



流域农业面源污染防控

关键技术与示范

杜章留 朱昌雄 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

流域农业面源污染防治 关键技术与示范

杜章留 朱昌雄 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是国家水专项课题“流域农业面源污染防控整装技术与农业清洁流域示范”成果的总结,涵盖了我国典型流域(松花江、辽河、海河、巢湖和三峡库区)种植业(水稻、旱地小麦-玉米和蔬菜)、养殖业(生猪、奶牛和家禽)和农村生活(污水和垃圾)三个方面的农业面源污染防控关键技术,并进一步提炼了绿色技术的“明白纸”,以便于推广与实施,本书还介绍了元疃清洁小流域示范工程建设情况。最后提出了流域农业面源污染防控展望与建议。

本书可供农业面源污染、清洁生产、环境科学、流域管理等领域相关科技人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

流域农业面源污染防控关键技术与示范 / 杜章留, 朱昌雄编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2022. 2
ISBN 978-7-5226-0508-1

I. ①流… II. ①杜… ②朱… III. ①流域—农业污染源—面源污染—污染防治—研究—德阳 IV. ①X501

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第031823号

书 名	流域农业面源污染防控关键技术与示范 LIUYU NONGYE MIANYUAN WURAN FANGKONG GUANJIAN JISHU YU SHIFAN
作 者	杜章留 朱昌雄 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 10印张 243千字
版 次	2022年2月第1版 2022年2月第1次印刷
印 数	001—200册
定 价	60.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

编写人员

主 编：杜章留 朱昌雄

副主编：（按姓氏笔画排序）

王金强 张庆忠 张爱平 顾金刚

参 编：（按姓氏笔画排序）

丁仕奇	于占龙	毛 欢	王一丁	王玉峰	王 芊
王丽君	王 潇	尹龙泉	计婉玲	江丽华	申 渝
卢祺祯	孙 文	齐相高	刘 翀	刘冬碧	汤 婕
陈天河	李仁杰	李学德	李世贵	李昊儒	李贵春
范先鹏	谷学佳	杨 岩	郑利杰	周明月	尚洪磊
郝卫平	侯志研	娄翼来	段晓洋	徐汝民	徐 钰
钱 玲	夏训峰	耿 兵	高懋芳	高馨婷	郭清华
黄宏坤	龚明波	崔伟伟	鲁 宁	董 智	韩永伟
熊向艳					

前言

农业面源污染是我国地表水环境污染物质的重要来源，根据2020年我国第二次污染源普查公报显示，2017年我国农业领域中的污染排放量与第一次污染普查（2007发布）相比呈明显下降趋势，但农业源污染物的占比仍然很高。一方面，我国粮食安全底线不能放松，粮食供求处于紧平衡状态；另一方面，水体污染形势依然严峻，给生态环境安全带来了巨大挑战。如何协调农业生产与农业面源污染防治之间的矛盾，制定两者兼顾的科学方案，是亟须解决的重大命题。此外农业面源污染物来自生产生活的过程中。因此，我国农业面源污染防治不仅需坚持农民主体，考虑到农民的自身素质、利益诉求和接受程度，以及农村的经济发展水平，而且要充分尊重农民自主选择适用技术意愿，研发集成“多挣钱、少费工、不复杂”的农业农村生产生活技术，来满足水生态环境综合治理的现实需要。

“重点突破面源污染控制关键技术”和“完善流域水体污染治理技术”是国家水专项“十二五”总体目标的重要内容，研究主题也把“建立我国浅水湖泊水污染防治与富营养化控制的技术体系”作为目标之一。“十二五”课题中，国家水体污染控制与治理科技重大专项（以下简称“水专项”）专门设计了农业面源污染防治的共性课题“流域农业面源污染防治整装技术与农业清洁流域示范”（2015ZX07103-007）。本书是该课题的研究成果，主要针对第一次全国污染源普查反映的农业面源污染突出、农业面源污染控制总体方案缺乏等问题，以巢湖为主要研究对象，兼顾松花江、辽河、海河、三峡库区等典型流域，对农业生产各环节生产技术进行系统集成，最终形成了包括种植业、养殖业和农村生活相关的农业面源污染防治关键技术。同时，为进一步展示技术效果，在巢湖流域元疃河建设农业面源污染防治整装技术，打造农业清洁流域示范样板。以此支撑流域面源污染总体防控，为流域水质的根本改善提供参考案例和技术支撑。

感谢国家科技重大专项“水体污染控制与治理”项目对本课题和图书出版的资助。中国水利水电出版社的谢惠岭女士在校对和审定方面做了大量工作，在此对她们的付出表示衷心的感谢！

编者

2021年10月

目录

前言

第 1 章 我国农业面源污染现状分析	1
1.1 我国农业面源污染现状	1
1.2 农业面源污染问题解析	4
第 2 章 典型流域种植业农业面源污染防治关键技术	5
2.1 水稻清洁种植集成技术	5
2.2 旱地小麦-玉米清洁种植集成技术	10
2.3 蔬菜清洁种植集成技术	15
第 3 章 典型流域养殖业农业面源污染防治关键技术	22
3.1 生猪清洁养殖集成技术	22
3.2 奶牛清洁养殖集成技术	37
3.3 家禽清洁养殖集成技术	43
第 4 章 典型流域农村生活面源污染控制整装技术	51
4.1 农村生活污水控制整装技术	51
4.2 农村生活垃圾控制整装技术	55
第 5 章 典型流域农业面源污染防治技术明白纸	58
5.1 种植业面源污染防治技术明白纸	59
5.2 养殖业面源污染防治技术明白纸	89
5.3 农村生活污染防治技术明白纸	99
第 6 章 巢湖流域农业清洁小流域示范工程	115
6.1 清洁小流域区域农业面源污染负荷评估	115
6.2 元疃河小流域农业面源污染控制	118
6.3 前置库生态修复系统的优化构建与配置示范	132
6.4 养殖污染控制与废弃物资源化示范	141
6.5 种养结合养分管理与减排技术与示范	144

第 7 章 流域农业面源污染防控展望与建议	150
7.1 加强技术集成创新,推动农业清洁流域构建	150
7.2 推行“最佳管理措施+负面清单”制	150
7.3 拓宽资金渠道,加大资金投入	151
7.4 发挥政府主体责任,加强管理保障	151
参考文献	152

第 1 章

我国农业面源污染现状分析

1.1 我国农业面源污染现状

目前，农业面源污染已经成为全球性环境污染问题，也是我国水体污染的主要原因之一。据 2010 年发布的第一次全国污染源普查的结果表明（国家统计局，2010），农业来源的化学需氧量（Chemical Oxygen Demand, COD）、总氮（TN）和总磷（TP）的贡献占到总污染物的一半左右（分别为 44%、57%和 67%），与工业源相当。据生态环境部 2020 年 6 月发布的《第二次全国污染源普查公报》的数据显示（中华人民共和国生态环境部，2020），我国农业领域中的污染排放量与第一次污染普查相比呈明显下降趋势，其中 COD、TN、TP 排放量分别下降了 19%、48%、26%。但农业源污染物所占比仍然很高，农业面源的 COD、TN 和 TP 排放量分别约占到全国排放量的 50%、47%和 67%。种植业与畜禽养殖的贡献占到农业源的 90%以上，从总氮的排放来看，种植业与养殖业各半；总磷与氨氮的排放量种植业与养殖业比值分别为 1 : 1.3 与 1 : 1.6。与工业和城镇生活污染治理相比，农业面源污染负荷的削减幅度较小、速度较为缓慢，与第一次污染普查相比对水体的污染贡献率不降反升。据（展晓莹等，2020）分析认为，农业源占比如此之高，与中国传统种养殖业和农村“高投入、高消耗、高排放、低效益”的粗放型发展模式紧密相关。

根据 2018 年《中国生态环境公报》显示（中华人民共和国生态环境部，2019），我国七大江河水系均受到不同程度的污染，其中，西北诸河和西南诸河水质为优，长江流域、珠江流域和浙闽片河流水质良好，黄河流域、松花江流域和淮河流域为轻度污染，海河流域和辽河流域为中度污染。在七大流域和浙闽片河流、西北诸河、西南诸河的 1613 个国控断面中，I 类水质断面仅占 5.0%，II 类水质断面占 43.0%，III 类以下水质断面占 25.7%。其中，主要污染指标为氨氮、化学需氧量（COD）、五日生化需氧量、高锰酸盐指数和总磷。在全国 111 个重点湖泊（水库）中，处于 III 类水质以下水质湖泊 37 个，其中巢湖、太湖和滇池分别为 V 类水、IV 类水和 IV 类水，其污染指标为总磷、化学需氧量和高锰酸盐指数。监测营养状态的 107 个湖泊（水库）中，轻中度富营养状态的有 31 个，占 29.0%，其中太湖、巢湖和滇池均为轻度富营养状态。然而引起水体富营养化的原因，

很大程度上是与农业面源污染相关。值得指出的是,巢湖整体为中度污染,主要污染指标为总磷。监测的8个水质点位中,Ⅳ类占50.0%,Ⅴ类占50.0%,无Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类和劣Ⅴ类。与2017年相比,Ⅳ类水质点位比例上升12.5%,Ⅴ类下降12.5%,其他类均持平。全湖平均为轻度富营养状态。因此,巢湖水污染治理工作仍然任重而道远。

1.1.1 种植业面源污染现状

自20世纪50年代绿色革命爆发之后,无机肥料、有机肥料和农药的投入迅速增加,成为全球和中国获得作物的高产量和间接提高畜牧生产的主要手段。然而,在获得高产出的同时,也付出了巨大的资源环境代价,如化肥农药过度投入、畜禽与农村生活粪污大量排放等,对农业生态系统和农村环境造成严重破坏,其中,农业面源污染问题尤为突出(杨林章与吴永红,2018)。据报道,全球每年用于粮食生产的1.2亿t氮中,只有10%被人类直接消费,大部分未使用的氮则被分散到广泛的环境中,最终汇入地表水体,成为主要的面源污染源(Gutiérrez,2012)。全球范围内,养分利用效率普遍低下,导致农田径流中TN、TP排放量大幅度增加。据我国农业农村部的一项调查显示,稻田的氮素利用率为30%~35%,而磷的利用率则仅为10%~20%(Zhou等,2014)。因此,农田中这些尚未被吸收利用的养分被排入到水体,成为农业面源污染的主要来源。

近年来,国内外开展了大量有关农业面源污染防控的研究,研发了诸多行之有效的污染控制技术。在治理农业面源污染的多年实践中,根据面源污染形成和发展,杨林章等在2013年提出了农业面源污染控制工程的“减源(Reduce)—拦截(Retain)—修复(Restoration)”(3R)策略与实践方案,即在农业面源污染控制工程建设过程中,以实现农业环境保护、农业经济可持续发展与农村人居环境和谐发展为目标,从污染物产生的源头开展污染物的减量化工程(减源),在污染物迁移过程中开展污染物的拦截与阻断工程(拦截),并对面源污染物进行深度的处理与再净化,在此基础上对农业生态系统进行环保修复(修复),实现农业生态系统自我修复功能的提高和系统的稳态转换。在此基础上,“3R”又进一步补充了“养分再利用(Reuse)”,丰富为“4R”,形成了包括源头减量、过程阻断、养分再利用和生态修复防控面源污染的综合策略。迄今为止,针对上述各农业面源污染防控四个过程的技术研究颇多,技术储备也相当丰厚,相应的工程运行也取得一定成效(杨林章与吴永红,2018)。

1.1.2 畜禽养殖业面源污染现状

目前我国畜禽养殖业正逐步向集约化、专业化方向发展,如何在确保畜禽养殖规模的前提下,加快推进污染防控、种养结合,实现粪污资源的有效利用是当前和未来一定时期内保障我国畜禽养殖业可持续发展亟须解决的重大现实问题。畜禽粪便流失已经成为污染的主要原因,我国规模养殖中有2/3仍缺乏防污设施,每年产生的约38亿t畜禽粪便中,处理率不到50%,其中总量的1/4进入水体(Wang与Zhang,2016)。实际上,集约化畜禽养殖场产生的废弃物实质与农户散养的畜禽生产的粪便一样是一种资源,但目前我国还没有很好地加以利用,以至于“资源”变成了农业污染的“罪魁祸首”(杨林章与吴永红,2018)。研究表明,我国农业化肥中氮的流失率一般为8%~20%,磷的流失率约为5%,畜禽粪便中氮、磷的流失率分别为化肥中氮、磷流失率的122%和132%,畜禽粪便进入水体的流失率高达25%~30%(张维理等,2004)。由于我国在过去很长一段时间只重视

养殖生产，忽视畜禽粪污的综合治理，使畜禽粪污对环境的污染逐年加重，日益威胁水体的安全。因此，加强对畜禽养殖污染的治理迫在眉睫。

最近，李红娜等（2020）系统分析了我国畜禽养殖污染防治主要瓶颈问题，总结为以下几个方面：①顶层设计不足导致种养失衡、粪污资源化利用难度大；②成套技术少且技术研发与应用难以统一；③养殖粪污资源化存在亟待突破的技术难点；④养殖污染防治监管难度较大。针对我国畜禽养殖业种养失衡、成套技术少以及排放特异性污染物等问题，在“十二五”和“十三五”期间国家水专项从技术研发、成套技术集成、管理机制等方面开展系统研究，产出了系列研究成果。经过10多年的研究，国家水专项产出了一批技术成果，对养殖污染治理发挥了较大的作用。但由于我国畜禽养殖规模基数大、分散养殖比例高、基础设施及管理机制较为薄弱，因此，畜禽养殖污染防治的瓶颈问题仍然没有完全解决，需要持续深入开展相关研究，特别是开展畜禽养殖发展规划顶层设计，推进标准化、规范化的种养结合技术模式及建立第三方社会化服务组织等。李红娜等（2020）又进一步提出了如何继续深入开展畜禽养殖污染防治的对策建议：①通过法律制度和分类施策管控养殖污染；②强化畜禽粪污高效收集转化与利用技术体系创建；③推进标准化规范化的种养结合技术模式研究；④强化第三方社会化服务组织的培育及加强政策支持。

1.1.3 农村生活面源污染现状

目前，我国农村生活垃圾和污水数量巨大，由于农村地区公共环境卫生设施严重不足，部分农民缺乏环保意识，特别是塑料袋、农药化肥包装物、腐烂蔬菜水果、病死家禽牲畜等有害垃圾随意堆放，导致严重的面源污染，加剧了农村生态环境的恶化。随着农村经济的发展和生活水平的提高，我国农村生活面源污染问题日益严峻。2018年，在全国生态环境保护大会上，国家主席习近平指出农村水污染问题综合治理已成为我国美丽乡村建设的重要部分，同时也是改善农村人居环境的重要内容。同时，中共中央办公厅、国务院办公厅联合发布的《农村人居环境整治三年行动方案》提出，到2020年，农村生活污水治理率明显提高，实现农村人居环境的明显改善。近年来，随着农村居民生活水平的提高，农村生活污水污染和控制问题日益凸显。据统计，农村地区水污染排放总量占全国污水排放总量的50%以上，且与我国城市污水处理率（95%）相比，农村生活污水治理率仅为22%（宋大刚等，2021）。可见，农村生活污水处理已成为制约“美丽乡村”建设、农村人居环境综合整治的重要因素之一。

我国农村居民生活污染的主要来源为生活污水的直排和固体废弃物的随意丢弃，其中厕所固液粪便称为“黑水”，洗澡与厨房生活污水称为“灰水”。从我国目前实际的污水处理能力来看，城市与农村地区污水处理水平差别巨大。住房和城乡建设部在2004年开展的《村庄人居环境现状与问题》调查报告显示，我国当时有96%的村庄没有排水渠道和污水处理系统，但近年来的形势有所改观，根据农业农村部的统计，全国“十三五”末已经有90%的村庄开展了清洁行动，卫生厕所普及率达到60%，但是生活垃圾收运处置体系覆盖84%的行政村，水环境问题依然突出（李裕元等，2021）。据于法稳等（2018）测算，2016年我国农村生活用水量为139.18亿 m^3 ，其中，东部地区占64.4%，中部地区占35.9%，西部地区占38.7%。由此产生的农村生活污水排放量为55.67亿~125.26亿 m^3 。相应地，东部地区农村生活污水排放量为25.74亿~57.92亿 m^3 ，中部地区农村生

活污水排放量为 14.37 亿~32.34 亿 m^3 ，西部地区农村生活污水排放量为 15.47 亿~34.80 亿 m^3 。同时，于法稳等（2018）也匡算了 2016 年农村生活垃圾量为 23950.81 万 t；其中，东部地区为 8004.82 万 t，中部地区为 7467.71 万 t，西部地区为 7118.70 万 t，东北地区为 1423.01 万 t。张富林等（2017）采用系数法对湖北省农村生活面源污染产生和排放现状进行分析，结果表明湖北省在 2012 年农村生活源生活污水、垃圾、有机垃圾、COD、总氮、总磷、氨氮的年平均产生量分别 36996 万 t、237 万 t、63 万 t、364910t、28202t、3866t、11818t。最近，李裕元等（2021）提出适合于我国农村地区的农村水体面源污染防治实施路径，具体可概括为：①坚持以小流域或集水区为基本单元开展综合防控措施的总体布局；②坚持应用以低成本、无动力和生态化为主的农村污染治理技术；③坚持农村污染物资源循环利用和强化工程后续管理的运行维护模式。

