

林农复合生态经济系统的应用与研究

总 报 告

南 京 林 业 大 学
扬 州 市 绿 化 委 员 会
扬 州 市 多 种 经 营 管 理 局

一九九二年二月

目 录

1	前 言	(1)
1.1	研究目的和过程	(1)
1.2	试区概述	(2)
2	研究结果综述	(5)
2.1	系统组建的研究	(5)
2.1.1	林渔系统	(5)
2.1.2	林农系统	(6)
2.1.3	林牧系统	(6)
2.1.4	林工系统	(7)
2.1.5	农林系统	(7)
2.1.6	庭院林业系统	(7)
2.2	系统设计的研究	(8)
2.2.1	工程设计的程序和方法	(8)
2.2.2	生态设计	(12)
2.2.3	复合系统中的种群关系	(14)
2.3	系统功能的研究	(19)
2.3.1	系统生产力	(19)
2.3.2	系统内的光能利用与分配	(20)
2.3.3	系统的养分循环	(23)
2.3.4	复合系统的小气候效益	(25)
2.3.5	林渔复合系统中鱼池生态因子的变化	(27)
2.3.6	林农系统的土壤改良效应	(29)
2.4	系统效益评价方法的研究	(31)
2.4.1	生态效益	(31)

2.4.2	经济效益	(35)
2.4.3	社会效益	(37)
3	林农复合生态经济系统的综合效益	(38)
3.1	经济效益	(38)
3.1.1	林木收益	(39)
3.1.2	林地间作物收益	(41)
3.1.3	水产养殖收益	(41)
3.1.4	间作水生作物收益	(41)
3.1.5	畜禽养殖收益	(42)
3.1.6	食用菌收益	(42)
3.1.7	林产品加工收益	(42)
3.1.8	林农复合系统总的经济效益	(42)
3.2	生态效益	(43)
3.2.1	建立农业生态防护屏障	(43)
3.2.2	创造野生动物和昆虫天敌繁衍的环境条件	(43)
3.2.3	提高水利工程的防护功能和投资效益	(44)
3.3	社会效益	(45)
3.3.1	增强各级领导发展林业的自觉性	(45)
3.3.2	发展林业生产力逐步成为支柱型产业	(45)
3.3.3	锻炼和培养一批林业科技队伍	(45)
4	结 论	(46)

林农复合生态经济系统的应用与研究

总 报 告

1 前 言

1.1 研究目的和过程

林农复合生态经济系统的应用研究,主要是以长江中下游各省的低湿地开发利用为对象,根据生态经济学原理和方法,探索建立以林业为主体,林、农、牧、渔等多种产业结合,多生物种群共存,空间上多层次,时间上多序列,物质多级循环利用的多维、高效、持续、稳定的复合生产系统。通过高技术和劳动密集投入来提高系统的总体功能,并通过协调人工复合系统与自然生态系统、社会经济系统之间的关系,调控物质和能量循环,充分利用各级生产的副产物投入复合系统的再循环,取得自然再生产和经济再生产的最大效益。

本项目从1982年以来,历时十年,在江苏省里下河地区开展以系统的组建方法、工程和生态设计、系统功能测定和分析、系统效益评价方法等为中心的研究,建立各种实验示范林1.45万亩,在高邮、兴化、江都、宝应等县(市)应用本项研究成果不断优化结构模式,累积造林面积达9.15万亩,取得了良好的经济、生态和社会效益。

林农结合(Agroforestry)的现代发展趋势在国内外引起广泛重视,并成为十分活跃的研究领域。混农林业虽有悠久的历史,但作为一门现代的综合学科来开展研究,在国际上也是最近十多年才开始的。1986年10月,中国林学会生态专业委员会在本试区召开的“全国农林复合生态系统学术讨论会”上,该项目受到与会专家高度评价,认为是“滩地开发利用的成功典型,基本上建成了一个生态农业的雏型”。1990年10月,由中国林学会和林业部科技委组织全国数

十位著名专家、教授到试区参观论证,对本项目的指导思想和研究工作给予了充分肯定。人民日报、光明日报等均作了详尽报道,确认“农林结合促进了生态良性循环,初步建成了国内外罕见的大面积人工林复合生态经济系统”。董智勇同志在光明日报撰文称之为“我国林业发展的新途径”。1992年4月,在南京有17个国家和地区参加的“国际林农复合经营学术讨论会”上,通过交流和现场考察,普遍认为该项目研究已达到国际先进水平。

