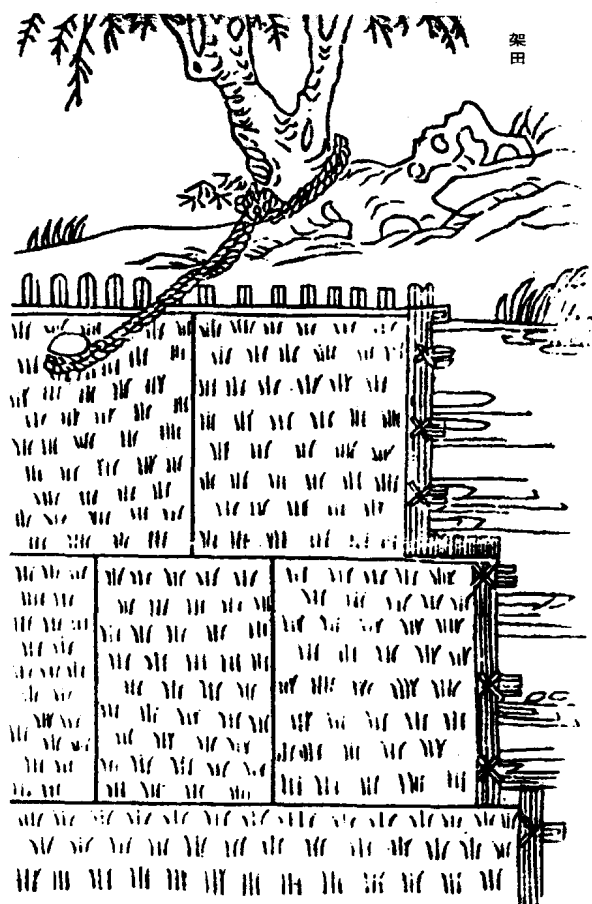


图1-1 明·徐光启《农政全书》上所描绘之“架田”（游修龄，1992）

在宋朝，水面种稻的发展程度从架田面积的大小也可见一斑。南宋诗人陆游曾亲眼看到浮游于长江中的大型架田，并在他的《入蜀记》中加以记载：“十四日晚，雨。过一小石山，自顶直削去半，与余姚江滨之蜀山绝相类。抛大江，遇一大木筏，广十余丈，长五十余丈。上有三四十家，妻、子、鸡、犬、臼、碓皆具。中为阡陌往来。亦有神祠，素所未睹也。舟人云：此尚其小者，大者于筏上铺土作蔬圃，或作酒肆，皆不复

能入峡，但行大江而已。”由此可见，宋朝的水面种植已经得到相当程度的发展。

到了元代，王祯的《农书》中，把“架田”列为一项专条，并附一张架田的绘图，从而使“葑田”或“架田”有了文字到图形的完整记载。

葑田是作为一种自然现象出现的，它在古代中国分布很广泛，一般的湖泊泽地都有葑块的分布。今江苏、浙江、福建、广东、广西、湖北、云南等省，从宋代到明朝都有关于葑田的记载。“葑田”在云南古称“海稗”，因为云南人称大的湖为“海”，竹筏为“稗”，内容即如葑田。但广东、福建的架田与前面提到的架田或葑田是有区别的，它用芦苇编织而成，而且不是用于种植水稻，而是专种蔬菜（空心菜）。这种芦苇编的架田，相当于无土栽培，但只有适宜于在水体条件下生长，且对肥料需求不高的蔬菜才能适应。

但是，古代的葑田并非都是指用来种稻的葑田，不少地方葑田指的是菰草丛生的现象，往往成为妨碍湖泊的患害。如杭州的西湖，自唐到五代吴越国，都有定期的开浚制度，以防葑草滋蔓，侵占湖面。北宋初期，吴越国的潦水军制度废除，西湖长期没有开浚，以致“水涸草生，渐成葑田”，成为西湖之患。苏东坡初任杭州通判时，葑田侵占湖面还只有12%~13%，十六七年之后，即发展到占湖面的50%。如果照此下去，20年后便没有西湖了，依靠西湖水灌溉的数以万计的农田也将陷于绝境。为此，苏东坡上书“乞开西湖状”，列举西湖与杭州市民生活用水及附近农田的重要性，并招募民工，将葑草挖起，堆积成长堤，后人称为苏公堤，即今天的苏堤。苏东坡的这一业绩至今为人称颂。

