

作物养分平衡与 高产栽培

兼论作物栽培科学现代化

汪定淮 刘尚义 沈烈 李路 王富芳 编著



北京大学出版社

作物养分平衡与高产栽培

——兼论作物栽培科学现代化

汪定淮 刘尚义
沈烈 李路 王富芳 编著

京大学出版社

新登字(京)159号

内 容 简 介

本书系统地介绍了作物养分平衡诊断与调节系统的科学原理、技术关键和应用效果。这项技术成果是电子计算机在作物栽培上的成功应用。整个系统构思新颖、手段先进,而且应用范围很广,易被用户学习掌握。由于该系统最大限度地克服了天气和地域变化的影响,近年来已在国内十多个省市被大面积推广应用,经济效益显著。该项成果1991年荣获北京市科技进步一等奖。

本书除适于农业院校师生和农业科技人员阅读外,还可供农业行政部门领导参考。

图书在版编目(CIP)数据

作物养分平衡与高产栽培——兼论作物栽培科学现代化/汪定准等著。—北京:北京大学出版社,1994.2

ISBN 7-301-02413-4/S.6

I. 作…

II. 汪…

III. ①作物-栽培 ②植物生理学-作物

N. S5-01

出版者地址:北京大学校内

邮政编码:100871

排印者:中国科学院印刷厂

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

版本记录:787×1092毫米 16开本 10.125印张 270千字

1994年3月第1版 1994年3月第一次印刷

定 价:10.00元

前 言

目前全球正面临着人口膨胀、耕地减少、沙漠化、环境污染和水资源短缺的严重挑战,为了人类的生存,为了满足人们日益增长的需求,生产提供数量足够、品质优良、无公害的粮食和其它农副产品以及保护人类赖以生存的环境已经成为各国政府和科学家十分紧迫的任务。我国是一个人多地少的发展中国家,解决温饱问题的任务十分艰巨。而温饱问题解决之后,如何适应商品市场发展的需要指导农业生产,难度更大。国务院文件已明确指出,今后我国农业发展的方向是建设高产、优质、高效益的农业。当代农业科学家任重而道远。

尽管全国各地年年都有大批的高产田、吨粮田甚至吨粮村问世,但是令人十分遗憾的是这些高产记录或高产典型中真正按照预先制定好的方案,一步一步实施而获得成功者极少。而这些典型出现之后能够在同一地块连续保持其高产纪录 2—3 年以上者微乎其微,如果把这些高产经验或高产模式推广移植到其它地区的话,成功率就更低了。关于如何提高农产品的优级品率,办法更少,人们的注意力常局限在优质品种的引进和应用上。至于如何解决高产与优质的矛盾,同时又要取得较好的经济效益的问题,无论从理论上还是技术上都需要组织队伍,认真开展研究。

为了取得理论和技术上的突破,国内外农学家作出了不懈地努力,我国栽培专业的科技工作者所付出的艰辛劳动更是令人感叹。但是,目前所取得的成就与我们所肩负的历史使命相比是很不相称的。回顾一下建国以来我国栽培学发展的历史,无论是 50 年代以学习总结劳模经验为主流的作物栽培研究,还是 60 年代的合理群体结构研究热,不管是 70 年代兴起的生育规律和指标化栽培研究,还是 80 年代的模式化栽培,研究工作的深度、广度以及研究手段虽然都不断有所提高,但共同的缺陷是所取得的研究成果在推广应用时,都在受到时间和空间的严格限制。具体地讲,只要推广时超越了该项成果进行田间试验时所具有的特定的时间和空间,劳模经验也好,群体结构也好,生育规律也好,栽培模式也好,都不可能取得好的效果。因为这些成果基本上没有摆脱经验模式,其应用效果好坏很大程度上要靠碰运气。

国外的情况也不比中国好多少。例如,原苏联的科学家热中于从大范围天气、土壤带来研究和解释作物产量的形成和变化规律,欧美学者则侧重从作物生育模拟和环境模拟角度,以模拟模型来解释高产栽培问题。因两种方法都不能直接控制和规划大田作物生产问题,所以,他们的研究成果同样存在一个覆盖面小,重现性差的问题。

我们知道,农学与医学同属于生物科学,但是无论是从总体水平上还是在社会经济生活中的地位上,农学与医学相比差距是相当大的。医学的研究对象是人,人的生命活动和生命过程比植物要复杂得多,譬如,人具有思想、意识和感情,其生理上、心理上的可控难度比起植物来要大得多。但是,医生给人看病,可以超越地域、国度、人种、性别、年龄以及饮食结构的差别,迅速而准确地对病情作出诊断,并开出针对性很强的处方,把病治好。而农学却达不到这种水平。为什么呢?人们习惯于这样回答:“农作物是有生命的东西,与环境密不可分”,“农业有严格的地区性”等等。这类说法显然是缺乏说服力的。

《作物养分平衡与高产栽培》一书是北京市农林科学院植物营养与计算机应用研究室的科技人员在学习、继承前人工作的基础上,结合多年来从事作物栽培研究的心得体会写成的。目的是用新的思维方式、新的指导理论和新的研究方法来探讨作物栽培学的性质、任务和方法论,以及如何振

兴作物栽培学和加速栽培科学现代化的问题。这仅仅是我们的大胆尝试,由于我们的学识水平和占有的资料等方面的限制,片面和谬误之处在所难免。我们热忱地期望读者批评指正。

本书共分六章,参加写作的人员及分工如下:

汪定淮:第一章(三)、第二章、第三章、第四章(一、二、四)、第五章(二)、第六章(七);

王富芳:第一章(一、二);

李 路:第四章(三)、第五章(一)、第六章(一、二、三);

刘尚毅:第四章(五);

沈 烈:第四章(六)、第六章(四、五、六)。

刘尚毅同志承担了绘图工作,王富芳同志负责了文献资料的搜集整理工作。

本书在编写过程中得到梅楠教授、陈士龙副教授、李文仕研究员的热情鼓励和指导,在此表示衷心感谢!

汪定淮

1992年10月于北京市农林科学院

目 录

| | |
|--------------------------------------|------|
| 第一章 提高农作物单产的巨大潜力 | (1) |
| 一、关于单产取得重大突破的事例 | (1) |
| (一) 日本国 1000 年来水稻产量的变化 | (1) |
| (二) 我国 40 年来粮食生产的重大突破 | (1) |
| (三) 遗传育种的突破与单产水平的提高 | (2) |
| (四) 远古至今单产水平的几次重大突破 | (2) |
| 二、粮食作物高产纪录 | (3) |
| 三、关于最高产量潜力的估算 | (3) |
| 第二章 高产栽培的研究与实践 | (8) |
| 一、关于高产栽培途径的回顾与思考 | (8) |
| (一) 我国作物高产栽培技术体系的演变 | (8) |
| (二) 国外高产栽培研究的动向 | (9) |
| (三) 关于高产栽培研究的成就和问题 | (11) |
| 二、农作物单产的突破与栽培科学现代化 | (11) |
| (一) 陷入困境的作物栽培学 | (11) |
| (二) 阻碍作物栽培科学发展的理论技术障碍 | (14) |
| (三) 作物栽培学的现代化与未来栽培学 | (21) |
| 第三章 从养分平衡探索高产之路 | (24) |
| 一、从一些发人深思的现象谈起 | (24) |
| (一) 京郊旱种水稻的失绿症和缩苗病 | (24) |
| (二) 大量施用厩肥引起了葡萄胡麻斑点病 | (24) |
| (三) 温室蔷薇叶子白化病 | (24) |
| (四) 亚运村月季花为什么会落叶和枯萎? | (25) |
| 二、关于科学施肥的本质与现行施肥习惯的弊病和后遗症 | (25) |
| (一) 从土壤的功能谈施肥的本质 | (25) |
| (二) 关于盲目施肥的本质 | (27) |
| (三) 现行施肥方法的后遗症 | (31) |
| 三、从实验和高产实例讨论养料元素间的关系 | (39) |
| (一) 不同营养元素间的相互作用 | (39) |
| (二) 从高产实例讨论营养元素间的比例关系 | (44) |
| 四、养分平衡增产原因的分析 | (49) |
| (一) 安全增加作物对氮素的吸收量和持有量 | (49) |
| (二) 充分发挥每一个必需营养元素的功能 | (52) |
| (三) 最大限度地克服天气和地域变化的影响 | (55) |
| 第四章 作物养分平衡诊断与调节系统的原理和方法 | (58) |
| 一、技术原理 | (58) |

| | |
|--------------------------------------|-------|
| (一) 每一种营养元素都不是孤立存在的 | (58) |
| (二) 不同营养元素在生理功能上是同等重要的 | (58) |
| (三) 植物养分含量和相互间的比例具有相对稳定性和有序性 | (58) |
| (四) 作物体内不同元素之间的比例对产量影响极大 | (58) |
| (五) 在同质地块同一生育期群体内的不同个体养分含量变异很小 | (58) |
| 二、关键技术 | (59) |
| (一) 高产、超高产作物养分动态模型的建立 | (59) |
| (二) 系统的、数量化诊断指标的确定 | (60) |
| (三) 养分数据自动处理系统软件的研制 | (61) |
| (四) 快速、精确的养分分析技术 | (62) |
| (五) 螯型氨基酸液体肥料系列的生产与应用 | (62) |
| 三、实施前的准备和工作程序 | (67) |
| (一) 实施的基本条件 | (67) |
| (二) 工作程序 | (69) |
| 四、作物营养诊断取样技术 | (70) |
| (一) 取样的目的和意义 | (70) |
| (二) 取样误差及其控制 | (71) |
| (三) 植物组织化学分析取样技术 | (72) |
| (四) 土壤采样及土样预处理 | (84) |
| 五、土壤测定与植物分析技术 | (86) |
| (一) 植物样本的前处理 | (86) |
| (二) 植物组织化学分析方法 | (88) |
| (三) 土壤速效养分的测定 | (101) |
| 六、计算机应用软件的调用 | (103) |
| (一) 应用软件的功能 | (103) |
| (二) 操作要点 | (104) |
| (三) 一季粳稻营养诊断平衡施肥微机辅助系统使用说明 | (108) |
| (四) 冬小麦营养诊断平衡施肥微机辅助系统使用说明 | (110) |
| (五) 春小麦营养诊断平衡施肥微机辅助系统使用说明 | (111) |
| (六) 春玉米营养诊断平衡施肥微机辅助系统使用说明 | (113) |
| (七) 甜菜营养诊断平衡施肥微机辅助系统使用说明 | (114) |
| (八) 大豆营养诊断平衡施肥微机辅助系统使用说明 | (116) |
| 第五章 作物养分平衡技术的实施 | (118) |
| 一、实施计划的制定 | (118) |
| (一) 最初一二年的工作要点 | (118) |
| (二) 机械化作业和航空作业计划 | (124) |
| 二、以超高产为目标的养分平衡实施计划 | (124) |
| (一) 土壤施肥与根外施肥相配合的意义 | (124) |
| (二) 新的土壤施肥设计 | (126) |
| 第六章 养分平衡高技术的应用效果和前景 | (136) |
| 一、在水稻栽培上的应用 | (136) |
| (一) 显著提高了单位面积的产量 | (136) |
| (二) 创造了一批高产典型 | (137) |

| | |
|--|-------|
| (三) 有效地克服了施肥的盲目性,显著地减少了氮素化肥和农药的投入量 | (137) |
| (四) 明显改变植株株型结构 | (138) |
| (五) 提早抽穗,活棵成熟 | (138) |
| 二、在小麦栽培上的应用 | (139) |
| (一) 促使个体发育健壮,群体协调发展,增穗、增粒、增重 | (139) |
| (二) 促进发育使提早抽穗 | (139) |
| (三) 增强抗逆性 | (139) |
| 三、在玉米栽培上的应用 | (141) |
| 四、在糖用甜菜栽培上的应用 | (142) |
| (一) 研究的背景 | (142) |
| (二) 低产低糖的原因分析 | (142) |
| (三) 高产高糖的技术关键在“养分平衡” | (143) |
| (四) 应用效果 | (144) |
| 五、在啤酒花栽培上的应用 | (146) |
| (一) 啤酒花的成分 | (146) |
| (二) 养分平衡对产量和 α -酸含量的影响 | (146) |
| 六、在切花月季栽培上的应用 | (147) |
| (一) 优质切花的质量标准 | (147) |
| (二) 月季的习性与营养需求 | (148) |
| (三) 养分平衡技术在月季栽培中的应用 | (150) |
| 七、养分平衡高技术与测土施肥的全面对比 | (152) |
| (一) 先进程度 | (152) |
| (二) 创新程度 | (152) |
| (三) 难易程度 | (153) |
| (四) 推广实用程度 | (153) |
| (五) 成果在科学上的意义 | (153) |

第一章 提高农作物单产的巨大潜力

一、关于单产取得重大突破的事例

(一) 日本国 1000 年来水稻产量的变化

公元 900 年时,日本糙米平均单产约为 1 吨/公顷,至 1868 年明治维新时,糙米平均单产为 2 吨/公顷左右。也就是说,用了将近 1000 年的时间使水稻单产翻了一番。但自 1885 年到本世纪 70 年代还不到 100 年的时间,单产又翻了一番,全国平均每公顷产糙米 4.5 吨。据有关专家分析,促使单产迅速提高的原因主要有以下五点:

- (1) 用科学和系统的方法培育出了大批优良品种;
- (2) 耕作栽培技术取得长足进步;
- (3) 化肥特别是氮素化肥的使用;
- (4) 广泛应用杀菌剂、杀虫剂和除草剂;
- (5) 大力推行土壤改良。

以上诸条也可以用图 1 来表示。

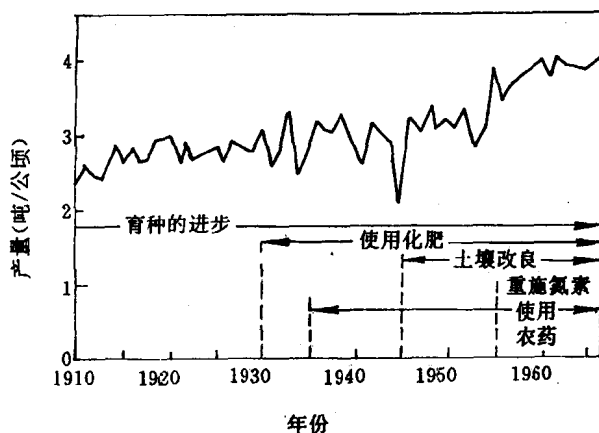


图 1 日本 1910—1965 年的水稻产量 (Ishizuka, 1969)

(二) 我国 40 年来粮食生产的重大突破

建国以来,我国农业生产有了很大的发展。全国粮食总产由 1949 年的 11318 万吨提高到 1989 年的 40745 万吨。平均亩产也由 69 公斤提高到 246 公斤。40 年来粮食总产和单产分别增长 2.6 倍和 2.57 倍。尽管我国粮食单产水平仍然偏低,但是由于播种面积达 16.5 亿亩以上,所以其增长速度仍然是举世瞩目的。

促成我国粮食大幅度增产的因素,除了政策所起的作用之外,主要依靠投入的增加(图 2)。其中主要又是依靠氮素化肥投入的增加。建国以来,国家十分重视化肥工业,化肥生产发展很快。1978 年我国化肥产量已居世界第三位,1984 年我国合成氨产量超过了美国跃居世界第二位,仅次于前

苏联。40年来,全国共生产化肥 21220 万吨,其中氮肥 16672 万吨,磷肥 4500 万吨,钾肥 47.5 万吨。1989 年全国化肥年产量达到 1770 万吨。大量化学肥料的生产和使用,使土壤中亏损的养分得到相当程度的归还和补偿,供给了农作物对养分的需求,为我国粮食产量的提高提供了物质保证。

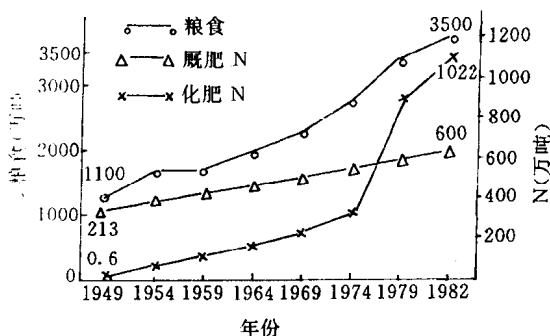


图 2 1949—1982 年全国粮食与厩肥 N、化肥 N 增长情况

(三) 遗传育种的突破与单产水平的提高

遗传学理论的发展,使作物育种工作不断取得突破,特别是水稻矮秆育种以及杂交玉米和杂交水稻的育成和推广,使单产水平迅速取得重大突破。如美国玉米单产,1876 年到 1936 年 60 年间,始终徘徊在每亩 100 公斤上下,直到育种工作依循杂种优势理论,培育出杂交玉米之后,产量才大幅度上升。1940 年到 1960 年期间是以每 10 年每亩增产 50 公斤速度增长,从 1960 年到 1978 年则以每 10 年每亩增产 100 公斤的速度增长。1979 年共种植杂交玉米 4 亿多亩,平均亩产达到 457.5 公斤。据分析,玉米平均单产由 1936 年的每亩 100 公斤提高到 1979 年的 457.5 公斤,杂交种的功劳约占 40—50%。我国于 1959 年育成矮秆水稻品种“广场矮”,此后又相继育成“珍珠矮”、“广陆 9”等 50 多个矮秆良种,使全国水稻种植基本实现了矮秆化,亩产普遍提高 100 公斤。70 年代又育成和推广了籼型杂交稻,使水稻亩产又提高了 50 公斤。1988 年全国种植杂交稻已达 19950 万亩,累计增产稻谷 600 多亿公斤。

(四) 远古至今单产水平的几次重大突破

回顾自有种植业以来的人类历史,人们不难发现,每一次科学技术的重大突破都必然导致农作物产量的大幅度提高。其中新肥源的开发与进步所引起的粮食单产突破就是极好的例子。从表 1 可知,从古到今,单产水平的几次大的飞跃,都与新肥源的开发和施肥技术的改进有密切关系。

表 1 肥源发展阶段及其对单产的影响

| 时 代 | 肥 源 | 单产水平(kg/亩) |
|--------|----------------|------------|
| 古 代 | 灰肥 | <50 |
| 中古及近代 | 灰肥+粪肥 | 50 |
| 纪元后及近代 | 灰肥+粪肥+绿肥 | <250 |
| 近 代 | 灰肥+粪肥+绿肥+化肥 | <400 |
| 现 代 | 有机肥+氮、磷、钾化肥+微肥 | <500 |
| 将 来 | ? | 750—1000 |

以上事实证明,随着科学技术的不断进步,农作物的单产也随之不断提高。这主要依赖于三大

支柱：遗传上固定的产量潜力的改进，即品种的改良；能满足植物整个生育期所需要的养分，即肥料及施肥技术；土壤和水分管理的完善。亚洲的“绿色革命”也正是品种、肥料和灌溉三个组成部分的结合，使亚洲 8 个国家从 1965 年到 1980 年水稻产量增加了 1.2 亿吨。

二、粮食作物高产纪录

尽管目前全世界水稻、小麦、玉米平均亩产分别只有 221.3 公斤、154.3 公斤和 213.0 公斤。但是，国内外在粮食作物上所创造的高产纪录已经达到了很高的水平。以水稻为例，澳大利亚、美国和日本先后创造了亩产稻谷 1097 公斤、1089.6 公斤和 876.6 公斤的纪录。还有印度马哈拉施特拉 (1974) 创造了亩产稻谷 1184.8 公斤的纪录。我国江苏省徐州农科所的杂交稻亩产超过了 900 公斤；又如美国的灌溉地小麦和旱地小麦最高亩产达 940.5 公斤和 607.5 公斤。我国青海省的诺木洪农场创造了春小麦亩产 792.7 公斤的国内最高纪录 (1973)。宁夏回族自治区莲湖农场和巴浪湖农场一万多亩春小麦平均亩产连续两年超过 550 公斤 (1990、1991)；在玉米方面最值得称颂的是美国伊利诺斯州农民 H. Warsaw 连续 20 年所从事的玉米高产试验和他所创造的高产纪录。1971 年所创造的高产纪录是每公顷 15127 公斤 (折合亩产 1008.5 公斤)，1981 年和 1985 年又分别创造了每公顷 20400 公斤 (1360 公斤/亩) 和 23224 公斤 (1548.3 公斤/亩) 的纪录，比美国玉米平均单产每公顷 7407 公斤 (每亩 493.8 公斤) 高出 2.1 倍。我国山东农民育种家李登海的玉米高产试验田也获得亩产 1010 公斤的好收成。新疆生产建设兵团 131 团在 1103.7 亩面积上取得了平均亩产 1031.02 公斤的国内玉米最高纪录 (1990)。这些高产纪录用事实向我们证明，作物提高单产的潜力有多大。

三、关于最高产量潜力的估算

日本学者酒勾氏 (1888) 最早提出了水稻产量的上限问题。他在“稻作新论”中认为每亩可产糙米 600 公斤。而当时日本单季稻最高产量约为 400—450 公斤，全国平均仅 150 公斤。

日本植物生理学家村田吉男 (1961) 认为水稻抽穗前 10 日至抽穗后 30 日之间约 40 天的光合作用效率对水稻产量有决定性的影响，故可称为“产量生产期”。此期间最大光合作用量取决于获得的总日射量。日本 8—9 月份一般平均日射量为每日每平方米 386.5 卡*。因此，理论上可能最大产量可计算如下：

$$\text{每亩每日日射量} = 386.5 \times 10^7 \times \frac{2}{3} = 257.7 \times 10^7 \text{ 卡。}$$

应用于光合作用的可见光线为 44.4%，则实际应用于光合作用的光能为

$$25.77 \times 10^8 \times 0.444 = 11.46 \times 10^8 \text{ 卡，}$$

除去叶面反射部分 9.3%，则全部叶所吸收的为

$$11.46 \times 10^8 \times 0.907 = 10.4 \times 10^8 \text{ 卡，}$$

此能量只有 90% 为光合作用场的叶绿体所吸收，则参与光合作用的能量为

$$10.4 \times 10^8 \times 0.9 = 9.4 \times 10^8 \text{ 卡。}$$

如从光合作用的变换率规定为 30%，则固定为碳水化合物的能量为

* 1 卡 = 4.1868 焦耳 (下同)。

$$9.4 \times 10^8 \times 0.30 = 28.0 \times 10^7 \text{ 卡。}$$

在产量生产期 40 日内, 如果以 1/2 消耗于呼吸作用, 则其余以米粒的碳水化合物的形式储藏着的能量为

$$28.0 \times 10^7 \times 40 \times 0.5 = 56 \times 10^8 \text{ 卡。}$$

糙米每 100 克的能量为 350×10^3 卡, 故上述积累的能量生产的糙米重为

$$\frac{56 \times 10^8}{350 \times 10^3 \times 10} = 1600 \text{ 公斤 (折合稻谷 2000 公斤/亩)。}$$

日本学者户刘义次(1962)估算, 在亩施氮素 20 公斤、最大叶面积系数为 9, 而抽穗后 40 天内为好天气, 绿叶保持到成熟, 则最高可产糙米 925 公斤/亩, 折合稻谷 1156.3 公斤/亩。

同年, 日本科学家武田友一郎计算得到水稻最高理论产量为 2400 公斤/亩糙米。其根据是: 植物生理学的研究结果认为, 光合作用将一个 CO_2 分子转化为碳水化合物, 至少要 8—10 个量子, 而 8—10 个量子所含的自由能量实际上为转化一个 CO_2 分子成碳水化合物所固定的能量的 3—4 倍。也就是说, 阳光所提供的能量并未全部转化为化学能, 而其中 2/3—3/4 以热能状态损失掉了。可见, 植物吸收光能的利用率只有 25—33%, 而 67—75% 不能被利用而失散。同时, 并非在所有条件下光合作用能量利用率都能达到这种水平。在大多数情况下, 在用于光合作用之前, 或为叶表所反射, 或者穿过叶间孔隙投射到地面而损失, 特别是在田间管理不善的情况下, 光能利用率一般低于 1—2%。此外, 还受温度和 CO_2 浓度的影响。即使是在它们不成为限制因素的条件下, 光能利用率至多也只能达到 25—33%。武田认为, 这是水稻增产的能量界限。假定每亩水稻产量为 1000 公斤糙米, 并假定全部为抽穗后到黄熟期的光合产物, 则至少要在 30—40 天中产生 2500 公斤粗光合产物。2500 公斤碳水化合物换算为热能的话, 每个碳水化合物分子相当于 674 千卡, 则 2500 公斤碳水化合物相当 94 亿卡。

如果在成熟期连续晴天, 每日每平方厘米总日射量为 500 卡, 每亩为 333 亿卡, 40 天晴天的总日射量为 1333 亿卡。如其中可见光线为 1/2, 则应用于光合作用中的能量为

$$1333 \times 1/2 = 666 \text{ 亿卡, 其光能利用率为 } \frac{94 \text{ 亿卡}}{666 \text{ 亿卡}} = 14\%。$$

因此, 光能利用率如果达到 28%, 亩产可达 2000 公斤糙米, 达到光能最高利用率 33% 时, 亩产可达 2400 公斤糙米。这一产量被武田认为是理论上的产量上限。当然, 为了达到这种产量需要满足前述各种前提条件。

我国著名科学家汤佩松(1964)从植物生理角度计算得出华北地区水稻最高亩产可达 1250 公斤。

气象学家竺可桢(1964)提出, 在我国长江流域把光能利用率提高到可能达到的限度 3%, 则每亩每季可产稻谷 1411.5 公斤。

日本育种学家角田重三郎(1966)从育种学观点推算最高产量, 认为随着水稻育种及栽培管理的进步, 单产将在目前实际最高产量 700 公斤糙米的基础上不断提高, 将来也许可达亩产糙米 1400 公斤、2800 公斤甚至 14000 公斤。角田氏所采用的估算值也为约数, 投射太阳能量为每日每平方米 4000 千卡。他认为利用光合作用波长的能量比例决定于水稻叶绿素的色素系的性质, 目前一般以 1/2 计算。将吸收的光能转化为化学能数值接近于 1/3。不过此数值是在没有光饱和条件下的最高光合作用效率。实际上田间存在着光饱和现象, 使吸收能量转化为化学能的效率大为降低。其主要原因是叶量太小及 CO_2 浓度偏低所致。角田氏估计, 随着转化率的不断提高, 将来净同化率占总同化率的比率可能由目前的 1/2 左右提高到 3/5。此外, 利用于谷粒里的日数也不是一成不变

的。在19世纪70年代谷粒生产日数一般只有21天,现在平均为28天,最高达40天,今后还会提高是没有疑问的。总之,今后单产水平是可以大大提高的。

此后又有几位科学家采用不同的方法不同的假设来估算水稻最高潜在产量(Evans, 1972; Murata & Matsushima, 1975; IRRI, 1977)。

一种估算水稻最高潜在产量的方法,是将每天或每单位入射太阳辐射的最高净光合生产量乘以谷粒生产有效日数得出的。

估算最高净光合生产量有两种基本方法。方法之一是估算出总生产量,减去呼吸损失,得到净生产量。总生产量可以从测定冠层光合作用“能流”的各个分过程求得(Murata & Matsushima, 1975)。方法之二则更多地凭借经验,要简单得多。这一方法采用水稻群体最高的光合效率纪录(IRRI, 1977)。两种方法都绝对地假定库的大小不是稻谷生产的限制因子,而且所有光合产物都是碳水化合物,并成为谷粒的碳水化合物。

方法1

假定:

- (1) 产量生产期是抽穗后40天。
- (2) 平均每天太阳辐射量为400卡/厘米²·日,其中45%为光合有效辐射。
- (3) 光合有效幅中冠层表面反射丧失为5.5%,钝化组织吸收为10%。
- (4) 还原1个CO₂分子需要8个光子,相当于26%的能量转换效率。
- (5) 太阳辐射为400卡/厘米²·日时,上位叶子光饱和造成的损失为17%。
- (6) 干物质的能量转换系数为3900卡/克。
- (7) 呼吸作用消耗总量为每日干重的1.5%(这里为1.5公斤/米²),占总光合量的25%。
- (8) 壳重对干谷重的比率为20%。

计算:

最高稻谷产量

$$\begin{aligned} &= (400 \times 10^4 \times 0.45 \times 0.945 \times 0.90 \times 0.26 \times 0.83 \times 0.75 - 1500 \times 0.015 \times 3900) \times 40 / 3900 \\ &= 1640 \text{ 克/米}^2 \text{ (干重)} \\ &= 19.1 \text{ 吨/公顷, } 1273.3 \text{ 公斤/亩 (糙米, 含水量 } 14\%) \\ &= 23.8 \text{ 吨/公顷, } 1586.7 \text{ 公斤/亩 (稻谷, 含水量 } 14\%) \end{aligned}$$

方法2

假定:

- (1) 有效谷粒灌浆期温带地区为35天,热带为25天。
- (2) 采用两个 E_u 值(光合效率):3.5%代表最高效率;2.5%代表中等效率;3.5%是日本国际生物科学计划试验中记录到的最高 E_u (Kanda, 1975)。
- (3) 谷粒的氧化热为4000卡/克。
- (4) 谷粒重对谷粒干重的比率是20%。
- (5) 开花前贮存的碳水化合物对达到最高潜在产量的贡献极微。

计算:

$$W = E_u \times T \times \bar{S} / K \times 10^4,$$

其中

$$E_u = 4.0\%,$$

T 为有效谷粒灌浆期,35天,

\bar{S} = 平均每天入射太阳辐射(卡/厘米²·日) = 400 卡/厘米²·日,

K = 氧化热(卡/克) = 4000 卡/克。

稻谷产量可按下式计算,式中作了适当的校正:重量($\times 10^6$)、面积($\times 10^4$)、谷壳($\times \frac{1}{0.8}$)、含水量($\times \frac{1}{0.86}$):

$$\begin{aligned} \text{含水量为 14\% 的稻谷产量} &= \frac{E_u \times T \times \bar{S}}{K} \times 10^4 \times \frac{10^4}{10^6} \times \frac{1}{0.8} \times \frac{1}{0.86} \\ &= \frac{0.04 \times 35 \times 400}{4000} \times 10^4 \times \frac{10^4}{10^6} \times \frac{1}{0.8} \times \frac{1}{0.86} \\ &= 20.4 \text{ 吨 / 公顷, 1360 公斤 / 亩。} \end{aligned}$$

当 $T = 40$ 天时,稻谷产量为 23.2 吨 / 公顷,1546.7 公斤 / 亩。

日本学者田中明(1978)指出,作物产量逐步提高,由于所谓报酬递减而出现生产到顶,为了打破这个生产到顶,育种学家们试验追求所谓理想型。

例如,栽培谷类作物时,大田的气温和日照几乎是不可能改善的。这样,在农业生育环境改善的界限内,具有增加产量的各种性状的品种被认为是理想型。

在具有充分的灌溉设备、进行适当的肥料管理的栽培条件下,辐射量往往成为生产的限制因子。由于日照量直接支配光合成,因而必须了解在光合成与呼吸有关的干物质生产及籽实生产。