1.2 试区概述

林农复合生态经济系统的研究,是以长江中、下游各省的江、湖滩地综合开发利用为对象。本项目试区设于江苏省中部的里下河平原,界于长江与淮河之间,北临灌溉总渠,南界通扬运河,东止通榆运河,西靠淮扬丘陵边缘。该地区地形为四周高、中央低的碟形洼地,总面积为11665平方公里,约占江苏省土地总面积的14%,包括扬州、盐城、淮阴及南通4个市所辖的兴化、高邮、江都、宝应、盐郊、建湖、金湖、泰县、海安、东台、阜宁、淮安、洪泽等11个县(市)(图1.2-1)。

该地区具有地势低洼、河网密布、水域广阔、自然资源丰富的特点。四周地面海拔高度3~5米,多数为1.5~3米,中部地势特低的兴化只有0.7~1.5米,是全省最低洼的地区。据统计,地面海拔高度在2.5米以下的面积约占58.7%(表1.2-1)。

试区地处北纬 $32^{\circ}27'$ ~ $33^{\circ}56'$ 之间,居北亚热带北缘,是光能资源高值区之一。气候温暖湿润,年平均气温 $14\sim 15^{\circ}\text{C}$,无霜期205~215天,日平均温度 $>10^{\circ}\text{C}$ 稳定持续期积温在 4700°C 左右,年日照2130~2360小时,高于南部的太湖地区,常年太阳辐射总量在110~121千卡/厘米²之间,热量资源好于北部的淮北地区。年降雨量894~1042毫米,雨量适中,雨热同季。乡土树种以落叶阔叶树为主,常绿阔叶树的种属较少。湖荡滩地土壤主要是腐殖质沼泽土。成土母质以湖积物为主,较为粘重。pH值为6.0~7.4,有机质含量3~10%,全氮量为0.12~0.22%,比一般土壤高出许多,但是土壤

中水分过多，通气不良，微生物活动微弱，使大量有机物难以分解，而且土壤中营养元素的含量很不平衡，特别是磷的有效性低，速效磷一般只有 0.6~8.4ppm，呈现氮多磷缺的状态，必须采取防洪治涝，降低地下水位，加强土壤耕作等改良措施，使土壤进一步熟化，才能充分发挥其潜在肥力。

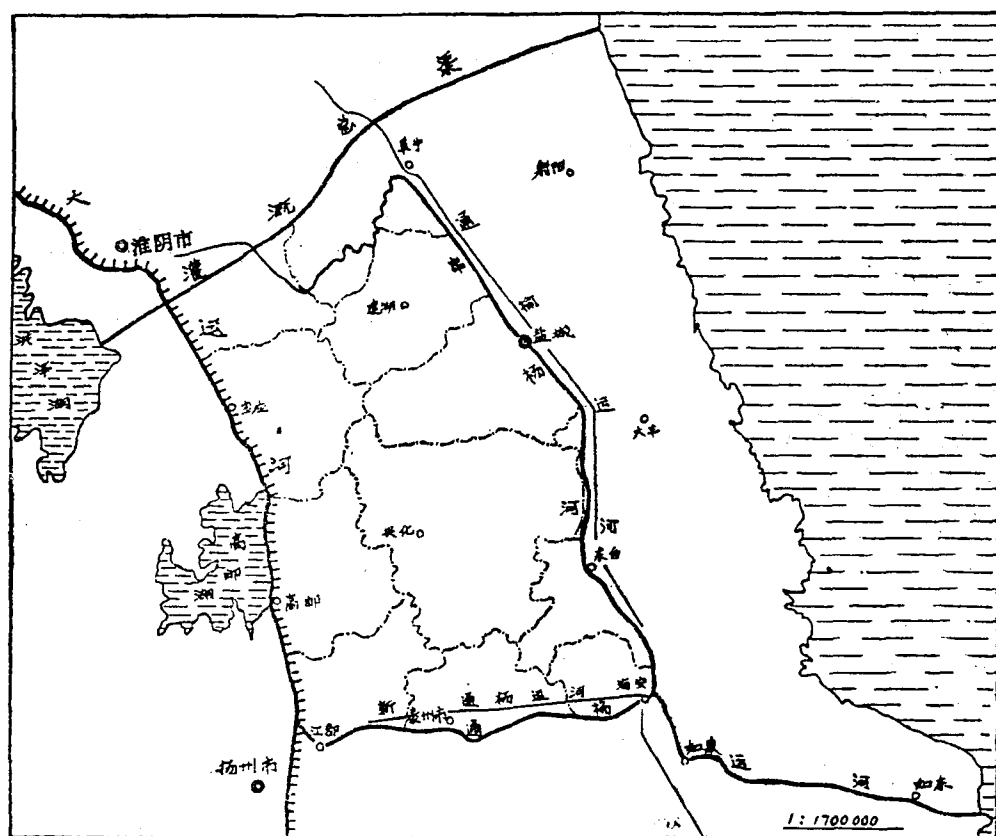


图 1.2-1 试区位置图

表 1.2-1 试区不同地面海拔高度所占面积

地面海拔 高度(米)	1.5 以下	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~3.5	3.5~4.0	4.0~5.0	5.0 以上	合 计
面 积 (平方公里)	1652	2075	3112	2465	948	554	573	286	11665
(%)	14.2	17.8	26.7	21.1	8.2	4.7	4.9	2.4	100

里下河地区素有“水乡泽国”之称,解放前洪涝灾害频繁,是个贫困落后的地区。建国以来,通过兴修各种水利工程,洪泽湖的蓄洪、三闸河的泄洪、入海入江河道的排泄洪涝,提高了抗御水灾的能力,生产条件大为改善。目前,粮食产量已占全省的五分之一,水产也已达到全省总产量的四分之一,应进一步发挥鱼米之乡的生产优势,调整生产结构,发掘自然资源的潜力,建设成为经济上更加富庶的地区。

里下河地区可开发的湖荡滩地面积很大,仅扬州市辖各县(市)的面积就有 67 万亩以上,整个地区尚待开发利用的滩地面积可达百万亩之多。由于近十年来入江入海水系的整治,使相当数量的湖荡变成枯水滩,或者季节性干涸。过去这里主要生长芦苇,由于环境变化,柴草长势日趋衰败,加之人为破坏,自然资源利用率越来越低,土地产出逐年下降。这一地区是淮河下游的分洪区,今后相当长的时期内,对湖荡地区的开发利用,仍应考虑滞洪蓄洪的需要。因此,采用本项目提出的工程设计,在低洼地筑圩,内部开挖垛田,垛田之间是纵横的大小河渠网络,在汛期水势猛涨时,可以开闸放水蓄洪,与水利上滞洪、蓄洪的要求是协调的。池杉是较为耐水湿的树种,在淹水长达 3~4 个月的情况下仍能正常,这也是以发展池杉为主体开发方式的理由所在。

本项目从 1982 年立项以来,先后在试区范围内建立了 5 个实验林场,总面积为 14500 亩,开展林农复合生态经济系统的专项试验,严格按设计方案组织造林实施,并设立定位站进行常年的观察测试,积累了大量实验数据。研究过程中采取点面结合的方式,在不断优化模式的基础上进行大面积推广、应用和验证。逐步形成了比较完善的系统研究网。

江都县昭关实验林场:建于 1984 年,重点研究林农复合系统,开展系统模式组建方法;林分动态结构;密度及配置方式;间作物种类及产量分析;施肥效应;物质与能量循环及其分配;投入产出分析等项研究。

高邮市张轩实验林场:建于 1982 年,重点研究林渔、林牧复合系统,开展系统模式开发工程;经营技术;林分动态结构;林分郁闭

初期土地利用方式；载畜（禽）量及牧业产量；郁闭林下土地食用菌栽培技术；环境改良效应等项研究。

高邮市马棚实验林场：建于 1984 年，重点研究林渔复合系统，开展大水面渔池利用与改造；林虾复合系统；林分速生丰产技术；林渔农系统集约经营等项研究。

兴化市西鲍实验林场：建于 1985 年，重点研究林渔、林农复合系统，开展复合系统光能分布规律；幼林期最适间作物的筛选；林木与水生作物复合经营技术；林木与特种水产复合经营技术等项研究。

宝应县天平实验林场：建于 1983 年，重点研究林渔、林农复合系统，开展林渔禽复合系统物质循环规律；林木与水生作物（藕）复合经营技术；林木速生丰产技术；农田林网防护效益等项研究。

2 研究结果综述

2.1 系统组建的研究

林农复合生态经济系统现阶段主要由六部分组成：林—渔、林—农、林—牧、林—工、农—林及庭院林业系统（图 2.1-1）。所开发利用的土地资源有三类：一是自然状态下的湖滩地，二是农田，三是宅旁园地。通过生态、经济、社会等综合调节组成复合体系。在生态调节中尤其重视发挥水利的效益，使之既达到蓄洪排涝的要求，又利于资源的合理开发利用。经济调节注重经济承受能力和受益效果，因地制宜开发资源。社会调节强调更新观念，提高认识，引导全社会积极参与。在此基础上，通过各调节系统综合协调建立起开发体系，并按工程开发设计付诸实施。

2.1.1 林—渔系统

该系统是里下河地区最富特色的开发工程。适用于地势低洼、地下水位较高的湖滩地。采用框圩与台田工程相结合的方式，开沟筑垛。垛田造林、垛池养鱼、林下间种作物，形成以林为主体，林、渔、农有机结合的开发体系。由于地势低、水位高，水网系统是工程设计重点。通常在框圩时设立主渠道，并根据汛期水位安排排灌设

施。主渠道与外河相通，内连支渠或垛沟，形成有一定排灌功能的水网体系。台田工程实际是开沟筑垛，即按一定的距离和规格开沟，取土堆垫于两侧地面，形成特殊台田。

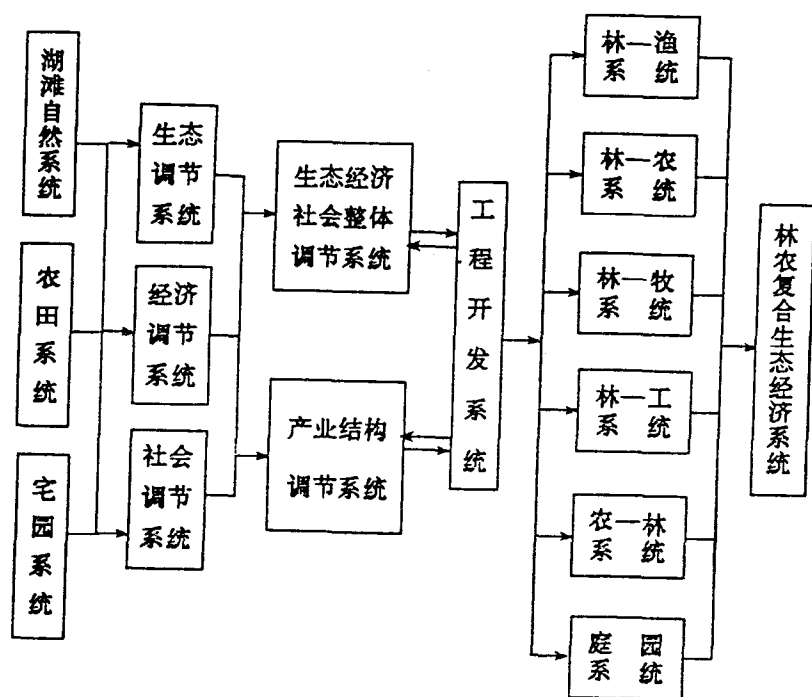


图 2.1-1 林农复合生态经济系统的组建

2.1.2 林—农系统

指以林为主，林下间种农作物的类型。适用于地下水位不高的地区。同样需要设置与外河相通的水网系统，以利于排灌及降低地下水位，防止内涝。该系统利用的土地一是自然滩地；二是退耕还林的圩区，这部分土地在围湖种粮时大多已框圩并有排灌设施。前者在造林前要设计一定规格的沟渠把准备开发的滩地分割成若干方形田块，平整土地、灭草、熟化土壤，再造林并间种作物。该类型一次性的工程投资较低，深受群众欢迎，目前是本地区主要采用的开发方式。

2.1.3 林—牧系统

指在林间或在林—渔结合的水面上养殖畜禽。林牧结合主要在林

一农类型中，由于林分已达郁闭或其他经营的限制因素不再种植农作物，而在林间育草放养畜禽。林渔牧结合是在林—渔类型的基础上为进一步利用水面和地面饲养畜禽，形成林、渔、牧有机结合的高产出类型，物质循环率更高。林业与养殖业的结合为林分郁闭后持续高效经营提供了广阔的前景。

2.1.4 林—工系统

随着木材资源的积累，近年这一系统发展迅速。主要利用本系统提供的大量间伐材及部分主伐材建立木材加工企业。加工成建筑材、家具材、造船材、文化用品材，包装材及木炭等。如宝应县汜光湖林场把木材加工作为复合经营的重要环节，建起了加工厂。把直径 26 厘米以上的大径木加工成建筑材出售；把中径材加工成板材或其他成品、半成品；枝、根及加工边角料烧制木炭，达到全树利用，纯利润和经济效益很高。成了本系统的重点开发项目，达到以工促林，以工养林的目的。

2.1.5 农—林系统

本地区尚有大面积以专项农业生产为主的土地采用农林结合的方式。本系统由四部分组成：一是鱼池与林带结合，在不妨碍鱼池光照、溶氧等生态因子及有助于增加收益的原则下，在鱼池周围配置林带。改变了以往鱼池周围不能植树的传统观念，采用生态协调的方法组建复合系统。二是水生作物与林带结合。本地区盛产河藕、慈菇等水生作物，种植面积很大，经济效益可观，是素负盛名的特产。但常因夏季风灾造成折倒和病害，在藕田内配置林带，能有效控制风害，增加收效。三是农田—林网系统，主要有两类：一是在以粮食生产为主的农田中配植林木，如池杉、杨树或泡桐与粮食作物间作等；二是农田基本建设中配套的林网体系，包括低产田改造，中、高产农田林网及路、渠等防护体系。

2.1.6 庭园林业系统

本地区人口众多，居民地稠密，利用宅旁园地兼营林业的潜力很大。利用庭园植树与种植业、养殖业结合，具有见效快、综合效益高的优点，已成为农村经济发展的重要支柱之一。据高邮市统计，1990 年庭园总收入已占社会总产值的 18.03%，农业总产值的 28.2%，显示出巨大的开发潜力。

2.2 系统设计的研究

组建林农复合生态经济系统的过程中, 工程和生态设计是研究的重点, 必须根据生态经济学的原则, 制订出适用于林、农、牧、副、渔相结合的技术体系, 建立具有我国特色的农区林业发展模式。

2.2.1 工程设计的程序和方法

工程开发是在滩地建成高效的林农复合生态经济系统的先导。工程设计原则上按下列程序进行。

确定开发方针:

滩地开发的方针是人们广为关注的问题, 必须根据本地区的自然条件、经济发展和生态平衡的需要, 妥善地予以解决。前一时期由于片面追求粮食产量, 不少地方将原有的湖荡大面积筑圩围垦种粮, 湖荡面积由 225 万亩缩小到 122 万亩, 使临时性起滞蓄作用的库容量大大减少, 加快了雨后圩外河网水位的上升速度。围垦以后仍需常年进行大量人工抽水以降低圩内地下水位, 费用很高, 而实际上又难以使圩内水位降低到排涝要求, 农业产量较低, 生产成本却很高, 是得不偿失的。但是要把已经围垦的地方再退耕还湖也是行不通的, 因圩内水位长期低于荡地已不能成湖, 既不适合养鱼也不宜于柴草生长。另一方面, 本地区农业生态环境较为脆弱, 抗风、防涝能力不强, 农业内部构成比较单一, 生态环境、产业结构和经济效益等方面的互补作用都比较差, 严重地阻碍着农村经济的发展, 必须采取综合措施, 在生态系统中注入强有力的森林防护作用, 以增强抗御自然灾害的能力。因此, 组建林农复合生态系统的目的, 是实行以林业为主体, 林农牧渔等多种产业相结合, 多物种共存, 多层次配置, 多时序组合和物质多级循环利用的高效土地利用制度。目标是提高单位面积土地的产出率和劳动生产力, 充分发挥其在改善农业生态环境中的功能。林业与农牧渔业的结合, 既可以合理利用自然资源, 又有助于解决农林之间日益尖锐的争地矛盾, 为农林协调发展提供新的途径。林业生产的周期长, 近期收益低, 与商品生产要求资金快速周转是对立的, 往往影响政府部门的投资和生产经营者的积极性。林农结合达到以短养

