



次生代谢 在生态农业中的应用

Cishengdaixie
Zai Shengtainongye Zhong de Yingyong

- 科学技术部农村科技司 组编
- 刘立新 梁鸣早 主编



中国农业大学出版社
CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



国家星火计划培训丛书

次生代谢在生态 农业中的应用

科学技术部农村科技司 组编

刘立新 梁鸣早 主编

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 提 要

本书从植物生理学的角度讨论农业生产,主要介绍植物的次生代谢的理论和研究进展,并将其应用在生态农业上。

本书可作为农业专业户和普通农民的田间操作指导手册和科学普及书籍。

图书在版编目(CIP)数据

次生代谢在生态农业中的应用/刘立新,梁鸣早主编. —北京:中国农业大学出版社,2018.3

ISBN 978-7-5655-1991-8

I. ①次… II. ①刘… ②梁… III. ①次生物质-代谢-应用-生态农业-研究 IV. ①S-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 028346 号

书 名 次生代谢在生态农业中的应用

作 者 刘立新 梁鸣早 主编

策划编辑 张 蕊 张 玉

责任编辑 张 玉

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

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail cbsszs @ cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷

规 格 880×1 230 32 开本 6.375 印张 160 千字

定 价 28.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

《国家星火计划培训丛书》编委会

顾 问：石元春 王连铮 方智远
 张子仪 李振声 袁隆平

名誉主任：徐南平

主 任：兰玉杰 贾敬敦

副 主 任：蒋丹平 侯立宏 赵红光 黄圣彪

委 员：张洪刚 杨 如 秦卫东
 于双民 王 强 陈展鹏
 刘晓芹 胡东杰

编写人员

主 编：刘立新 梁鸣早

副 主 编：张淑香 仝雅娜 路 森

编写人员：(按照姓氏笔画排序)

王天喜	石庆煜	仝雅娜	那中元
朱书生	光立虎	刘立新	孙建光
李 响	邵友远	吴代彦	张淑香
曹 恭	梁鸣早	韩成龙	路 森

序 言

PREFACE

德国科学家科塞尔(H. Kossel)早在 1891 年就将植物的代谢活动分为初生代谢(primary metabolism)和次生代谢(secondary metabolism)。经过 100 多年的不断探索,现代植物生理学对植物的次生代谢已有较全面的认识和理解。植物体中的糖类、脂类、核酸和蛋白质等生命过程所必需的物质称为初生代谢物(primary metabolites)。植物体中也会产生许多对生命过程非必需的物质,称为次生代谢物(secondary metabolites),如萜类、酚类和生物碱等。次生代谢物的代谢过程称为植物的次生代谢。除了在化学结构以及合成途径上区别植物次生代谢物和初生代谢物之外,二者之间最大的差异是功能上的差异。次生代谢物一般不直接参与如光合作用、呼吸作用以及营养同化等植物生长发育必需的生理过程,它们主要参与植物与环境之间的相互作用。植物在遭受病害、虫害以及各种非生物逆境胁迫(干旱、盐碱、高/低温等)时,体内经次生代谢过程产生和积累一些相应的次生代谢物质,这些次生代谢物具有帮助植物抵御逆境胁迫的功能和作用。

事实上人类自古代开始就根据实践经验陆续将植物次生代谢应用于农业生产实践了。我国的先民们在几千年的农耕劳作中一直在不断践行着顺天时、借地力、精细化和生态化的农作方式,公元 6 世纪北魏贾思勰所撰《齐民要术》中描述的许多农耕技艺都体现了植物次生代谢在农作物生产上的应用,值

得我们在推进现代生态农业的实践中借鉴。

根据现代植物生理学的理论,有可能通过调控水分、矿质营养、土壤有益微生物种群及其他作物生长环境因子而实现对植物次生代谢的调节,以达到少施化肥和农药(甚至不用化学农药)、减少环境污染、生产出优质安全农产品的目标。

本书通过将植物次生代谢的科学理论与现代生态农业中农作物优质高效栽培管理的实践相结合,以期解决目前农作物生产中与“面源污染”和农产品“品质与安全”相关的一些问题,不失为非常有益的探索。希望本书在践行生态农业、推动农业绿色发展的工作中发挥积极影响和作用。



