



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



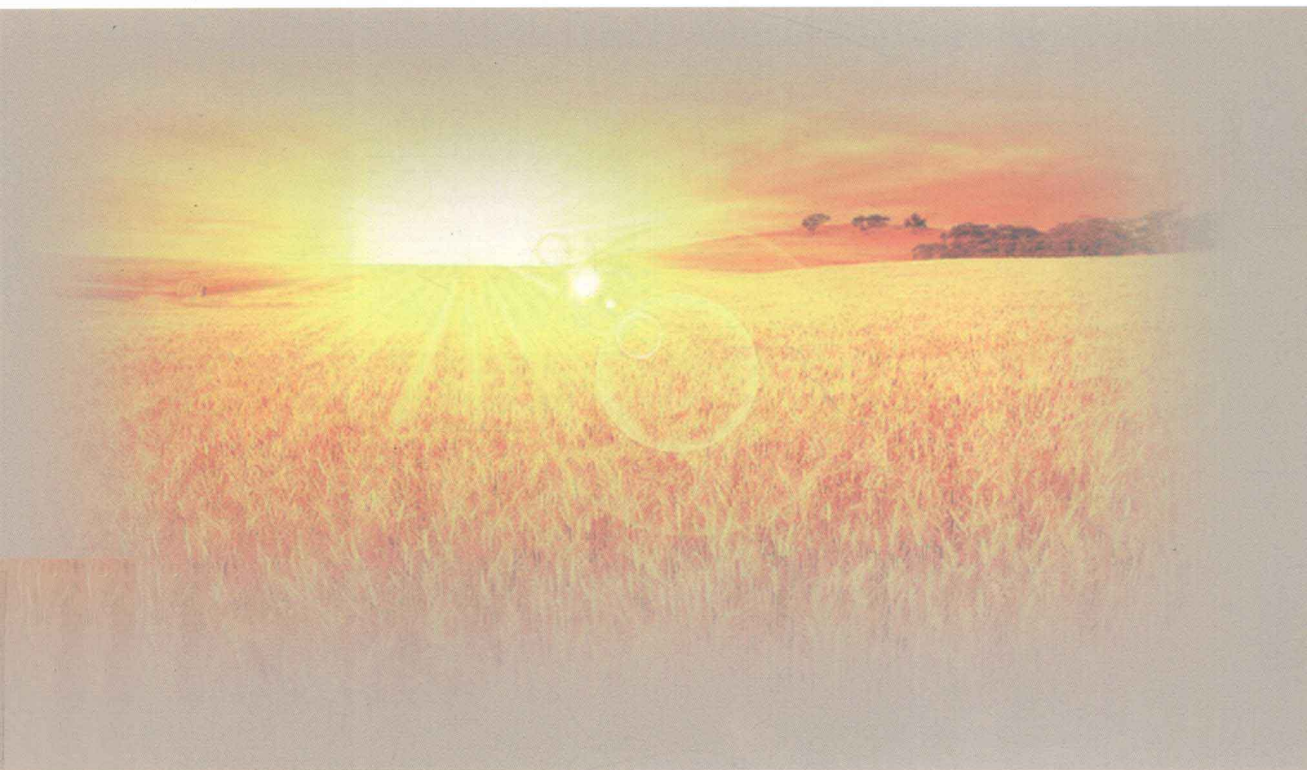
面向 21 世纪 课 程 教 材  
Textbook Series for 21st Century

(第 2 版)

# 作物化学控制原理与技术

Zuo Wu Hua Xue Kong Zhi Yuan Li Yu Ji Shu

段留生 田晓莉 主 编



中國農業大學出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
面向 21 世纪课程教材

**Textbook Series for 21st Century**

# 作物化学控制原理与技术

(第 2 版)

段留生 田晓莉 主编

中国农业大学出版社

• 北京 •

## 内 容 简 介

作物化学控制原理与技术是作物学与植物生理学、化学等学科相互渗透的新兴交叉学科。本书以中国农业大学多年教学内容和体系为基础,吸收了国内外相关学科的最新研究成果编写而成,系统阐述了作物化学控制的理论基础、技术原理、植物生长调节剂、成熟技术和应用潜力,特别注重了理论与实践的结合。全书共分为植物信号系统和植物激素、植物生长发育的激素调控、植物生长调节剂、作物化学控制的技术原理、主要农作物化学控制技术、作物化学控制技术应用潜力和趋势等6章。

本书为面向21世纪课程教材和普通高等教育“十一五”国家级规划教材,可用作高等农林院校、师范院校、综合性大学本科、研究生教材,也可供相关教学、科研人员参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

作物化学控制原理与技术/段留生,田晓莉主编.—2版.—北京:中国农业大学出版社,2011.6

ISBN 978-7-5655-0306-1

I. ①作… II. ①段… ②田… III. ①作物-植物生长调节剂-研究 IV. S482.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第100230号

书 名 作物化学控制原理与技术(第2版)

作 者 段留生 田晓莉 主编

策划编辑 冯雪梅

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 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

版 次 2011年6月第2版 2011年6月第1次印刷

规 格 787×1092 16开本 23.75印张 588千字

定 价 40.00元

责任编辑 尹 静

责任校对 王晓凤 陈 莹

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出版部 010-62733440

E-mail [cbsszs@cau.edu.cn](mailto:cbsszs@cau.edu.cn)

