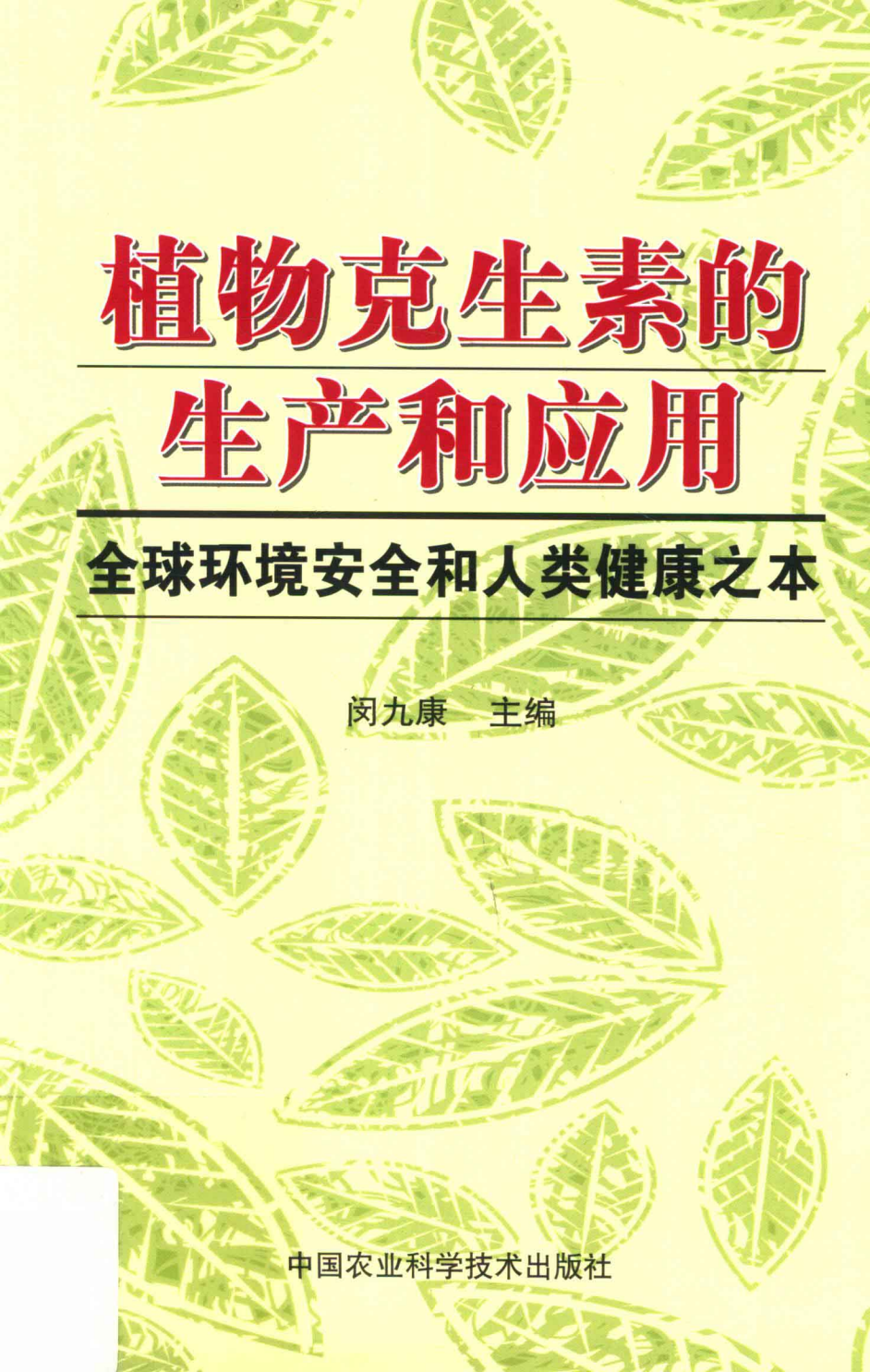




植物克生素的 生产和应用

全球环境安全和人类健康之本

闵九康 主编

中国农业科学技术出版社

植物克生素的 生产和应用

全球环境安全和人类健康之本

闵九康 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

植物克生素的生产和应用: 全球环境安全和人类健康之本 / 闵九康主编.
北京: 中国农业科学技术出版社, 2013. 2

ISBN 978 - 7 - 5116 - 1118 - 5

I. ①植… II. ①闵… III. ①植物性杀虫剂 - 研究 IV. ①TQ453. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 265201 号

责任编辑 徐 毅

责任校对 贾晓红 郭苗苗

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82106631 (编辑室) (010)82109702 (发行部)
(010)82109709 (读者服务部)

传 真 (010)82106631

网 址 [http://www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京昌联印刷有限公司

开 本 850mm × 1 168mm 1/32

印 张 13. 5

字 数 350 千字

版 次 2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

定 价 36. 00 元

版权所有 · 翻印必究

《植物克生素的生产和应用》

——全球环境安全和人类健康之本

编委会

主 编 闵九康

副 主 编 贺焕亮 夏 兰

编 委	刘耕宏	任 明	闵九康	邬奇洋
	李聚财	沈育芝	胡喜娜	贺焕亮
	崔瑞珍	夏 兰	钱敏仁	陶天申

内容简介

全书共 15 章，主要论述了植物克生素的发展、生产和应用；植物克生效应对全球环境安全的重要影响；植物克生素在农业中的应用；作物的克生作用和自体防卫功能；植物克生素和持续农业、植物克生素和基因工程以及有效的植物克生素的检测方法等。

本书可供大专院校师生、科学研究单位的专家和学者、有关企业领导和工程技术人员等阅读和参考。

序

闵九康教授一生勤奋好学，知识渊博，硕果累累，著述等身，其创造了两项（1 200万字总量和 500 万字单项）科技著作的世界纪录，并正在问鼎新的吉尼斯世界纪录。闵教授通晓英、俄、德、法等多国语言，因此，他翻译出版了大量的外国专著、论文、专利和国际会议资料，从而为我国科技发展提供了先进的技术和重要的科学信息。特别是近几年来，他以惊人的毅力撰写出版了 6 部专著，其文字总量高达 700 多万。在闵教授的新作《植物克生素的生产和应用：全球环境安全和人类健康之本》一书即将问世之际，我欣然为其作序。

我在联合国粮农组织（FAO）和中国农业科学院担任领导期间，深知随着全球人口的快速增长而对粮食和纤维以及糖料的需求的紧迫性。科学家们预测，至 2050 年，世界人口将达 109 亿。人口的不断增加，对粮食和饲料的需求便会迅速增长。据国际有关机构（International Food Policy Research Institute）统计，1993~2020 年需要增加谷物 41% 而达 $2\,490 \times 10^6 \text{t}$ ，薯类增加 40% 而达 $855 \times 10^6 \text{t}$ 。同时，未来 10 年因发展畜牧业对饲料的需求也明显增长。据估计需求量将增加 1 倍。就总体而言，直接用于人类粮食的谷物产量将在原有基础上增加 47%。同时，人类对食品安全的要求也越来越高。因此，有机农业和有机食品便风靡全球，深受人民群众的喜爱。然而，要达到这一目标，植物克生素是不可缺少的物质基础，因此，植物克生素也被誉为“有机农业（食品）之保护伞”。

为了达到上述目的，本书作者独具匠心，从不同广度和深度讨论了世界人口增长对粮食需求的各种新技术和新产品，特别是植物克生素的生产和应用。

近年来，闵九康教授由于在低碳农业领域研究中取得了突破性的进展，并获得了巨大的社会和经济效益，因此，其被国内外有关单位和组织授予了“低碳农业之父”的荣誉称号，并得到了公众的认同和赞誉。我深信，闵教授的这一当之无愧的称号及其文字总量高达1 200万的许多重要著作和数以万计的科学论据将与日月同辉。闵教授取得的这些巨大成就是中国农业科学院精心教育和培养的硕果，因此，中国农业科学院也为培养出这样一位杰出的科学家而感到光荣和骄傲。

最后，我真诚地希望，本书的及时出版将对广大从事科学研究、教学和生产等方面的读者都有所裨益。

联合国粮农组织首任常驻代表 任 志

2012 年 10 月

前 言

不久前，我主编出版了《低碳农业——全球环境安全和人类健康必由之路》及其姊妹篇《楝树——全球环境安全和人类健康之保护神》。两书全面论述了环境安全与人类健康的密切关系。最近，我和同事们编著出版了《土壤生态毒理学和环境生物修复工程》一书，该书为人类提供了世界性环境保护的最新技术和信息。同时，该书还发表了许多鲜为人知和独家拥有的科学数据。