中国农业大学教授,中国科学院院士,中国植物学会理事长

2017年11月10日

前 言

PREFACE

生态农业按照生态学和经济学原理,运用现代科学和管理手段,并与传统农业相结合,是生态效益和社会效益并举的现代化高效农业。本书介绍次生代谢研究及其在生态农业中的应用。

第一章介绍近年来植物次生代谢的研究。

第二章介绍植物次生代谢产物分类、功能及途径。次生代谢产物可分别被称为化感物质、内源激素、免疫物质、品质物质和风味物质,这些重要的次生代谢产物正是农业生产所追求的目标。

第三章介绍次生代谢的抗逆机制。在生产中充分利用植物次生代谢产物中的化感物质和内源激素可以抑制病、虫、草害和抵抗逆境(干旱、低温、高温、盐碱和灾害性天气),这是栽培过程中不用农药的理论依据。

第四章介绍次生代谢产物中的品质影响,主要涉及农产品的营养物质与风味、色泽、抗逆性、耐贮性等。优质农产品内含人类必需的营养物质。

第五章介绍次生代谢在生态农业上的应用。生态农业高产优质栽培技术体系是考虑为作物的次生代谢运转提供充足的物质基础,用人类可参与的胁迫来诱导作物打开次生代谢、产生系统性抗逆,从而提高植物的抗性和农产品的质量。本章阐述了高产优质栽培的四位一体技术体系和成功案例,为人类

生产出更有营养价值的农产品。

第六章扩展阅读部分介绍了近年来在细胞生理学领域关于膜系统的研究,这些知识与我们的生态农业关系密切。在这部分还介绍了我国农田病虫草害的问题综述。

目 录

CONTENTS

第一章 植物次生代谢概述	1
第一节 植物初生代谢和次生代谢	1
一、初生代谢与次生代谢的定义	1
二、次生代谢发现历史	2
三、次生代谢近现代的研究与进展	3
第二节 植物次生代谢现象的启示	6
一、名特优农产品的跟踪研究	7
二、优质农产品生产的三要素	8
第三节 植物次生代谢开启与运转	9
一、植物对逆境的应激反应就是开启次生代谢	9
二、次生代谢开启和运转的充分条件	12
第二章 植物次生代谢产物、功能及途径	20
第一节 次生代谢产物的综述	20
一、次生代谢的主要产物、代谢途径及功能	20
二、生物碱	23
三、酚类衍生物	26
四、黄酮类	28
五、有机酸	30
六、萜类	31

第二节 植物内源激素	34
一、植物内源激素的分类	34
二、植物内源激素的功能	38
第三节 植物化感物质	41
一、植物化感物质的分类	41
二、植物化感物质的功能	43
第三章 次生代谢的抗逆机制	46
第一节 次生代谢的抗逆防御机制	46
一、渗透调节物质的保护作用	46
二、抗自由基的酶促和非酶促防御	48
三、逆境蛋白的应激指令作用	52
四、防御信号转导与交叉网络应答机制	54
第二节 次生代谢抑制病虫草害	57
一、次生代谢的抗病害机理	57
二、次生代谢的抗虫害机理	59
三、次生代谢的抗杂草机理	62
第三节 次生代谢与植物的抗逆性	63
一、次生代谢的抗旱机理	63
二、次生代谢的抗盐机理	64
三、次生代谢的抗低温机理	66
四、次生代谢的抗高温机理	68
五、次生代谢的抗灾害性天气的机理	69
第四章 次生代谢产物中的品质物质	71
第一节 农产品品质与人类健康	71
一、化学农业引起健康问题的反思	71
二、人体细胞的活力来自丰富的膳食营养	75