田中明写道:到现在为止,实测的大田生长速度,水稻为 40 克/米²·日的水平是往往可见到的高值。而测定到的最高纪录是 55 克/米²·日(550 卡/厘米²·日)。Loomis 等计算可达到的是 71 克/米²·日。

关于水稻最高可能产量,生长速度以 55 克/米²·日实测值为基础。日本水稻灌浆结实期日照是 350 卡/厘米²·日,这种条件下生长速度是 35 克/米²·日。假定成熟期是 40 天,每公顷产 14 吨糙米(相当 15 吨稻谷)即 933.3 公斤/亩是可能的。再加上贮藏于茎叶中的淀粉的运转,估计每公顷可产糙米 16 吨(折合稻谷 20 吨)即 1066.7 公斤/亩。为达到这样的高产,首要的问题是扩大“库”,即颖花数和颖花大小。

田中明认为:要解决这个问题,就必须培育出在幼穗发育期对幼穗选择地供给养分和光合产物,由此能扩大库而且又能避免叶面积不必要的扩大和避免无用的节间伸长的品种。

在其它作物最高产量潜力方面,M. Tollenaar(1986)在“探索玉米高产极限”一文中指出:玉米潜在理论产量每公顷可以达到 82360 公斤(折合亩产 5490.7 公斤)。其必要条件是:美国玉米带,即土地肥沃,适宜的光照、温度和降雨;选用高产杂交种和最佳农艺措施,充分利用光热资源。

关于作物最高产量潜力还可以由下式进行推算:

$$\text{产量} = f(\text{光、热、水、肥、气})。$$

假设以上影响产量高低的 5 个因子都达到其最佳水平 80% 的效果,则

$$\text{产量} = (0.8)^5 = 0.3277 \approx 33\%。$$

通过计算得知,产量只能达到品种遗传潜力的 33%。在实际生产中影响产量的重要因素不止 5 个,而每一因素目前尚难达到其最佳水平 80% 的效果。但即便是这样,大面积生产中平均亩产超过 500 公斤的小麦、玉米、水稻比比皆是。由此推算,平均亩产 1500 公斤是可能的。

此外,Buringh 和 Van Heemst(1979)曾预言,全世界农业产量至少还能增加 20 倍。当然,这主要也是依赖单位面积产量的提高。

所有这些都向人们展示出了在提高农作物单位面积产量方面的巨大潜力。

参 考 文 献

- [1] 吉田昌一著,厉葆初译,稻作科学原理,浙江科学技术出版社(1984)。
- [2] 张春宜,重视养分归还保证农业增产防止地力衰退,湖北农业科学(1991)。
- [3] 奚振邦,从物质能量循环看化肥的积极作用,上海市农业科学院研究论文集,第五卷,第二期(1982)。
- [4] 浙江农科院情报室编译(1975),水稻高产生理、栽培和育种(p. 63—72)。
- [5] 沈允钢等,光合作用,上海科学技术出版社(1978)。
- [6] 汤佩松,从植物的光能利用效率看提高单位面积产量,人民日报(1963. 11. 12)。
- [7] 竺可桢,论我国气候的几个特点及其与粮食生产的关系,科学通报(1964. 2)。
- [8] H. 范柯伦等著,农业生产模型,中国农业科技出版社(1990)。

第二章 高产栽培的研究与实践

一、关于高产栽培途径的回顾与思考

(一) 我国作物高产栽培技术体系的演变

作为一个人口众多的发展中国家,农业生产,特别是粮食生产在国民经济中占有十分重要的地位。政府长期以来都把“农业是国民经济的基础”、“粮食是基础的基础”作为治国的方针。只要粮食产量高,甚至可以不管经济效益,提倡算政治账而不算经济账。这足以证明,从中央到地方对于提高粮食作物的单位面积产量何等重视。

回顾建国四十多年来我国作物栽培学发展的历史,人们不难发现,围绕高产栽培和科学施肥问题,我国农业科技工作者做了许多艰苦细致的工作,但从学术上并未取得实质性的进展。

1. 环境栽培学

50年代,作物栽培学界注意的重点是与作物生育有关的各项环境因子(如光、热、土、肥、水、气等)及其变化规律。试验研究的目的是为了探索通过肥水运筹和其它措施来造就一个最理想的生育环境的方法,使作物能够实现合理的生育进程而取得丰产。代表这一时期作物栽培科学的主流和方向的是学习、总结和推广劳模经验。当时,哪个地方出了个劳模,农业科技工作者就背起被包前去同吃、同住、同劳动,认真学习和总结劳模经验。发展到50年代后期,毛泽东亲自总结农民经验,提出了以“土、肥、水、种、密、保、管、工”为内容的农业“八字宪法”。既然是“宪法”,就成了农业和农业科技界的根本大法。在政府“理论联系实际、科学为生产服务”和“走群众路线”的指引下,各级农业科研单位和农业院校的大批科学工作者纷纷奔向农村,建立基点,围绕农业“八字宪法”,系统调查大面积丰产经验和劳模高产经验。当时被树为典范的是前中国农业科学院江苏分院组织各学科专业人员对上海松江水稻劳模陈永康“三黄三黑”经验的总结,以及吉林省农业科学院对朝鲜族劳模崔竹松的水稻高产栽培经验的总结,二者合称为“南陈北崔”。在农业科技界可以说是无人不知,无人不晓。在有关方面的着力推动下,在全国各地都兴起了总结、推广劳模丰产经验的热潮。一些认为“劳模经验有局限性”、“劳模经验不等于科学”的科技工作者,被扣上“采取资产阶级老爷式态度”而遭到严厉批判。当时被认为是最富于科学性和进步性的口号是“看天、看地、看庄稼。”由于这些经验大多是一些可以体会而不能言传的模糊口号,而且更重要的是这些经验出自特定的环境和很小的田块。因此一般推广面积都不大。当时所谓“高产田”的水平也就是亩产350公斤±100公斤的样子。

2. 形态指标栽培学

60年代初至70年代初,作物栽培界的注意力由对影响作物生长发育的环境因子的研究转移到了对作物本身外部形态指标的研究。其重点不再是“光”、“热”、“水”、“土”、“肥”、“气”,而是作物的株高、分蘖、叶面积、叶色变化、穗数、穗粒数和千粒重等数量性状以及它们同栽培措施的关系。其目的是协调田间苗、株、穗、粒和粒重的关系,以培育结构合理的群体而取得高产。代表这一期间作物栽培科学方向和主流的是举国上下的作物群体结构研究热和关于合理群体结构的大论战。通过群体结构研究成果的推广应用,使“高产田”的产量提高到了每亩400公斤到500公斤的水平。但是

从理论的高度上,高产群体的培育到底应该是“充分利用分蘖成穗,从稀到密”,还是“越密越好”,或者是二者的折中,因地制宜,至今也是各执己见,只好不了了之。

3. 模式化栽培

70年代中至80年代末,先后又兴起了“作物生长发育规律”、“指标化栽培”、“高产数学模型”以及“模式化栽培”的研究热潮,特别是旋转回归设计试验和模式化栽培研究席卷了全国。尽管研究工作的深度和广度都有了明显的提高,但是最终也未能摆脱经验模式。研究成果在推广应用时,只要不是研制模型过程中所用数据来源的时间和空间,只要脱离了这一特定的区域,就不能取得良好的效果。也就是说所谓“模式”其实是并不存在的。我们知道,模式化栽培的基本途径是通过大量的田间试验,取得不同处理的产量数据之后用数理统计方法建立作物产量与多种相关因素的经验关系式,再用电子计算机对各种因素的不同组合进行筛选,以确定高产模式,并用于大田生产。尽管这类研究采用了先进的电子计算机技术,但是栽培管理的主要依据仍然是难以控制的作物的形态指标和环境指标。与60年代的群体结构研究相比,除了研究手段有明显提高以外,学术水平并无本质上的差异。数理统计学常识告诉我们,经验公式是不能外推的,模式化栽培研究成果也不例外。所以,尽管这类研究的研究过程较长,兴师动众规模较大,经费投入较多,但成果覆盖面并不大,也不可能很大,重现性也不可能好。

由于栽培学从理论上和技术上没有取得重大突破,所以便把提高单产的希望寄托在大量增加化学肥料的投入上。其结果不仅造成生产成本的增加和肥料报酬的下降,而且引起环境污染和农民的反感。他们说:“你们专家要产量,我们农民要钱。”据全国化肥试验网资料,我国每施用1公斤纯氮生产的稻谷,1958—1962年是20.6公斤,而1981—1982年下降为9.1公斤。同期生产的小麦和玉米也分别由15.8公斤下降为10.0公斤和30.0公斤下降为13.4公斤。磷肥肥效也有同样趋势。尽管如此,许多栽培专家的兴趣仍然停留在指导农民增施肥料上。

(二) 国外高产栽培研究的动向

1960年以来,随着高产半矮秆品种的育成和化肥投入的不断提高,西欧各国小麦生产出现了不少高产栽培技术体系。其中最有代表性的是Laloux体系和Schleswig—Holstein体系。

Laloux体系是由比利时Gembloux大学的Laloux教授于1967年提出来的。其主要内容可概括为以下五点:

- (1) 较低的密度:每平方米基本苗200株,收获穗数400—560个;
- (2) 施氮量:每公顷140公斤(其中分蘖期30公斤,起身期80公斤,孕穗期30公斤);
- (3) 拔节期喷矮壮素(46%有效成分的CCC1—1.5升/公顷),防止倒伏;
- (4) 出苗前或早春使用除草剂;
- (5) 药剂防治病虫害。

Schleswig—Holstein体系的主要特点是高投入、高产出。主要通过密度、施肥和化控措施的协调争取较高产量。

就理论技术水平来讲,同我国50年代末、60年代初的作物栽培学并无明显差别。栽培管理的重点同样是环境条件和作物形态指标这些难以控制的因子。

在水稻方面,国际钾肥研究所推荐的高产步骤是:

- (1) 及时维修排灌渠系;
- (2) 仔细整地、及时灌溉,防止土壤变酸;
- (3) 栽培抗病虫的现代品种;
- (4) 确保种子纯净、品种优良;