在世界其他地方的湖泊沼泽区，类似中国菰葑的多年生草本植物的根茎凝块，在柬埔寨、印度、罗马尼亚、缅甸等国家都有分布。这些类菰葑的凝块，本身很轻，浮力极大，遇大水后，常常大片地漂浮于水面，人们甚至可以站在上面，游览眺望，以代舟船，别有风光，因而发展成为旅游的项目。如在缅甸的茵莱湖上就有类似的旅游项目，当地人甚至在浮块上搭建简易的小房，以吸引游人。一般它们很少被用来种植作物。用来种植作物成为水上浮田的主要有中国和墨西哥，还有缅甸农民用以种植部分蔬菜。如在中美洲墨西哥城附近的阿兹特克（Aztecs）地方，有一种用芦苇编成的筏子，上铺泥土，用来种植蔬菜和玉米，是当地印地安人自古以来就有的水面栽培。令人感兴趣的是，当地人称这种筏子为Chinampas。这表明可能在1492年哥伦布发现美洲新大陆以前，中国和中美洲已经有往来，并把水面种植传播到那里。

自宋朝以后，由于中国南方的人口激增，为扩大耕地，大规模围湖造田，致使大量的自然湖、塘缩小乃至消失，自然界的葑草生境遭到严重破坏，葑田的利用日趋减少。明清以后，除闽广一带仍有少数地方利用芦苇编制草筏，种植蔬菜，并沿袭至今，江浙等地已不见记载。

第二节 现代的有土水面种稻

现代的有土水面种稻研究始于20世纪80年代初，前后进行了十余年，但一直停留在小范围的试验阶段。研究单位主要有福建省农业科学院、广西农学院等。

一、福建的有土水面种稻

1981年,福建省福清县港头公社芦华大队陈世水和福建省农业科学院土壤肥料研究所林仁坝等在福清县港头、江镜两个公社进行了水面种稻并结合养鱼试验。经过多年的试验,至1984年,累计种植水稻 0.22hm^2 ,并取得了较好的结果。其中,1981年早稻产量 $7.4\text{t}/\text{hm}^2$,晚稻 $5.6\text{t}/\text{hm}^2$;1982年早稻产量 $6.0\text{t}/\text{hm}^2$,晚稻 $8.4\text{t}/\text{hm}^2$;1983年早稻产量 $6.4\text{t}/\text{hm}^2$,晚稻 $6.2\text{t}/\text{hm}^2$ 。据资料介绍,陈世水等人采用的水面种稻方法的前提是必须有土。综合技术要点如下:

(一) 稻床的结构形式

稻床(亦称浮床,下同)主要是以稻草等植物材料为原料编织而成,形式主要有以下几种:

1. 平面草帘式稻床

将稻草和麦草按8:2混合织成草帘,然后把草帘平放于水面,即成水面稻床,其长度依据水面和操作方便而定,一般长4m左右,宽1.2~1.5m,草帘的厚度为5cm。

2. 圆形草把式稻床

同样将稻草和麦草按8:2的比例混合,然后捆成直径10cm的圆形草把,用尼龙线和小竹竿串连成长4m、宽1.2~1.5m的草帘,漂浮于水面;即成稻床(图1-2(a))。