环境安全和人类健康长寿是全球关注的热点。为了达到这一目的，科学家们研发了许多新的技术和新的产品，其中特别是我参与研究和开发的植物克生素的生产和应用。在研发过程中我也收集和获得了许多新的知识和科学数据。据此，我和同事们又编著了《植物克生素的生产和应用：全球环境安全和人类健康之本》一书，以飨读者。

植物克生素，即植物次生代谢物所包括的许多种化合物，它们由植物释出于周围环境，从而影响异种植物的生长发育，并可吸引或驱赶昆虫，提供营养，或者毒害其他生物。与植物克生作用或克生素有类似意义的一些名词需要进一步澄清，其中有：抗生素（antibiotic）——微生物生产的一种化合物，它能有效地抗击或抑制其他微生物的生长；小皮伞菌素（marasmin）——微生物产生的一种化学物质，它能有效抑制或破坏高等植物的生长；植物杀毒素（phytonicides）——一种植物产生的化合物，它能有效地抑制微生物的生长；可林素（koline）——高等植物的化

学产物，它能有效地破坏或抑制其他高等植物的生长；植保菌素或植物抗毒素（phytoalexins）——植物所产生的一种化合物，但这类化合物是在植物遭遇到病原微生物感染时为保卫自己，抗击病原菌而合成的新的化合物。因此，Whittaker 和 Feeny（1972）还锁定了“植物克生化学物质”（allelochemicals）一词，并叙述说：“植物克生化学物质是化学类物质，其在适应植物品种和构成植物群落过程中具有十分重要的意义”。在由植物克生化学类物质科学发展进程中，Chou 和 Waller（1983）应用了“植物克生化合物”（allelochemicals），即本文中所称的植物克生素，其主要是用来表达或论述各生物种内和种间所有的生物化学作用及其产物。Yang 和 Tang（1988）就植物化合物控制虫害作了一篇全面的评论，评论指出，中国在公元 25 ~ 220 年之间所编《神农本草经》一书就有这方面的材料。作者们发现，约有 267 种植物含有杀虫剂的活性物质，其中许多物质也表现出了植物克生素的潜在功能。李时珍（公元 1518 ~ 1593 年）是中国的药用植物学家，他写了《本草纲目》一书，其中介绍了许多植物品种的化学成分对生物具有毒害作用或治疗效果。他还指出，所有的植物化学成分在植物与植物之间的相互作用过程中起到了一定的作用。我国南北朝时期后魏贾思勰所著《齐民要术》一书中也有植物克生作用的论述。在 De. Candolle 著作发表约一个世纪以后，植物克生素（allelochemicals 和 allelopathic Compounds）便开始用作植物的天然生长调节剂，诸如除草剂、杀菌剂和杀虫剂，而且非常迅速地得到了普及。

20 世纪初叶，植物克生作用的研究主要集中在提高农业生产力方面。20 世纪 60 年代，教科书中有关植物克生作用的内容则大部分引用 Muller（1966）的材料，其重点集中在植物生态学方面。他发现，小桉树植被（chaparral vegetation）的鼠尾草（*Salvia leucophylla*）能释放出有毒的类单萜（monoterpenoids），

其能抑制周围许多草本植物的生长，从而导致了不毛之地和繁茂正常生长的植被景观。Muller 及其学生们都将这一景观归因于植物克生效应。这表明，植物克生素可通过植物的器官（根、茎和叶）释放至环境中，从而影响异种植物的生长发育。植物的许多次生代谢物深深地吸引了一些科学家，特别是有机化学家，他们十分有兴趣地研究了次生代谢物的结构、生物合成和自然界的分布，但是未能探索其功能。Fraenkel (1959) 以及 Whittaker 和 Feeny (1971) 经过研究后指出，次生代谢物在植物和生态系统中起着十分重要的作用。自此以后，次生代谢物不再被视为代谢废物。次生代谢物在未被利用之前，其通常贮存于空胞 (vacuoles) 或细胞间隙之中，但是这类化合物可自由释出至细胞或叶片表面，以作防卫、吸引入侵者，而且亦可作为化学信息。更有甚者，某些化合物可成为植物—昆虫相互作用的信使，而且在植物适应性和昆虫共进化 (co-evolution) 机理中有着重要的作用。因此，植物克生作用在生理学、生物化学和生态学中的功能愈来愈受到关注。

在过去 20 年间，植物克生作用的研究已引起了人们的极大兴趣。许多有关的国际专业组织召开会议，发表专著以及科学家的论文层出不穷。同时，植物克生作用和植物克生素在自然生态系统中的功能和作用也受到全世界各地科学家的重视，他们纷纷进行深入研究。植物克生素由高等植物、细菌、真菌、藻类及其它们的共生体产生。最近，召开了第二次国际植物克生素国际会议，并成立了“国际植物克生素学会” (International Allelopathy society, 缩写为 IAS)。会议的主旨为“新世纪的一门新学科”。因此，这将为研发植物克生素及其应用创造新的途径。所以，研究和发展植物克生素及其应用已成为农业、林业、医疗和环境保护等领域中十分迫切的任务。世界农业、林业产品以及与人密切相关的生态环境，都将通过植物克生素而实现。因此，其被誉

为新世纪最伟大的希望、最伟大的事业和最伟大的恩惠（效益）。许多科学家利用植物克生素为农业增产和自然资源、环境保护等作出了巨大的贡献。因此，这门科学和技术的发展将为全球 75 亿人口提供巨大的资源和财富。现在，世界各国的政要、财团、科学研究机构以及企业界人士，他们都在以各种不同方式表示支持和赞助，并研发出了许多新的植物克生素产品，从而为人类作出了不可磨灭的贡献。

本书能及时出版，完全得益于中国农业科学技术出版社编辑及其领导的关心和支持，得益于中国农业科学院、武汉大学、浙江大学，以及江苏夏航集团公司和晴兰生态农业有限公司的教授和专家们的撰稿和审阅。在此，我对他们的辛勤劳动和巨大的付出表示衷心的感谢。

最后，我对为本书作序的老领导任志院长（九秩高龄）表示深深的敬佩和谢意，并祝福他健康长寿。

中国农业科学院 闵九康

2012 年 10 月

目 录

第一章 植物克生素的现状和展望	(1)
导言	(1)
一、植物克生作用的范畴	(2)
二、植物克生素的释放和转移	(5)
三、植物克生作用所产生的克生素	(8)
四、植物克生素的联合效应	(14)
五、植物克生素对生态系统的影响	(15)
六、农业生态系统	(17)
七、植物克生作用的应用	(20)
八、未来研究方向和战略	(23)
第二章 植物克生作用和持续农业	(25)
导言	(25)
一、草原牧草可用于杂草的防治	(29)
二、植物克生作用对作物产量的影响	(30)
三、环境因子对水稻自体中毒的影响	(30)
四、植物克生作用降低了甘蔗的产量	(33)
五、植物克生作用在农作系统中的作用	(35)
六、结论和讨论	(37)
第三章 生态环境中的植物克生作用及其意义	(40)
导言	(40)
一、植物克生作用是生物多样性的调节系统	(41)
二、持续农业中的植物克生作用	(55)
三、植物克生作用与环境变化的关系	(63)

四、植物克生作用和克生素研究展望	(66)
第四章 植物克生素及其在农业中的应用	(71)
导言	(71)
一、真实性	(76)
二、有限的资源与粮食生产	(78)
三、世界粮食消耗	(79)
四、展望	(80)
五、植物克生素的主要化合物	(81)
六、最终产品的类型	(92)
第五章 植物克生素的作用机制	(93)
导言	(93)
一、除草剂的作用	(95)
二、植物克生素和植物激素的相互关系	(97)
三、植物克生素对代谢物的影响	(99)
四、植物克生素对光合作用的干扰	(100)
五、植物克生素对呼吸作用的干扰	(103)
六、植物克生素对有关膜过程的作用	(105)
七、酚克生素的作用方式	(109)
八、高粱克生作用的机制	(111)
九、结论	(113)
第六章 禾谷类作物（大麦）的克生作用和自体防卫	
功能	(114)
导言	(114)
一、植物克生素和禾谷类作物的关系	(115)
二、大麦的植物克生作用	(117)
三、大麦克生素的生物活性	(124)
第七章 植物克生素对昆虫的防卫作用	(128)
导言	(128)

一、植物克生效应	(128)
二、化学防卫机制	(132)
三、环境对次生代谢物的影响	(151)
第八章 植物克生素对病原体的防卫作用	(162)
导言	(162)
一、结构性抗菌防卫化合物	(162)
二、植物对微生物感染的反应	(165)
三、生物之间的通讯	(171)
第九章 植物克生素对土壤硝化作用的抑制效应	(173)
导言	(173)
一、植物的克生作用	(174)
二、土壤中硝化作用的克生抑制效应 (allelopathic inhibition)	(179)
三、酚化合物对硝化作用的影响	(183)
四、类萜对硝化作用的影响	(191)
五、一些生态系统中硝化作用减缓的其他解释	(196)
六、结论	(201)
第十章 类萜植物克生素在农业中的战略地位	(203)
导言	(203)
一、分类	(205)
二、化合物的发生	(213)
三、生物合成	(216)
四、生物活性	(228)
五、作用机制	(255)
六、分子生物学	(257)
七、展望	(261)
第十一章 土壤中酚类克生素的代谢途径及其意义	(263)
导言	(263)

一、土壤微生物活性的估测	(266)
二、简单游离酚酸的微生物转化和利用——底物和 产物	(268)
三、土壤和根际中利用酚酸的微生物群落	(270)
四、游离酚酸对土体和根际微生物群落的影响	(272)
五、土体和根际微生物对植物毒性的影响	(275)
六、研究酚环克生素作用和代谢途径的有效方法	(276)
七、克生素对土壤中硝化作用的影响	(277)
八、类萜化合物对硝化作用的影响	(279)
九、结果和讨论	(282)
第十二章 生物碱克生素及其功能	(284)
导言	(284)
一、生物碱的分类	(285)
二、生物碱的起源	(287)
三、生物碱的合成	(289)
四、生物活性	(294)
五、作用方式	(315)
六、分子生物学	(322)
七、展望	(336)
第十三章 土壤中的一种重要克生素——氧肟酸	(338)
导言	(338)
一、氧肟酸类的化学及其反应	(338)
二、有机体形成的氧肟酸	(340)
三、土壤中氧肟酸的可能作用	(356)
第十四章 植物克生素和基因工程	(367)
导言	(367)
一、植物的抗虫特性	(371)
二、抗虫作物品种的发展	(372)

三、基因工程	(372)
四、植物抗虫的次生代谢物（植物克生素）	(378)
五、植物克生素对微生物病原体的作用	(384)
第十五章 研究植物克生作用的有效方法——生物检测法	(392)
引言	(392)
一、生物检测法在植物克生作用中的作用和实际意义	(393)
二、植物克生作用生物检测法的通用标准	(395)
三、通用的植物生物试验法	(398)
四、微生物的生物检测法	(401)
五、水生植物的生物检测法	(409)
六、植物克生素的刺激作用和相关生物检测法	(410)
七、其他有关植物克生素的生物检测法	(410)
八、免疫法是有潜力的生物检测方法	(411)
参考文献	(412)

第一章 植物克生素的现状和展望

导 言

植物克生作用现象包括了植物和微生物之间所有类型的化学作用和反应。现已知道，植物和微生物能释放出几百种不同的有机化合物（植物克生素），它们能影响接收这类化合物的植物和微生物品种的生长和功能特性。近年来，已鉴定了许多新的植物克生素，而且已明确了植物克生素的作用对鉴定生物之间相互关系的重要意义。这类化合物会影响到植被群落的形成方式、植被的连续性、种子保存、真菌孢子的萌发，氮循环，相互共栖作用，作物生产率和植物防卫。植物克生作用对资源的竞争和病害，极端温度，水缺乏以及除草剂等的胁迫有着密切的关系。这类胁迫作用常常会增加植物克生素的产生和提高它的作用。典型的植物克生抑制作用是由植物克生素的联合反应所造成的。植物克生素能干扰接收植物或微生物的某些化合物的生理过程。除特异品种的个体生态学研究外，决定化合物（新分离的化合物）作用机制的植物克生作用将成为持久的挑战性研究，这些研究可用于评价环境的相互作用，以及明确其在土壤中的活性。植物克生作用的新领域将集中于调控植物克生素以增加产量和发展持续农业的某些途径，其中包括通过作物轮作、农业废物的管理以达到对杂草和昆虫的防治，以及各种生物防治的方法。研究植物克