



现代农业高新技术成果丛书

高产高效养分管理技术

Nutrient Management Technology for High-yield and
High-efficiency Crop Production

张福锁 崔振岭 陈新平 等编著



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

现代农业高新技术成果丛书

高产高效养分管理技术

Nutrient Management Technology for High-yield
and High-efficiency Crop Production

张福锁 崔振岭 陈新平 等编著

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书以作物高产高效养分管理技术为核心,全面阐述了我国高产高效现代化农业道路以及高产高效养分管理的主要技术内容。这些高产高效养分管理技术不仅包括田块尺度的土壤养分及其养分管理技术、化肥养分及其管理技术、环境养分及其管理技术、有机肥养分及其管理技术以及植物营养生物学调控技术,也包括区域尺度上的养分管理技术和食物链养分管理技术。本书还介绍了高产高效养分管理技术的试验示范与大面积推广效果。

本书可供土壤肥料和作物生产领域的科技人员使用,也可供各级农业技术推广人员和肥料企业农化服务人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高产高效养分管理技术/张福锁,崔振岭,陈新平等编著. —北京:中国农业大学出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-5655-0577-5

I. ①高… II. ①张…②崔…③陈… III. ①土壤有效养分—综合管理 IV. ①S158.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 166905 号

书 名 高产高效养分管理技术

作 者 张福锁 崔振岭 陈新平 等编著

策划编辑 孙 勇

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525, 8625

编辑部 010-62732617, 2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开本 11.75 印张 290 千字

定 价 60.00 元

责任编辑 冯雪梅

责任校对 陈 莹 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

现代农业高新技术成果丛书

编审指导委员会

主 任 石元春

副主任 傅泽田 刘 艳

委 员 (按姓氏拼音排序)

高旺盛 李 宁 刘庆昌 束怀瑞

佟建明 汪懋华 吴常信 武维华

撰稿人 (以姓氏笔画为序)

中国农业大学资源与环境学院

马 林 尹 蛟 申建波 冯 固 刘全清
刘学军 刘 倩 米国华 江荣风 李宝深
李彦明 李晓林 李 隆 吴良泉 汪菁梦
宋 玲 张卫峰 张宏彦 张福锁 陈范骏
陈 清 陈新平 苗宇新 岳善超 金可默
荆晶莹 柏兆海 袁力行 贾 伟 黄高强
崔振岭

河北农业大学资源与环境学院

马文奇 侯 勇

出版说明

瞄准世界农业科技前沿，围绕我国农业发展需求，努力突破关键核心技术，提升我国农业科研实力，加快现代农业发展，是胡锦涛总书记在 2009 年五四青年节视察中国农业大学时向广大农业科技工作者提出的要求。党和国家一贯高度重视农业领域科技创新和基础理论研究，特别是 863 计划和 973 计划实施以来，农业科技投入大幅增长。国家科技支撑计划、863 计划和 973 计划等主体科技计划向农业领域倾斜，极大地促进了农业科技创新发展和现代农业科技进步。

中国农业大学出版社以 973 计划、863 计划和科技支撑计划中农业领域重大研究项目成果为主体，以服务我国农业产业提升的重大需求为目标，在“国家重大出版工程”项目基础上，筛选确定了农业生物技术、良种培育、丰产栽培、疫病防治、防灾减灾、农业资源利用和农业信息化等领域 50 个重大科技创新成果，作为“现代农业高新技术成果丛书”项目申报了 2009 年度国家出版基金项目，经国家出版基金管理委员会审批立项。

国家出版基金是我国继自然科学基金、哲学社会科学基金之后设立的第三大基金项目。国家出版基金由国家设立、国家主导，资助体现国家意志、传承中华文明、促进文化繁荣、提高文化软实力的国家级重大项目；受助项目应能够发挥示范引导作用，为国家、为当代、为子孙后代创造先进文化；受助项目应能够成为站在时代前沿、弘扬民族文化、体现国家水准、传之久远的国家级精品力作。

为确保“现代农业高新技术成果丛书”编写出版质量，在教育部、农业部和中国农业大学的指导和支持下，成立了以石元春院士为主任的编审指导委员会；出版社成立了以社长为组长的项目协调组并专门设立了项目运行管理办公室。

“现代农业高新技术成果丛书”始于“十一五”，跨入“十二五”，是中国农业大学出版社“十二五”开局的献礼之作，她的立项和出版标志着我社学术出版进入了一个新的高度，各项工作迈上了新的台阶。出版社将以此为新的起点，为我国现代农业的发展，为出版文化事业的繁荣作出新的更大贡献。

中国农业大学出版社

2010 年 12 月

前言

保障国家粮食安全始终是我国农业生产的重中之重,长期以来我国粮食增产过多依赖于水肥资源的大量投入,这不仅使我国粮食生产成本剧增,而且对生态环境造成了日趋严重的威胁。因此,探索作物高产与资源高效利用相协调的可持续发展道路,是保障国家粮食安全和资源环境安全的迫切需求。

同时实现作物高产与资源高效的目标需要农业技术的综合与集成创新。2010年,我们参照国际养分管理经验及技术模式,组织编写了《最佳养分管理技术列单》一书,出版后受到了广大读者的欢迎。

自20世纪90年代开始,我们在国家重大项目、国际合作项目的支持下,针对我国的农业生产特点,探索具有中国特色、完全适合中国国情的高产高效养分管理技术。2005年开始,在“948”项目(2006-G60)、公益性行业科研专项(201103003)和“973”项目(2009CB118600)等的支持下,我们组织全国30多个科研单位建立了高产高效养分管理协作网,以共同性的综合试验为纽带,以交叉开放的学术研讨为手段,逐步实现了多学科的实质性合作和综合创新,共同开展了全国主要作物高产高效技术的研究工作。同时,我们与各级农业技术推广部门紧密合作,依托国家测土配方施肥和作物高产创建等大型推广项目,开展了主要作物高产高效技术的大面积示范推广应用,取得了理论与技术的突破以及显著的农学、经济、环境和社会效益。

为此,我们在2010年版本的基础上,组织编写了这本《高产高效养分管理技术》,增加了最新的研究进展,希望以此方式进一步促进全国范围内的多学科的合作研究,推动我国农业生产中综合技术的集成创新与应用,实现作物高产与资源高效同步的宏伟目标。

编者

2012年6月

目 录

第 1 章 高产高效现代农业道路探索——意义与现状、理论与实践	1
1.1 高产高效现代农业的重要意义	1
1.2 高产高效现代农业的科学价值	2
1.3 高产高效农业的国际最新研究进展和发展趋势	3
1.4 高产高效农业的国内研究现状和水平	5
1.5 高产高效农业在相关研究领域取得突破的可能性	7
1.6 高产高效农业拟突破的关键科学问题	8
1.7 高产高效作物生产重大技术问题	9
参考文献	17
第 2 章 土壤养分及其养分管理技术	20
2.1 当前土壤养分资源的变化趋势	20
2.2 基于土壤测试的养分管理技术	22
2.3 基于植株浓度的养分管理技术	27
2.4 基于氮素无损测试的养分管理技术	29
参考文献	35
第 3 章 主要化肥养分资源特征及其管理技术	40
3.1 化肥养分管理的重要意义和思路	40
3.2 主要氮肥养分资源特征及其管理技术	42
3.3 主要磷肥养分资源特征及其管理技术	52
参考文献	58
第 4 章 中国农田环境养分数量与管理技术	62
4.1 环境养分定量方法及其农田输入数量	62
4.2 环境养分的生态效应及其管理技术	66
参考文献	67

第 5 章 有机养分及其管理技术	69
5.1 我国有机肥料资源的类型与数量	69
5.2 我国的有机养分的贮量与利用现状	72
5.3 有机养分的循环利用与管理技术	74
参考文献	78
第 6 章 植物营养生物学调控技术	80
6.1 基于根际调控的高产高效技术	80
6.2 基于基因型调控的高产高效技术	84
参考文献	89
第 7 章 区域养分管理技术	92
7.1 区域农田养分分区管理技术	92
7.2 区域农牧结合养分管理技术	95
7.3 流域环境友好型养分管理技术	101
7.4 区域农户和农村养分循环管理技术	104
参考文献	108
第 8 章 食物链养分管理技术	111
8.1 食物链养分流动定量模型技术(NUFER)	111
8.2 食物链各环节养分高效利用与综合减排技术	116
8.3 食物链养分优化管理情景展示技术	124
参考文献	145
第 9 章 高产高效养分管理技术试验示范与大面积推广技术	148
9.1 不同种植规模下高产高效养分管理技术集成与示范模式探索	148
9.2 与大型化肥企业合作在全国大面积应用推广	165
9.3 与全国农技中心合作在全国 110 个县开展技术示范与大面积推广	173
参考文献	178

高产高效现代农业道路探索—— 意义与现状、理论与实践

1.1 高产高效现代农业的重要意义

1.1.1 持续提高作物产量是保障国家粮食安全的长期需求

我国是一个拥有 13 亿人口的农业大国和发展中国家,确保国家粮食安全始终是经济发展、社会稳定和国家富强的基础,是直接关系到国计民生的大事。新中国成立以来,我国粮食生产取得了巨大成就,1996 年粮食总产达到 5 亿 t,实现了粮食供求总体平衡、丰年有余的历史性转变。但是,自 2000 年以来,我国粮食生产出现较大滑坡,到 2003 年全国粮食总产跌至 20 世纪 90 年代以来的最低点,仅有 4.3 亿 t,粮食安全形势极为严峻。对此,国家采取紧急措施,加大了对粮食生产的投入和政策扶持,2004—2007 年粮食生产基本实现了恢复性增长。尽管如此,我国的粮食安全紧张局势依然没有根本扭转,粮食缺口呈逐步扩大趋势。另一方面,由于化石能源涨价和美国等国家发展生物质能源的影响,国际粮食市场紧张,价格攀升。2007 年以来,国内农产品价格大幅度上涨,给国民经济健康发展和社会和谐稳定带来了沉重的压力。

随着人口增长和经济发展,我国的粮食需求仍将呈现持续刚性增长。要实现 2030 年中国粮食安全,总产必须在现有基础上提高 40% 以上,单产增加 45% 以上,即年均增长率要达到 2.0% (王宏广等,2005),提高粮食生产能力的任务十分艰巨。特别是在耕地面积持续减少和粮食种植面积扩大潜力非常有限的形势下,大面积持续提高作物单产已经成为保障我国粮食安全的唯一选择。因此,实现粮食持续稳定增产、保障国家粮食安全是我国农业当前及今后相当长时期的重大任务。

1.1.2 提高资源利用效率,保护生态环境,是我国农业可持续发展的必然选择

我国是世界人均占有资源贫乏的国家之一,人均耕地不到世界平均水平的 $1/2$,人均水资源仅为世界平均水平的 $1/4$ 。不仅如此,水分生产效率低,平均不到 1.0 kg/m^3 ;在过去 10 年中平均每年农业灌溉缺水 300 亿 m^3 ,年受旱面积达 3 亿~4 亿亩(1 亩 = 666.67 m^2),即便是在高产区每年也有近 1 亿亩耕地因得不到有效灌溉而减产 250 亿 kg。我国化肥年消费量已达 5 000 万 t(纯养分),而氮肥利用率不到 30%,每年仅氮肥损失就在 500 亿元以上。资源利用效率低下不仅导致农业生产成本增加,影响农民增收,而且造成环境污染,成为制约我国农业可持续发展的重要因素。因此,提高资源利用效率,保护生态环境,是我国农业可持续发展亟须解决的重大问题。

1.1.3 探索作物高产与资源高效的协同理论和技术途径是转变农业发展方式,走出一条资源节约型和环境友好型的现代农业之路

进入 21 世纪以来,虽然我国农业生产的物质投入不断增加,但主要作物单产未见大幅度提高,资源利用效率持续下降,优良品种的高产潜力未能得到充分发挥。对比我国品种区域试验产量和大田作物平均产量发现,近 10 年来,新品种在区域试验中可实现的产量明显提高,而大田的平均产量增长缓慢。为了解决这一问题,“十五”以来,我国加强了作物高产、超高产的栽培技术研究,取得了显著进展,三大作物的高产纪录不断刷新,存在的主要问题:一是小面积上获得的高产纪录难以重演,更难在生产中大面积实现;二是水肥投入普遍过大,资源利用效率不高。“十五”期间,国家自然科学基金重大项目“主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究”和农业部“948”项目“养分资源综合管理技术的引进和建立”在农田养分管理的理论与实践方面取得了可喜的进展,提出了总量控制与分期调控相结合的管理策略,在集约化生产中可显著减少化肥投入,提高养分利用效率,不足之处是增产幅度不大,迫切需要加强与高产栽培的结合。

综上所述,我国作物高产栽培与资源高效利用的研究相互脱节,高产高效相协调的理论与技术研究相对薄弱。因此,迫切需要建立作物栽培、植物营养、土壤等多学科紧密结合的研究平台,破解作物产量与资源效率协同提高的科学难题。

1.2 高产高效现代农业的科学价值

1.2.1 作物高产与资源高效能否协同,是农学和资源环境等学科亟待回答的重大理论问题

持续提高作物产量是否必须依赖于水肥资源的大量投入?作物高产与资源高效能否协同?这一直是国内外关注的热点,也是学术界仍在争论的重大科学命题。发达国家在这个

问题上往往采用环境优先的原则,而我国人多地少、资源紧缺,持续提高作物单产,同时高效利用有限的资源,是农业可持续发展的必由之路。因此,通过对作物高产群体结构与物质生产分配规律、水肥高效利用的根-土互作机制、高产高效的土壤条件及其定向调控等理论与方法的突破,实现作物高产与资源高效利用的协调,不仅是农业科学研究领域的理论前沿,也是当代资源环境领域亟待解决的重大基础科学问题。

1.2.2 阐明作物高产与资源高效协同的制约因素及技术原理,为制定主要粮食作物大面积产量持续增长和资源利用效率提高的集成措施提供科学依据

针对我国粮食作物现有品种的高产潜力没有得到充分发挥、小面积的作物高产典型难以在区域上再现、水肥资源利用效率不高等问题,加强对我国三大粮食作物主产区作物产量提高的制约因素以及相关资源利用现状和问题的研究,探明作物产量与资源利用效率协同提高的技术原理,为建立主要粮食作物大面积持续增产与资源高效利用的集成技术和措施提供科学依据,具有重要的科学意义和应用价值。

1.3 高产高效农业的国际最新研究进展和发展趋势

1.3.1 能否协调作物高产与资源高效是当前国际农业可持续发展的研究热点

20世纪60年代掀起的第一次绿色革命,大幅度提高了主要粮食作物的单产水平,为全球粮食安全做出了巨大贡献。1960—1990年,世界谷物产量从8.47亿t增加到17.80亿t,年增长3%,人均粮食增长了27%。

然而,20世纪90年代以来,全球粮食生产出现了新的问题,粮食安全面临重大挑战:

(1)粮食产量增长趋缓,并出现徘徊局面,2002年世界粮食产量与1997年相比下降了14%。

(2)粮食需求压力日益增大。为了养活日益增长的人口,2050年世界粮食产量需在现在基础上增加1倍(Tilman et al., 2002)。当前,由于油价上涨,生物质能源对粮食的需求增加,世界谷物库存已降至50年来最低点,危机凸显。

(3)资源耗竭和环境恶化。粮食生产的发展越来越受到资源和环境的制约,第一次绿色革命走的是“高投入、高产出和高资源环境代价”的道路,农田养分流失造成的面源污染、生物多样性下降、温室气体排放增加等生态环境问题对集约化农业提出了新的挑战(Matson et al., 1997),特别是水资源日趋短缺,已经成为限制粮食产量进一步提高的关键因素。

国际学术界一直关注上述热点问题。Matson等(1997)在“Science”上撰文提出“集约化可持续农业”概念;Tilman(1999)指出必须更有效地利用农田养分以降低农业对环境的负效应;Swaminathan(2000)提出了“Evergreen Revolution”,主张适度增加外部投入,改善农田生产效率,同时增强农业可持续性、降低环境成本;Cassman则提出了农业的“生态集约化”,

主张通过土壤质量的改善、水肥资源调控以及综合管理途径来挖掘作物的产量潜力,同时达到保护生态环境的目标(Cassman,1999; Cassman 等, 2003)。然而,如何在大面积实现增产的同时大幅度提高资源效率目前仍然还没有很好的模式。因此,同时实现作物产量持续提高与资源高效利用是当前国际上农业可持续发展的研究热点,是人类面临的最大的科学挑战之一(Tilman et al., 2002)。

1.3.2 通过挖掘作物生物学潜力和增进土壤生产力提高作物产量和资源利用效率,减少对水肥等外部资源投入的依赖是国际上的研究前沿

1.3.2.1 优化群体结构、增加花后物质生产、提高分配效率,挖掘作物产量潜力

第一次绿色革命通过品种矮化、提高稻麦等作物的收获指数来大幅度提高作物产量潜力。不少研究表明,未来作物产量的提高应在保持或增加收获指数的基础上,重点依靠增加作物生物产量。Peng 和 Khush (2003)分析了国际水稻研究所 1968—1998 年水稻品种的演进规律,发现 30 年来水稻品种生产力的提高主要是通过增加生物产量获得的,而收获指数并没有明显变化。提高作物的生物产量,必须尽可能地增加作物全生育期的光合物质生产。美国在 20 世纪后期一直把“持续提高作物生产力的途径”作为国家级重点研究领域,通过提高密度、综合调控资源投入,在挖掘作物的产量潜力方面取得了重大突破,创造出单季玉米产量高达 27.8 t/hm² 的世界纪录。

提高农田单位面积生物产量,关键在于建立合理的群体结构,协调个体与群体以及源与库之间的矛盾,使个体和群体共同发挥最大效能。Shearman 等(2005)对英国小麦高产新品种的研究表明,开花前生长速率的提高有利于增加单位面积的粒数,同时扩大了灌浆物质的供应。大量研究表明,高产粮食作物籽粒灌浆物质的 80%~90%来自抽穗后的光合生产,经济产量与抽穗后的干物质生产呈极显著的线性相关,因此延长绿叶面积持续时间以增加结实期的光合生产是提高作物生物产量和经济产量的关键途径。作物冠层结构是作物个体、群体数量与质量的综合体现。作物理想冠层的本质特征是群体总库容量(群体总粒数)大、花后物质积累量高,这就要求在前、中期保持适宜叶面积系数,提高成穗率和结实率,后期延长绿色叶面积持续期、提高光合速率和物质运转与分配效率。国际水稻研究所(IRRI)在 1990—2000 年的研究战略中提出了突破产量限制的新思路和超高产的作物理想构型,对进一步提高作物产量具有指导意义。

1.3.2.2 深入揭示根系与根层水分养分互作过程,提高水分养分利用效率

在提高作物生产力的同时,如何实现资源高效利用?这不仅是关系到作物生物学潜力能否充分发挥的重大问题,而且也是农业生产能否持续的关键。集约化农业通过大量化肥、灌溉水投入和高强度耕作等农业措施克服土壤对作物生长发育的限制,但往往以牺牲环境、降低效益和耗竭资源为代价。在持续提高作物产量同时又要使环境负效应降到最低的情况下,养分的优化管理更加困难,必须加强对养分高效利用的科学机制的认识(Cassman et al., 2002)。近年来,国际上一些学者主张以充分发挥作物高效利用养分资源的生物学潜力

为核心的综合调控途径来提高作物产量,减少对不可再生资源的依赖(Drinkwater and Snapp, 2007)。

作物对水分、养分资源的吸收利用不仅取决于这些资源的数量和有效性,而且还极大地依赖于根系对水分、养分的吸收能力及其对多变土壤环境的适应能力。以往的研究只重视通过大量施肥提高土壤养分浓度,忽视了利用作物根系对土壤养分的活化作用以及根系与水分、养分的协调机制,难以做到作物生产力与水分、养分资源利用效率协同提高。研究表明,作物根系不仅可以主动适应并显著改变根际土壤环境,而且能对水肥调控做出积极响应(Jackson et al., 1990; Zhang and Forde, 1998)。根系还可通过分泌有机酸等根分泌物来改变根际的土壤化学和生物学过程,显著提高根系主动活化和摄取土壤养分的能力,根系之间的相互作用也受到根层土壤养分的影响(Kroon, 2007)。显然,作物根系的水分、养分利用能力和根-土互作关系,不仅仅是一个重要的科学前沿问题(Gruntman and Novoplansky, 2004),更是一个关系到作物群体质量控制和水分、养分高效利用效率的技术突破口。

1.3.2.3 改善土壤质量,稳定实现作物高产与资源高效利用

土壤是作物生产的基础,作物产量潜力和水肥调控作用的持续稳定发挥依赖于良好的土壤条件。未来全球主要禾谷类作物实现增产潜力的主要途径之一是提高土壤质量(Cassman, 1999; Tilman et al., 2002; Richter et al., 2007)。Drinkwater 和 Snapp (2007)指出,在全球范围内,作物系统对 N 和 P 利用效率不高的原因之一在于土壤 C 与 N、P 的循环过程没有有效耦合。同时,以土壤碳管理为核心的土壤资源高效利用机制研究引起了广泛关注(Tiessen et al., 1994; Cater, 2002; Lal, 2004; Lal, 2007; Lehmann, 2007)。

充分利用高产农作系统提高土壤资源的利用效率,从而降低外部投入和成本也是近年来国际学术界研究的热点问题,水肥投入与高产群体结构的协调不仅是高产高效的核心环节,也是提高土壤生产力的关键(Swift et al., 2004; Giller et al., 2005)。在集约种植条件下,秸秆还田、有机无机配合、轮作、保护性耕作和增加生物多样性等措施已被证明是实现作物持续高产、增强农田生态系统稳定性的有效技术(Rasmussen et al., 1998; Brady and Weil, 2002)。当前,生物质能源发展中对秸秆的大量利用引起了人们对土壤质量的忧虑,对此展开了一系列的实证和模拟研究,强调秸秆还田对稳定和提高土壤有机质的重要性(Saffih-Hdadi and Mary, 2008)。

总之,国际上在提高作物产量和资源高效利用两个研究方面已取得了不少进展,但在协同提高作物产量与资源利用效率研究方面尚未取得重大理论进展与技术突破。

1.4 高产高效农业的国内研究现状和水平

新中国成立以来,我国的粮食生产取得了以 9% 的耕地养活了世界 21% 人口的巨大成就,却走过了一条以大量水肥资源投入为特征的集约化发展道路。20 世纪 90 年代末以来,我国粮食生产增长缓慢,农业面源污染日益突出,为此,国家逐步加强了作物高产栽培和水肥高效利用等领域的研究工作,取得了一系列进展。

1.4.1 “十五”以来我国粮食作物超高产攻关进展显著,高产纪录不断刷新,但高产纪录重演性差、水肥资源利用效率不高、难以在大面积上实现,是当前高产栽培面临的难题

针对我国人多地少、区域差异大、灾害频繁、作物和种植制度多样化、小农户耕作等特点,我国在作物高产栽培技术与理论研究方面进行了长期探索,形成了以作物高产为主线,作物—环境—措施三位一体的作物栽培研究方法;提出了以作物器官建成和产量形成规律为理论基础的高产群体各生育期的形态生理特征和指标;阐明了作物与环境因素、群体与个体、不同器官之间的关系,建立了相应的综合诊断方法和多途径高产技术,如水稻“早育稀植”、“小群体、壮个体、高积累”技术,杂交稻配套高产技术,小麦精播高产栽培技术,玉米紧凑型杂交种密植高产技术,周年多熟一体化栽培的“吨粮田”技术等,有力地推动了我国粮食生产的发展(于振文,2003;余松烈,2006)。近年来,在“国家粮食丰产科技工程”项目资助下,在粮食主产区开展了作物高产、超高产的研究与示范,水稻、小麦和玉米单产分别出现了12、11和16 t/hm²以上的高产典型,显示了品种和栽培技术巨大的增产潜力。然而,这些高产典型大多以高额的肥、水和人工等投入为代价,资源效率不高,重演性差,难以在大面积上推广应用。