3. 水生植物稻床

在长有水浮莲或水花生的水域里,先把水面的水浮莲或水花生叶茎割平,然后把预先编织好的2cm厚的草帘覆盖在上面。

4. 泡沫板式稻床

在长1m、宽0.8m、厚5cm的聚苯乙烯泡沫板上挖成长方形槽盘子(图1-2(b)),用于水稻的直播或移栽。

上述四种稻床放入水面后,均需要抹上一层1.5~3.0cm厚的池塘土后方可移栽或直播,对于泡沫板式浮床则需要抹上3cm左右的池塘土才能种稻。

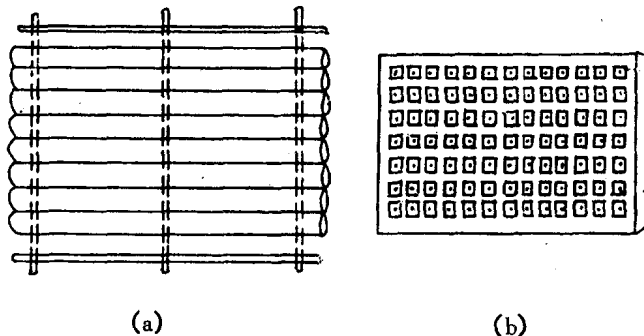


图1-2 福建水面种稻浮床

(a) 稻草把式浮床 (b) 泡沫板式浮床

(二) 栽培技术

根据资料介绍,采用上述稻床在水面上种植水稻时,行株距、移栽方式以及养分供给等栽培技术方面有别于陆地的水田种稻。种植密度一般每平方米插75丛左右,行株距规格为 $10\text{cm} \times 13.3\text{cm}$,每丛插12~15本(其密植程度大大高于常规水田种稻的密

度)。秧苗移栽一般采用壮秧并带土(卷秧或铲秧)的方式进行。对于品种选择,根据他们所作的研究结果,水稻在水面种植时,品种间的反应不尽一致,如矮秆早熟品种“红410”,有效穗数和穗粒数均少于水田栽培。而“3259”和“日本二号”等中矮秆品种的有效穗数,在与水田种植相仿的情况下,穗粒数则明显增多,产量也有所提高。

肥料供应是水面种稻的重要环节。利用该方法进行水面种植时,所用肥料主要包括尿素、过磷酸钙、氯化钾等。施肥的要点是以少吃多餐并且前重后轻的多次施肥方式比较合适。追肥一般分3~5次,前三次追肥在插秧后25天内完成。其前后施肥比例是,磷钾肥的全部、氮肥的80%在插秧后25天内施入,剩余氮素则在插秧25天后看苗补施。总施肥量一般为一季水稻尿素 $0.75\text{t}/\text{hm}^2$ 、过磷酸钙 $0.9\text{t}/\text{hm}^2$ 和氯化钾 $0.3\text{t}/\text{hm}^2$ 。

由于水面水稻的稻床在水面上成片、块状排列,通风透光条件相对较好,小气候气温比大田低,因此,水面水稻病虫害一般比水田轻。特别是水稻的“三病”,即使在水面周围的陆上大田发病严重时,水面水稻仍未见发病。

从以上的技术特点分析,陈世水等采用的方法,虽然不再是利用水生植物自然形成的葑块而代之以人工编织成的浮体,但是,浮体的主材料仍然主要是由容易腐烂的植物体组成。因此这种方法有一个很大的缺点,就是浮体在水中极容易腐烂,腐烂产生的产物对水体造成污染,况且其中的稻草把式稻床下水后不能直接种植水稻,而必须首先进行一段时间的消碱处理,否则分解初期的腐化产物如稻草碱以及还原性分解产物对稻苗会造成很大伤害,严重影响水稻的成活和生长。同时稻草碱还会污染水体,并对水体中的鱼类等水生生物造成不利影响。由于这种水面种稻方法仍然需要铺上一层一定厚度的泥土,在降雨和风浪作用下,表土极易流失到水体,从而加速了所在水域的底泥淤积,导致河床抬高。因此,这些问题严重影响了该种植方法的生产应用,以致一直停留在小面积的试验阶段。

二、广西的有土水面种稻

1991年,广西农学院同位素农业应用研究室吕鸣群等人,在该院所属鱼塘内进行了水面种植连作晚稻、蔬菜和育秧试验,获得初步成功。他们种植的3个晚稻品种产量分别为 6.4 、 6.0 、 $4.9\text{t}/\text{hm}^2$,生育期比大田种植早熟 $10\sim 15$ 天,植株矮化 15cm 。