1.2 农业面源污染问题解析

文献分析表明，农业面源污染已经成为我国地表水体污染的重要来源，严重影响我国水生生态环境安全，威胁着我国的饮用水安全，最终威胁我国农业的可持续发展和粮食安全，给我国社会、经济发展带来诸多不利影响。因此，迫切需要转变思路：在现有防控策略的基础上，进一步深化基础研究，探索新的防控方向，进一步强化污染防治的技术集成与区域联控，提升生态服务功能，进一步加强技术的设备化和装备化，打好面源污染治理的攻坚战，为我国农业的可持续发展和生态环境的改善提供技术支持（杨林章与吴永红，2018）。

近年来，我国在农村面源污染治理方面成绩斐然，但是也还有很长的路要走，尚需社会各界的共同努力。在过去 10 年间，我国农业面源污染治理虽取得一定成效，但展晓莹等（2020）认为，农业主要依靠资源消耗的粗放经营方式这个现象没有根本改变，农业面源污染和生态退化的趋势尚未得到有效遏制，绿色优质农产品和生态产品供给还不能满足人民群众日益增长的需求，因此，农业面源污染治理亟待转变治理思路，剖析新的问题，探索新的路子。结合国家农业绿色发展的重大需求，他们提出以“生态循环、流域统筹”为核心的农业面源污染治理思路，以“种养结合、产业链循环”为核心的污染治理实现路径，和以“农民和农业企业为主力军”的多元主体治理及运维机制。通过实例，初步验证了该模式的可行性。

第 2 章

典型流域种植业农业面源污染防治关键技术

针对我国农业、农村和农民的现状，应坚持以农业生产者为农业面源污染防治的主体，本书选取了松花江、辽河、海河、巢湖和三峡库区等典型流域，对种植业农业面源污染防治技术进行筛选并集成，基于源头削减、过程拦截和末端循环的流域农业面源污染防治总体思路，形成了流域种植业农业面源污染防治关键技术，主要包括水稻清洁种植技术、旱地小麦—玉米清洁种植集成技术和蔬菜清洁种植集成技术。本章主要介绍了相关技术的基本原理、工艺流程、技术创新点、主要技术经济指标、应用案例、适用范围等。

2.1 水稻清洁种植集成技术

技术一：松花江流域水稻水肥耦合优化管理整装技术

适用范围：东北单季水稻种植

主要技术指标和参数如下。

1. 基本原理

针对松花江流域水田种植面积大、肥药施用量不断增加，肥药利用率不高、水肥耦合能力差等问题而造成的农田面源污染日益严重的现象，采取水稻水肥耦合优化管理整装技术，以氮、磷、水等养分精量使用控污为核心，改善农业生产模式和技术，减少农用化学品的投入或替代以环境友好型的农业生产资料，适量节水灌溉，优化耕作技术，减少农业源污染物的产生和排放。目前这种技术已得到应用。

2. 工艺流程

松花江流域水稻水肥耦合优化管理整装技术工艺流程如图 2-1 所示。

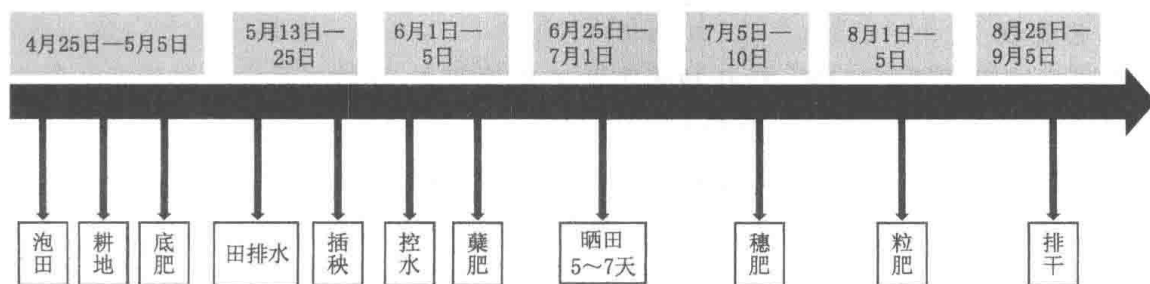


图 2-1 工艺流程图

育苗（4月25日左右）：在使用时把肥沃、无农药残留的旱田土和腐熟的猪粪按7:3比例混合堆制，或用旱田土、腐熟草炭和猪粪按4:4:2比例混合堆制，播种前过68mm孔径筛后使用。把充分混合过筛的营养土与水稻苗床调理剂充分混拌后使用。