长，长短结合，既可提高近期效益，又能收到长期效益，无疑为林业发展注入了活力。产业和产品的多样性，可以增强在市场经济中的竞争力和供需关系上的适应性，减少经营的风险。种植业、养殖业和产品的就地加工，可以为农村剩余劳动力提供就业机会，使农村经济得到进一步繁荣。

资源、经济和社会考察：

在确定开发方针的基础上，开展对区域内资源、经济、社会进行系统、全面的考察，并查明其相互制约的关系，以及这些因素对滩地开发的直接和间接影响等。

生态资源 主要包括两部分，一是以植物、动物和微生物为主体的生物资源，包括森林资源、农业生物资源以及其他有关的动植物资源；二是环境资源，包括地质、地貌、气候、水文、土壤等。在本地区，水利占有特殊地位，是影响区域环境系统发展过程稳定性的重要方面，也应该列为考察对象。

经济状况 地区的经济发展水平对资源开发系统的建立关系很大。因为所有的开发方式都要通过一定的经济手段和措施来加以实施。工程开发方式不同，工程量差异很大，有的一次性投资很高，有的却相对较低。因此，地区的经济承受能力是工程选择的重要因素之一。考察的主要内容包括农业经济结构的组成、比例及其相互依存关系，当地的经济发达程度，市场状况及其变化趋势，木材、农副产品的价格、销售状况及其前景等。

社会环境 社会环境与农、林业的发展关系很大。要着重考察人口密度、教育程度、科技水平，以及农林业在社会发展中的作用和地位等。要了解农、林、牧、渔相互依存的关系，以及林业在参与产业结构调整中应有的比重。

可行性论证：

在资源、经济、社会考察和评价的基础上作出工程开发的可行性论证，才能再进一步作出合理的工程和生态设计。在强调发挥生态经济综合效益的基础上，要正确处理工程开发与水利之间的协调关系，

工程设计功能与实际效益之间的关系以及工程投资与社会承受能力的关系等。由于系统功能的综合性和目标的多重性,必须对系统进行定性、定量、动态与静态、宏观与微观、结构与功能的全面分析,以保证系统在运行过程中的稳定性、可控性和经济效益等。在选出最优方案之前,要提出若干替代方案进行技术经济分析,包括工程投资预算、综合效益预测等。在进行全面考察分析和总结已有成功经验的基础上,确定建立以林业为主体,林农牧渔多种产业相结合的林农复合生态经济系统是最佳的滩地开发方案。这一方案不仅可以取得比较高的持续经济收益,而且在生态系统内部达到良性循环。在确定工程设计方案时,着重考察了滞洪蓄洪的要求、环境质量的提高和保护以及各生物种群的协调关系等。在开发工程内建立一个与外河相连的开放式水网系统,以便汛期水情严重时放水蓄洪,产生有效的滞洪作用。同时也可以使一部分效益较低的涸滩得到充分利用。考虑到每年6~9月雨季积水持续期较长,确定以较耐水湿的池杉作为主体树种。在经受1991年特大洪水的考验时显示出独特的优越性。

建立目标体系:

在林农复合生态经济系统中建立的目标体系包括两个层次:一是总体目标;二是阶段目标。由于系统发展过程是动态的,随着会受到各种因素的干扰,系统输入和输出也经常发生变化,因此,要有比较明确的阶段性和整体性。除了总体目标之外,还应根据各子系统的特点把全过程分为若干阶段。林农复合系统中,在池杉以 1.5×4 米配置类型中,造林后第1~6年可以作为第一时序阶段,此阶段以间作小麦、水稻、油菜及大豆等喜光作物为主。第二时序阶段为第6~10年,林下应间作耐荫作物,或以培育食用菌和放牧为主,并在这一阶段的后期(第8~10年)进行第一次间伐,调整林分结构。第三时序阶段为第10~15年,在调整结构的林分内以发展养殖业为主。第四时序阶段是到达主伐之前的时期,仍应继续间伐以调整林分结构,为木材加工工业提供原材料。每一阶段要有具体的效益目标,包括立木材积,规格,间作物种类、产量、畜禽放养数量、产量等各项具体

指标。并将量值指标具体分解为经济指标、生态指标、综合指标和社会效益指标等，构成比较完整的目标体系，并且在系统运行过程中根据反馈信息不断进行动态调节和控制。

工程设计：

工程设计包括总体设计和子系统设计两部分。

总体设计的指导思想是运用物种共存和物种多级循环利用的原理，强调总体功能和效益的发挥。设计内容包括产业结构组合、管理系统及土地利用规划。

林一渔复合系统的产业结构组合主要有三种；一是以林业为主，渔业为辅。如张轩林场、苏宋林场、西鲍林场等采用林一渔复合系统类型。其特点是供养鱼的池窄而浅，水产产量不高，而以垛面上的造林为主，林业占较大比重，木材生产潜力较大。二是林业和渔业并重。如高邮市周巷乡的采用宽垛面、大水面的开发方式。宽垛面用于培育林木和间作，大水面养鱼。由于水深面宽，水产养殖以精养为主，鱼产量与一般高产鱼池相近。林下间种农作物，水面及林下还可放养畜禽。三是以渔业为主，林业为辅。如江都县的水产养殖场，水面均为精养鱼池，鱼池埂上栽植 1~3 行林木。

管理系统主要包括建立林场，健全管理机构制订各项经营管理的规章制度。土地利用规划包括确定土地面积、经营区的划分、经营区内水网系统布局以及道路、建筑等。

林一渔系统的设计包括框圩、水网、垛沟系统的配置。

垛沟类型为三种：

① 水面较窄的类型：沟宽 2~6 米，垛宽 8~12 米，主要用于放养鱼种、虾及浅水性鱼类。

② 水面中等的类型：沟宽 6~15 米，垛宽 10~20 米，水面主要用于养殖成鱼。

③ 水面较宽的类型：水面宽达 15 米以上，垛宽 20~40 米，水面实际上都是半精养或精养鱼塘。

工程实施:

由于开发工程的规模较大,投入劳力多,通常要在乡村一级的组织领导下实施。资金由集体和个人筹集、贷款,国家少量补贴等途径解决。施工一般在冬、春农闲季节,分片包干,集中力量一次完工。如高邮市马棚实验林场,1984年建立林一渔系统,投劳达39万工日,土方量91.3万立方米,建垛田293条,面积1512亩,开垛沟192条,经过一个冬春突击,工程配套,收效快,效益高。

系统管理:

主要包括运行过程调控和及时更新改造。运行调控内容有种群和时空结构调整。如林一农类型,造林初期的种群结构为林木和喜光性作物组合,当林分接近郁闭时,须改种耐荫作物,如要延长间作年限,则须通过间伐或修枝等措施来调节空间结构。更新改造工作一是由于环境变化或原设计方案不妥导致功能和效益不高,应对原设计方案进行修改并重新组织实施。二是系统已完成了一个经营周期,进行林木主伐,对原林地再次提出设计方案,组织实施。

2.2.2 生态设计

在复合经营系统中,遵循生态学原则,运用物种共存、物质循环利用原理,把种植、养殖、加工有机结合起来,实现资源高效利用的设计理论和技术。

生态位设计:

里下河地区林农复合系统的生态位设计包括下列三个方面:

一是空间关系。林农复合系统由二个以上的物种组成,各物种都要占据一定空间,当生态位需求比较相似的物种同存时,常造成竞争。但按照生态位分异理论,没有两个物种会具有完全一致的生态位值,因此,可利用物种对生态位的不同要求使物种共存于同一空间。林农复合系统的空间位设计主要高矮作物的分层配置及根据作物生长季差别进行套复种。林一渔一农系统中的上层为林木,林间种油菜、西瓜等,水面体养鱼及生长水生作物等。