该研究是利用鱼塘边的空地建猪栏或鸭场等场所,把猪、鸭粪投入鱼塘,然后在其水面种植水稻和蔬菜。鱼、水稻和蔬菜的养料主要来自排入鱼塘的猪、鸭粪便。具体的操作方法是:用一长方形的聚苯乙烯泡沫板作浮体,在浮体上钻小孔;用聚氯乙烯塑料制成营养杯,杯底钻孔,再将经过催芽处理的水稻种子播入营养杯内,盖上土;最后将营养杯放在浮体的小孔中。待水稻出苗后,根据稻苗的长势确定施肥时机。如营养不足,可穴施复合肥。在生育后期,由于水稻的大部分根系仍扎在营养杯内,只有少量根系穿过营养杯底部小孔伸入水中而被鱼吃掉,因此,该方法基本解决了鱼塘养殖的鱼类取食稻根的问题。

1992年春,该院与南宁市泡沫塑料厂合作,在院内鱼塘进行水面育秧试验,也取得了初步成功。具体的方法是,利用聚苯乙烯泡沫塑料制成长方形秧盘,在盘底钻孔,然后将经过浸种催芽处理的稻种均匀地播在育秧盘内,覆上一层土,最后把育秧盘放入鱼塘水面。

据该研究小组在早稻上做的 300 多个水面秧盘的育秧试验结果表明,水面育秧与陆地旱地秧及水田秧比较,秧苗素质差异不大,但水面培育的秧苗白根多,烂秧发生少,烂秧率只有 6.6%,而旱地育秧(盖薄膜)和水田育秧的烂秧率则分别为 41.7% 和 28%,大大高于水面育秧。利用该方法进行水面育秧具有以下优点:①可以利用鱼塘等水面,不占用耕地;②利用水温比土温稳定,秧苗不易受冷害,可提早播种,避免烂秧;③不怕旱、不怕涝,病虫害少;④管理方便,省工、省肥,减轻劳动强度,而成本比温室育秧低。

另外,据报道,1958 年中国科学院上海植物生理研究所的科研人员与上海市川沙县城镇公社药水四队的农民一道,曾在当地的河面上试种水稻。他们在河面上培育出了壮秧,并收到了结实的稻谷。之后没有关于这方面的进一步报道。

从以上介绍的水面种稻技术来看,它们的共同点是:①无论是利用稻草把或聚苯乙烯等化工原料作浮体进行水面种稻或育秧,均需在浮体上或栽植孔内铺(盖)上一层几厘米厚的泥土,因此,它们均还是一种水稻的有土栽培方式;②均以尿素等易溶性肥料作为养分来源,因而在不增加附加设施的情况下,极易污染水体;③从生产方式上看,还属于一种小农经济生产模式,实施较为繁琐,难以形成规模化生产,更难以实现现代农业所要求的模式化和机械化等,故不宜也难以作为开发利用水域表面的技术加以推广应用。因此,到目前为止基本上仍停留在试验阶段。

第三节 现代的无土水面种稻

现代的无土水面种稻,是以中国水稻研究所研究成功的自然水域浮床无土种稻技术为代表。它是根据无土栽培的原理,采用人工新材料作浮体栽培床(以下简称浮床),并通过独特的肥料供应及相应的栽培与工程措施,在自然水域无土种稻(图 1-3)。该种稻方法与传统的营养液无土栽培有很大的不同,主要体现为水稻根系直接生长在自然

