

中国稻田生态系统

Rice Field Ecosystem in China

徐琪 杨林章 董元华等 著

中国农业出版社



中国稻田生态系统

Rice Field Ecosystem in China

徐 琪 杨林章 董元华等 著

中国农业出版社

中国稻田生态系统

Rice Field Ecosystem in China

徐 琪 杨林章 董元华等 著

* * *

责任编辑 毛志强

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路 2 号 100026)

新华书店北京发行所发行 **北京科技印刷厂** 印刷

787mm×1092mm 16 开本 17.25 印张 390 千字

1998 年 3 月第 1 版 1998 年 3 月北京第 1 次印刷

印数 1~1 000 册 定价 66.00 元

ISBN 7-109-04981-7/S·3116

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

序

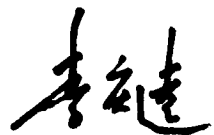
生态学是一门综合性学科，作为生态学分支的土壤生态学，其过程的核心是物质循环与能量转递，两者是相辅相成的。土壤生态学的研究不仅仅局限于土壤学，也涉及生物学、地学与环境科学等学科，以及人为活动等方面。从生态系统方法论的观点来说，土壤生态系统是把生物、土壤与环境视为一个密切联系的整体。生态学者明确提出，能流、物流与信息流是生物、土壤与环境间相互沟通、相互促进、相互制约以及相互依赖的无形纽带。定量地研究能流、物流的去向与速率，可以揭示客观存在现象中的本质与机理，造福人类。目前从整体上研究物流和能流所遵循的途径有二，其一是偏重于研究实体，忽略内在的过程与机理，依照“环境—实体—环境”的原则，只把握表观上的输入与输出；其二是运用现代科学技术手段与自动定位监测，探索能流、物流与信息流过程的内涵与机理，以便对土壤生态系统进行人为的调控。

稻田生态系统属于人工湿地系统，也是农业生态学的分支。其实体过程与稳态机制是营养物质循环与能量转递。这也是维系该系统生产力与持续发展的决定因素，对生物圈的化学与物理环境也产生重大的影响。

目前我国正处于传统农业向现代化集约农业转变过程中，稻田生态系统的视野增大，有效养分流与养分有效化过程加强，而养分保蓄的生物学机制则不断削弱。在社会经济的刺激与制约下，致使稻田生态系统的养分平衡失调，而养分的流失则加剧。在稻田养分超常消耗的同时，养分在局部环境中又不断富集，成为公害。现代农业中养分在系统内再循环的比率下降，增强了对系统外部投入的依赖性，这种现象在稻田生态系统中更为突出。

因此，为了我国农业的可持续发展，稳定以水稻生产为主的粮食生产，对稻田生态系统的特点进行初步剖析并提出调控途径与对策是十分必要的。

本书是作者稻田生态系统多年研究成果的汇集，对稻田生态系统的生产力、水分管理、养分循环与环境、稻田复合生态系统及其研究方法等方面进行了系统的阐述，具有科学意义和实用意义。是从事稻田生态系统研究的科技人员的一部不可多得的参考书。



1996年10月

前 言

目前人类面临着生态退化与环境污染的双重压力，同时，粮食与人口的矛盾亦日益突出。生态学作为一门学科受到人们的空前关注，作为生态学分支的农业生态学研究尤感迫切。

我国是稻谷主产国之一，稻田面积占耕地总面积的四分之一左右，但稻谷产量却占粮食年总产的五分之二以上。可见，稻田生态系统作为农业生态系统的一环在农业持续发展中所占有的地位。

据对出土文物中稻谷的鉴定，我国栽培水稻已有五六千年的历史，在长期的辟田种稻过程中创立了一整套适于不同地区而又能用地养地的耕作、轮作制度，使地力越种越肥，产量越来越高。这种用养相结合的营养物质循环特点及经验对我国农业持续发展尤其珍贵。

随着科学技术的进步与经济的不断发展，人们对农副产品的要求越来越高，不仅要求稻田有高的产出，而且要有高的质量与高的效益。所以，以优化耕作制度为核心与种养加紧密联系的稻田生态系统的研究，便不断吸引着科技工作者与广大农民的关注。

稻田生态系统是农业生态系统的一个组成部分，由作物、土壤与水系统构成一个完整的系统，无论在养分输入输出、能量在各分室间的转递方面，还是在作物轮套作与种养加相结合方面均有其特色。同时稻田抗逆能力强，生产潜力大，这对实现“两高一优”的农业生产具有不可替代的有利条件。

水稻土作为一类人工土壤而言，在本世纪40年代已经明确，著作甚多。但稻田生态系统方面的研究则刚刚起步，这本著作是在水稻土生态系统研究方面的一次尝试，也是土壤生态室诸同事及有志于此的同事们共同努力的结果，现整理问世以期抛砖引玉，促进这方面的研究工作。但由于著者水平有限，错误之处在所难免，恳请同行们指教。

本书是所有作者共同努力的结果，其撰写分工如下：

第一章由徐琪撰写。第二、三、四章由董元华撰写。第五章由徐华撰写。第六章由杨林章撰写。第七章由徐琪、董元华撰写。第八章由颜廷梅撰写。第九章由王德建撰写。第十章由杨林章、李运东撰写。第十一章由张佳宝、赵诚斋

撰写。第十二章由颜廷梅撰写。第十三章由翟玉顺撰写。第十四章由徐琪撰写。第十五章由徐琪、陆彦椿、蔡祖聪撰写。第十六章由徐琪撰写。第十七章由杨林章、李运东、徐华和董元华撰写。最后由徐琪、杨林章、董元华终审定稿。插图由我所绘图室谢佩珠、黄翠琴等清绘。

作 者

1996年10月于南京

目 录

序

前言

第一章 稻田生态系统的研究现状与进展	1
第一节 稻田生态系统的概念与特点	1
第二节 稻田生态系统研究进展	4
第三节 稻田生态系统在农业生产中的地位	7
参考文献	8
第二章 作物与稻田生态系统物质循环	9
第一节 作物的生产力	9
第二节 作物收获移出量与自然归还量	12
第三节 作物中养分的生物贮量	15
第四节 作物收获带走的养分量	19
第五节 作物自然归还残留养分量	21
第六节 作物自土壤中吸收的养分量	23
第七节 太湖地区几种轮作系统养分平衡状况	24
参考文献	28
第三章 不同生物气候带作物生产力与物质循环	29
第一节 不同地带气候要素差异与耕作轮作制	29
第二节 不同地带稻田生产力	35
第三节 不同地带土壤基础肥力与生产潜力	40
第四节 不同地带养分循环特征	44
参考文献	47
第四章 稻田生态系统碳素生物循环	50
第一节 稻田生态系统碳素生物循环的重要性	50
第二节 碳素自大气流向作物	51
第三节 碳素自作物流向土壤	54
第四节 土壤向大气排放 CO ₂	56
第五节 土壤向大气排放 CH ₄	61
第六节 稻田生态系统碳素循环与平衡	65
参考文献	70
第五章 稻田生态系统中 CH₄、N₂O 的生成与排放	72

第一节 研究现状	72
第二节 稻田生态系统中 CH_4 、 N_2O 的生成	74
第三节 影响稻田 CH_4 、 N_2O 生成与排放的因素	75
第四节 我国在 CH_4 、 N_2O 研究上的展望	78
参考文献	81
第六章 施肥与稻田生态系统养分循环	83
第一节 稻田土壤主要施肥体系	83
第二节 施肥与稻田土壤养分的变化	86
第三节 施肥与稻田生态系统的生产力	90
第四节 稻田生态系统养分平衡	92
参考文献	94
第七章 稻田生态系统水循环在养分循环中的作用	96
第一节 稻田水在各分室中的分配	96
第二节 稻田水循环中养分元素的输入与输出特点	97
第三节 水循环在稻田养分平衡中的作用	100
参考文献	103
第八章 梯级稻田肥力变异对营养物质平衡的影响	104
第一节 梯田土温、水温的变化规律及养分分异状况	104
第二节 不同施肥制度对梯田稻麦生产的影响	106
第三节 梯级稻田营养元素的时空变化与平衡特点	110
第四节 梯级稻田肥力的调控	116
参考文献	117
第九章 基塘系统的物质循环与能量转递	118
第一节 鱼池水化学及其时空变化	118
第二节 基塘系统生产力与能量转化	125
第三节 基塘系统中的养分循环与能量转化	131
参考文献	139
第十章 稻田复合生态系统的几种模式及其特点	140
第一节 稻田复合生态系统的结构类型	140
第二节 稻田复合生态系统的特点与效益分析	142
第三节 稻田复合生态类型主要模式的技术规程	145
参考文献	147
第十一章 稻田生态系统的水分管理	148
第一节 稻田生态系统的水量平衡	148
第二节 水稻需水量的估算方法	152

第三节 稻田水分管理	156
参考文献	157
第十二章 土壤微生物和动物在物质循环中的作用	158
第一节 藻类生物量及其生物固氮作用	159
第二节 微生物及其对养分转化的影响	161
第三节 土壤动物及其对养分转化的影响	166
参考文献	170
第十三章 稻田生态系统的耕作制度及其优化	172
第一节 稻田耕作制度优化的原则与途径	172
第二节 稻田耕作制度优化设计的环境条件评价	173
第三节 稻田周年作物生产群体的组配	182
第四节 水稻区域生产规划的制定	184
参考文献	190
第十四章 稻田生态系统的演变规律	191
第一节 水稻土肥力演变规律	191
第二节 稻田肥力演变与耕作制度的改革	198
第三节 肥沃水稻土的培育	201
参考文献	203
第十五章 稻田土壤肥力评价与生产潜力估算	204
第一节 稻田土壤肥力状况分析	204
第二节 稻田土壤障碍因素分析	208
第三节 稻田土壤肥力评价	211
第四节 稻田生态系统生产潜力估算	216
参考文献	218
第十六章 稻田生态分区及其调控	219
第一节 稻田形成的生态环境	219
第二节 稻田类型与生态环境	222
第三节 稻田生态系统分区的原则	226
第四节 稻田生态系统的调控	233
参考文献	234
第十七章 稻田生态系统的研究方法简介	235
第一节 定位与模拟试验研究	235
第二节 样品采集与处理	238
第三节 植物根系的研究方法	245
第四节 稻田土壤生物的研究方法	249

第五节 稻田 CH_4 、 N_2O 排放通量的测定方法	255
第六节 稻田复合生态系统的研究方法	256
第七节 计算机技术的应用	259
参考文献	261

第一章 稻田生态系统的研究现状与进展

稻田生态系统是土壤生态系统的一个分支,也是农田生态系统的重要组成部分;由于需淹水栽培,所以不论生态系统的结构功能,也不论物质循环强度均与一般旱作农田生态系统有显著差异。它完全是人类农业生产活动的产物。

第一节 稻田生态系统的概念与特点

一、稻田生态系统的概念

稻田生态系统以田块作为样块,向周边扩展,或与另一稻田生态样块为邻,或与旱地、果园及自然土壤毗连。由于造田过程地表进行平整,在一个田块之内平整程度不超过3~5cm,以达到寸水棵棵稻的要求,所以其边界清晰。

稻田生态系统另一个特点是淹水种稻,土壤每年有4~8个月为一层水幕所掩盖,在冬春两季或冬闲或种旱作物,周期性干湿交替使土壤中化学物理过程变得十分复杂,同时由于长期淹水,强烈地改变土壤地下水状况,形成了人工区体水文效应^[1]。

由于长期渍水,在物质循环与能量转递方面也有特色,在水旱交替条件下,与有机物质累积的同时,在种稻时期,有大量 CH_4 、 NH_3 、 N_2O 逸出,在旱季则不同,从而影响了大气层组成。由于稻田灌排自如,利用集约,物质循环强度一般高于旱地,且其轮种套作制也较为稳定。

总之,稻田生态系统是一个开放度很高的农田生态系统,在结构上作物系统与土壤系统呈明显的旱湿交替,在功能上不论营养物质循环还是能量转递强度都较高,其产投比较大,从而构成了高产稳产生产体系。

二、稻田生态系统的特点

稻田生态系统系人工生态系统,从造田起,灌溉、排水、耕翻、施肥、播种、管理、收获无一离得开人工操作,同时,在人工灌排条件下,土壤中淋淀过程强度增加,兼有旱地与湿地土壤生态系统的某些特点。

1. 作物系统 稻田生态系统中的作物主要是水稻(或单季稻,或双季稻,或单季稻后的再生稻),年单产可占全年产出的60%~100%。就一般水稻而言,其稻谷与秸秆比一般是1.0~1.2。茬与根系占整个生物量的10%~15%,属自然归还部分;旱作物种类较多,除一熟田外,有绿肥、蚕豆、油菜与三麦;还有麻类、棉花与薯、豆类等。其产出率与归还率有较大差异。

与作物系统伴生的杂草多为湿生与半湿生性的,且瘦田与肥田有一定差异,微植物、细菌类与微动物随季节不同而异,主要有藻类、蚯蚓与螨类;细菌种类较多,有真菌、放线菌与细菌,其中硫细菌与反硝化细菌在淹水季节占据优势。

2. 土壤系统 土壤系统是一个复杂系统,土壤库被生态学家称之为黑箱或灰箱。许多过程尚未揭示。

土壤系统包括生物与非生物两部分,两者相互作用,既形成了适于高等植物着生的基地,又形成了能量与营养物质的贮藏库。土壤中有有机与无机结合形成团聚体,其中有有机物质与某些矿质元素以及微生物均呈不均匀的分布^[3]。从形态上看,水稻土的特征是锈斑(线)、潜育斑纹与胶膜互相镶嵌的花斑状结构^[2]。从铁锰剖面分布看,其分异度与自然湿地的区别更为明显(图 1—1),不论有机胶体还是铁锰氧化物均向粒径细的粒级集中,同样

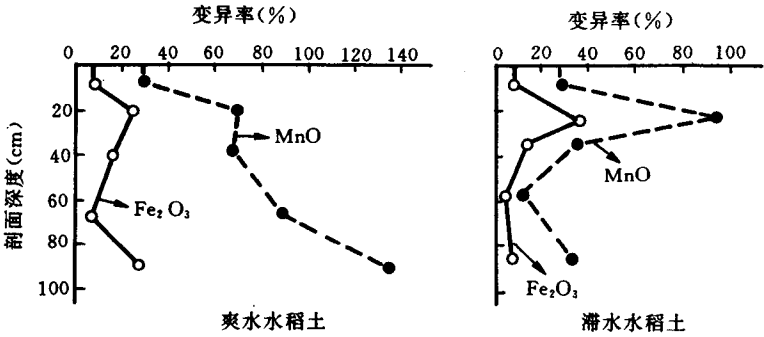


图 1—1 不同类型水稻土中游离铁、锰的变异特点^[2]

呈不均匀分布,从图 1—2 中可以看出,植物残体多为粗糙的,而腐殖化程度与叶绿素物质在沙粉与粘粒粒级中含量较高,这同生物腐解作用关系密切。

通过胶体薄膜与周围土体的对比分析可以看出,不论何种水稻土,胶体薄膜中所含有机质量均高于周围土体,而灰色胶膜中铁锰氧化物量则低于土体,红色胶膜则反之,进一步证明了土体的不均一性及其同旱地的区别(表 1—1)。

3. 水土体系 任何土壤生态系统离不开水分因素,水分既作为环境因素,又作为土壤生态系统的组成成分在稻田生态系统中起重要作用。

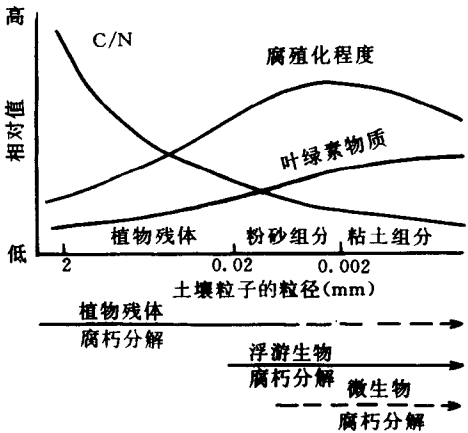


图 1—2 土壤有机物的不同粒径分布及其积聚过程^[3]

表 1—1 胶膜与土体化学组成比较 (g/kg)^[1]

类型	有机质	全铁	络合铁 (Fe ₂ O ₃)	游离铁	全锰 (MnO)
耕层红色胶膜	36.6	48.1	48.6	71.5	1.0
土 体	31.4	50.1	13.1	15.7	0.5
渗育层灰色胶膜	6.5	0.92	—	—	0.01
土 体	6.1	4.47	—	—	0.58

稻田生态系统是人工湿地生态系统，水分不仅保证了水稻高产稳产，而且主宰了土壤中物质淋溶淀积的强度。渍水状况不仅导致有机质嫌气分解，使土壤中氧气发生明显垂直变化，引起氧化还原电位与变价元素以及水溶性元素的分异与淀积、形成花斑状形态特征。

研究表明，在渍水条件下，除灌溉水层与土壤接触面含氧量较高外，整个耕层，甚至包括犁底层均处还原状态，而犁底层以下 Eh 值上升，但变幅甚大。与之相应渗漏水含氧量与渗漏速度有关系。渗漏速度慢含氧量低，反之则高（图 1—3）。

由于土壤系多孔体，犁底层之下多为棱柱状垂直结构，在淹水时节水分下渗多沿裂隙进行，在结构体内部多为闭合孔隙，包容空气。下渗水中含有一定量可溶性有机物质与悬浮颗粒，并吸附在土体表面，因之导致氧化还原电位的不均匀性（表 1—2），从而造成土体的微域分异特征。

表 1—2 水稻土剖面中 Eh 值的分异状况（麦季）
($n=5$)

土 壤	耕 层 $C \cdot V$ (%)		犁底层 $C \cdot V$ (%)		渗育层 $C \cdot V$ (%)	
表潜稻田	96.7±38.2	39.5	-42.6±71.9	168.2	—	—
轻表潜稻田	263.5±68.8	26.1	1365±159.0	116.4	273±14.9	5.4
爽水稻田	334±20.6	6.2	272.0±94.4	34.7	302.0±6.3	2.1

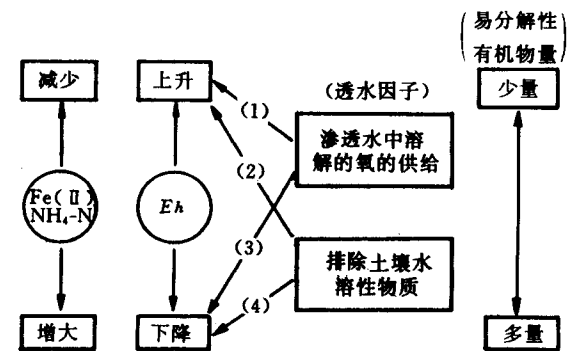


图 1—4 渗水对淹水土壤中还原过程的影响^[3]
(1) 氧化 (2) 由于排除基质而使微生物活性下降
(3) 刺激好气性细菌的生育 (4) 由于排除有毒物质微生物活性增大

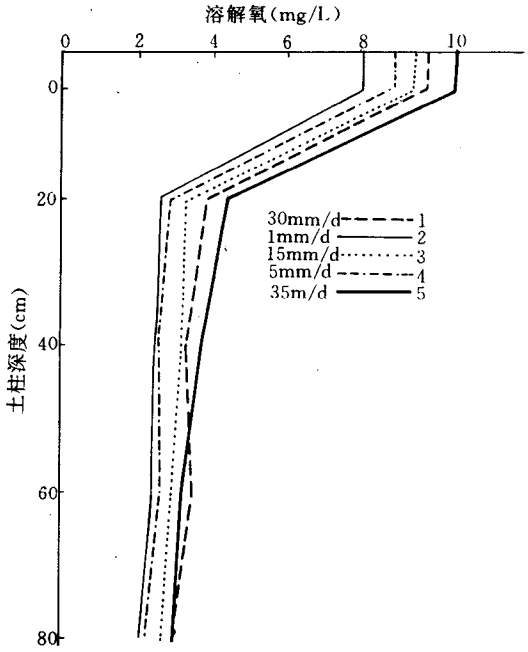


图 1—3 模拟土柱中水溶液含氧量同渗漏速度的关系^[4]

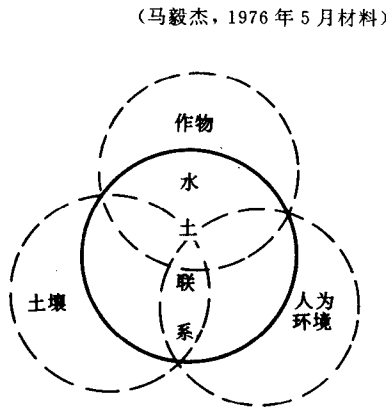


图 1—5 稻田生态系统组成示意图

不言而喻,水土体系是十分复杂的,随着渍水与水分下渗、排水落干及氧气的导入与耗竭,使易分解物质与变价元素的淋淀过程变得十分复杂,这便成为稻田生态系统土壤库中养分与变价元素分异的主因,其关系如图 1—4 所示。

总之,生物系统、土壤系统同水土体系互相作用而形成的水稻土花斑状结构,既是稻田生态系统能量物质流通结果,也是生物产量高而稳定的物质基础。作为一个生态系统而言,稻田生态系统的特点可概括为作物(生物)系统、土壤(含微生物)系统与人为环境(主要指稻田类型),同时水土联系(主要指渗漏速度)枢纽其间,形成具有特色的农田生态系统(图 1—5)。

第二节 稻田生态系统研究进展

稻田生态系统的研究起步较迟,但水稻土作为一种人工水成土则研究较早,在我国土壤科学发展的初期就已经明确,而且研究深度也较其它土壤详尽,从水稻土类型划分、生产性能到一系列基本性质均有阐述,如土壤生物、物理化学与农化特性均累积了丰富材料^[12],在这方面研究工作较多的首推我国与日本;这对揭示“黑箱”内涵起了重大作用,例如潜育环境下亚铁、亚锰与 H_2S 、 N_2O 对水稻的毒害;氧化还原交替与养分活化与损失;渗漏性能与水稻生长以及生物固氮等;稻田类型同水稻土肥力关系;水稻土肥力演变与作物品种更替;耕作制与土壤基础肥力以及稻田生态系统养分平衡与循环诸方面均有所探索。现对几个子系统概述如下:

一、作物系统的研究进展

作物系统是构成轮作复种制的主体。随着品种选育、生产条件改善与土壤肥力提高,轮作复种制度有了明显改进,在这方面我国的研究成就具有某些方面的特色。例如在 1949~1977 年 29 年中靠提高复种而增产的稻谷占总产的 40% 以上^[4]。

耕作制度的改革随时代不同而异,受粮食供求关系与市场经济的制约,从我国稻田而言,耕作制改革可分为以下几个阶段:

1. 传统耕作制阶段 50 年代初期可代表传统耕作制阶段,稻田主要分布于淮河流域以南。这一稻区多以单季稻为主,例如华南地区单季稻占 30%~70%,复种指数广东为 180% 左右;湘、鄂、赣仅为 120%~130%,长江下游单季稻占 80%~95%,复种指数亦在 150% 上下。之后随着品种的更新,推行了“粳改梗”、“单改双”与“间改连”等措施。随着复种指数增加,需肥量相应增加,在以农家肥为主的背景下扩种绿肥成为调节养分平衡与循环的必由之路。所以随着土壤肥力提高,在华南稻区推行了肥稻稻与长江流域实行麦稻、油稻、肥稻三种轮作制,生物归还量增多,稻谷产量稳步增长(图 1—6)。随着推广优良品种与提高复种指数,冬作中绿肥比例增大,稻谷产量亦随之提高,所以适当提高复种是提高单产的重要途径之一,但需相应培肥土壤,否则事倍功半。

这一阶段的特点是复种制度中绿肥成为组分之一,以绿肥沤制肥料与压青对维持稻田高产稳产与培肥土壤起了积极作用。

2. 集约化耕作制度阶段 从 60 与 70 年代起在南方稻区轮作复种达到一个新阶段,从南亚热带到北亚热带,稻稻麦、稻稻油与稻稻肥两水一早轮作方式全面推行。由于稻田淹

水时间延长与作物需化肥量增加, 不仅引起土壤肥力退化与作物对化肥的胃口增加, 而且农本高, 稻谷价格低, 尤其在北亚热带北部表现尤为明显, 从而影响了稻田生态系统的效益^[7], 在中低产稻区并没有达到随复种指数提高而增产增收的目的。这期间, 耕作制度对土壤肥力退化的影响以及三熟制与两熟制评价成为研究的热点, 为合理运筹耕作制提高农业生产中的经济、社会与生态效益打下了基础。免少耕与节氮增磷及早三熟, 如麦玉米稻、麦瓜稻与麦豆稻等得到了推广应用。

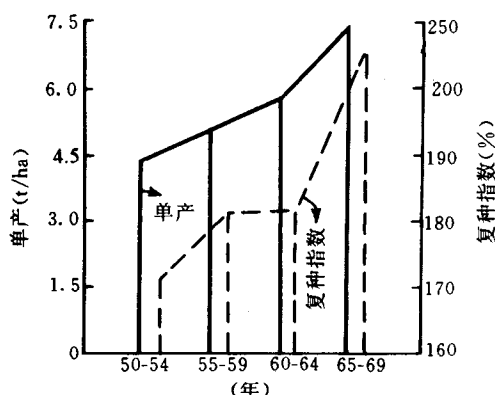


图 1—6 长江中下游稻田复种与粮食单产^[5,6]

3. 简化耕作制阶段 随着市场经济的发展, 工农业产品剪刀差增加, 谷贱伤农现象突出, 传统耕作管理方式下的粮棉油生产受到冷落, 转而寻求高产高效优质的途径, 以适应新的市场需要。

目前, 中亚热带与南亚热带平原地区因热量条件好, 仍以双季杂交稻为主, 而在传统稻麦两熟制地区, 原双季稻与三熟制栽培面积逐步减少, 又恢复到两熟制阶段, 即稻麦(油)、稻棉、瓜稻、菜(蔺草)稻阶段; 同时经济价值较高的作物如香梗、香糯、蔺草、草梅等在轮作中比例正在扩大, 不少稻田已改为蔬菜、花卉、苗木基地以及水产基地等。当然, 非农业设施占用稻田的比重更大。