第二节 人类必需营养来自优质农产品	76
一、人类对必需营养素的认知过程	76
二、次生代谢产物中富含第八大营养素	83
第三节 次生代谢对农产品的提质作用	92
一、次生代谢产物中的风味物质	92
二、次生代谢产物中的色泽物质	94
三、次生代谢产物中的修复物质	96
四、次生代谢产物中的抗性物质	97
五、次生代谢产物对提高果实贮藏能力的影响	104
第五章 次生代谢在生态农业上的应用	106
第一节 作物次生代谢运转的充分条件	106
一、碳的作用	106
二、矿物质的作用	109
三、有益微生物菌的作用	115
第二节 开启作物次生代谢的必要条件和方法	122
一、胁迫是开启次生代谢的必要条件	122
二、打开作物次生代谢的植物诱导技术	124
三、让作物次生代谢充分运转的条件	127
四、利用作物间化感作用减少生产投入	131
第三节 生态农业技术体系	134
一、高产优质栽培四位一体技术	134
二、生态农业四位一体的应用案例	136
三、生态种植一线农民实际操作经验	143
第四节 高产优质栽培技术实施规程	149
一、水稻生态有机高产优质生产技术规程	149
二、冬小麦生态有机高产优质生产技术规程	151
三、苹果生态有机优质高产种植技术规程	153

四、冬枣生态有机高产优质种植技术规程	157
五、猕猴桃生态有机高产优质种植技术规程	159
六、红薯生态有机高产优质种植技术规程	160
七、莲藕生态有机高产优质种植技术规程	161
八、葡萄生态有机高产优质种植技术规程	164
第六章 扩展阅读	168
第一节 抵御逆境的植物细胞膜系统	168
一、植物的细胞生物学	168
二、细胞的生物膜系统	170
三、细胞生物膜的功能	172
第二节 农田系统的病虫草害综述	175
一、我国农田致病微生物种类	175
二、我国农田害虫种类与分布	179
三、我国农田杂草种类与分布	182
参考文献	186

第一章 植物次生代谢概述

第一节 植物初生代谢和次生代谢

一、初生代谢与次生代谢的定义

1891 年德国科学家科塞尔(H. Kossel)明确地将植物的生命活动的代谢分为:维持生命的初生代谢和适应环境的次生代谢。这一概念引起科学家的广泛关注,近几十年来不同领域的科学家对次生代谢研究有了重大进展。

植物的代谢包含初生代谢和次生代谢。

1. 初生代谢

植物初生代谢(primary metabolism),是参与植物体内合成生命活动必需物质的代谢过程,其产物主要包括蛋白质、脂肪、糖类及核酸等有机物质。初生代谢的产物也就是我们能看到(根、茎、叶、花、果实、种子)的植物形态建成物质。

2. 次生代谢

植物次生代谢(secondary metabolism),是植物和环境相互作用影响的代谢过程,其产物是由初生代谢产物进一步反应而生成的物质。次生代谢的产物(也被称为天然产物)如某些碱基是核酸

(遗传物质 RNA 和 DNA 的总称)的重要成分,生长素(吲哚乙酸)与赤霉素等植物内源激素参与生命活动的调节,类胡萝卜素等萜类作为光合色素参与光合作用过程,生物碱、酚类衍生物、类黄酮类化合物、有机酸、类萜和甾类等化感物质在参与防御过程的同时,也形成了果实的品质和风味。植物体内积累的次生代谢物质,是植物长期与各种逆境抗争的产物。

二、次生代谢发现历史

植物的次生代谢概念是在一百多年前形成的,而人类在农业生产中悟到植物次生代谢过程及其产物的好处并将其应用于生产,这一事实却可以追溯到几千年以前。

距今约 2500 年的《黄帝内经》提出的“不治已病治未病”和老子《道德经》提出的“天人合一”“道法自然”的思想,对我国农业产生了深远影响。我们的先人们在农业实践中悟到的顺天时、借地力、精细化和生态化的耕作方式。成为我国农耕文化的源泉。