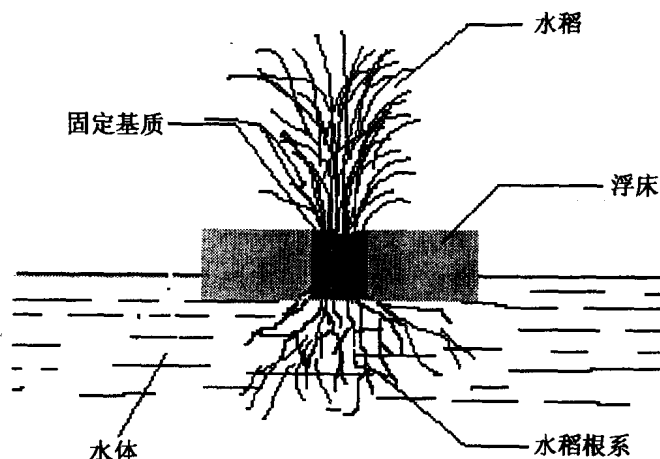


图 1-3 现代无土水面种稻

水体中,而不是生长在营养液中,水稻所需要的温度、光照、空气、水分等完全在自然条件而非人工控制条件下。而且,它还与前面所叙述的水面种稻有很大的不同:①完全无土;②采用的人工浮床不但可由工厂直接制模生产,而且可以利用多年,对水体不造成污染,材料加工简便,在水上作业机械开发同步进行并获成功的前提下,可以规模化生产,符合现代农业的特征与要求;③肥料采用多元固体混合肥或专用包膜肥,肥料的养分利用率相对较高,因而对水体的污染相对较小。由此可见,现代水面浮床无土种稻技术不仅是对古代和现代有土水面种稻的继承和发展,也是对人工设施营养液栽培技术的扩充和发展,拓展了原有无土栽培技术的范围,丰富了无土栽培的内涵。该种稻法所需设施相对简单,操作方便,是一种可以充分利用水面资源、发展粮食生产、营造水上园林景观的新技术。通过多年的努力,现已形成了一套切实可行的高产水面水稻栽培技术模式。

该技术的实施主要依赖于以下几个基本条件:①一种能浮于水面且能承受较大重量,并能作为种植禾苗栽培床的载体——浮床;②一种既能固定禾苗,又能保证植物根系生长所需的水分、氧气条件及能作为肥料载体的基质;③一种专门配制的含有氮、磷、钾及钙、镁等植物生长必需元素,能保证水面水稻正常生长的固体多元长效肥。

人口不断增加,耕地面积日益减少,是我国的基本国情。在20世纪初,我国的人口尚只有4亿,到20世纪50年代马寅初先生首次提出人口控制论时,也只不过是6亿左右,而到现在却已经超过了13亿,50年间增加了2倍多。虽然目前我国的人口政策取得了卓有成效的成绩,但由于人口基数大,所以近年仍以每年净增1300多万的速度递增。预计到2020年,我国的人口将达到甚至超过16亿。这么庞大的人口对我国的农业生产和粮食供应造成了巨大的压力。

另一方面,随着我国人口的不断增长,人均耕地仍将不断减少。而且,由于社会经济的快速发展和居民生活水平的不断提高,各类建设事业用地日益增加,加上以往我国对土地资源的保护力度不够,生态环境不断遭到破坏,沙荒面积逐年增加,从而使耕地面积仍然以接近46.7万 hm^2 的速度逐年递减,并且这种“一增一减”的幅度将有进一步加剧的可能,这种趋势在相当长时间内将难以逆转。因而可以说,我国粮食短缺的潜在危机始终存在。

依靠科技投入,不断提高单产,最大限度地发挥现有耕地的生产潜力是建国以来所采取的主要增产措施,并取得了极为显著的效果。如以水稻为例,总产量从建国初期的5400万t提高到目前的近1.83亿t,其中单产的提高对增加粮食总产的作用始终占主要地位。但进一步统计分析表明,在1978年之前的28年中,总产量得以较大幅度的提高是在不断提高单产的同时,推广新的种植制度,发展多熟制,使水稻播种面积得到了较大幅度增加的前提下取得的。仅仅依靠提高单产,使总产量不断跃上新台阶则主要是在大面积扩大杂交水稻、不断更新常规水稻品种,采用行之有效的高产栽培技术以后取得的。然而从长远的观点来看,单位土地面积的产量总是有限度的。因此,开发新的耕地资源,开辟新的粮食生产基地当前就应予以同等重视,因为这将是在单产达到较高水平后可选择的唯一途径。其中,开发我国总面积达1300多万 hm^2 可利用的江河、湖泊、库塘等内陆水域的表面,发展水上种植业,是一条可能的并且行之有效的途径。