本田整地（4月底）：翻耕时期尽量选在秋季，翻地深度为15~20cm，翻地时要掌握土壤适耕水分，土壤含水量一般为田间持水量的25%~30%时进行，确保翻地质量。在早整地的基础上，于插秧前10天以上灌水泡田，用打浆整地机，要求耙平、耙匀、耙透，达到地面高差不过寸，寸水不露泥。水稻整个生育期氮肥（N）用量120~150kg/hm²，磷肥用量45~75kg/hm²，钾肥（K₂O）用量60~75kg/hm²。40%氮肥、全部磷肥及60%钾肥作为基肥。随插秧机施入，基肥选择水稻专用肥，宜使用水稻专用缓释肥，要求肥料颗粒均匀、硬度高。

收获：黄熟末期适时收货，边收获边脱粒。

3. 技术创新点及主要技术经济指标

松花江流域水稻种植主要污染风险期为泡田排水时期，占整个生育期的50%~70%。对于基肥的施用，应通过测土配方施肥、改进施肥方式、减少肥料施用量和节水灌溉等措施控制氮磷污染。

采用水稻种植面源污染控制技术能够增加水稻产量，但差异不显著，对水稻品质也没有明显影响。采用水稻种植面源污染控制技术能够增加经济效益2205元/hm²。

4. 应用案例

本技术在黑龙江省方正县技术推广中心的大力协助下，得以大面积应用，3年累计推广20万亩以上，同时加强技术培训和示范，让农民摒弃大水大肥的种植习惯，建议推广机械化种植，以合作社的名义或提高补贴力度购买大型机械30%。秸秆还田补贴1500元/hm²。

技术二：松花江流域水稻施肥插秧一体化技术

适用范围：松花江流域的稻田

主要技术指标和参数如下。

1. 基本原理

针对松花江流域水田种植面积大、肥药用量不断增加，肥药利用率低、水肥耦合能力差等问题，以氮、磷、水等养分精量使用控污为核心，探索将新型肥料、施肥技术、水分管理和机具等要素相结合的节能减排新型稻作模式，开展稻田清洁生产技术集成示范。用专用机械在插秧的同时将缓控释肥料一次性集中施于秧苗一侧3~5cm处，深度5cm，从而构建一个贮肥库，逐渐释放养分供给水稻生育的需求，不需追肥，提高了肥料利用率。

2. 工艺流程

松花江流域水稻施肥插秧一体化技术工艺流程如图2-2所示。

3. 技术创新点及主要技术经济指标

采用施肥插秧一体化技术总氮减排5~6kg/hm²，总磷减排1~2kg/hm²。施基肥后7天排水，常规种植每公顷流失氮8~10kg，施肥插秧一体化每公顷流失氮2~4kg（按泡田排水量750m³/hm²）。常规种植每公顷流失磷1~2kg，施肥插秧一体化每公顷流失磷0.05~0.1kg（按泡田排水量750m³/hm²）。

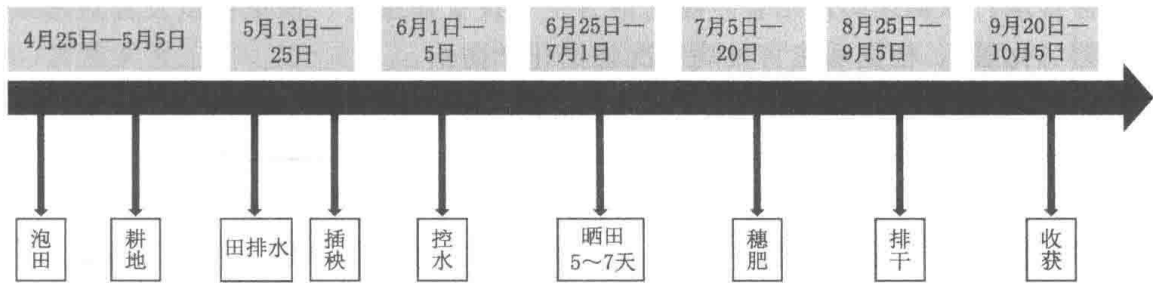


图 2-2 工艺流程图

常规种植流程：翻地—基肥—灌水—耙地—退水—插秧—追肥—追肥—收获施肥插秧；一体化技术流程：翻地—灌水—耙地—退水—插秧施肥—收获施肥插秧；一体化技术改变施肥方式，减少施肥量，节省人工但机械成本有所增加，综合经济效益增加 2400 元/hm²。