图书如有质量问题本社发行部负责调换

## 编 审 人 员

**主 编** 段留生(中国农业大学)  
田晓莉(中国农业大学)

**副主编** 李召虎(中国农业大学)  
王保民(中国农业大学)

**编写者** (按姓氏拼音顺序排列)  
陈德华(扬州大学农学院)  
段留生(中国农业大学)  
郭平毅(山西农业大学)  
李 玲(华南师范大学)  
李召虎(中国农业大学)  
谭伟明(中国农业大学)  
陶 波(东北农业大学)  
田晓莉(中国农业大学)  
王保民(中国农业大学)  
王华芳(北京林业大学)  
王铭伦(莱阳农学院)  
夏 凯(南京农业大学)  
杨青华(河南农业大学)  
杨文钰(四川农业大学)  
曾晓春(江西农业大学)  
翟丙年(西北农林科技大学)  
张明才(中国农业大学)  
郑殿锋(黑龙江八一农垦大学)

**主 审** 韩碧文教授(中国农业大学)  
何钟佩教授(中国农业大学)

## 第 2 版前言

《作物化学控制原理与技术》2005 年出版以来,被全国高等农林院校、师范院校、综合性大学广泛用作本科生、研究生教材,并得到良好评价。本教材 2008 年荣获全国高等农业院校优秀教材奖。

近年来植物激素信号系统和调控的研究不断深入,一些新的植物生长物质得到开发和应用,国家的植物生长调节剂相关管理政策也有一定调整。为反映这些新的成果,保证教材内容的先进性,我们决定再版此书,并被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

在本次修订时,仍以原书章节为基础,吸纳了学科领域的新进展、新技术、新成果,考虑到行业管理政策的变化,主要在如下几个方面进行了修订:①增补了植物激素与植物生长发育调控方面的基础理论研究新进展。②补充了新近研发和进入应用的植物生长调节剂,删减了部分已限制使用或应用不多的植物生长调节剂。③根据国家对农药登记管理的新政策,更新了植物生长调节剂研发和管理的相关内容。④根据农业需求变化和应用技术的研究新进展,对作物化控技术部分进行了适当调整。

本书修订版仍然是集体智慧的结晶,除原书作者外,中国农业大学的张明才、谭伟明博士在内容核对、补充等方面做了大量工作。感谢中国农业大学出版社领导、编辑和工作人员对本书再版提供的大力支持,感谢周繁、李茂营、李芳军、高伟、张燕、段鹏飞等研究生在资料收集、文稿整理和校对等方面付出的辛苦劳动。

由于时间较紧,编者水平有限,修订不全、不当之处在所难免,欢迎广大师生批评指正。

编者

2011 年 5 月

## 第 1 版前言

作物化学控制是一门近年新兴的交叉性学科,该学科始于 20 世纪 30 年代生长素的发现。目前该学科理论和技术在农业生产中已广泛应用,经济和社会效益巨大。中国农业大学(前北京农业大学)1985 年开始在全国农业院校中首次开设该课程,目前我国其他农业、林业、生物类专业院校和综合性院校的相关专业,已普遍开设类似课程。

由于这种新兴和交叉领域的特点,该课程的相关知识分散在相关学科教材和研究专著中,目前国内外还没有系统成熟的教材,在教学内容和体系上都没有统一,因而组织编写一部系统的、高质量的作物化学控制原理与技术教材是教学的迫切需要,也是我们从事相关教学教师的多年愿望。本教材作为“高等教育面向 21 世纪教学内容与课程体系改革与实践”的成果之一,是在中国农业大学等相关院校多年教学实践基础上,根据教学情况发展和教改成果,对原教学大纲、体系、内容和表现方法做了修订,吸收融合了国内外相关新成果和新进展,并充分联系我国生产实际,组织了全国目前开设相关课程的十几所主要高校中从事该课程教学的一线教师编写的。

编者根据本学科新兴、交叉和应用性强的特点,力求体现以下几点:

(1)构建完善系统的知识内容和体系,由微观到宏观,脉络清楚,结构完整。

(2)内容新颖,理实并重。围绕基本知识和理论,跟踪国内外最新研究进展,反映本学科领域基本理论和最新科技成就。在应用技术方面,结合我国农业生产中的问题和难题,补充大量大田作物整株水平研究的结果,分别介绍农作物、园艺作物、特殊用途作物、林木等植物上的应用技术。

(3)形式灵活,便于教学。针对该课程涉及的学科和知识点多、内容新、实用性强的特点,在内容安排和写作上力求理论原则清楚易懂,技术方法准确实用,研究进展简明有条理。每章附有复习思考题,提高学生利用所学知识解决实际问题的能力。讨论题建议在引导学生查阅资料的基础上,进行课堂专题讨论或完成书面报告。每章后附有参考文献,供课外学习和参考。

考虑到本课程的多学科交叉特点,以及使用该教材学生专业基础的多样性,在本教材编写时,以要求学生掌握的本学科基本知识和技术为主体,兼顾介绍分子生物学等新技术应用于本学科的新进展,以开拓学生视野。建议教师根据本专业情况和基础,在教学时有所选择。如对植物类专业,本书第一章和第二章关于植物激素及其对生长发育调控的内容如果在植物生理学课程中已讲授,则可以减少该部分的学时安排。作物化控研究和实验方法也是本学科教学体系中重要的部分,该部分将作为与本教材配套的实验技术指导《作物化学控制研究技术》出版,在本教材中不再赘述。

本书是中国农业大学作物化学控制研究中心多年教学成果结晶,也是全国从事该课程教学的一线教师协作的结果。编写过程中一直得到何钟佩教授、韩碧文教授的关心和鼓励,并在百忙中抽时间审阅文稿。美国加州大学 Riverside 校区的 Carol Lovatt 教授,美国植物生长物质协会现任主席加州大学 Davies 校区的 Louise Ferguson 教授等曾给予写作建议和相关新信息。中国农业大学农学与生物技术学院的研究生章家长、谢备涛、汪宝卿、曲华建、张志梅、王华磊、谢志霞、姜临建、周高峰、林喆等在资料收集、图表加工、文稿整理和校对等方面做

了大量辛苦工作。中国农业大学出版社的编辑和工作人员对本书的出版付出了大量劳动。编者在此一并表示衷心感谢。

该书可作为高等农林院校、师范院校、综合性大学本科生、研究生教材,也可供教学、科研和农业技术推广人员参考使用。

由于时间仓促,失误之处在所难免,希望广大师生批评指正,以便再版时修正。

**编者**

2004年10月

# 目 录

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 绪 论                           | (1)  |
| 第一节 作物化学控制的相关概念               | (1)  |
| 第二节 作物化学控制学科的特点和意义            | (1)  |
| 一、学科特点                        | (1)  |
| 二、意义                          | (2)  |
| 第三节 作物化学控制学科的任务和知识体系          | (3)  |
| 第四节 国内外化学控制技术应用的主要进展          | (4)  |
| 一、跟踪国外研究和探索实验阶段               | (4)  |
| 二、开拓植物生长调节剂应用领域阶段             | (4)  |
| 三、大田作物化控技术开发和成功推广阶段           | (5)  |
| 四、我国作物化学控制理论的发展               | (6)  |
| 第一章 植物信号系统和植物激素               | (9)  |
| 第一节 植物信号系统                    | (9)  |
| 一、结构信号                        | (9)  |
| 二、化学信号                        | (11) |
| 三、物理信号                        | (11) |
| 第二节 植物激素和生长物质的种类              | (12) |
| 第三节 植物激素分布、合成、代谢、运输、生理功能和作用机理 | (14) |
| 一、生长素类                        | (14) |
| 二、细胞分裂素类                      | (29) |
| 三、赤霉素                         | (38) |
| 四、脱落酸                         | (49) |
| 五、乙烯                          | (60) |
| 六、油菜素内酯                       | (70) |
| 第四节 其他内源植物生长物质                | (74) |
| 一、茉莉酸类                        | (74) |
| 二、多胺                          | (77) |
| 三、水杨酸                         | (77) |
| 四、寡糖素                         | (78) |
| 五、系统素                         | (79) |
| 第二章 植物生长发育的激素调控               | (82) |
| 第一节 植物物质代谢的调控                 | (82) |
| 一、同化物合成和代谢的调控                 | (82) |
| 二、源库关系的调控                     | (86) |
| 三、矿质元素吸收和运输的调控                | (88) |
| 四、水分代谢的调控                     | (91) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 五、次生物质代谢的调控           | (93)  |
| 第二节 植物生长发育的激素调控       | (94)  |
| 一、主要器官建成和发育的调控        | (94)  |
| 二、休眠与萌发的调控            | (105) |
| 三、营养生长的调控             | (110) |
| 四、性别分化和育性的调控          | (112) |
| 五、成熟的调控               | (117) |
| 六、衰老的调控               | (122) |
| 七、脱落的调控               | (126) |
| 八、逆境反应和抗性的调控          | (129) |
| 第三节 整株水平上多种激素的控制类型    | (133) |
| 一、激素间的相互作用            | (133) |
| 二、生长相关性及其激素调控         | (138) |
| 三、整株水平多种激素调控模式        | (147) |
| 四、植物间的他感作用            | (148) |
| 第三章 植物生长调节剂           | (151) |
| 第一节 植物生长调节剂基本知识       | (151) |
| 一、植物生长调节剂分类           | (151) |
| 二、植物生长调节剂命名           | (156) |
| 三、植物生长调节剂剂型           | (157) |
| 四、植物生长调节剂相关管理政策       | (158) |
| 五、植物生长调节剂的研发策略和程序     | (163) |
| 第二节 主要植物生长调节剂理化性质和功用  | (164) |
| 一、植物生长促进剂             | (164) |
| 二、植物生长延缓剂             | (177) |
| 三、植物生长抑制剂             | (183) |
| 四、其他                  | (188) |
| 五、植物生长调节剂的理化性质与应用     | (190) |
| 第三节 植物生长调节剂的配合使用和复合制剂 | (192) |
| 一、混合使用                | (192) |
| 二、先后使用                | (195) |
| 第四节 植物生长调节剂的施用途径和方法   | (196) |
| 第五节 植物生长调节剂的药害和防止     | (197) |
| 一、药害产生的原因             | (197) |
| 二、防止药害的主要措施           | (197) |
| 第四章 作物化学控制的技术原理       | (199) |
| 第一节 植物生长调节剂的吸收、运输和代谢  | (199) |
| 一、植物生长调节剂的吸收          | (199) |
| 二、植物生长调节剂的运输          | (204) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 三、植物生长调节剂在植物体内的代谢 .....        | (205) |
| 第二节 植物生长调节剂的作用原理 .....         | (207) |
| 一、赤霉素(GA)生物合成的化学控制 .....       | (207) |
| 二、乙烯(ETH)生物合成的调控 .....         | (209) |
| 三、生长素(IAA)运输的化学控制 .....        | (210) |
| 四、酚类物质对生长素(IAA)代谢的调节 .....     | (211) |
| 五、乙烯(ETH)与受体结合的化学控制 .....      | (213) |
| 第三节 植物生长调节剂作用的特点和影响因素 .....    | (214) |
| 一、植物生长调节剂作用的几个特点 .....         | (214) |
| 二、植物生长调节剂效果的影响因素 .....         | (216) |
| 第四节 植物生长调节剂两类效应划分 .....        | (219) |
| 一、基本效应 .....                   | (220) |
| 二、复合效应 .....                   | (220) |
| 第五节 作物化学控制技术的完整内容和评价体系 .....   | (220) |
| 一、完整目标 .....                   | (220) |
| 二、完善内容 .....                   | (221) |
| 三、评价体系 .....                   | (221) |
| 第六节 作物化学控制技术的发展策略和三种应用模式 ..... | (228) |
| 一、对症应用 .....                   | (228) |
| 二、定向诱导和系统化学控制 .....            | (228) |
| 三、双重调控和化学控制栽培工程 .....          | (229) |
| 第五章 主要农作物的化学控制技术 .....         | (232) |
| 第一节 粮食作物化学控制技术 .....           | (232) |
| 一、水稻化学控制技术 .....               | (232) |
| 二、小麦化学控制技术 .....               | (242) |
| 三、玉米化学控制技术 .....               | (258) |
| 四、大豆化学控制技术 .....               | (262) |
| 第二节 经济作物化学控制技术 .....           | (263) |
| 一、棉花化学控制技术 .....               | (264) |
| 二、麻类、芦苇化学控制技术 .....            | (279) |
| 三、烟草化学控制技术 .....               | (280) |
| 四、油料作物化学控制技术 .....             | (282) |
| 五、甘蔗、甜菜化学控制技术 .....            | (286) |
| 六、茶树化学控制技术 .....               | (286) |
| 七、桑树化学控制技术 .....               | (288) |
| 第三节 果树化学控制技术 .....             | (289) |
| 一、仁果类果树的化学控制技术 .....           | (289) |
| 二、浆果类果树的化学控制技术 .....           | (295) |
| 三、核果类果树的化学控制技术 .....           | (299) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 四、荔果类果树的化学控制技术 .....       | (302) |
| 五、聚复果类果树的化学控制技术 .....      | (303) |
| 六、柑果类果树的化学控制技术 .....       | (304) |
| 第四节 蔬菜化学控制技术 .....         | (305) |
| 一、瓜类化学控制技术 .....           | (306) |
| 二、茄果类化学控制技术 .....          | (311) |
| 三、根菜类化学控制技术 .....          | (315) |
| 四、绿叶菜类化学控制技术 .....         | (316) |
| 五、白菜类化学控制技术 .....          | (317) |
| 六、葱蒜类化学控制技术 .....          | (319) |
| 七、薯芋类化学控制技术 .....          | (320) |
| 第五节 林草花卉化学控制技术 .....       | (322) |
| 一、林木化学控制技术 .....           | (322) |
| 二、花卉化学控制技术 .....           | (325) |
| 三、草坪化学控制技术 .....           | (333) |
| 第六节 中药材植物化学控制技术 .....      | (334) |
| 第七节 藻类、食用菌化学控制技术 .....     | (335) |
| 一、藻类化学控制技术 .....           | (335) |
| 二、食用菌化学控制技术 .....          | (336) |
| 第六章 作物化学控制技术的潜力和发展趋势 ..... | (341) |
| 第一节 作物化学控制技术的应用潜力 .....    | (341) |
| 第二节 作物化学控制技术发展方向与趋势 .....  | (347) |
| 英中文名词对照(按英文字母顺序排列) .....   | (351) |

# 绪 论

## 第一节 作物化学控制的相关概念

作物化学控制技术(crop chemical control/regulation/manipulation),是指以应用植物生长调节物质为手段,通过改变植物内源激素系统,调节作物生长发育,使其朝着人们预期的方向和程度发生变化的技术。早期多被称为“植物生长调节剂在农业上的应用”,1965年日本的山田登在其著作《作物生长发育的化学控制》中已使用“化学控制”一词,国内由北京农业大学20世纪70年代末最早提出“作物化学控制”的概念,并创立和完善了相关理论。

