

照·明·工·程·先·进·技·术·丛·书

 Springer

都市农业 中的LED照明

LED Lighting for Urban Agriculture

古在丰树(Toyoki Kozai)

[日]

藤原和弘(Kazuhiro Fujiwara) 主编

[美] 埃里克·S.朗克尔(Erik S.Runkle)

刘文 等译



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

照明工程先进技术丛书

都市农业中的 LED 照明

[日] 古在丰树 (Toyoki Kozai)

[日] 藤原和弘 (Kazuhiro Fujiwara) 主编

[美] 埃里克·S. 朗克尔 (Erik S. Runkle)

刘文等译



机械工业出版社

Translation from English language edition:
LED Lighting for Urban Agriculture
edited by Toyoki Kozai, Kazuhiro Fujiwara and Erik S. Runkle
Copyright © Springer Science + Business Media Singapore 2016
This Springer imprint is published by Springer Nature
The registered company is Springer Nature Singapore Pte Ltd.
All Rights Reserved

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由 Springer 出版社授权机械工业出版社在中华人民共和国境内地区（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2018-0197 号。

图书在版编目（CIP）数据

都市农业中的 LED 照明 /（日）古在丰树等主编；刘文等译.

—北京：机械工业出版社，2018.9

（照明工程先进技术丛书）

书名原文：LED Lighting for Urban Agriculture

ISBN 978-7-111-60933-9

I. ①都… II. ①古… ②刘… III. ①都市农业-发光二极管-电气照明

IV. ①TM923

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 216410 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：顾 谦 责任编辑：顾 谦

责任校对：郑 婕 佟瑞鑫 封面设计：马精明

责任印制：常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·22.5 印张·8 插页·481 千字

0 001—2 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-60933-9

定价：149.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

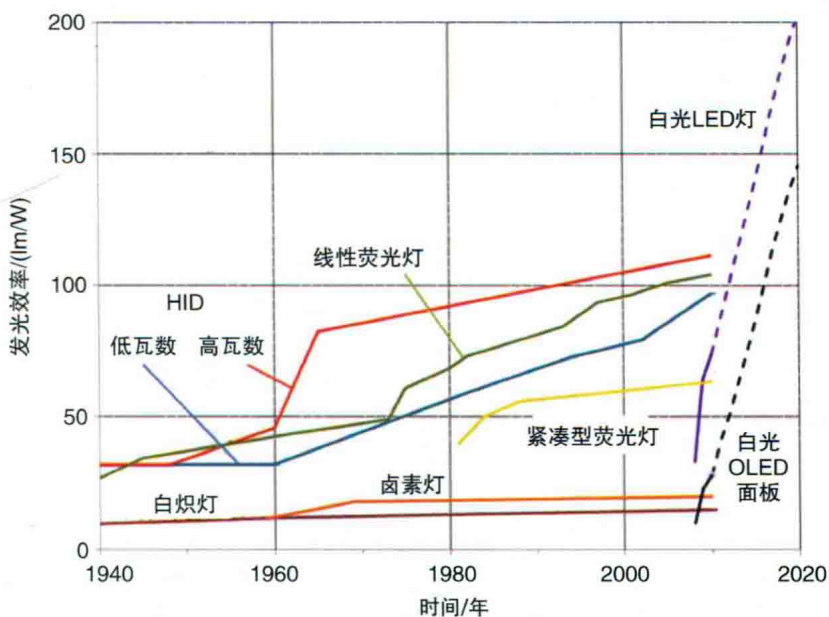


图 1.1 历史上的以及预测中的光源发光效率（美国能源部 2011）

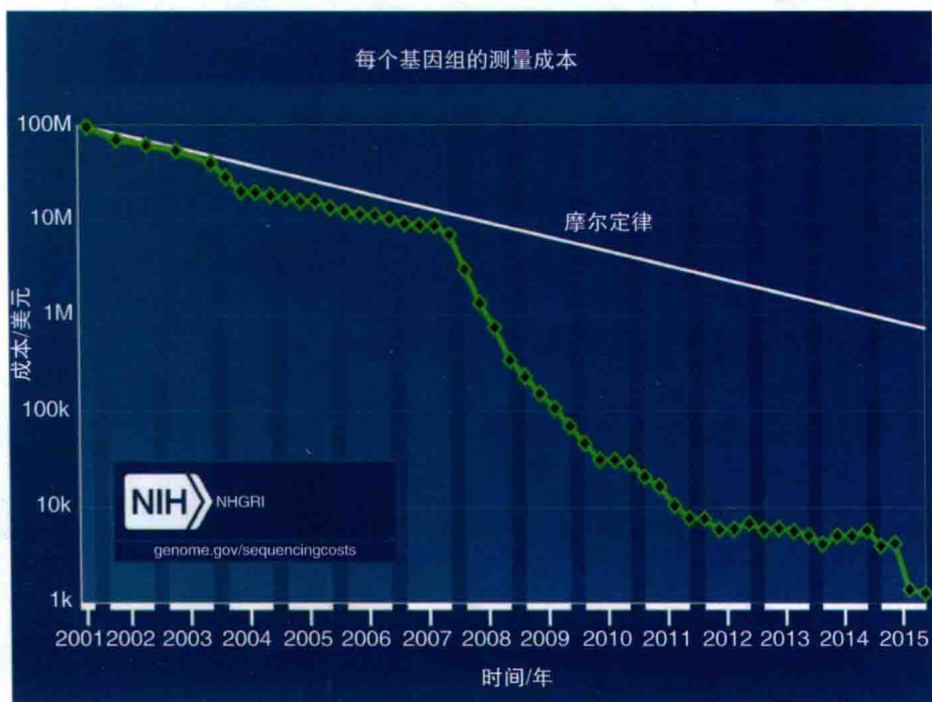


图 1.7 人类体量基因组测序成本的最新趋势，美国国家人类基因组研究所（NHGRI）
(https://www.genome.gov/images/content/costpermb2015_4.jpg)

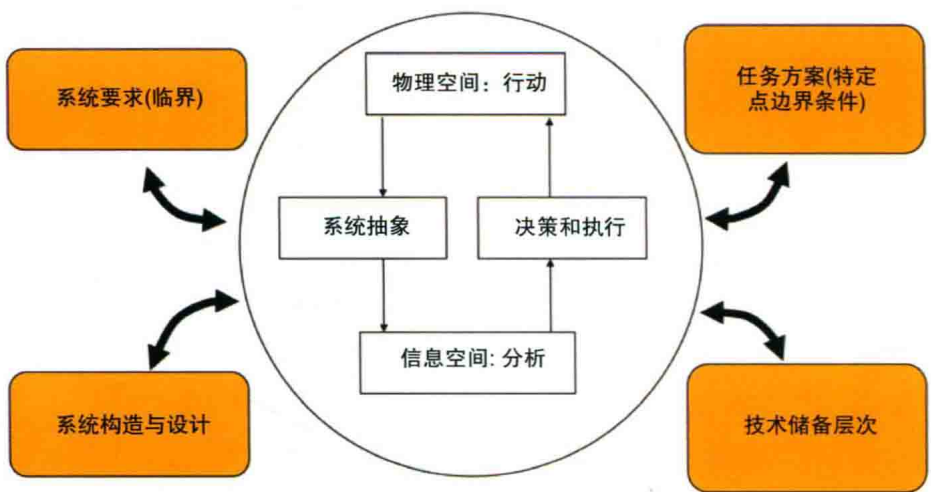


图 2.6 系统信息论和分析学的 ConSEnT 概念

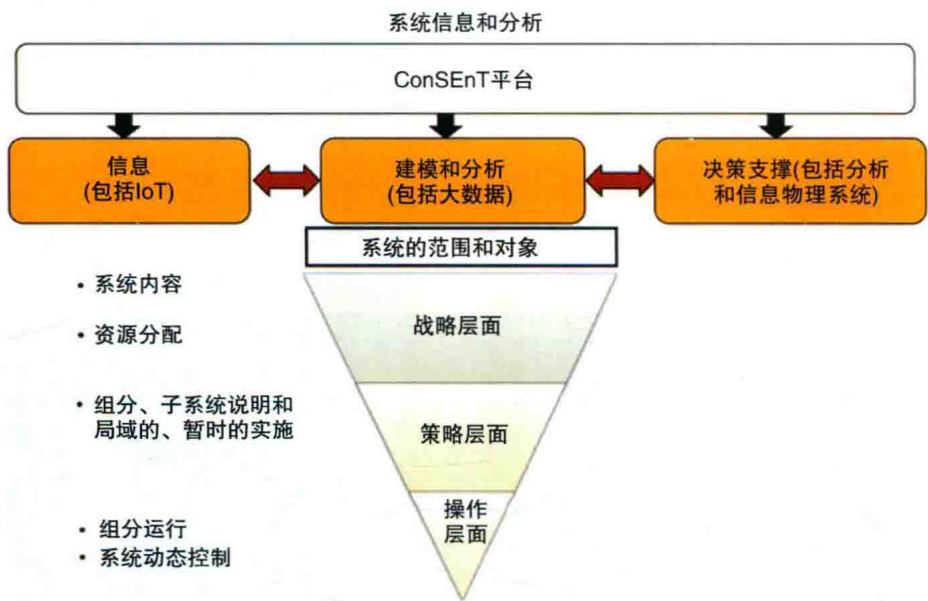


图 2.7 ConSEnT 的计算和功能组分

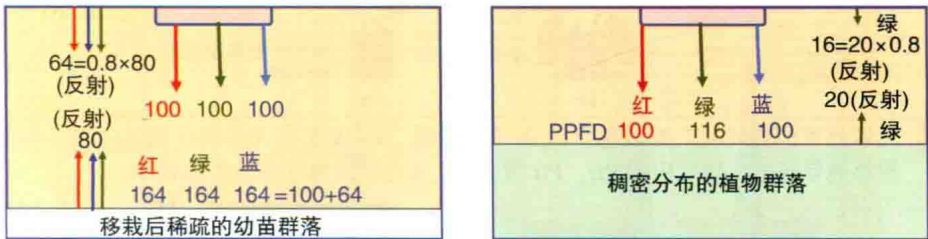


图 3.2 MIT 的 OpenAG FC，它是建立在媒体实验的多面基础上的，设计的目的是能被运往世界各地



图 3.3 规模化多层工业农场的一角

顶部对红光、绿光和蓝光的反射率：0.8:0.8:0.8



白色培养板对红光、绿光和蓝光的反射率：0.8: 0.8: 0.8

植物群落对红光、绿光和蓝光的反射率：0.0: 0.015: 0.0

图 4.4 植物冠层 / 培养板的反射率对 PFAL 中植物冠层上方的 PPFD 的影响。将要收获前的 PPFD 是刚刚移植后的 67%

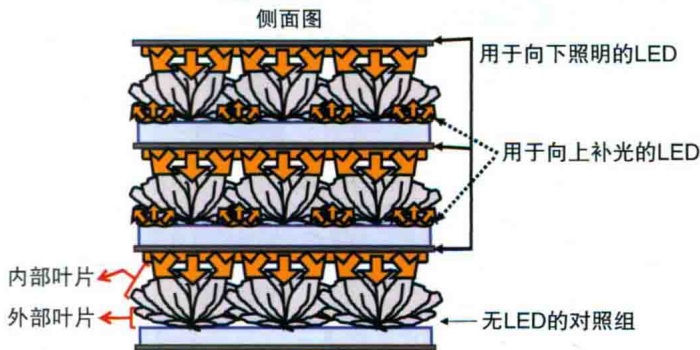


图 4.5 PFAL 培养空间中 LED 向上补光的示意图 (Zhang 等人 2015)