我国江河交织,湖泊众多,水库与池塘星罗棋布。据统计,仅湖泊和水库的水表总面积就达1200多万 hm^2 ,相当于目前全国水田总面积的50%以上。在如此广阔的水域中,目前已经得到开发利用的面积只占一小部分,且主要局限于中、下层的利用,水面的利用面积十分有限。因此,研究和开发水上种植技术,发展水上种植业,其前景十分广阔。从长远来看,此途径极有可能成为缓解我国人多地少、粮食短缺矛盾的一项根本性措施,将是我国未来粮食生产的第二“战场”。

正是基于这一基本国情,1988年,中国科学院院士徐冠仁提出了在水面上实施农业生产工程,以充分利用水面资源生产农产品,改变以往水面利用功能单一局面的战略设想。

1989年起,在原国家科委的立项资助下,由中国水稻研究所的科研人员开始进行自然水域无土种植水稻的研究。在接受研究任务后,科研人员在一无经验、二无可供直接借鉴的技术资料及设施条件的情况下,经过充分酝酿和认真讨论,制定了近期和长远的研究总体方案,提出了可行性试验(2年)和扩大试验及应用技术研究(3年)两个阶段5年进行的设想。并依据种植设想和业已掌握的无土栽培技术与原理以及水域的特殊生态环境,确定以水稻为研究材料,筛选一种能支持水稻从幼苗生长直至成熟的浮床材料和相应的工程措施为突破口,同时探索相应的水稻栽培技术和供给水稻根系生长所需氧气及养分的导入途径,以实现水稻能正常生长发育并取得较好收成。

在研究过程中,科研人员共选择和设计了10多种浮床和基质材料及其制作方法,选择和配制了100多种肥料种类及其配方,种植各类水稻品种(组合)50余个,共计500多个试验处理。由于思路正确,研究于当年取得了突破性进展。首次利用人工浮床成功地在该所护所河水面上种植了水稻等陆生植物,其中水稻收到了成熟的稻谷。这一突破性的成功极大地鼓舞了科研人员,同时为下一步研究提供了技术支持和成功保障。

1990年,科研人员在进一步研制完善专用于水面种稻的浮床、基质、肥料及探索相应的水稻高产栽培技术的同时,大胆地在该所试验区所属的一个 0.33hm^2 鱼塘水面上种植了 600m^2 单季杂交水稻协优46(照片1-1),试验获得了较大成功。虽然在水稻灌浆期间,当地遭受到了强台风的袭击,同期的大部分水田水稻因此而倒伏,而种植在水面的水稻仍然挺立不倒。辛勤的劳动终于换来了丰硕的果实。当年10月,一个由农学、土壤、育种等多方面专家组成的产量鉴定验收专家组对中国水稻研究所科研人员在鱼塘水面上的 600m^2 单季杂交水稻进行了现场验收,水面水稻取得了干谷 $7.4\text{t}/\text{hm}^2$ 的较好收成。

1991年起,该研究分别被列入浙江省“八五”重点攻关计划、国家科委和农业部重点项目等,名称改为水面种稻扩大试验及应用技术研究,并成立了由中国水稻研究所主持,浙江省湖州市农科所、台州地区农科所、淳安县农业局、绍兴县农科所、富阳县农业局等单位参加的水面种稻协作组,重点进行了水面种稻的生态适应性试验,适宜水域浮床种植的水稻品种筛选,以及相应的水面种稻配套高产栽培技术等研究,取得了预期的效果。

在各级政府的重视支持及广大科研人员的努力下,水面无土种稻技术从无到有,从小到大,并取得了全面成功。多年来的研究取得的主要成果为: