



MECHANISMS AND REGULATION OF
PREMATURE SENESCENCE
IN COTTON

棉花早衰理论与 调控技术

李存东 董合忠 齐放军 等 著

非外借

 中国农业出版社

棉花早衰理论与调控技术

李存东 董合忠 齐放军 等 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

棉花早衰理论与调控技术 / 李存东等著. —北京:
中国农业出版社, 2018. 4

ISBN 978 - 7 - 109 - 23863 - 3

I. ①棉… II. ①李… III. ①棉花—枯萎病—防治—
研究 IV. ①S435.621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 009399 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 郭银巧

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月北京第 1 次印刷

开本: 880mm×1230mm 1/32 印张: 11.75

字数: 310 千字

定价: 60.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

《棉花早衰理论与调控技术》

著 者 名 单

李存东	董合忠	齐放军	张永江
刘连涛	孙红春	孔祥强	董海荣
李东晓	张海娜	韩秋成	朱继杰
谢志霞	孙东磊		

植物衰老是一个与植株年龄相关的，在细胞、组织、器官及整体水平上的衰退过程，并最终导致植物体的死亡或生命周期的终结。棉花早衰则是由于基因型或环境因子的胁迫，使棉株在有效的生长季节内局部或整体提早结束生命，从而影响棉花产量和品质的生物学现象。随着转 Bt 基因抗虫棉的推广及棉花连作年限增加，早衰现象越来越普遍和严重，轻度早衰可减产 10% 左右，重度早衰则可减产 20%~50%。早衰在我国黄河流域棉区、长江流域棉区和西北内陆棉区都有程度不同的发生，已成为进一步提高棉花产量和品质的重要障碍。

棉花早衰的成因比较复杂。1999 年澳大利亚学者 Wright 在 *plant Soil* 上发表文章，认为棉花早衰是由于土壤缺 K 导致源库失调所致，这也是国际上较早发表的关于棉花早衰生理的文章。之后，中国农业科学院棉花研究所对早熟基因型棉花早衰的遗传、生理特征进行了较系统的研究报告，中国农业科学院植物保护研究所、山东棉花研究中心、河北农业大学分别在棉花的病理性早衰、早衰的分子生物学特征及其环境因子效应等方面进行了较系统的研究，深化了人们对棉花早衰理论的认识与调控技术的运用。

《棉花早衰理论与调控技术》是作者团队持续 10 多年不懈努力的成果结晶。在国家 863 计划、国家自然科学基金、国家产业技术体系、农业部公益性行业计划专项、河北省自然科学基金等项目支持下，河北农业大学、山东棉花研究中心、中国农业科学院植物保护研究所等单位，通过多年多点的试验研究，从诱发早衰的内、外因素入手，以碳氮代谢、物质分配、源库关系等生理特征与分子生物学特征，主要生长发育指标和产量品质形成规律等为对象，详细介绍了棉花早衰与源库协调性、根冠协调性、品种及种子质量、矿质营养、水分、土壤及土壤耕作、播期、种植密度和整枝、气象因子和病虫害等诸因素的关系，探讨了棉花早衰的分子机制，形成了我国三大棉区预防早衰的关键技术，在此基础上制定的抗虫棉早衰防控技术体系，已成为河北省的地方标准、山东省及农业部的主推技术。

本书将为我国高校和科研单位相关学科的教学和科研人员提供重要的参考，必将深化棉花早衰的机理研究，有效地预防棉花早衰，同时对于作物生理学发展起到积极推动作用。在该书出版之际，我谨祝作者所在团队取得更大的成绩。

中国工程院院士



2017 年 6 月

衰老是任何生物都必然发生的自然现象，然而过早衰老则是易早衰基因型、恶劣环境条件和不良栽培措施共同作用下的非正常生命现象，其结果导致生命的衰亡，在农业生产中则会带来作物产量的严重损失。就棉花而言，在有效的生长季节内棉株局部或整体过早结束生命活动而影响棉花产量和品质形成的现象称为早衰。棉花的早衰往往具有爆发性、普发性特点，并且一旦发生就难以逆转。

陆地棉早在第2、3片真叶的幼苗期就开始了花芽分化，营养器官和生殖器官同期分化、生长、发育的时间长达120 d左右，约占棉花一生的2/3，这就决定了其营养生长和生殖生长对于光合产物等营养物质分享和竞争的时间长，容易发生矛盾，二者矛盾激化的结果即形成棉花的徒长或早衰。由于植物生长调节剂——缩节胺（DPC）在棉花生产中的大面积推广，以及合理施肥、灌溉、整枝等调控措施的应用，棉花的徒长已在生产上得到了有效控制，而早衰仍然是我国广大棉区多年来未能从理论和技术上很好解决的难题，造成了棉田后期光、热、肥、水等资源的严重浪费，对于一年一熟的我国北方春播棉花来说，这种生产资源的浪费无法

依靠后季作物来弥补。

自 20 世纪 90 年代以来,转基因抗虫棉在我国内地棉区大面积推广,对于控制棉铃虫危害,增加植棉效益,改善棉区生态环境发挥了重要作用。然而,棉花同其他植物一样,在长期的生物进化过程中已形成了较为完善的基因体系,当外源 Bt 基因导入常规棉染色体时,打破了其长期以来形成的固有的基因连锁效应,对其生态适应性、生育习性和生物能效等产生了一定影响,这在以往人们对抗虫棉和常规棉品种的比较研究中得到了初步证实。实践表明,近 20 余年来先后在我国黄河流域、长江流域棉区大面积推广的抗虫棉品种,如美国 Agracetus 公司的新棉 33B、新棉 99B,以及某些国产抗虫棉等都存在着一个共同的弱点,即常规管理技术下易发生较为明显的早衰现象,个别年份生产上早衰面积高达 70%,单产降低 15% 以上,纤维品质变劣,经济损失巨大。

鉴于棉花早衰给棉花生产带来的巨大危害,以及早衰机制的复杂性,自 2000 年以来,河北农业大学、山东棉花研究中心和中国农业科学院植物保护研究所等单位,在国家 863 计划、国家自然科学基金、国家棉花产业技术体系、国家转基因重大专项产业化项目、国家科技成果转化资金,以及农业部、河北省、山东省等各级政府部门科研项目资助下,经历近 20 年时间,系统开展了棉花源库协调性与早衰、棉花根冠协调性与早衰、棉花早衰的分子机制、棉花品种及种子质量与早衰、矿质营养与棉花早衰、水分与棉花早衰、

土壤及土壤耕作与棉花早衰、播期与棉花早衰、种植密度及整枝与棉花早衰、气象因子与棉花早衰、病虫害与棉花早衰关系等内容的深入研究，明确了上述因素不良时诱发棉花早衰发生的形态特征、生长发育表现、产量品质效应及其生理机制，进行了棉花早衰的分子生物学特征初步研究。据此并结合其他单位的相关研究结果，制订了黄河流域棉区、长江流域棉区和西北内陆棉区棉花早衰防控的技术方案并进行了大面积推广。相关研究成果先后在国内外发表论文 100 余篇，其中 SCI/EI 论文 20 余篇；授权国家发明专利 2 个；获得省级科技进步一等奖 2 项，其他奖励 4 项；制定技术标准 2 套；曾作为农业部主推技术推广。基于上述研究结果，并在充分借鉴前人相关研究结论的基础上撰写成书。因此，本书的成文出版是农业高校和科研单位长期协作、共同攻关的成果，是全体编著人员集体智慧的结晶。

全书共分十四章。第 1 章棉花早衰概念、诊断与研究概况，由李存东、张永江编写；第 2 章源库协调性与棉花早衰、第 3 章根冠协调性与棉花早衰、第 4 章棉花早衰的分子机制，由董合忠、孔祥强编写；第 5 章棉花早衰与品种及种子质量的关系，由张海娜编写；第 6 章矿质营养与棉花早衰的关系，由董海荣、刘连涛编写；第 7 章棉花早衰与水分的关系，由孙红春、李东晓编写；第 8 章棉花早衰与土壤、土壤耕作的关系，由韩秋成编写；第 9 章棉花早衰与播期的关系，由朱继杰编写；第 10 章棉花早衰与种植密度及整枝的关系，由张永江编写；第 11 章棉花早衰与气象因子的关系，

由孙东磊编写；第12章棉花早衰与病虫害的关系，由齐放军、谢志霞编写；第13章黄河流域棉区预防棉花早衰的关键技术，由李存东、董合忠、张永江共同编写；第14章长江流域棉区预防棉花早衰的关键技术，由李存东、孙红春编写；第15章西北内陆棉区预防棉花早衰的关键技术，由李存东、张永江、刘连涛共同编写。全书由李存东统稿。

诚然，鉴于棉花早衰问题及其影响因素的复杂性，以及编著人员水平的局限性，书中谬误在所难免，敬请各位同仁指正。

著 者

2017年6月

序 前言

第 1 章 棉花早衰概念、诊断与研究概况	1
1.1 棉花早衰的概念	1
1.2 棉花早衰的表现和诊断	2
1.2.1 早衰的表现	2
1.2.2 早衰的形态诊断指标	2
1.2.3 早衰的生理诊断指标	3
1.3 棉花早衰机制研究概况	3
参考文献	5
第 2 章 源库协调性与棉花早衰	7
2.1 叶“源”的光合和其他生理功能	7
2.1.1 光合作用	7
2.1.2 叶片养分运输与分配	7
2.2 库源关系失调与棉花早衰	8
2.2.1 早衰的生理生化变化	8
2.2.2 不同基因型的库源比例	8
2.2.3 库源失调对棉花衰老的影响	10
参考文献	17

第3章 根冠协调性与棉花早衰	19
3.1 棉花根系建成和活性	19
3.1.1 根系建成过程	19
3.1.2 根系生理活性	21
3.2 根冠关系及其判断指标	22
3.2.1 根系与冠层的相互关系	22
3.2.2 反映根冠关系的指标	26
3.3 根冠关系对棉花衰老的影响	28
3.3.1 激素与棉花根冠关系	28
3.3.2 环割对根冠关系和叶片衰老的影响	29
3.3.3 嫁接对根冠关系和棉花衰老的影响	34
参考文献	39
第4章 棉花早衰的分子机制	43
4.1 光合作用及大分子降解	44
4.1.1 光合作用	44
4.1.2 大分子降解	47
4.2 养分循环利用	48
4.2.1 氮素代谢与循环	48
4.2.2 转运体与养分循环	48
4.3 植物激素	49
4.3.1 细胞分裂素	49
4.3.2 脱落酸 (ABA)	50
4.3.3 其他激素	50
4.4 转录因子	53
4.4.1 NAC 转录因子	53

4.4.2 WRKY 和其他转录因子	55
参考文献	57
第 5 章 棉花早衰与品种及种子质量的关系	63
5.1 品种与棉花早衰的关系	63
5.1.1 不同品种间早衰差异	63
5.1.2 不同铃重棉花品种的源库特征	67
5.2 种子质量与棉花早衰的关系	73
5.2.1 种子粒度对棉株生长发育的影响	73
5.2.2 种子粒度对棉花叶源生理生化性状的影响	75
5.2.3 种子粒度对棉花库器官建成的影响	81
5.2.4 种子粒度对棉花产量结构的影响	84
5.2.5 种子粒度对棉花“铃-叶系统”协调性及早衰的影响	84
参考文献	86
第 6 章 棉花早衰与矿质营养的关系	90
6.1 氮素营养与棉花早衰的关系	90
6.1.1 氮对棉花生长发育的作用	90
6.1.2 氮素营养对棉花衰老过程的影响	91
6.1.3 氮肥运筹对棉花早衰的影响	95
6.2 钾素营养与棉花早衰的关系	97
6.2.1 钾对棉花生长发育的作用	97
6.2.2 钾素营养对棉花衰老过程的调控	99
6.2.3 植株对钾素的需求	103
6.2.4 钾与棉花早衰的关系	104
6.3 磷素营养与棉花早衰的关系	105
6.3.1 磷对棉花生长发育的作用	105

6.3.2 磷素营养对棉花衰老的影响	106
6.3.3 磷肥运筹对棉花早衰的影响	110
6.4 微量元素与棉花早衰的关系	111
6.4.1 硼在棉花生长发育过程中的作用	111
6.4.2 锰在棉花生长发育过程中的作用	112
6.4.3 锌在棉花生长发育过程中的作用	113
参考文献	113
第7章 棉花早衰与水分的关系	117
7.1 棉花各生育时期对水分的需求	117
7.1.1 棉花需水量与耗水量	117
7.1.2 棉花的需水规律	117
7.2 干旱对棉花早衰的影响	118
7.2.1 干旱对棉花生长发育的影响	119
7.2.2 干旱胁迫引起棉花早衰的生理生化机制	122
7.2.3 干旱胁迫对棉花产量及纤维品质的影响	163
7.3 涝害对 Bt 棉早衰的影响	166
7.3.1 涝害诱导棉花早衰的机理	166
7.3.2 棉花受涝后田间生育特征	168
参考文献	168
第8章 棉花早衰与土壤及土壤耕作的关系	173
8.1 棉花早衰与土壤质地的关系	173
8.1.1 土壤质地对棉田水分的影响	174
8.1.2 土壤质地对棉花形态指标与生物量分配的影响	174
8.1.3 土壤质地对棉花结铃能力及棉铃空间分布的影响	175
8.1.4 土壤质地对棉花产量构成因素和产量的影响	175

8.1.5 土壤质地对地膜棉花的影响	176
8.1.6 土壤质地对棉花早衰的影响	176
8.2 棉花早衰与土壤有机质含量的关系	177
8.3 棉花早衰与盐碱地的关系	179
8.3.1 盐碱地造成死苗现象及原因分析	179
8.3.2 盐碱地对棉田养分特征和棉花生长发育及产量的影响	180
8.3.3 从库源关系分析盐碱地早衰的成因	180
8.3.4 盐碱地的改良	181
8.4 棉花早衰与土壤耕作方式的关系	181
8.4.1 棉田常用土壤耕作方式	181
8.4.2 棉花早衰与不同土壤耕作方式的关系	184
8.5 棉花早衰与土壤耕作深度的关系	198
8.5.1 土壤耕层浅、土壤板结引起棉花早衰	198
8.5.2 深耕效果及分析	198
8.5.3 深耕后效	200
8.6 棉花早衰与连作的关系	201
参考文献	201
第9章 棉花早衰与播期的关系	207
9.1 播期效应	207
9.1.1 播期对棉花生长发育的影响	208
9.1.2 播期对产量及产量构成因素的影响	209
9.1.3 播期与纤维品质和抗病性	213
9.2 播期与棉花早衰	214
9.2.1 早播与棉花早衰的关系	214
9.2.2 棉花早播易早衰的原因	215
9.3 播期调节	219

9.3.1 适期播种	219
9.3.2 适时揭膜	221
参考文献	224
第 10 章 棉花早衰与种植密度及整枝的关系	228
10.1 种植密度与棉花早衰的关系	228
10.1.1 不同密度对棉花地上部形态学指标的影响	228
10.1.2 不同密度对棉花根系的影响	231
10.1.3 不同密度对棉花群体结构的影响	235
10.1.4 不同密度对棉铃时空分布的影响	237
10.1.5 不同密度对棉花产量的影响	240
10.1.6 不同密度对棉花品质的影响	244
10.2 整枝与棉花早衰的关系	245
10.2.1 去早果枝的调控作用	246
10.2.2 保留叶枝的效应	255
参考文献	262
第 11 章 棉花早衰与气象因子的关系	264
11.1 温度对棉花早衰的影响	264
11.1.1 高温对棉花生长发育的影响	264
11.1.2 高温对棉花生理生化特性的影响	266
11.1.3 低温对棉花生长的影响	268
11.2 光照对棉花早衰的影响	270
11.2.1 光照长度对棉花生长的影响	270
11.2.2 光照强度对棉花生长的影响	271
11.2.3 光照不足对棉花早衰的影响	272
11.3 农业气象灾害与棉花早衰	273

11.3.1 连阴雨	273
11.3.2 冰雹	274
11.3.3 大风	275
11.4 气候变化特征及对棉花生长的影响	275
11.4.1 温度变化及其影响	276
11.4.2 降水变化及其影响	277
11.4.3 日照变化及其影响	278
11.4.4 光温水条件对棉花产量的影响	279
11.5 棉花气候适宜度及风险度变化	282
11.5.1 温度适宜度	282
11.5.2 降水适宜度	284
11.5.3 日照适宜度	286
11.5.4 气候风险度	287
11.5.5 气候适宜度变化对棉花生产的影响	289
参考文献	290
第 12 章 棉花早衰与病虫害的关系	296
12.1 病害与棉花早衰的关系	297
12.1.1 棉花苗期病害	297
12.1.2 枯萎病与棉花早衰的区分	300
12.1.3 黄萎病与棉花早衰	302
12.1.4 棉花早衰、红叶茎枯病与棉花轮纹斑病之间的关系	304
12.2 虫害与棉花早衰的关系	307
12.2.1 蚜虫与棉花早衰发生的关系	308
12.2.2 盲蝽危害对棉花早衰的影响	310
12.2.3 棉铃虫危害对棉花早衰的影响	312
12.2.4 其他害虫发生对棉花早衰的影响	314
参考文献	316