二是营养关系。多物种占据同一生态空间时，在营养吸收上常造成重叠，但物种存在着生态位的容许重叠度。按照生态位重叠原理，当资源供应充足时，重叠不一定会导致竞争。如林木与作物间种时，对光资源的利用处于重叠中，但林木或作物各有其光饱和点，超过的光照量是无实际效用的，因此林木与作物在重叠状态下仍可同步享用光资源。但当超过一定程度时，就必然产生竞争，最终可导致对另一物种的排斥。因此在复合系统设计中，强调喜光与耐荫植物、豆科作物与非豆科植物组合。如池杉和大豆间作时，二者氮来源不同，不存在氮素的竞争，而且大豆还能发挥固氮作用，为林木提供氮源。又如林木与食用菌结合时，均不存在对光照、营养的竞争。

三是潜在生态位资源开发。林农复合经营增益的另一个重要方面是可以充分开拓潜在的生态位资源。如在池杉纯林中，造林初期林冠小，留下大片未被占用的生态空间，幼林只利用了极少部分的环境资源，生产力低。随着林分生长，尽管占据空间越来越大，但仍有很大的潜在生态位资源可以开掘。池杉是落叶乔木，在本地是11月中旬落叶，翌年4月上、中旬展叶，一年中有4~5个月为无叶期，林下光资源十分丰富，水肥资源也没有充分利用，此时用油菜、麦类等越冬作物去占据未能利用的生态位，无疑可增加资源利用率，提高生态位效能。里下河地区林农复合系统就是为了较好利用潜在生态位资源，才设计了林—渔—农、林—农、林—食用菌等复合经营方式。

物种结构设计：

种群组合优化 种群优化组合是建立高效、稳定的复合系统的基础。在水网地区，地下水位高，池杉、落羽杉以其耐湿、速生特性被优先选用，成为林农复合系统的主栽树种。在物种优化组合中，造林初期以林木与蔬菜类最为理想。蔬菜间作于幼林内，频繁的水分管理有利于提高造林成活率和保存率。而芝麻等对肥水竞争力强的间作物则不宜选用。

种群时空结构优化 时空结构主要指物种在环境空间和时序上的组成和分布形式。对池杉造林不同配置方式的试验表明，宽窄行及宽

行距窄株距的配置方式有利于间种年限的延长。当池杉林的林冠垂直投影面与林地面积的比值达 35~40% 以上时, 应把喜光作物改为耐荫作物。

鱼池林带的设置是林—渔复合类型的一个重要设计内容。林带离鱼池太近会影响光照、溶氧及浮游生物的数量和质量, 为消除这些影响, 使鱼池和林带互惠, 经计算分析确定, 当池杉树高 12 米、胸高直径 20 厘米时, 林带北缘距鱼池的距离设计为 5 米, 南缘距离 2 米, 鱼池走向以北偏西 20~30 度为宜。此时池杉已基本成材, 必要时可伐去林分北缘边行, 减轻林冠遮荫, 或根据总体效益决定去留, 林带内部适当疏伐降低密度, 增加透光、通风。

复合系统的垂直分布明显, 5~7 年生池杉和落羽杉林分根系主要分布层为 20~80 厘米, 最深为 180 厘米; 林下间作物的主要根系分布层为 0~20 厘米。可见林农结合的垂直空间结构是合理的, 有利于提高资源利用率。

时序结构可分为年生长期和林分经营周期两种。年生长期是根据作物生长季的差别, 采用一年多熟套、复种, 如兴化采用的池杉—油菜—西瓜—白菜套种方式, 不但收效高, 而且有利于保持地力。林分经营周期可分为两个阶段: 一是造林后至林分郁闭前, 间种喜光作物; 二是林分郁闭后用于培育食用菌或发展养殖业。

物质循环利用:

在复合系统中, 运用食物链的原理实现物质循环利用。如在兴化市的林—渔—农—禽复合系统中, 林下供禽栖息觅食, 排泄粪便, 为林木、间作物或水体中的浮游生物、水生植物提供肥源, 促进供禽、鱼食用后的动植物繁殖; 鱼池中的鱼类排泄物和其他动植物残骸、碎渣经微生物分解, 成为肥沃的塘泥, 是很好的有机肥, 转而促进林木生长; 林木凋落物进入水体、土壤中形成物质循环反复利用。

2.2.3 复合系统中的种群关系

生物物种的多样性是林农复合生态经济系统最主要的特征, 这是最大限度地发挥土地潜在生产力和持续地合理利用环境资源的物质基