阐述和理解作物化学控制的含义,涉及植物激素、植物生长调节物质等基本概念。

植物激素(plant hormone 或 phytohormone):植物体内代谢产生的、能运输到其他部位起作用的、很低浓度就有明显调节生长发育效应的化学物质。

植物生长调节剂(plant growth regulator):人工合成的,低浓度即可影响植物内源激素合成、运输、代谢及作用,调节植物生长发育的化学物质。包括人工合成和提取的天然植物激素,如吲哚乙酸(IAA)、赤霉素( $GA_3$ )等;人工合成的天然植物激素的类似物,如萘乙酸(NAA)、吲哚丁酸(IBA)、6-苄氨基嘌呤(6-BA)等;人工合成的与天然植物激素的结构不同,但具有调节活性的物质,如缩节安(DPC)、矮壮素(CCC)、氯丁唑(PP333,多效唑)、乙烯利等。

植物生长物质(plant growth substance):泛指对植物生长发育有调控作用的内源的和人工合成的化学物质。

作物化学信息调控(crop control based on chemical information):基于作物受化学信息控制的思想 and 理论,通过使用植物生长调节剂、环境诱导等手段,在改变作物化学信息系统基础上实现对作物的人工控制。

## 第二节 作物化学控制学科的特点和意义

### 一、学科特点

1. 作物化学控制是理论与实践有机结合的学科 作物化学控制的理论基础是20世纪生物学研究揭示的植物生长发育受激素等信息控制这一重大成果,目标是解决农业生产中的问题,提高生产力,一直是理论和实践有机结合、相互促进的典型。在70多年的时间内,6大类植物激素的结构、生物合成、代谢、生理效应、信号转导和作用机理,植物调节剂创制、筛选、评价等理论迅速稳步发展,已形成较完善的理论体系。植物生长调节剂和激素调控理论在农业生产上的应用更是广泛多样,有很多成功的范例。如赤霉素在杂交稻制种上的应用、甲哌磺在棉花上的应用、乙烯抑制剂在果品保鲜上的应用等,都引起作物生产和产业的重大技术革新,取得巨大的经济和社会效益。理论的进展为技术应用提供了基础、指导和保证,而实践应用又

验证、丰富和完善了理论,而且不断发现和提出新的理论问题。

2. 作物化学控制是应用性学科 在作物化学控制学科发展的早期是应用推动了理论的发展。生长素一经发现,在对其机理和相关理论的掌握几乎完全是空白的情况下,就开始应用于农业、工业,甚至军事。赤霉素发现不久,就在啤酒工业中用于促进大麦发芽和糖化,提高品质和效率。生长素在促进生根、延衰保鲜等方面的应用也有力推动了基础理论研究。在学科发端到体系健全的今天,实践应用性一直是作物化学控制发展的核心和推动力。学科的应用有两个主要方向:一是在农业上,控制作物生长发育,解决生产问题,提高生产力和种植效益;二是在化工或农药加工上,植物生长调节剂产品的生产和销售,已经成为农用化学品应用最广、效益最高、增长最快的类别之一。每一个新调节剂化合物和产品的问世,都意味着新的商业机会、巨大的利润潜力,甚至产业的突破性革新。

3. 作物化学控制是一门交叉学科 从作物化学控制的概念,就可以看出该学科是一门交叉学科,宏观看是生物学、信息学、化学、农业的交叉领域。因为作物化学控制的基础是植物生长发育的调控,属生物学范畴。激素是植物信号物质,其产生、代谢、运输、作用,都是信息学的范畴;而作物化学控制的手段是应用植物生长调节剂,它们主要是通过化学合成的。激素等信号物质鉴定、合成代谢等研究离开化学也是不可能的。

作物化学控制学科涉及生物类(植物学、植物生理学、生物化学、免疫化学、分子生物学)、化学类(有机化学、分析化学、农药学等)、农艺类(作物栽培、育种、植保、营养、园艺等)、环境类(环境生态学等)、医学类(毒理学等)、经济学等多个学科,并不断被分子生物学、分子生态学、分子信息学等新兴和前沿学科的思想、理论和技术所渗透和充实,相关新学科的技术和理论突破都可能诱发本学科的飞跃式发展。

4. 作物化学控制是一门新兴的前沿学科 1928年第一个植物激素即生长素的发现是本学科的开端,至今仅70多年的发展历史,与植物生理学、作物栽培学等相比,无疑是一门新兴学科。该学科理论研究和技术研究,从一开始就一直结合当时最先进、最前沿的技术,新学科新技术的发展都在本学科被快速吸收和利用。例如,近年随着生物技术的发展,突变体和转基因技术已经被普遍应用于激素代谢和作用机理的研究,更新了人们的认识。较早成功生产应用的转基因植物中转ACC合成酶反义基因耐储存番茄和转*ipt*抗衰老烟草等都是本学科与前沿生物技术成功结合的结果。基因芯片技术也已开始应用于激素诱导基因表达机理研究和活性物质的高通量快速筛选。分子设计和生物合理设计已成为新型调节剂创制的主要手段。高分子材料和纳米技术也开始被用于调节剂的加工来提高产品利用率和效果。这些例子都说明作物化学控制的目标、理论、技术和方法等都处于科学发展的前沿,在多数国家,都被列为与基因工程同等重要的、重点发展的高新技术。