为适应新的农村劳力短缺状况, 尤其在乡镇工业发达地区实行简易耕作法, 如免少耕、节水灌溉、药肥混施与水稻机播及抛秧与旱直播、旱育秧均在实行, 由于管理得当, 水稻与旱作并未减产。但省工节劳, 效益显著。这一阶段带来的问题是农村环境污染日重, 生物物质再循环利用被弃置, 成为新的污染源之一。

当然上述阶段在东部沿海地区是明显的, 而在乡镇工业不发展的地区, 仍停留在第一第二阶段。

二、土壤肥力与熟制研究进展

有关稻田土壤肥力的研究已有大量文献问世。土壤肥力是土壤库的主要功能之一, 它既是土壤性质的综合反映, 也是作物生长中土壤条件的适宜程度的综合表现, 因为栽培作物种类繁多, 所要求的土壤条件又多不相同, 所以土壤肥力十分复杂。目前仍处在“黑箱”阶段。

关于土壤肥力的概念也不统一, 有的只强调养分含量及其有效性, 有的在养分供应基础上涉及温度与水分, 我国土壤学家提出水、肥、气、热四个因素综合反映或物理、化学、生物学特性的综合表现以及土壤本身自调能力及相关的保证层与支持层等概念。

在传统土壤肥力评价基础上采用数学方法进行综合评价, 解决了各肥力要素的量化及各要素间的贡献率, 不失为一种评价土壤肥力新的尝试。

随着科学的发展, 土壤肥力研究也有进展, 通过施肥区与无肥区的作物产量差额提出了土壤基础肥力的概念或者说是土壤对作物所需养分的贡献率。同时, 并提出地力级差作

为土壤肥力评价的指标。

研究证明,不同土壤肥力水平差异在无肥区作物产量上可明显体现出来,肥沃土壤在连续不施肥情况下,作物产量仍维持较高水平,反之,在低肥土壤上,在不施肥条件下,作物产量水平迅速下降,甚至达到开花不孕程度。尤以油菜、三麦为最。表1—3材料说明不同稻田土壤对作物的适种性与土壤养分贡献率;图1—7表示不同稻田土壤上两种耕作制条件下施肥区与无肥区产量差额。联系起来分析,不难发现,土壤基础肥力水平高低对作物产量构成的影响以及适于不同作物高产的土壤条件上存在着明显的差异。这与自然植被同土壤间的关系是一样的,对稻田而言,为了实现优质高产与低耗的农业生产体系,土壤生态系统的深入研究十分重要。

表 1—3 稻田基础肥力对作物产量的贡献 (%)

田类 作物	囊水型	爽水型	漏水型	滞水型	侧渗型	平均
单季稻	77.1	78.4	77.4	74.7	83.2	78
早 稻	63.3	69.7	59.1	63.6	60.5	63.2
晚 稻	68.4	73.7	66.0	69.5	75.9	70.7
小 麦	56.4	61.0	64.8	56.3	43.0	56.3
大元麦	42.2	46.1	53.9	42.1	34.8	43.8
油 菜	28.3	49.3	48.1	30.1	26.0	36.4

三、稻田生态系统的研究进展

稻田生态系统中水分既是物质移动的介质,也是水稻生长所必需的元素,在淹水条件下发生的 Eh 值变化引起一系列化学与生物过程的变化,使土壤库中的机理变得十分复杂。

中国与日本学者对水稻土中的还原过程与微生物代谢已进行过详细研究,随着 Eh 值下降、氧分子减少,引起氮素损失,同时 $Mn^{(II)}$ 、 $Fe^{(II)}$ 生成,继之释放的 $H_2S^{(II)}$ 与 CH_4 、 N_2O 亦逐步增加;还原细菌占优势,有机质嫌气分解生成有机酸等中间产物,这些物质对稻麦生长均产生明显影响^[10]。

我国地少人多,稻田复种指数除温带水旱轮歇耕作一年一熟制外,暖温带及以南地区多为一年两熟制或三熟制。

在排水不良或起源于低湿地的稻田中则出现明显的亚耕层与犁底层的潜育化,耕层与犁底层滞水难排,不仅招致三麦等旱作物渍害加重,而且也影响水稻高产稳产,耕作制与土壤肥力相互影响十分明显^[8,9]。耕作轮作制度的改变导致耕作管理措施的相应变革,例