4. 应用案例

水稻施肥插秧一体化技术可降低肥料损失。氮肥具有较强的移动性，并且肥料在水中极易溶解，可随着水分蒸发而损失。而该技术能有效防止肥料损失，提高土壤对氨态氮的吸附，又能减少氮磷随水分流失，从而增加肥料利用效率。由于施肥插秧一体化技术是将肥料深埋于土壤中，又与插秧同时施肥，降低肥料流失，减少对地表水污染。本技术在黑龙江省方正县、嫩江县、兴凯湖农场进行了推广，得到了农户的广泛认可。

技术三：辽河流域单季水稻施肥插秧一体化技术

适用范围：全国范围内适于机械作业的稻田

主要技术指标和参数如下。

1. 基本原理

单季水稻施肥插秧一体化技术贯彻农业生产整体预防的环境战略，改善农业生产模式和技术，减少化肥投入，提倡施用缓释肥料，优化耕作技术，减少氮磷污染物的产生和排放。采用专用机械在插秧同时将缓控释肥料一次性集中施于秧苗一侧 3~5cm 处，深度 5cm，构建贮肥库以逐渐释放养分供给水稻生长。增施生物菌肥技术，有助于改善土壤环境，增加产量和改善稻谷品质。利用菌肥或微生物活化剂有助于改善作物生长条件，促进作物对养分的吸收和利用，分泌激素刺激作物根系发育，抑制有害微生物的活动；在生长关键节点如分蘖期、灌浆期等视水稻生长情况确定是否追肥和追肥量。

2. 工艺流程

春整地（4 月 20 日左右）：机械翻耕，深度 7cm 左右。整地前施用生物菌肥，用量为 15kg/亩，用除草剂除杂草。

插秧：每年五月中旬，插秧密度为 7.5 万株/hm²。插秧方式选择插秧施肥一体化技术。缓控释肥料用量为 30kg/亩。

放蟹：5 月下旬放入 6000 只/hm²中华绒螯蟹（每只约 20g）。此后，每 2 周投放 1 次螃蟹饲料，每次约 1.5kg。在小区四周设置高 30cm 的塑料布围栏，防止螃蟹爬出。

施肥：分蘖期追施肥（撒施，津大分蘖肥 20kg/亩）

灌溉：整个生育期灌水 14~15 次，每次灌水量 5cm 左右。

虫草害管理：以物理防治结合生物防治为主（设置捕虫灯、捕虫器以及释放稻螟赤眼蜂防治水稻二化螟），根据病虫害发病情况辅助化学防治。

收获：10月上旬，收获螃蟹后，采用机械收割，收割时秸秆粉碎还田。

3. 技术创新点及主要技术经济指标

整装后技术就绪度高便于被农业生产者采纳，有效提升环境效益与经济效益。在氮肥投入减少26%的情况下，产量增加12%。由于侧深施肥技术在根际周围缓慢释放养分，减少了氮磷被排放到水体的风险，氮素减排幅度高达30%，有效降低农业面源污染。尽管肥料成本有所增加，但总体效益每亩地增加收入约200元。

4. 应用案例

稻田增施生物菌肥、测深施肥、秸秆粉碎还田、生物物理防治病虫害以及稻田养殖等单项技术在全国范围内均有所推广，但相关技术缺乏整合推广。本书于2017年在辽宁盘锦鼎翔米业幸福农场开展整装技术应用。试验结果显示，该技术可在氮肥投入减少26%条件下，产量增加12%，每亩增加约200元净收入。2018年，该整装技术在鼎翔米业公司农场推广1000亩，辐射周边1万余亩，受到当地农民普遍好评。

技术四：巢湖流域稻麦轮作-水稻季炭基肥施用整装技术

适用范围：巢湖及江淮流域

主要技术指标和参数如下。

1. 基本原理

巢湖流域稻麦轮作-水稻季炭基肥施用整装技术是利用炭基高值肥，增加土壤有机碳含量，快速改善土壤物理结构，通过快速熟化创造有利于植物健康生长的土壤环境，促进作物生长。在水稻分蘖期，施用炭基肥有助于降低对稻田水中总氮和总磷损失，减排幅度分别为69.5%和52.1%。在水稻生长的其他阶段，相对常规施肥，炭基肥处理氮磷含量处于较低水平。在保证水稻产量前提下，炭基肥较常规施肥氮磷减排分别为23.5%和33.3%。在水稻分蘖到抽穗期，与常规施肥相比炭基高值肥处理区CO₂排放通量增高，在水稻抽穗到成熟期N₂O排放通量增高是本技术主要的环境风险。