## 二、意义

1. 作物化学控制是作物生产管理技术的新观念 作物生产是作物、环境与人为措施综合作用的结果。常规作物管理技术概括起来有3类:①遗传育种改变基因型;②改善环境,耕作、株行配置、肥、水、病虫草害防治、地膜覆盖、保护地栽培等;③强制措施,整枝、镇压、断根、疏花疏果、打顶、剥皮等。以改善环境为目标的常规栽培技术在逆境适应性、效果稳定性、可操作性、劳动效率、资源利用率、经济效益等方面有很多局限。

作物化学控制技术是通过调控植物内部化学信息系统,改变生长发育过程,发挥良种潜

能。它与常规栽培技术有本质区别,常规栽培技术是着眼于改变作物生长环境,最大限度满足作物需求,重在“外”;而作物化学控制技术是改变植物生长发育和生理活性,增强作物对环境适应性和资源利用能力,重在“内”。

2. 作物化学控制为作物生产提供了高效、安全的实用技术 作物化学控制技术虽然原理复杂,但使用技术简便,用量少,见效快,效益高,便于推广应用,多对环境和产品安全。在生产上可以代替某些常规栽培技术的作用,如防止小麦倒伏,常规措施要选用矮秆品种、返青期镇压或深耕断根、控制返青肥水等,操作起来费事费工,效果也不稳定,而应用植物生长延缓剂在起身期只要喷施一次,就可有效防止倒伏。化学控制技术还可起到常规技术难以达到的效果,如诱导单性结实、控制性别分化、化学杀雄等。

3. 作物化学控制是提高作物生产力的重要新技术资源 从目前的应用和发展趋势看,作物化学控制技术的应用潜力远未充分发挥,很多尚处于开拓阶段。如逆境一直是限制作物良种潜力发挥和增产增收的症结,而大田生长条件下有些逆境难以控制或控制成本太高,如温度逆境、水分逆境、空气污染等。已发现有些植物生长物质(脱落酸、水杨酸、茉莉酸甲酯等)在诱导抗逆性方面有良好效应和应用潜力。再如小麦等作物品质不稳定是影响加工效益的因素,已发现品质形成过程中某些关键酶、功能蛋白和基因受激素调控,化学控制技术的应用无疑比常规栽培技术要简便高效。作物化学控制在形成无籽果实、改变果形、促进着色、辅助收获等常规技术难以解决的生产问题上,也有巨大的应用潜力。这一技术资源的充分挖掘和扩大应用,对提高作物生产力意义重大。

4. 作物化学控制是未来农业发展的主导技术之一 化学控制技术可以活化、简化常规栽培技术体系,提高其效益和安全性,而化学控制全态修饰的植物对环境、物质和能量产生的需求发生变化,也需要常规栽培管理技术发生相应的变革。生物技术(育种)、常规栽培和作物化学控制三者有机融合,形成作物化学控制栽培工程,可以从基因型、基因表达和环境多方面作用,是克服目前生产问题限制,提高作物生产力和效益,充分利用生物、环境等自然资源的发展方向,被很多科学家认为是未来作物生产的核心或主导新技术之一。

### 第三节 作物化学控制学科的任务和知识体系

作物化学控制学科的任务主要是:揭示植物激素等信号物质的产生、代谢、运输和作用规律,及其在植物生长发育过程中的调控作用和作用机理;研究植物生长调节剂创制、筛选、应用和评价的理论和原理;创建植物生长调节剂应用及与其他作物生产管理技术有机结合的技术体系,提高作物生产力和效益;探索与新兴和前沿技术结合的有学科特色的研究技术体系。

本课程主要目的和任务,是使学生对作物化学控制的基本概念、基本原理和基本原则有全面系统的了解,掌握主要作物化学控制实用技术和植物生长调节剂室内外研究、评价方法和管理体系,了解该学科历史、现状和发展趋势,深刻认识作物化学控制技术是实现定向诱导作物生长发育及促进现代种植业技术发展的重要技术资源。

该学科的知识体系包括:植物信号系统的组成、植物激素的合成、代谢、效能和作用机理;植物生长发育的信息调控;植物生长调节剂合成、筛选和开发;植物生长调节剂农艺评价;植物生长调节剂毒理学和环境安全性评价;作物化学控制技术原理和开发平台;主要作物化学控制

技术;化学信息栽培工程新理论;现代研究方法;植物生长调节剂生产和应用管理体系等。

## 第四节 国内外化学控制技术应用的主要进展

1928年,国际上发现第一个植物激素——生长素后,用人工合成的生长素类似物吲哚乙酸、吲哚丁酸、萘乙酸等促进扦插生根,可以说是作物化学控制技术的发端。随着其他植物激素的发现和证实,如1938年薮田和住木发现赤霉素,1955年Skoog等发现激动素(细胞分裂素),1963年Addicott等、Wareing等发现脱落酸,20世纪60年代证明乙烯是植物激素,开始合成研制了多种植物生长调节剂。此后植物激素和植物生长调节剂的研究及在农业上的应用异常活跃,发展迅速,取得了巨大的成效。

我国在这方面也进展很快,特别是在大田作物上的应用技术有多项处于世界领先地位。我国作物化控技术的发展可以概分为以下几个阶段。

### 一、跟踪国外研究和探索实验阶段

我国植物生长调节剂应用研究起步并不晚,生长素发现和用于促进扦插生根不久,殷宏章等(1937),黄昌贤等(1938)即开始进行生长素促进桐树扦插生根和促进无籽果实的研究。20世纪40年代末,美国发现2,4-二氯苯氧乙酸(2,4-D)不仅促进生长,还可用做除草,开创了植物生长调节剂应用的新局面,后逐渐发展分化为杂草化学防除学科。国内娄成后等进行了2,4-D的合成和应用研究。虽然当时仅限于跟踪国外研究的实验,基本未在生产中应用,但是这些早期的工作为以后植物生长调节剂的深入研究和广泛应用奠定了良好的基础,是非常可贵的。

### 二、开拓植物生长调节剂应用领域阶段

20世纪50年代调节剂的应用主要以果树、蔬菜为主,以后研究和生产应用的范围逐渐扩大。马来酰肼(MH,青鲜素)是第一个得到广泛应用的植物生长抑制剂,1949年从国外引进并开始用于防止洋葱、马铃薯等贮藏期间发芽。除引进外,国内一些单位也进行了吲哚乙酸(IAA)、2,4-D、萘乙酸(NAA)等调节剂的试制,并用于防止番茄、苹果落花落果、大白菜贮藏脱帮等(李曙轩,1952,1954)。2,4,5-三氯苯氧乙酸(2,4,5-T)也被试验用做防倒剂。我国应用二甲四氯(2M-4X)、2,4-D等进行化学除草是国际上较早的。早期生长素类用做除草剂的成功,极大促进该方向的研究和应用,推动杂草化学防除发展成完善的学科体系,而在作物的化学控制方面,进展则相对缓慢。

20世纪60年代,一些新植物生长调节剂的研制推动了其在生产上的应用,这一时期的研究成果,收录在罗士韦编著的《植物激素》论文集中(1963)。1938年赤霉素被发现后,其多种效应引发了国外大量的研究和应用。从50年代末传入中国到70年代初,在中国曾出现全国范围内推广应用赤霉素(GA<sub>920</sub>)的热潮,使调节剂的应用扩大到大田作物。其中有很多成功的方面,如在水稻杂交育种中解决了父母本花期不遇、包茎影响授粉和制种产量等问题,至今每年应用面积为70万hm<sup>2</sup>左右。用于促进葡萄果实膨大、促进叶菜生长、打破休眠、促进水稻抽穗等也很有成效。但是有的方面过分夸大了应用效果,影响了其应用技术的健康发展,其中有很多教训值得吸取。随着赤霉素的研究,还发现了一些新的植物生长抑制剂和延缓剂,开

拓了植物生长调节剂应用范围。植物生长延缓剂 2-氯乙基三甲基氯化铵(氯代氯化胆碱、矮壮素、CCC)1960 年问世后不久,中国科学院上海植物生理研究所用于棉花控制徒长、减少蕾铃脱落和增产(1964);用于小麦防止倒伏(管康林等,1966)在生产上得到一定面积的推广应用,至今在欧洲仍是重要的小麦防倒剂。同时国内还开展了桃树化学疏花疏果(沈隽等,1965)、比久(B<sub>9</sub>)控制苹果枝梢生长(沈阳化工研究院)等方面的研究。

### 三、大田作物化控技术开发和成功推广阶段

20 世纪 70 年代以后,植物生长调节剂进入大田作物生产应用,在经济有效地解决生产难题中显示了常规技术无法替代的作用,得到迅速推广,取得了巨大的经济效益和社会效益,其中有多项成果达到国际先进水平。

1968 年美国专利局公开了一种乙烯释放剂——乙烯利,20 世纪 70 年代在中国科学院上海植物生理研究所等单位研究推动下,用于水稻催熟(浙江农业科学院),调控瓠瓜性别(浙江农业大学),促进橡胶树泌胶(华南农垦总局),梨、柑、香蕉等多种果实催熟,柿子脱涩(上海植生所),促进菠萝开花等,在生产中都得到应用。其中推广面积较大的是促进橡胶树泌胶和棉铃成熟。用于橡胶树药效可维持 2 个月,成倍促进流胶量,减轻割胶的劳动强度,效益显著,但后来发现使用不当会影响橡胶树的流胶寿命。70 年代初上海植物生理研究所开始研究乙烯利促进棉铃成熟的生理作用。北京农业大学针对棉花晚熟严重的问题,于 1973 年开始应用乙烯利促进晚期棉铃早熟的研究,通过在河北省多点试验示范,取得了棉花应用乙烯利催熟的良好效果,并提出了完善的应用技术,1978 年开始组织在全国主要棉区示范推广。1979 年和 1982 年分别获农牧业技术改进二等奖和全国农业科学技术推广奖,迄今每年应用面积为 15 万~20 万  $\text{hm}^2$ 。该技术是大面积应用调节剂主动控制作物生长发育的成功范例,更是一次作物管理观念更新的尝试。

20 世纪 70 年代,西德 BASF 公司推出了新植物生长延缓剂 N,N-二甲基哌啶鎓氯化物(pix,mepiquate chloride),诱发了世界范围内棉花等作物生产的革命。1980 年北京农业大学开始在我国用更经济的新方法合成了该调节剂(缩节安,调节啉,甲哌鎓,DPC),并成功解决了棉花徒长问题,增产、增效、改善品质的效果显著。1981 年开始组织了全国性的应用示范协作推广,每年召开棉花化控技术协作交流会。1984 年推广面积达 93 万  $\text{hm}^2$ ,当年获得农业部技术改进一等奖,1985 年获国家科技进步三等奖。1986 年以来,随其机理研究的深入和技术内容的不断更新,连续被列为国家重点科技推广成果。90 年代以来每年推广面积约占总植棉面积的 70% 以上,被列为新中国成立后棉花栽培领域三大技术变革之首。