1.4.2 以协调根层水肥供应与作物需求为核心的水肥高效利用研究取得新进展,但需要进一步与高产栽培技术相结合

近年来,国家加大对提高水肥资源利用效率研究的支持力度。不少国家基金、支撑计划等项目围绕在不降低产量的同时提高资源利用效率开展工作,在国家自然科学基金重大项目中,建立了区域肥料总量控制与作物生育期分期调控相结合的氮素管理技术,显著地降低了施氮量,提高了氮肥利用率。在农业部“十五”重大引进项目支持下,建立了小麦、玉米、水稻等12种主要作物的养分资源综合管理技术体系(张福锁等,2006)。“十一五”以来,针对当前我国集约化作物生产中肥料施用不合理的现状,国家还启动了“测土配方施肥项目”,旨在推广应用现有施肥技术,节本增效,提高肥料利用率。2007年启动的国家重点基础研究项目“肥料减施增效与农田可持续利用基础”旨在创建农田高效施肥的理论、方法和技术体系,为集约化栽培区减施化肥20%~30%提供理论依据和技术途径。在旱地作物的水分调控方面,从过去主要通过水平梯田建设和减少坡地径流的工程措施节水,发展到集雨灌溉与发挥作物生物学潜力节水并重,抗旱节水与作物栽培技术有机结合。

然而,这些工作大都集中在保持目前产量水平的前提下提高肥料利用率。从我国作物产量持续提高与资源高效利用的需求来看,任何水分养分管理措施只有被栽培技术所采用才有可能在生产中发挥作用。因此,养分水分等管理迫切需要与高产栽培技术紧密衔接起来,服从于当前和长远的高产栽培要求,不断深化对高产条件下水肥高效利用的科学机制与调控原理的认识。

1.4.3 在土壤质量、农田物质循环和土壤污染修复等方面取得不少进展,迫切需要加强高产高效的土壤条件与定向调控途径研究

针对粮食主产区面临的土壤耕层变浅、水肥保持和供应能力不能满足作物生长需要以及土壤污染加重等问题,近年来开展了一系列土壤质量、农田物质循环、土壤污染与修复研究工作。国家重点基础研究项目“土壤质量演变规律及土壤资源可持续利用”通过对土壤质量演变规律的研究,初步建立了土壤质量综合评价指标和模型,开展了土壤质量预测和预警的探索工作。近来启动的重点基础研究项目“我国农田生态系统重要过程与调控对策研究”旨在通过对我国主要农田生态系统的重要过程进行定点长时间序列和联网研究,阐明农田生态系统物质循环规律,揭示系统稳定性的关键生态过程及相互作用机制,发展多目标协调的农田生态系统调控理论。

这些研究对作物高产和资源高效利用的理论和技术研究有重要的参考价值,但却不是围绕挖掘作物高产潜力、结合高产栽培理论与实践开展的工作,急需对高产高效农田土壤条件、水肥过程和抗逆机制等进行深入研究。

总之,我国科学家在作物的高产栽培和土壤水肥管理研究领域取得了不少的进展,为国家粮食生产的发展做出了重要的贡献。目前面临的关键问题是,高产栽培与水肥资源高效利用的研究互相脱节;在高产的同时实现资源高效利用的理论和途径研究还很薄弱。迫切需要建立以高产栽培为核心,栽培、土壤、植物营养等多学科密切合作的研究平台,共同探讨在作物产量持续提高的同时实现资源高效利用的机制,探讨作物高产和资源高效利用的作物群体、土壤以及养分、水分定量调控的技术途径。

1.5 高产高效农业在相关研究领域取得突破的可能性

针对目前我国农业生产难以大面积实现高产高效的难题,项目将重点研究主要粮食作物大面积持续高产和资源高效利用的科学机制与调控途径。

取得突破的可能性表现在以下几个方面:

(1)我国主要粮食作物品种的高产潜力尚未充分发挥。主要粮食作物当前的平均产量与品种的区试产量以及光、温产量潜力之间存在着较大差异。以玉米为例,目前东北春玉米、黄淮海夏玉米、南方山地玉米的平均产量分别为:5 295、5 055 和 3 990 kg/hm²,而这些地区品种区试的产量分别为 8 460、7 305 和 6 690 kg/hm²,光、温产量潜力则在 19 500~33 000 kg/hm²。因此,通过栽培、施肥和土壤管理措施的改进,大面积实现产量的持续增长是完全可能的。

(2)我国主要粮食作物生产的资源效率还有很大潜力可挖。与一些发达国家的作物生产体系相比,我国的水、肥等资源投入量高,但作物的产量水平较低。例如,尽管我国玉米生产的氮肥平均用量达到 209 kg/hm²,高于美国 150 kg/hm² 的用量,但玉米的单产仅为 5 734 kg/hm²,显著低于美国的 8 398 kg/hm²;在水稻生产中,我国用了 3 倍于日本的施氮

量却只得到了类似的平均产量。显然,在大面积持续提高产量的同时,完全有可能实现资源的高效利用。

(3)同时实现高产高效在科学上是可能的。一方面,高产农作系统具有提高土壤资源利用效率的作用,从而降低外部的投入和成本(Swift et al., 2004; Giller et al., 2005);另一方面,适度的资源(养分和水分)投入,更能发挥作物高效吸收利用养分、水分的功能,有利于调控作物的生长发育和获得高产。因此,同时提高作物产量和资源利用效率在科学上是可能的。

(4)本项目申请单位近年来围绕高产与资源高效的结合已开展了前期的探索,有良好的积累和丰富的经验。项目组在高产、超高产源库协调理论、周年资源高效配置与集约高产栽培、节水高产理论与技术、养分资源综合管理等方面取得了显著进展,对进一步突破作物高产与资源高效相协调的重大科学难题打下了扎实的基础。

1.6 高产高效农业拟突破的关键科学问题

针对作物产量与资源利用效率协同提高这一重大科学命题,本项目从挖掘作物生物学潜力和提高土壤生产力入手,重点解决以下两个关键科学问题。

(1)作物群体结构与花后物质生产、分配的动态协调及其栽培调控原理。作物产量的进一步提高主要依赖于群体的增大和花后物质生产的贡献,如何构建高效能生产系统、高强度支持转运系统、高质量库容系统,克服群体增大条件下个体与群体、源与库、根与冠等矛盾,关键在于阐明作物群体结构与花后物质生产、分配的动态协调及其栽培调控原理。

(2)稳定实现作物高产高效的土壤条件及其调控途径。良好的土体构型、耕层结构和水肥保持与供应能力既是作物高产的基础,也是水肥资源高效利用的关键。稳定实现作物高产高效,急需阐明高产高效的土壤条件和关键过程,揭示土壤对逆境条件的响应和缓冲机理,明确提高土壤生产力的定向调控途径(图 1.1)。

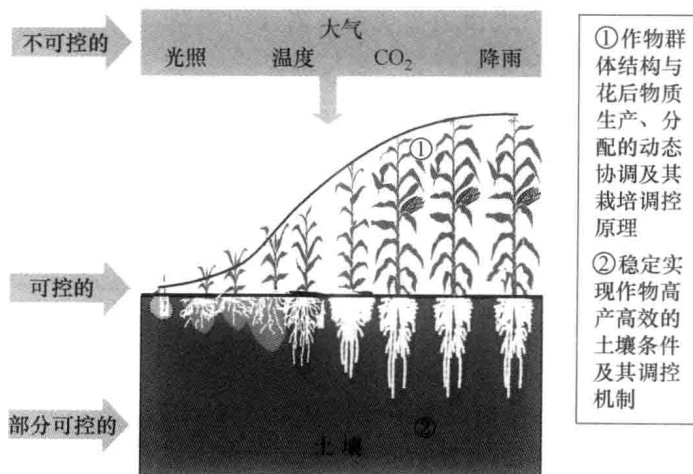


图 1.1 高产高效农业关键科学问题示意图