2. 工艺流程

育秧（5月中旬）：机械化集中育秧，包括钵体育秧盘和毯状育秧盘育秧。插秧（每年5月下旬）：插秧密度，每亩大田播种量杂交稻2kg，常规粳稻4~5kg。炭基肥：45%（22-8-15），施肥量为50kg/亩，基施；46%活性增效尿素6kg/亩做炒口肥，穗肥追施6kg氯化钾。

3. 技术创新点及主要技术经济指标

水稻产量：常规施肥为7581kg/hm²，炭基肥下产量为7209kg/hm²，两者无显著差异。

成本分析：常规施肥（包括肥料、种子、人工）成本为520元/亩；炭基肥（包括肥料、种子、人工）成本为800元/亩。

收益分析：以安徽水稻收购价2.6元/kg计算，常规施肥和炭基肥的理论收益分别为1170元/亩和1250元/亩。

投入产出比：常规施肥比值为2.25:1，炭基肥比值为1.56:1，较常规施肥减少

了 30.5%。

4. 应用案例

本技术基于巢湖流域农业生产特征和面源污染特点进行研发,适合在粮食作物体系(特别是稻麦轮作)中应用,已在庐江县开展了技术推广应用,效果良好。在巢湖流域稻—麦轮作制度下,在保证产量前提下,集成筛选出稻季炭基高值肥优化施肥处理技术,该技术对污染物有较好的减排效果,可有效降低农业面源污染。在减量施肥的情况下,水稻产量不减少。常规施肥投入产出比为 2.25,炭基肥投入产出比为 1.56,较常规施肥减少了 30.5%。该技术在巢湖流域具有广泛应用前景。

技术五:三峡地区稻油轮作模式节水扩容技术

适用范围:适合所有稻区使用,对于灌溉方便的地区更易推广

主要技术指标和参数如下。

1. 基本原理

水稻生产中普遍存在大水泡田、深水施肥现象,这些粗放式管理会造成水稻在栽植前(直播、人工抛秧或机插秧)人为排掉大量富含养分的泡田水,进而引起严重的面源污染。另外,不同水稻生育阶段均采用大水灌溉方式,既不利于发挥稻田自身蓄水功能,又可能增加稻田氮磷面源污染发生的风险。节水泡田技术可使水稻栽插前,不发生或者尽可能少发生人为排放泡田水的情况,整个水稻生育期采用节水灌溉,可增加稻田蓄水容量,通过节水扩容技术不仅可提高水资源利用效率,也可降低稻田氮磷面源污染程度。

2. 工艺流程

(1) 规范田埂及排水口。田埂要高于田面 15~20cm,不漏水漏肥,不易垮塌。田埂排水口应操控方便、高度可控,保证田间蓄水面高于田面 10cm 以上。

(2) 节水泡田。根据水稻不同栽植方式对水分、土壤渗漏、蒸发、降雨量、泡田天数等因素的需求决定泡田灌水量(泡田定额),直播、人工抛秧和机插秧水稻要控制泡田水层厚度不超过 3cm。

(3) 不同生育阶段的灌溉方式。在分蘖前,直播水稻采用湿润灌溉的方式灌水,移栽水稻采用浅水间歇灌溉的方式;在分蘖期,实行浅水间歇灌溉;在晒田期,当分蘖数达到要求时,自然落干晒田;在孕穗和灌浆期,实行浅水勤灌;在成熟期,实行浅水间歇灌溉。

3. 技术创新点及主要技术经济指标

系统规范了水稻泡田的参数和不同生育阶段的灌溉方式。

4. 应用案例

安陆市农业局在安陆市洑水镇车站村对该技术进行了推广应用,推广周期为 1 年,面积 300 亩。技术效果表明,与管水相比,节水扩容技术能使机插秧水稻稻田氮、磷流失量分别降低 62.4% 和 81.3%,能使稻油轮作农田氮、磷流失量分别降低 49.9% 和 72.2%。

技术六:三峡地区稻油轮作模式减肥秸秆全量还田技术

适用范围:适合南方地形平缓的地区使用

主要技术指标和参数如下。