1979 年英国 ICI 公司推出了多效唑,1984 年国内江苏农药研究所等单位研制成功,1985 年中国农业科学院水稻研究所等组织了全国性的多效唑应用研究协作组,开始研究多效唑控制连作晚稻秧苗徒长的技术和机理,被列为“八五”科技成果推广重点项目,1993 年应用面积达 700 多万  $\text{hm}^2$ 。中国农业科学院油料研究所和水稻研究所,针对移栽油菜“高脚苗”、倒伏和越冬死苗问题,开展应用多效唑培育油菜壮苗及抗寒性机理与技术研究,1993 年应用面积达 120 万  $\text{hm}^2$ 。江苏农业科学院等研究推广多效唑防止水稻倒伏和增产技术,北京农业大学和中国农业科学院果树研究所等应用多效唑对桃树和苹果控梢保果技术,华南师范大学等应用多效唑控制花生徒长技术等也有一定面积的推广应用。

但是研究发现,多效唑的应用存在残留和残效问题,在小麦等旱地作物上更为突出。近年

来,不少单位通过开发活性更高的烯效唑等延缓剂和复混剂,研制多效唑的替代产品。其中中国农业大学农作物化学控制研究中心1991年开始研制的20%甲·多微乳剂(麦业丰)是较成功的例子,不但克服了多效唑应用的缺陷,而且定向控制基部节间伸长,使穗下节间保持适宜长度,株高不降低,抗逆防倒增产效果稳定,1999年累积推广面积达100万 $\text{hm}^2$ 。

三十烷醇(TRIA)是1975年美国发现的C-30长链脂肪醇,1978年厦门大学引进并开始在多种作物上进行实验,发现有促进多种作物生长和增产的效应。1983年国家农牧渔业部组织全国联合试验,结果表明在水稻、玉米、大豆等作物上无稳定的增产效果(吴光南,1984)。后发现TRIA的效果受其纯度、剂型、环境条件影响很大。福建农科院等坚持不懈地研究,研制了TA乳粉新剂型,提高了应用效果,特别是成功地开拓了在海带、紫菜等海藻类上应用的新领域,取得了巨大的经济和社会效益,1994年获得农业部科技进步一等奖。

油菜素甾醇类物质(BR)1970年发现以来,其在农业上的应用引起国际上的广泛重视,上海植物生理研究所、北京农业大学、华中农业大学等单位也与日本合作进行了大量系统的研究,证明BR在多种植物上都有促进生长、提高抗逆性、减轻农药药害等效果。但天然BR提取成本较高,限制了生产应用。近年来随BR人工合成和天然BR提取工艺的改进,其性能和成本等更适于大田作物应用。国内云南大学等单位正组织全国性推广应用。CPPU等的开发也填补了细胞分裂素类商品的空白,在促进果实发育和营养生长等方面显示巨大的应用潜力。中国科学院成都生物所利用微生物发酵生产脱落酸(诱抗素、SABA)成功,解决了天然脱落酸成本高的问题,使生产应用成为可能。

这一阶段,作物化学控制技术的研究和推广在我国得到高度重视,在调节剂作用机理和化学控制理论方面也取得大量可喜进展。1985年经农业部正式批准,全国唯一的、专门从事作物化学控制研究、教学和推广的“北京农业大学农作物化学控制研究室”(1998年已更名为中国农业大学农作物化学控制研究中心)成立,并制订了“发展化控学科,培养专业人才,服务经济建设”的发展方向。全国各地从事相关研究的机构和人员逐年增加。国内成立了“植物生长物质学会”(后转为“植物生理学会植物生长物质专业委员会”)和“中国农业技术推广协会作物化控专业委员会”,分别多次举办全国性学术会议和交流,并组织调节剂推广应用协作组,有力地推动了作物化学控制技术的发展。

#### 四、我国作物化学控制理论的发展

20世纪90年代以后,随着调节剂的广泛应用和深入研究,作物生产条件改善、生产目标提高、品种更新和高新技术的引入,以及生产管理技术变革等因素对作物化学控制技术提出了新的要求,作物化学控制技术需要有更深入的研究和发展。突出表现在以下几个方面:①对技术的环境和农产品安全性的要求提高。②作物化学控制技术与其他技术有机融合,组装成集约化的技术体系。③改善产品品质和增加植物抵御逆境灾害的能力成为化学控制技术的重要目标。④充分降低技术风险,要求对化学控制技术的作用机理做更深入和详尽的研究。

我国作物化学控制研究和应用的发展速度、推广范围、面积和取得的效益都是十分显著的,有些领域居国际领先地位。我国植物生理学家和农学家立足本国农业实情、理论联系实际,创造性地应用植物生长调节剂,并与传统的作物生产技术融合,形成了有中国特色的作物化学控制技术体系。其中一个重要原因是作物化学控制理论体系的不断创新和完善,推动了实践的不断发