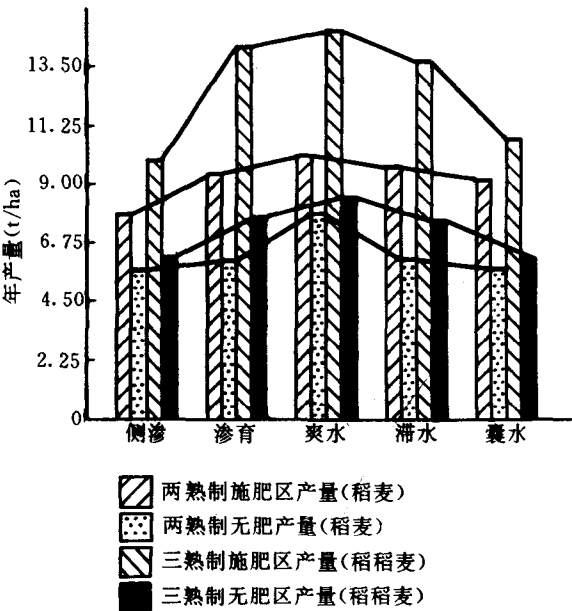


图 1—7 太湖地区不同水稻土施肥区与无肥区产量差异

如少免耕、节水灌溉与节氮增磷补钾等措施应运而生，并探索多种形式的旱三熟以同水三熟制轮作更替，以保证肥沃的土壤条件，进而促进稻田生态功能的发挥。

为了解析耕作制与土壤肥力的关系，各地都进行了稻田营养物质循环的研究，在长江以南广大稻区，养分的输出输入比表明，氮素基本上是盈余的，磷素处平衡状态或略有亏缺，钾素亏缺严重，在南方稻区尤为普遍。

在我国某些地区对稻田生态系统的输入与输出项（除生物固氮外）进行了定量研究，从而得到了输入输出比差以及氮、磷、钾等营养元素循环概貌（图 1—8，表 1—4）。对能量转递方面也进行了探索^[7]。在此基础上研究工作扩展到稻田基塘间营

养元素循环与能量互补方面，并取得了不少进展；同时，稻田养鱼、养鸭研究也在成都平原、三峡库区与中游低湖田区进行，其成果亦在推广应用中。

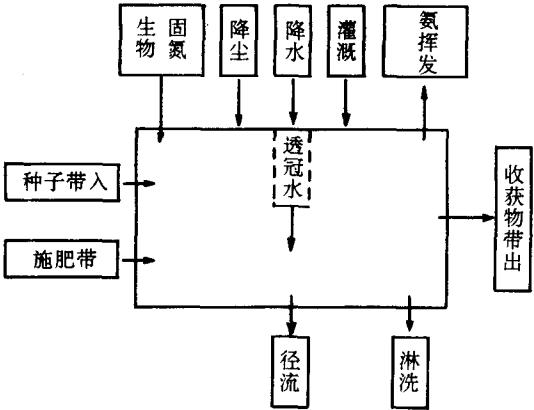


图 1—8 稻田生态系统中营养元素循环示意图（相对%）^[11]

表 1—4 常规稻田生态系统中养分的表现平衡状况^[8]

试验区	熟制	N	P	K	Ca	Mg
		kg/ha				
常熟圩田	两熟制	+85	+7.5	-129	-18	+24
	三熟制	+196	+15.4	-22	-114	-44
无锡平田	两熟制	+60	+29.4	-84	+8	-35
	三熟制	+152	+24.4	-62	-92	-68
武进高平田	两熟制	+119	+60	-81	-85	-35
	三熟制	+124	+67	-90	-129	-53

第三节 稻田生态系统在农业生产中的地位

从世界总人口而言，一半以上是以稻米为主食的，主要集中于亚洲，如中国、日本、朝鲜、泰国、菲律宾、越南、老挝、柬埔寨、印度、巴基斯坦、孟加拉等国^[12]，由于生活习惯与自然条件优越，世界上稻田面积的 90%也集中于亚洲（表 1—5），我国稻田占耕地的 25%左右，但稻谷总产占粮食总产的 40%以上，可见其在农业生产中的地位。

我国稻田主要分布于淮河以南的广大亚热带地区，达 90%左右，近年来北方稻区逐步扩大，比例上升，已占稻田总面积的 10%左右。从流域而言，稻田集中于长江流域，占全国稻田面积的 60%左右，以稻谷为主食的人口多达 3.5 亿以上。水稻集中分布地区，如成都平原、江汉平原、两湖平原、江淮丘陵、太湖平原、里下河地区与甬绍平原等地区，稻田面积大多占耕地一半以上，甚至超过 80%，历史上著名米市亦座落于此，从古至今，这些地区均为我国水稻生产的基地。随着热量条件与生长期的变化，由北方一熟区到南方多熟区轮作套种方式逐步复杂，由单一的轮作方式发展到多种轮作套种方式（表 1—6）。同时，