

杨再强 李军 编著

设施农业

SHESHI NONGYE QIXIANG FUWU JISHU

气象服务技术



 气象出版社
China Meteorological Press

设施农业气象服务技术

杨再强 李 军 编著



气象出版社

China Meteorological Press

内容简介

本书集成了设施农作物生理生态、农业气象、设施农业、农业经济学、农业工程及生物环境调控等基础理论和应用技术研究成果,对多种设施作物的设施环境监测预警、设施农业气象灾害、设施农业病虫害、设施农业风险灾害评估、天气指数保险、设施农业气候区划、设施农业环境调控等方面进行了介绍,旨在为设施农业气象服务产品的开发提供参考,适合广大应用气象专业学者和农业气象服务工作者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

设施农业气象服务技术 / 杨再强, 李军编著. — 北京: 气象出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-5029-6407-8

I. ①设… II. ①杨…②李… III. ①设施农业-农业气象-气象服务 IV. ①S165

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 192157 号

Sheshi Nongye Qixiang Fuwu Jishu

设施农业气象服务技术

杨再强 李 军 编著

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码: 100081

电 话: 010-68407112(总编室) 010-68409198(发行部)

网 址: <http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑: 王凌霄 吴晓鹏

终 审: 邵俊年

责任校对: 王丽梅

责任技编: 赵相宁

封面设计: 易普锐创意

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 22.25

字 数: 576 千字

版 次: 2016 年 11 月第 1 版

印 次: 2016 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 60.00 元

前 言

设施农业是将农业生物的遗传潜力变为现实巨大生产力,获得速生、高产、优质、高效农畜产品的重要手段,也是我国从传统农业向现代农业转变的重要方向。设施农业通过采用人工技术手段,创造适宜农业生物生长的环境条件,以实现农产品的速生、丰产、优质、高效的目的。

随着我国设施农业的迅速发展,迫切需要开展全方位、多时效、精细化的农业气象业务服务。目前国内部分气象部门虽然开展了设施农业气象监测、设施小气候预报和气象灾害监测预警服务,但没有系统完整的设施作物气象灾害指标、缺乏准确的设施小气候预报方法和设施农业气象灾害监测预警及风险评价评估模型,设施农业气象服务的一些关键技术仍处于研究阶段,服务产品还较为零星。为此,我们结合近几年来承担江苏省科技支撑计划(BE2010734, BE2015693)、国家自然科学基金面上项目(41275117, 41475107)以及“十二五”国家支撑计划项目(No. 2014BAD10B07)等项目的研究内容,针对我国设施农业气象中存在的问题及对设施农业气象服务的需求编写《设施农业气象服务技术》,该书集成了设施作物生理生态、农业气象、设施作物栽培、农业经济学、农业工程及农作物环境调控等基础理论和应用技术研究成果,对设施作物的环境监测预警、病虫害等级预报、气象灾害风险评估、天气指数保险、气候区划、设施环境调控等方面进行了介绍,旨在为设施农业气象服务产品的开发提供参考。该书适合广大应用气象专业学者和农业气象服务工作者阅读。

本书分为九个部分,系统阐述了设施农业气象服务的相关技术以及研究成果。第1章主要介绍了9种主要设施作物的生长环境条件、物候期及植物学特性;第2章介绍了设施小气候形成的机理、特征和设施小气候预报方法;第3章主要从气象灾害的致灾机理、设施作物灾害指标的提取、气象灾害预警技术和防御对策等方面进行了阐述;第4章介绍了多种设施作物病虫害发病特征和设施作物病虫害等级预报系统;第5章论述设施农业气象灾害风险评估及天气指数保险研究方法;第6章介绍了如何进行设施农业气候区划;第7章介绍了以传感器技术为核心的物联网设施环境监测技术;第8章介绍了设施农业环境调控技术及最新研究成果;第9章构建了设施农业气象灾害预警平台,把理论研究成果转换为实际气象服务技术。

本书由南京信息工程大学杨再强教授统稿,具体编写第1,2,3,6,8章,上海

市气候中心李军研究员编写第4,5,7,9章。在本书的编写过程中,泰州市气象局袁昌洪博士、南京信息工程大学应用气象专业孙擎博士、余焰文、谭文、韩冬、李煜姗、侯奇奇、邹宇伽、高冠、宋洋、熊宇、肖芳等同学收集了部分资料,部分内容为本实验室已毕业的硕士研究生参加科研项目研究内容,在此向他们表示衷心的感谢!

限于编者的知识和经验,书中难免有不少缺点和错误,欢迎读者不吝指正。

编者

2016年6月于南京

目 录

前言

第 1 章 设施作物的生物学特性	(1)
1.1 番茄的生物学特性	(1)
1.2 黄瓜的生物学特性	(8)
1.3 甜椒的生物学特性	(11)
1.4 小白菜的生物学特性	(15)
1.5 草莓的生物学特性	(17)
1.6 杨梅的生物学特性	(24)
1.7 葡萄的生物学特性	(30)
1.8 菊花的生物学特性	(35)
1.9 芹菜的生物学特性	(38)
第 2 章 设施小气候预报模型	(41)
2.1 设施小气候形成机理	(41)
2.2 设施小气候预报方法	(48)
第 3 章 设施农业主要气象灾害	(60)
3.1 设施农业气象灾害概述	(60)
3.2 致灾机理	(74)
3.3 灾害指标的提取	(120)
3.4 设施农业气象灾害预警技术	(145)
3.5 设施农业气象灾害预防	(149)
第 4 章 设施作物病虫害的防治与气象预报	(152)
4.1 设施作物病害简介	(152)
4.2 常见设施作物病害	(154)
4.3 设施作物病虫害等级预报	(176)
4.4 实例——设施葡萄病害等级预报方法	(184)
第 5 章 设施农业气象灾害风险评估与天气指数保险	(190)
5.1 农业气象灾害风险辨识	(190)

5.2	风险评估	(194)
5.3	天气指数保险研究进展	(209)
5.4	天气指数保险研究方法	(211)
5.5	天气指数保险案例	(215)
第6章	设施农业气候资源及气候区划	(218)
6.1	光资源	(218)
6.2	热量资源	(223)
6.3	设施农业气候区划	(225)
第7章	基于物联网的设施环境监测技术	(231)
7.1	系统总体结构设计	(231)
7.2	感知层设计	(231)
7.3	网络层设计	(233)
7.4	应用层设计	(234)
7.5	系统实现的功能与特点	(235)
第8章	设施农业环境调控技术	(237)
8.1	设施环境调控原理概述	(237)
8.2	设施光环境调控	(238)
8.3	设施温度环境调控	(277)
8.4	设施内的水分和湿度环境调控	(292)
8.5	设施气体环境调控	(301)
8.6	设施土壤环境调控	(309)
第9章	设施农业气象灾害预警系统平台的构建	(315)
9.1	设施农业气象灾害预警系统内容	(315)
9.2	系统构架	(316)
9.3	平台运行界面	(319)
9.4	模型参数的入库	(324)
9.5	气象灾害预警系统	(325)
9.6	病虫害潜势预报系统	(328)
9.7	信息发布平台	(330)
9.8	气象信息查询系统	(335)
9.9	气象灾害风险评价	(336)
9.10	系统管理模块	(337)
参考文献		(342)

第1章 设施作物的生物学特性

1.1 番茄的生物学特性

1.1.1 番茄对环境条件的要求

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)属茄科番茄属,为喜温性蔬菜,其在全球范围内的种植面积达 $26.9 \times 10^6 \text{ hm}^2$,产量达 $69 \times 10^6 \text{ t}$,占到全球蔬菜生产总量的 10% 左右,是我国最主要的设施作物之一。影响番茄植株生长和果实发育的因素包括温度、光照、水分、土壤及养分、气体等。

1. 温度

影响番茄生长发育的温度包括气温和地温。番茄属于喜温作物,一般在 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 下生长发育良好。对温度的适应范围为 $15 \sim 33^\circ\text{C}$,低于 10°C 时停止生长,长时间处于 5°C 条件下则出现冷害, $-1 \sim -2^\circ\text{C}$ 霜冻即可冻死;高于 35°C 时生长不良, 45°C 以上则因其生理干旱而死亡。番茄植株对温度的要求在不同发育阶段有差异。

(1) 发芽期

发芽期最适温度为 $25 \sim 30^\circ\text{C}$,低于 10°C 或高于 35°C 时,发芽过程均受影响,以致不发芽。番茄种子在 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 经过 6 d 发芽率可达 80% 以上,在 15°C 以下,要经过 20 d 才能达到 53% 的发芽率,在 10°C 条件下经过 40 d,发芽率达到 70%。低温明显降低了种子发芽速度,高温则明显降低了发芽率,使大部分种子丧失发芽能力。在 35°C 条件下,发芽率仅有 1.4%,在 40°C 条件下发芽率在 1% 以下。

(2) 苗期

苗期最适昼温为 $27 \sim 28^\circ\text{C}$,夜温为 $13 \sim 14^\circ\text{C}$,最高为 30°C ,最低约为 10°C ,超过这一范围生育受到阻碍。 $35 \sim 40^\circ\text{C}$ 时花器受到影响,形成畸形果; 40°C 以上时茎、叶停止生长; 45°C 以上时茎、叶出现日灼,叶脉变成灰白色,引起坏死;在 8°C 低温环境下番茄植株生长迟缓, 5°C 时停止生长, $-1 \sim -2^\circ\text{C}$ 时会因冻害死亡,但强壮的植株耐低温性更强。

(3) 开花结果前期

番茄生长期需要一定的温差,保护地栽培番茄以昼温 $25 \sim 28^\circ\text{C}$ 、夜温 $13 \sim 17^\circ\text{C}$ 最适宜;一天中温度变化,午前达到 $25 \sim 28^\circ\text{C}$,午后充分换气下降到 $20 \sim 25^\circ\text{C}$,傍晚前后停止换气,以蓄积热量,前半夜要求温度稍高 $14 \sim 17^\circ\text{C}$,后半夜 $12 \sim 13^\circ\text{C}$ 为宜。番茄根系生长以土壤温度 $20 \sim 22^\circ\text{C}$ 最适宜, 13°C 时根的机能下降, 8°C 时根毛停止生长, 6°C 时根停止生长, 5°C 以下时根

系吸收养分和水分受阻,因此栽培中实际土壤温度界限为 $13\sim 14^{\circ}\text{C}$,最高界限为 33°C 左右,若到 $37\sim 38^{\circ}\text{C}$ 甚至以上,根就停止生长。

(4)开花结果期

番茄在 $5\sim 40^{\circ}\text{C}$ 较宽的温度范围内均能开花,但温度对开花结果的影响极大。开花期以昼温 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、夜温 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 为最适宜。低于 15°C 则不能开花,并易引起落花;昼温高于 35°C 或夜温高于 20°C 则开花不良。

(5)果实发育期

果实发育最高气温为 28°C ,最适气温为 25°C ;夜间温度,在日照充分季节,前半夜保持 $14\sim 17^{\circ}\text{C}$,后半夜保持 $12\sim 13^{\circ}\text{C}$ 为宜。在冬季保护地栽培条件下,由于光照不足,昼间保持 25°C ,前半夜保持 13°C ,后半夜可降至 5°C 左右,这样可抑制呼吸作用,减少糖分消耗,有利于产量增加。果实发育与地温有关系,地温以 $16.5\sim 19.5^{\circ}\text{C}$ 为宜,温度过高有可能发生茎腐病。适宜的温度对果实转色和根系生长也很重要,果实转色和种子成熟的适宜温度白天 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$,夜间 $16\sim 20^{\circ}\text{C}$,高于 30°C 和低于 15°C 都不利于着色,高于 35°C 番茄红素不能形成。

2. 光照

番茄是喜光作物,光照不足或连续阴雨天气容易引起落花落果。一般来讲,番茄叶片的光合作用饱和点为7万lx左右,在为3万 ~ 3.5 万lx时才能正常生长。在设施栽培中各个生育时期都存在光照不足的问题,北方地区冬春保护地栽培对番茄所需光照多不能满足,补充光照可显著增产。因此,保护地栽培的光照管理上,应考虑如何使植株更多地接受光照。合理密植,及时整枝、搭架绑蔓、摘心,确定合理的出间植株栽培方式及温室、大棚的方向等,均为充分利用光能的有效措施。

番茄在不同的生育期对光照要求不同。发芽期不需要光照。幼苗期对光照要求比较严格,光照不足则延长花芽分化、着花节位上升、花数减少、花芽素质下降。开花期光照不足,可导致落花落果。结果期光照不足导致坐果率低,单果重下降,还容易出现空洞果、茎腐病果现象。

番茄不同品种之间对低光照的适应能力有差异,有些品种比较耐弱光,在冬春保护地栽培表现出较好的丰产性。这些品种一般叶量较少,小叶多,整体透光性好。露地生产,夏季日照过强,容易发生日烧果,这时应选择叶量大、生长势强的品种,必要时也可以采取遮阴栽培。

3. 水分

番茄植株叶片多,营养面积大,蒸腾作用强烈,且果实为浆果,结果数多,所以需水量大。植株根系发达,吸水力强,具有半耐旱特点,要求土壤湿度以 $60\%\sim 80\%$ 为宜。若土壤过于干旱,不但降低了土壤微生物的活性,提高了土壤溶液浓度,而且大大妨碍了根系的生长与活动,使植株生长不良,造成大量落花。这种由于土壤干旱造成落花的现象称为“早崩花”。相反,土壤湿度过大、通气不良、根系生长与活动受阻,也会造成大量落花,这种因土壤湿度过大而造成落花的现象称为“湿崩花”。番茄在不同生长时期对水分的需求不同。发芽期需水多,要求土壤湿度在 80% 以上;幼苗期至开花期的秧苗,不能给予过多水分,以 $65\%\sim 75\%$ 为宜,否则容易引起徒长。当植株进入果实迅速膨大期,由于茎、叶和果实同时达到最旺盛生长的时期,需水量也最多,要求土壤湿度在 75% 以上,空气相对湿度以 $50\%\sim 66\%$ 为宜。

栽培过程中若田间浇水后又遇上连续阴雨天气,湿度过高,容易导致病害发生及蔓延。青果期若水分供应不匀,忽干忽湿,容易发生脐腐病。在果实转色期,若水分供应不匀,特别是久旱忽遇暴雨,容易发生裂果现象。所以,在栽培过程中要采取小水勤浇,不可漫灌。

4. 土壤及养分

番茄对土壤的要求不严格,但对土壤的通气状况要求比较高。应选择土层深厚、有机质丰富、排水良好的壤土或沙壤土;土壤含氧量达10%左右时,番茄植株生长发育良好,当土壤含氧量低于2%时,植株枯死。番茄要求土壤中性偏酸,酸碱度以pH值6~7为宜。在盐碱地上栽培生长缓慢,易矮化枯死;在过酸的土壤上栽培易产生缺素症,特别是缺钙症,缺钙时易发生脐腐病。故酸性土壤施用石灰有显著的增产效果。

番茄生长期长,需要大量有机肥料和多种营养元素,其中包括C、H、O、N、S、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Mn、Zn、B、Mo、Cl共16种元素,这些营养元素经过吸收转化,构成番茄果实和植株本身。据分析,亩^{*}产5000 kg果实需从土壤中吸收N元素10~17 kg, P_2O_5 5 kg, K_2O 15~26 kg,但不同生育时期、不同栽培方式对肥料的要求不同。

氮肥主要满足植株生长发育,是丰产的必需条件;磷肥促进花芽分化、发育,增强根系吸收能力及果实生长;钾肥促进果实迅速膨大,对糖的合成及运转、提高细胞浓度、提高抗旱能力有重要作用。番茄对微量元素需要量不多,但这些元素缺乏或不平衡时常会导致植株生长不良,甚至发病或死亡。

5. 气体

番茄发芽期氧气(O_2)浓度降到2%,严重抑制发芽;降到1%完全不能发芽。二氧化碳(CO_2)对发芽影响较小,在浓度增大到40%时才开始抑制发芽。番茄营养生长期保持根系良好的通气能显著促进生长。 CO_2 的饱和点随光照度的增加而提高,番茄在充足的光照(5000~7000 lx)时,其 CO_2 饱和点为800~1200 $\mu L \cdot L^{-1}$,补偿点为80~100 $\mu L \cdot L^{-1}$ 。适当提高空气中 CO_2 浓度会显著增加产量。当空气中二氧化硫(SO_2)含量达到0.5 $\mu L \cdot L^{-1}$,就会使番茄叶片出现灰白或黄白斑块,重者可枯死。其他如氯气、氯化物、氮氧化物、臭氧和粉尘等都会对番茄造成危害。

1.1.2 番茄物候期

番茄从种子到下一代种子,要经过发芽期、幼苗期、开花期和结果期。由于番茄从幼苗花芽分化开始直到果实、种子成熟的绝大部分生长过程,是营养生长和生殖生长同时进行,顶芽不断变成花芽,下部侧枝不断延伸形成果穗分层,不断开花、不断坐果,所以开花期和结果期并没有明确界限。但从栽培的实际出发,可把开花期看作秧果生长盛期以长秧为主的时期,把结果期看作果秧生长盛期以结果为主的时期,这几个时期对环境条件的要求和栽培措施也是不同的。

1. 发芽期

番茄从种子发芽到第一真叶出现为发芽期,在适宜条件下约需7~9 d。番茄种子发芽及出苗取决于水分、温度、通气条件及覆土的厚度。番茄种子发芽的适宜温度是28~30℃,最低温度为12℃,超过35℃对发芽不利。种子吸水第一阶段为急剧吸水,约经2 h,可吸收种子干重60%~65%的水分;第二阶段是缓慢吸水阶段;约经54 h,共能吸收种子干重25%左右的水分。种子经过这两个阶段吸水后,其吸水达到种子干重的90%左右,此时环境条件适宜即可正常发芽。

子叶展开到真叶出现为子叶期。子叶期主要是下胚轴生长,如温度高、湿度合适,易造成

* 1亩=667 m²,下同。

“高脚苗”。番茄种子从发芽到子叶展开,生长所需的养分由种子本身来供应,属于异养生长过程。种子发芽后,所含的营养物质很快被幼芽所消耗,并从异养转向自养,通过光合作用制造养分,此时充足的营养及良好的发育条件,对培育壮苗十分重要。子叶出来2~3 d即展开并变绿,幼苗也由异养转向自养。再经2~3 d,幼苗第一片真叶开始破心,此时真叶已分化到3~4片,番茄的生长便进入了幼苗期。

2. 幼苗期

番茄从第一片真叶出现到现大蕾为幼苗期。幼苗前期为单纯的营养生长,后期虽以营养生长为主,但开始了生殖生长阶段,故幼苗期分为子苗期和成苗期。

3. 子苗期

从真叶出现到花芽分化为基本营养阶段,主要是根系生长及生长点的叶原基分化,吸收积累养分,为营养生长及花芽分化打下基础,并产生花激素,促进花芽分化。子苗期的生育状况将影响植株花芽分化早晚和出花节位高低,因此生产上多在花芽分化前进行分苗,使苗有良好的生长环境。

4. 成苗期

从花芽分化到现大花蕾定植。成苗期花芽分化与营养生长同步进行。一般幼苗积温达570~600 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,真叶展开2~3片到分化8~9片时,生长点就停止了叶的继续分化,而分化出肥厚隆起的花芽,这个花芽就是第一花穗的第一个花。一般播种后20~30 d分化第一个花序,以后每15 d左右分化一个花序,这时植株的大小依条件而有差异,一般株高在3 cm左右,展开叶2~3片,茎的直径约2 mm。花芽开始分化后每2~3 d分化一个小花。

在适宜条件下,幼苗期为45~50 d。早春保护地育苗时,由于温度较低,光照较弱,幼苗期长达55~65 d。从地上部形态看,幼苗生长前期大约6~7 d,后期3~4 d,平均4~5 d,生长出一片真叶。在正常情况下,早熟品种6~7片真叶、中晚熟品种8~9片真叶展开时,第一花序开始现蕾。现蕾后番茄生长即幼苗期进入花期。

5. 开花期

番茄从现蕾到第一个果实形成,为开花期。开花期是番茄从营养生长为主过渡到生殖生长与营养生长同时进行的转折期。番茄定植后,从现蕾到开花约需15~30 d。早熟品种或在高温期栽培,需要时间较短。中晚熟品种或在低温弱光条件下栽培需要时间较长。

在适温条件下,开花一天后,萼片、花瓣完全展开,花冠颜色变为鲜黄色,此时花药开始裂开。同时被花药包围的花柱不断伸长,伸长过程中柱头不断接触已开的花药筒,完成了授粉过程。从授粉到受精大约需2450 h(100 d左右)。受精后开始坐果,番茄生长由开花期进入结果期。开花期的番茄,要促进营养生长,使植株浓绿、茎秆粗壮、根深叶茂,既为开花结果打下基础,又可防止徒长引起落花落果或推迟开花。

6. 结果期

番茄从第一花序结果到果实采收结束,为结果期。这一时期的长短,因品种和栽培方式不同而差别很大。春番茄和秋番茄一般70~80 d,冬春茬番茄80~100 d。结果期越长对栽培技术要求越高。番茄是陆续开花连续结果作物。第一花序果实膨大生长时,第二、三、四花序也在不同程度地分化和发育,同时茎叶生长也在不断进行。这一时期各层花序及同一花序不同花(果)之间、营养生长与生殖生长之间存在着激烈的养分争夺。一般来说,下部叶片制造的养分,除供给根系等营养器官外,主要供给第一花序的果实;中部叶片的养分主要输送到中部果

实;上部叶片养分除供给上部果实外,还大量供给生长点。本阶段植株进入大量需肥、需水期,栽培上应通过植株调整,维持合理叶面积,调整好秧果比例,以达到高产。

果实发育过程中,从开花到花后2周,主要是细胞数量增多,细胞膨大很小,果实膨大很慢。若用坐果激素处理,有助于促进果实提前进入膨大期。番茄开花后2周至35 d左右,果实膨大迅速,为果实膨大盛期。这期间果实主要是通过细胞体积增大而膨大。番茄开花后40 d以后果实膨大速度减慢;40~50 d后果实开始着色成熟。这一时期果实不再膨大,产量基本形成,主要是果实内部组织成分进行化学变化。

1.1.3 番茄的植物学特征

番茄在南美热带地区原是多年生植物,但在温带则为一年生作物。番茄的植株由根、茎、叶、花、果实及种子所组成,其特征特性分述如下。

1. 根

番茄具有深而强分枝的根系,由两部分组成:一部分是由胚根发育而成的根系,即主根和侧根(见图1-1);一部分是不定根。包含在种子里的胚根在种子发芽时生长发育便开始,起初只有主根垂直向下生长,后于其茎基部分生出第一侧根,并迅速向四周扩展,然后再生长第二列、第三列侧根。发芽后30 d的秧苗在正常生长情况下,主根可深入土下38 cm,横向伸展42 cm左右;发芽后100 d,主根可伸入土下100 cm,但是绝大部分根系均分布在50 cm以上部位,而横向生长可达2.5~3 m。番茄根系的发育能力和伸展的深度、广度与品种、土壤特性有关。生长期长的中晚熟品种根系在疏松的沙壤、黏壤土中发育较早熟品种、黏土、低洼地的根系发育好。番茄根系在10℃左右能缓慢生长,20~22℃最适,35℃以上生长受阻。所以,番茄在早春定植时,地温需稳定在12℃以上才能进行。

2. 茎

番茄的茎为半直立茎,分枝力强,具有顶端优势。根据番茄茎蔓生长习性和花序着生规律,可以把番茄分为有限生长和无限生长两个类型。有限生长类型,又称自封顶类型或矮秧类型,如苏红2003等品种,其生长特点是主茎的生长点长到6~8片真叶时形成第一花序,以后每隔1~2叶形成一个花序,通常主茎上发生2~4层花序后,花序下位的侧芽停止发育,不再抽枝,也不发生新的花序,植株形成自封顶状态。这种类型番茄一般为早熟或早中熟品种。无限生长类型,又称不封顶类型或高秧类型,如苏粉8号、苏粉9号、中杂9号、浙粉202等品种,其生长特点是植株的生长点不断依次生长,至第8~10片真叶出现第一花序,有的晚熟品种长到11~13片真叶才出现第一花序,以后每隔2~3片真叶着生一个花序。这种类型番茄植株高大,生长势强,一般为中晚熟品种(见图1-2)。番茄侧芽的萌发力很强,栽培中应及时进行整枝、打杈。这对丰产、优质、早熟极为重要。

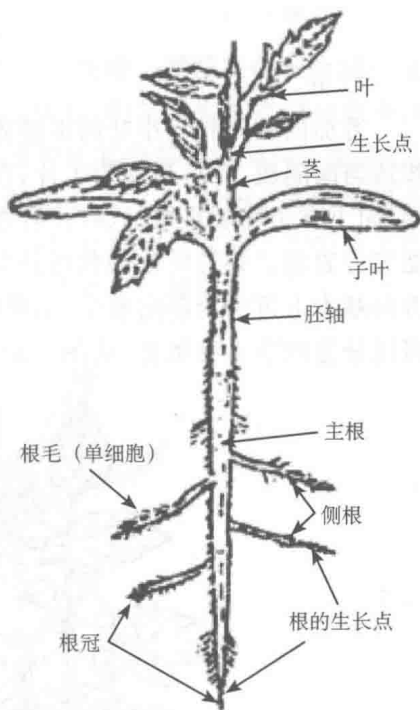


图1-1 番茄幼苗的外部形态



图 1-2 番茄的生长类型
(a. 无限生长类型; b. 有限生长类型)

3. 叶

番茄的叶为具有小叶的不整齐奇数羽状复叶，主要小叶 5~9 片，普通为 7 片，从叶柄基部按适当间隔成 3 对，顶端为 1 片，在侧生小叶上或小叶间生有小裂片。番茄叶片自第一真叶开始，向上有小叶逐步增加、叶片有逐步增大的趋势。通常第一花穗以上的叶片作为品种特征才能充分表现。番茄叶片颜色可分为黄绿、淡绿、绿、深绿、蓝绿、灰蓝绿及灰绿 7 种。叶的着生方向基本上可分为斜向着生、水平着生和下垂着生 3 种。根据番茄叶子的形状和缺刻的不同，可以分为以下 3 种类型(见图 1-3)。

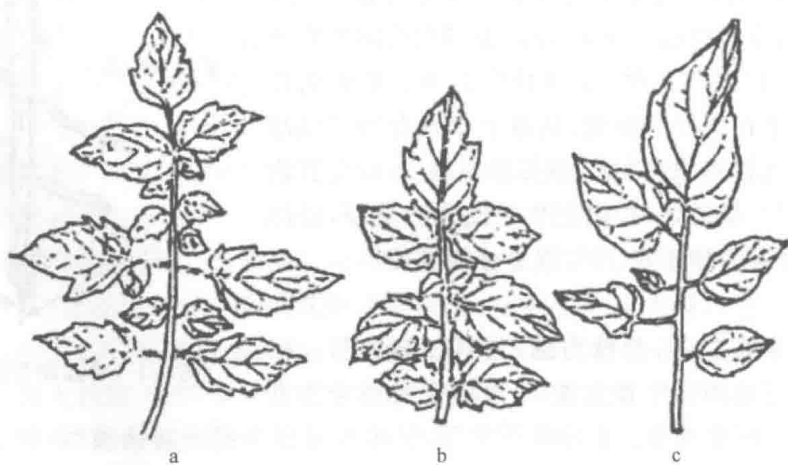


图 1-3 番茄的 3 种叶形示意图
(a. 花叶型; b. 直立叶型; c. 马铃薯叶型)

番茄叶片的小叶多少及深浅、叶系疏密程度、着生方向、叶片平展或上翻下卷，均是区分品种的重要特征。叶片为植株进行光合作用制造养分最重要的器官，因此，保持适当数量的健壮功能叶片是丰产优质的重要保证。

4. 花

番茄的花为完全花，由雌蕊(包括子房、花柱和柱头)、雄蕊(花药和花丝)、花瓣、萼片和花梗 5 部分组成(见图 1-4)，自花授粉。天然杂交率 4%~10%。花梗着生于花序上，大多数品种于花梗上产

生凸起的节,果实成熟阶段形成离层,从此处将果实采摘,在环境不利于花器官发育时,离层断开,造成落花落果。花的颜色为黄色,但随着花朵开放的程度不同而有颜色深浅的变化。

番茄在花芽分化时由于气温剧烈变化等因素影响,细胞分裂时快时慢,容易形成带化现象(见图 1-5),即两个或两个以上柱头并生成带状,花萼、花瓣增至 8~9 枚,多的甚至 10 多枚,子房也畸形,由这种花发育而成的果实均为多棱角的畸形果,即所谓“金刚脐”、“老虎脚爪”,丧失商品价值。这样的花大都发生在第一至第二花序的第一朵花,应在开花之前摘除,让正常花发育成果实,增加商品果率。

番茄的花着生在花序上,花序有单总状花序和复总状花序两类,有时一株上有两类花序并存,一花序着生的花数有很大差别,少者 3~5 朵,甚至单花,多者可达 20 朵以上,一般栽培品种为 7~15 朵。一般在第 8 叶与第 9 叶之间着生第一花穗。番茄的各节叶腋都能分化腋芽,这些腋芽在主茎生长旺盛时期,由于顶端优势而不太伸长,但是当生长点分化顶芽而形成花穗时,茎的生长停止,暂时失去顶端优势,紧靠花穗下部腋芽比其分部位腋芽伸长更快,从叶腋发生的分枝,无限生长类型而种形成 5 片真叶后生长点又能形成顶花芽,再向上每隔 3 张叶片又能形成一个花穗;有限生长类型从腋芽长出的分枝隔 1~2 张叶片封顶成花序。在整枝条件下,无限生长品种绝大多数侧枝都被摘除,只看到主枝上每 3 张叶片着生一穗花序。

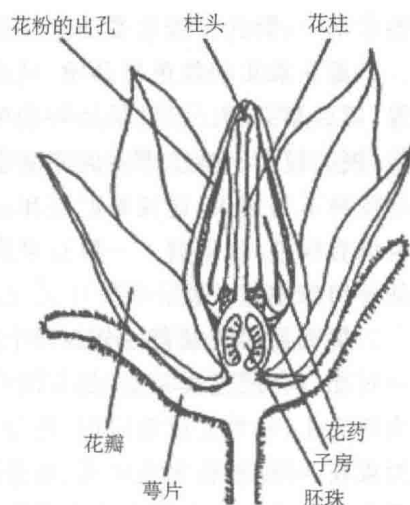


图 1-4 番茄花的构造

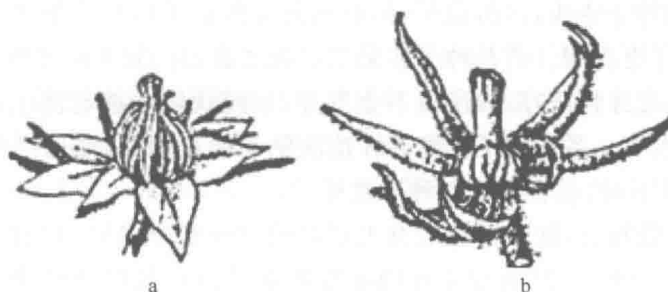


图 1-5 带化花

(a. 全形; b. 花瓣去除状)

5. 果实

番茄果实由子房发育而来,为多汁浆果,由外果皮、中果皮和胎座组织构成,果实的形状、大小、颜色、心室数及风味等因品种不同而异。按果形指数分,果实形状有扁圆(果形指数为 0.7 以下)、高扁圆(果形指数为 0.71~0.85)、扁圆球(果形指数为 0.85~1.00)和长圆形(果形指数为 1.01 以上),按果实形状分扁柿形、桃形、苹果形、牛心形、李形、梨形、樱桃形等。生产上用的多数栽培鲜食品种都属于扁圆到圆球形;多数小果型加工专用品种,则属于长圆或梨形。果实有大果(单果重 200 g 以上)、中果(单果重 70~200 g)、小果(单果重 70 g 以下)之分。