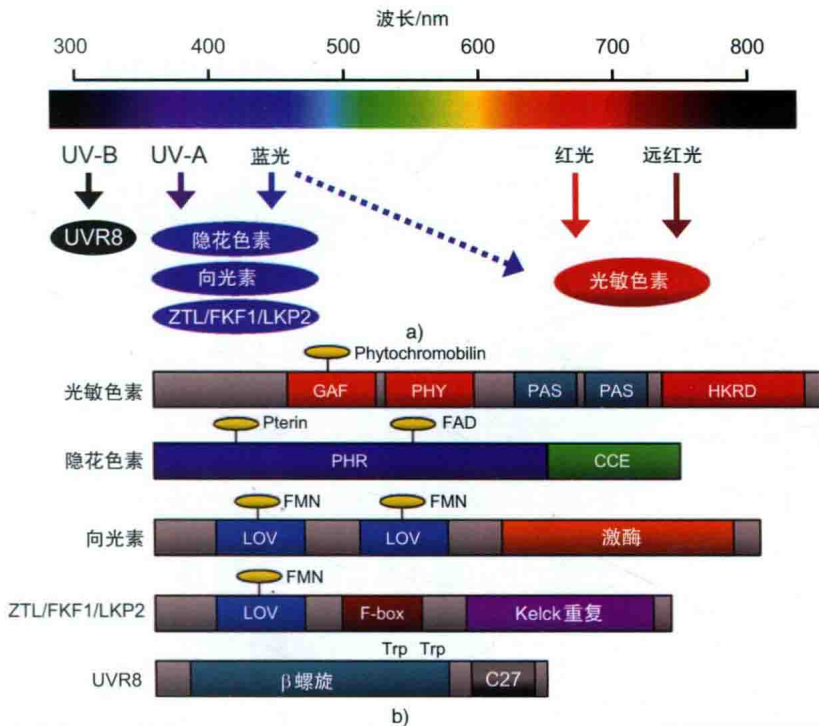


图 5.1 高等植物中的感光体。显示了结构域和结合发色团。GAF 受 cGMP 刺激的磷酸二酯酶；鱼腥藻腺苷酸环化酶和大肠杆菌 FhlA；PAS Per（周期性昼夜节律蛋白），Arm(Ah 受体核转运蛋白)和 Sim（专一蛋白）；HKRD 组氨酸激酶相关结构域；PHR 光解酶同源区；CCE 隐花色素 C-端扩展；LOV 光、氧气和电压；FAD 黄素腺嘌呤二核苷酸；FMN 黄素单核苷酸

a) 感光体感知光谱的不同部分 b) 感光蛋白的结构

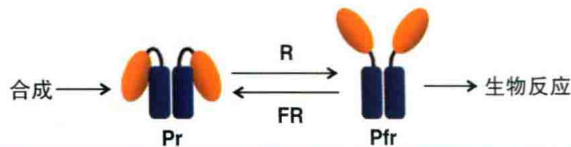


图 5.2 光敏色素的光转化。光敏色素以 Pr 形式合成。Pr 吸收 R 光并转化为其生物活性形式，即能够诱导各种生理反应到 Pfr。Pfr 吸收 FR 光并转换为其非活性形式 Pr

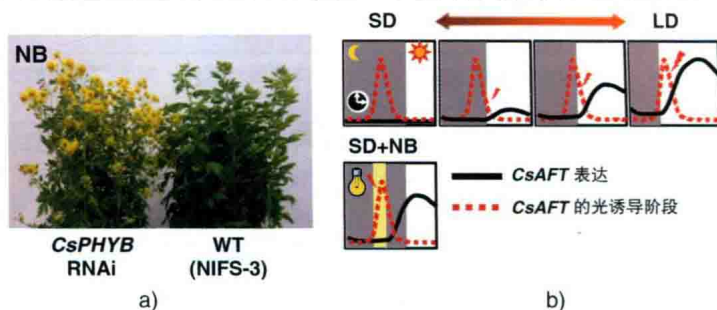


图 6.4 PHYB 介导和控制对 AFT 的诱导

- a) 在 NB 下 WT 和 PHYB-RNAi 菊花植物对红光的开花响应。PHYB-RNAi 植物对 NB 几乎不敏感
- b) 作为对自然昼长延长和人工照明的响应的 AFT 诱导模型。无论一天的长度如何，黄昏之后，AFT 诱导的门控都会在恒定的时间开启。随着夜晚变短，AFT 的光诱导阶段在早晨与红光相互作用并抑制开花。在 NB 下，午夜照明与 AFT 的光诱导阶段相重合



图 7.12 照片显示了 LED 灯管下的高 C-PPFD 以及培养空间横截面中两个 LED 灯管之间的低 C-PPFD

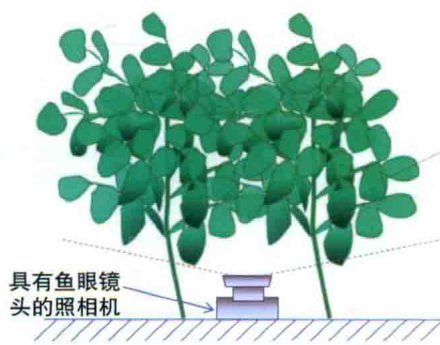


图 10.4 LAI 估计的半球摄影示意图和葡萄冠的图像示例。该图像采用圆形鱼镜头从向下俯视的冠层下方采集（照片由山口大学 Kiyoshi Iwaya 博士提供）

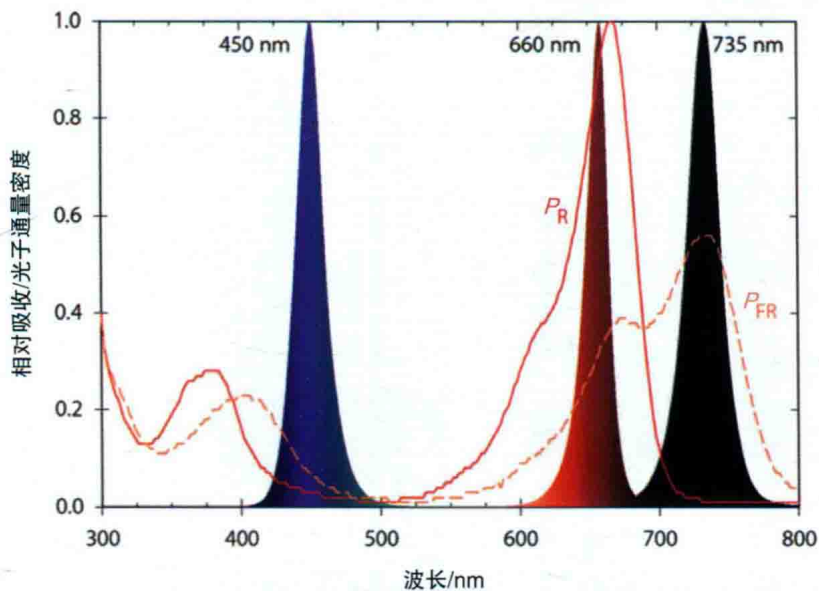


图 14.1 两种形式的光敏色素的相对吸收以及用于密歇根州立大学光周期照明研究的 3 种类型 LED 的相对光谱分布。这两种形式的光敏色素是以它们对辐射吸收的峰值来命名的： P_R = 红光吸收型， P_{FR} = 远红光吸收型（Sager 等人 1988）。光敏色素可以由低强度的红光（峰值 = 660 nm）或远红光（峰值 = 735 nm）LED 来操纵，然而可能由于光敏色素对蓝光有着相对较低的吸收能力，所以如果要使用蓝光辐射（峰值 = 450 nm）来操纵光敏色素，则需要更高的强度

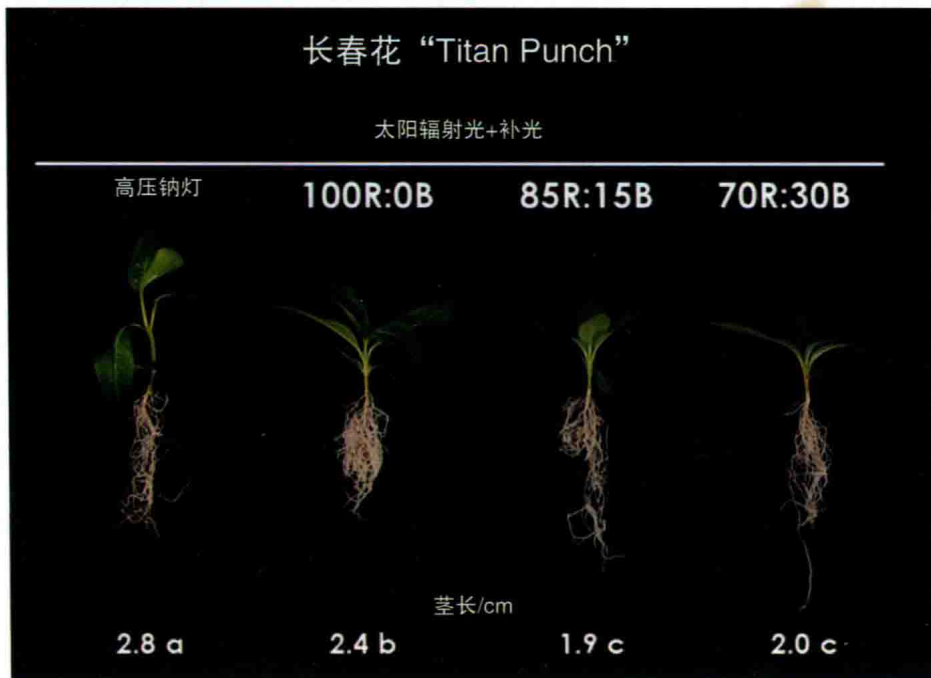


图 15.1 温度为 23℃ 的自然光照温室中分别使用光通量密度为 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的高压钠灯和不同红蓝光质比（100 : 0、85 : 15 或 70 : 30）的 LED 进行 28 天的补光后的长春花（Titan Punch）幼苗（Randall 和 Lopez 2014）。图中所使用的单株样本的统计学显著性差异测试值 $P \leq 0.05$