北魏官员贾思勰编著的《齐民要术》一书距今约 1500 年,书中对耕作技艺的描述堪称经典:田间耕作需进行春耕、夏耕、秋耕、冬耕、深耕、浅耕、初耕、转耕、纵耕、横耕、顺耕、逆耕等;对于农作物要多锄、深锄、锄小、锄早,并注意调整中耕深度。可见我国的智者早在 1500 年前就制定出有效的农业生产规范。书中还涉及:“慎勿于大豆地中杂种麻子,扇地两损,而收并薄”的描述,在今天看来是先民们对植物间次生代谢产物的化感作用的理解。在古代史上,中国对世界最大的贡献就是农耕文化。1855 年达尔文在研究进化论撰写《物种起源》时参考了此书。

明代李时珍编著的《本草纲目》距今约 500 年,全书约 190 万字,涉及 1095 种中草药功效和炮制方法的描述,是对 16 世纪以前中医药学的系统总结。《本草纲目》中所涉及的珍贵草药都是大自

然的天然植物。它们在长期进化过程中与各种逆境抗争,体内积累的物质对植物和人类都有益处。这一发现体现了人类的智慧,也是人类利用植物次生代谢产物的最有力证据。

三、次生代谢近现代的研究与进展

1. 近百年来对次生代谢的研究成果

1909年美国农业部土壤局局长、威斯康星大学富兰克林·H. 金(Franklin H. Kim)教授,考察中国、日本和朝鲜三个古老农业国家,赞誉东方农民是勤劳智慧的生物学家。1911年他所著的《四千年的农夫》的问世,标志着西方有机农业的开始,从此每年在堪萨斯城召开一次生态农业会议,至今该机构出版的生态杂志已有数十种。可以说,在一百多年前西方的农业就开始了植物次生代谢产物的化感作用的应用与研究。

到目前为止,人类对植物次生代谢的研究和探索已历时一百多年,很多科学家做出有影响的研究。研究表明,作物在受到任何一种胁迫的较短时间内,其机体细胞会从初生代谢转成多种次生代谢,从而激活或形成新的防御物质、化感物质、内源激素、渗透物质、品质物质、风味物质和人类必需营养素。次生代谢的研究涉及多学科领域。

在次生代谢(天然产物)研究领域有众多学者获得诺贝尔奖。近年来国际上对于次生代谢的研究异常活跃,统计在获得诺贝尔化学奖和生理学或医学奖中,有近1/3属于研究次生代谢的,可见全世界科学家对此领域研究的重视。

在次生代谢研究中一个重要的代谢途径,即异戊二烯焦磷酸酯代谢途径引起科学家的关注,因为这个途径产生的萜类物质是植物进化到较高级的表现。此领域已有四批科学家获得诺贝尔奖:

①1910 年德国化学家奥托·沃勒氏(Otto Wallach)获得诺贝尔化学奖,是缘于异戊二烯化合物结构的发现。

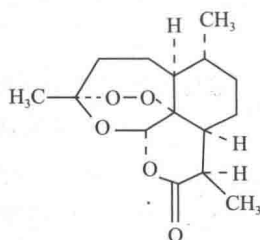
②1939 年瑞士籍南斯拉夫人利奥波德·鲁齐卡(Leopold Ruzicka)获得诺贝尔化学奖,是缘于异戊二烯生物发生规则的发现。

③1985 年美国德克萨斯大学布朗(Michael S. Brown)和戈尔茨坦(Joseph L. Goldstein)获诺贝尔生理学或医学奖,是因为探明了甲羟戊酸到异戊二烯焦磷酸脂的代谢途径。

④2015 年中国医学科学家屠呦呦获诺贝尔生理学或医学奖,是缘于她从我国自然界中随处可见的黄花蒿里,成功提取萜类化合物单环倍半萜的青蒿素,以治疗疟疾。

世界卫生组织(WHO)统计,2000 年非洲撒哈拉以南约 2.4 亿感染疟疾的人口受益于青蒿素联合疗法。青蒿素就是源自异戊二烯焦磷酸脂代谢途径的单环倍半萜,青蒿素的原材料来自我国广泛生长的黄花蒿(图 1-1)。

这标志着,人类利用次生代谢解决农业生产问题和医药问题的时代已经开始了。



青蒿素的化学结构—单环倍半萜

图 1-1 青蒿素来自我国广泛生长的黄花蒿

(图片来自网络)