成熟果实的色泽有大红、粉红、橙黄、金黄、淡黄等颜色,由果皮和果肉的顏色相衬而表现出来,果实的表皮无色或黄色,果肉的顏色黄色或红色。如果果肉和果实表皮都是黄色,果实外表就成为橙黄色或淡黄色;如果果肉为红色,果实表皮为无色,则果实外表为粉红色;果肉为红色,果实表皮为黄色,则整个果实为大红色。不同地区对番茄果实的色泽因不同的消费习惯

要求不一,因此在栽培番茄时应根据当地的消费习惯选择适宜的品种。

番茄果实的颜色与品质、风味有一定关系。一般说来,红色果实酸甜适合,味较浓,果皮较厚,雨后裂果少。粉红果品种甜多酸少,较适合生食,但外果皮较薄,南方多雨地区雨后易裂果,损失较大。番茄果皮的厚度也与品质、风味有一定的关系。薄皮种的品质好,但容易裂果;厚皮种不易裂果,比较耐贮藏和运输。有些品种的果实蒂部周围有一圈绿色,即使果实成熟后也仍有绿色,称果肩。一般有果肩品种风味好,红绿相衬,色泽艳丽,但不利于加工用,无果肩品种口味稍差一些。

番茄果实的发育可分为两个时期:第一时期从授粉到果实停止增大,即果实生长阶段,这一时期以合成过程为主,是有机营养物质积累的过程;第二时期即自果实发育停止开始到完全成熟为止,是果实成熟阶段、是分解过程占优势,为物质转化过程,淀粉转化为糖,原果胶转化为果胶,叶绿素转为茄红素、胡萝卜素等,从果实外观上看逐步变为红(黄)色,质地由硬变软。番茄单株果实的产量决定于果数和平均单果重,因此番茄的高产有赖于合适的坐果数和果实的良好发育这两个因素。

6. 种子

番茄种子呈扁平短卵形或心脏形,长轴一端的侧面有稍凹入的脐,种子表面有短而粗的呈灰褐色或黄褐色茸毛,种子颜色由于采种时处理条件造成的差别往往大于品种间的差别,种子大小因种及品种而异,栽培品种约 4.0 mm,宽 3.0 mm,厚 0.8 mm,野生及半野生种比栽培种小 33%~75%,栽培品种种子千粒重 3 g 左右。

番茄种子尚未充分成熟时,即有很好的发芽力,从未熟果实中取出的种子发芽速度比同时从成熟果实中取出的种子要快,出苗也早,但是充分成熟的千粒重大的种子,子叶苗要更加粗壮,对以后的生长发育更有利。番茄种子在果实中或虽取出仍置于种子外面的胶状物中,因有较高的酸度及其抑制发芽物质存在,所以不会发芽,如胶状物中掺有清水,或在发酵过程中发酵过度,也可以引起发芽。番茄种子发酵后在清洗晒干的过程中,如遇阴雨天,2~3 d 内种子含水量未降到 15% 以下时,也容易引起种子发芽。

番茄种子寿命一般较长,如保存在装有生石灰的密闭桶中,10 a 仍有相当高的发芽率,在普通室内贮存,也有 2~3 a。影响发芽率的主要因素是温度及湿度条件,其中最主要的是湿度。为延长番茄种子寿命,要尽可能保存在较低的温度及干燥条件下,即:0℃ 以下低温、30% 左右的空气相对湿度,这样可以较长时间保存番茄种子。

1.2 黄瓜的生物学特性

1.2.1 黄瓜对环境条件的要求

黄瓜(*Cucumis sativus* Linn)为葫芦科黄瓜属植物,喜温喜湿、忌高温,对光强的要求较高,是世界上主要设施作物之一。黄瓜是典型的喜温短日照植物。

1. 温度

适宜生长温度为 21~28℃,种子发芽适温为 25~30℃。不耐寒冷,气温低于 10℃ 时生长

受抑制,5℃以下则有受冻害的危险。对高温的忍受能力为35~40℃。一般是早熟品种比较耐寒,中晚熟品种比较耐热。黄瓜对地温要求比较严格。最适发芽温度为28~32℃,最低发芽温度为12.7℃,35℃以上发芽率显著降低。根的生长温度最低为8℃,最适温度为32℃,最高温度为38℃。开花结果最适宜地温为20~25℃,最低温度为15℃左右,超过33℃则易出现畸形瓜和苦味瓜。

2. 光照

黄瓜对日照长短的要求因生态环境不同而有差异,在低温、短日照条件下,雌花出现早而多,9~10℃的低夜温和8 h的短日照有利于雌花花芽的分化。一般华南型品种对短日照较为敏感,而华北型品种对日照的长短要求不严格,但8~11 h的短日照能促进花芽的分化和形成。

黄瓜在果菜类中属于比较耐弱光的蔬菜,是保护地蔬菜生产的主要品种,只要满足了温度条件,冬季也可以进行种植。但是一般由于冬季日照时间短,光照弱,黄瓜生长比较缓慢,产量较低。炎热夏季光照过强,也不利于植株正常生长。一般生产上夏季采用遮阳网,冬春季覆盖无滴膜,都是为了调节光照,促进黄瓜正常生长发育。