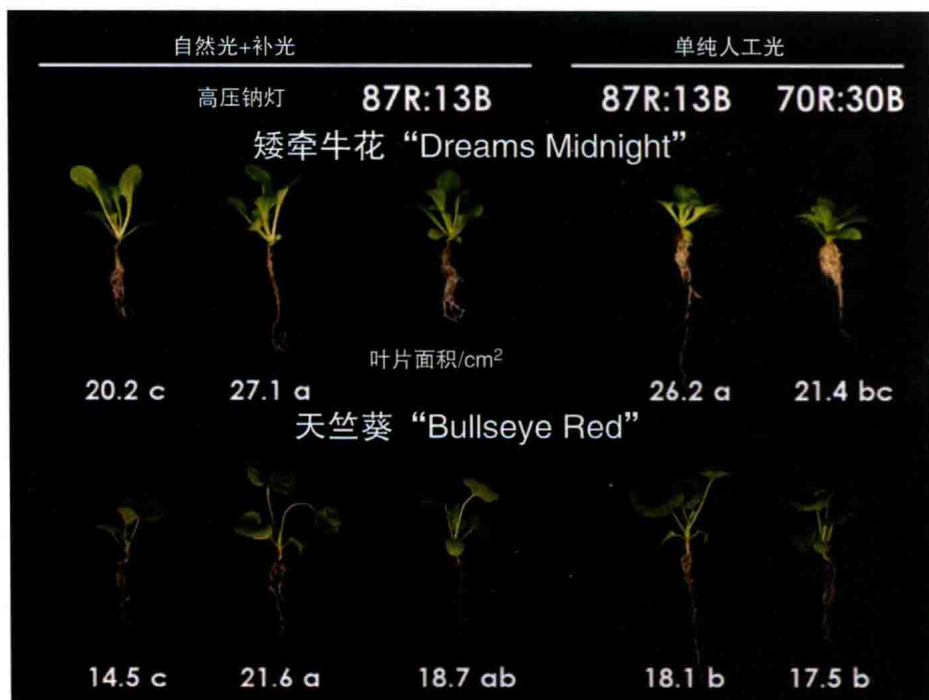


图 15.2 温度为 23℃ 的自然光照下的温室中分别在不补光、光通量密度 $70\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的高压钠灯补光、光通量密度为 $70\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的 87 : 13 的红蓝 LED 补光、单独使用红蓝光质比为 87 : 13 或 70 : 30 的 LED 的条件下以 16h 为光周期，进行 21 天培育后的矮牵牛花 (Dreams Midnight) 和天竺葵 (Bullseye Red) 幼苗 (Randall 和 Lopez 2015)。图中所使用的单株样本的统计学显著性差异测试值 $P \leq 0.05$