3. 水分

黄瓜对水分条件的要求较严格。由于黄瓜根系较弱,吸收能力受到限制,而叶片大而薄,蒸发量大,如果水分供应不及时,很容易造成“中午缺水性萎蔫”。黄瓜喜湿怕旱又怕涝,所以必须经常浇水才能保证黄瓜正常生长结果。但浇水过多又容易造成土壤板结和积水,影响土壤的透气性,不利于植株的生长。

黄瓜对空气相对湿度的适应能力比较强。可以忍受95%~100%的空气相对湿度。但是空气相对湿度过大容易发生病害,造成减产。所以,棚室生产阴雨天以及刚浇水后,空气湿度大,应注意放风排湿。在生产上采用膜下暗灌等措施使土壤水分比较充足,湿度较适宜,此时即使空气相对湿度低,黄瓜也能正常生育,且很少发生病害。

黄瓜在不同生育阶段对水分的要求不同。幼苗期水分不宜过多,水分多容易发生徒长,但也不宜过分控水,否则易形成老化苗。初花期对水分要控制,防止徒长及促进根系发育。结果期对水分要求最多,必须供给充足的水分才能获得高产。

4. 土壤与肥料

宜选择pH值6.0~7.5、富含有机质、排水良好、保水保肥的偏黏性沙壤土种植黄瓜,这种土壤能平衡黄瓜根系喜湿而不耐涝、喜肥而不耐肥等矛盾。

黄瓜对三大营养要素的吸收量以钾最多,其次是氮,磷最少。施足基肥是稳产高产的关键之一。黄瓜对基肥反应良好,在整地时,深耕增施腐熟有机肥,以改良土壤,提高肥力。一般每亩施有机肥约2000 kg,毛肥50~60 kg,复合肥20~30 kg作基肥。植株出现2~3片真叶时,开始追肥,以促进蔓叶生长和开花结果,苗期施用磷肥可以起到培育壮苗的作用。但由于黄瓜根系吸收能力弱,对高浓度肥料反应敏感,所以施肥以勤施、薄施为原则,结果期每隔6~8 d追肥1次,以促进植株的生长从而延长结果期。

1.2.2 黄瓜物候期

黄瓜的生长发育周期大致可分为发芽期、幼苗期、初花期和结果期4个阶段。

1. 发芽期

由种子萌动到第1片真叶出现为发芽期,7~10 d。在正常温度条件下,浸种后20 h胚根开始伸出1 mm,48 h后可伸长1.5 cm,播种后3~5 d可出苗。发芽期应注意保持温、湿度和充分的光照,有条件的地方可采用地膜覆盖。出苗后要及时进行肥水管理,培育壮苗,防止徒长。

2. 幼苗期

从真叶出现到长出4~5片真叶为幼苗期,20~30 d。这一时期植株分化大量花芽,为黄瓜的前期产量奠定了基础。在水肥管理方面应本着“促”、“控”结合的原则来进行,以适应黄瓜营养生长和生殖生长并进的需要,注意不要偏施氮肥,以免引起徒长。

3. 初花期

由5~6片真叶到第1雌花出现为初花期,15~25 d,一般株高1 m左右,已有12~13片叶。黄瓜初花期的发育特点主要是茎叶形成,花数不断增加。栽培上的原则是:既要促使根系生长,又要扩大叶面积,确保花芽的数量和质量,并使之成瓜。这一时期要避免徒长和化瓜,施肥以复合肥为主,配合使用钾肥,以促进植株开花结瓜。

4. 结果期

由第1果坐住,经过连续不断的开花结果,直到植株衰老为结果期。结果期的长短因栽培形式和环境条件的不同而异,南方地区一般露地生产40 d左右,秋季保护地可达50~80 d。黄瓜结果期的生育特点是连续不断地开花结果,根系与主、侧蔓继续生长。结果期的长短是产量高低的关键所在,因而应千方百计地延长结果期,保证肥水管理,重视使用钾肥。

1.2.3 黄瓜的植物学特性

1. 根

黄瓜属于浅根系植物,主要根群分布在20~30 cm的耕层土壤中,且结构松散、组织纤弱,使得黄瓜吸收水肥的能力不强。黄瓜根系木栓化比较早,根的再生能力差,故在南方种植一般采用催芽直播,而少采用育苗移栽方式。若须育苗,最好用育苗袋育苗,在1~2片真叶时移就。培育壮苗、保护根系是稳产高产的重要基础。

2. 茎

黄瓜的茎是攀缘性蔓茎,具有顶端优势,可无限自然生长。一般主蔓长可达3 m左右,茎粗1~2 cm,节长6~15 cm,每节着生1片五角形全绿叶,叶腋有卷须、腋芽或花芽原基,在长出4~5片叶以前茎直立,抽蔓后如无支架即倒伏,所以生产上一般都要搭架引蔓。

3. 叶

黄瓜叶片分为子叶和真叶两种。幼苗出土后真叶出现前,子叶是黄瓜赖以生存的唯一同化器官。黄瓜的真叶呈掌状五角形,互生,叶表面被有刺毛和气孔,叶片大而组织疏松,容易因蒸腾快引起缺水萎蔫,故早季要注意保持畦面湿度。叶缘还有许多水孔,湿度过大时,常可见到叶片边缘有许多水珠出现,这是外部病菌侵染的主要途径。叶背面的气孔大,病菌易于侵入,所以喷药时应注意侧重叶背面。

4. 花

黄瓜基本上是雌雄同株异花的植物,也有全雌株和强雌株,偶尔出现两性花。雄花有雄蕊