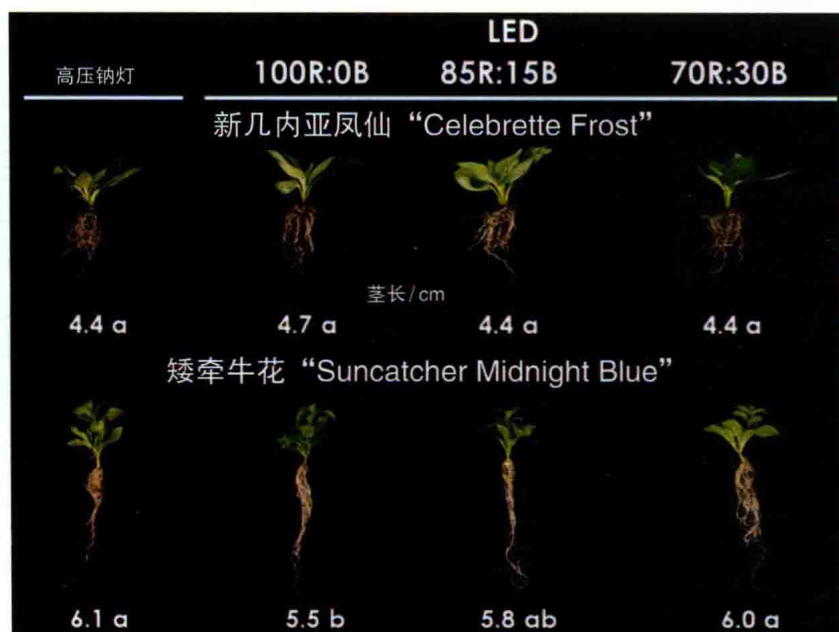


图 15.3 温度为 23℃ 的自然光照下，温室中分别使用光通量密度为 $70\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的高压钠灯，红蓝光质比分别为 100 : 0、85 : 15 或 70 : 30 的 LED 以 16h 为光周期进行 14 天的补光后的新几内亚凤仙 (Celebrette Frost) 和矮牵牛花 (Suncatcher Midnight Blue) 的扦插枝条 (Currey 和 Lopez 2013)。图中所使用的单株样本的统计学显著性差异测试值 $P \leq 0.05$

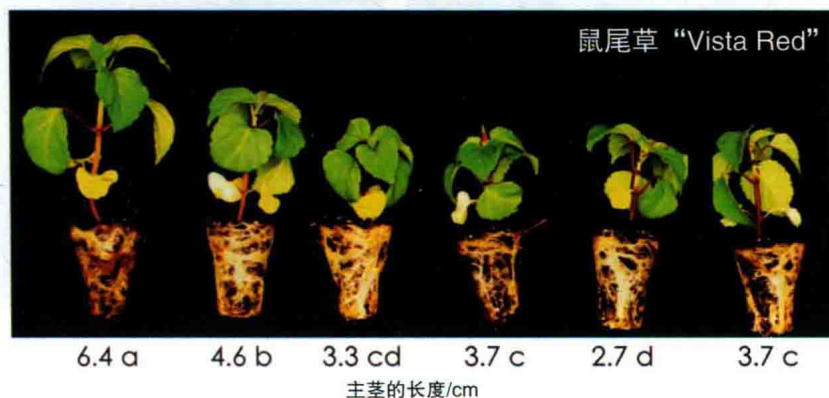


图 15.4 温度为 20℃ 环境下，以 18h 为光周期，单独使用 PPF 为 $160\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的 LED 培养 4 周的凤仙花（SuperElfin XP Red）和鼠尾草（Vista Red）幼苗（Wollaeger 和 Runkle 2014）。峰值波长：蓝光（B），446nm；绿光（G），516nm；红光（R），634nm + 664nm。图中所使用的单株样本的统计学显著性差异测试值 $P \leq 0.05$



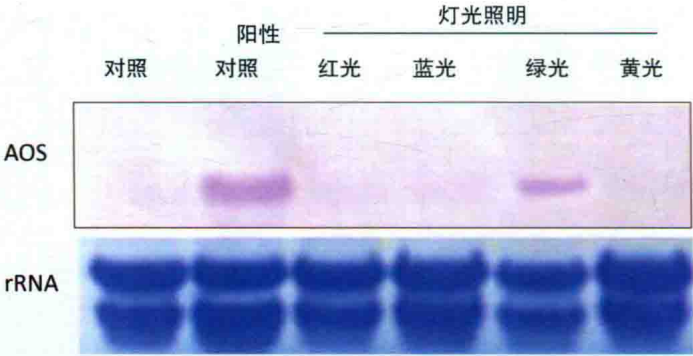
图 15.5 在 18℃ 下生菜分别在温室自然光下或光周期 16h 的 7 天低强度 LED 夜间补光、高压钠灯补光、不同光质比的红蓝 LED 阵列补光条件下的平均色调值（ h° ）。每种光环境下的光强值都用 PPF 来表示，单位为 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。不同行内用相同字母代表的 h° 的值不相同（Owen 和 Lopez 2015b）



图 16.1 温室番茄的顶部和叶冠内部 LED 补光系统



图 16.2 高蓬番茄的叶冠都非常靠近 LED 灯柱，每个灯柱两面都有红蓝光且有 3 排垂直的 LED 阵列



对照：留在黑暗环境中，阳性对照：受到伤害，灯光照明：LED照明

图 19.1 光质通过灯光照明对番茄 AOS 基因表达的诱导产生的影响 (Kudo 等人 2009)。栽培品种, “Momotaro8” (Takii&Co., Ltd.); 气温 25℃, 持续 2 周以培养幼苗; LED 光源: 蓝光、绿光、黄光以及红光。照明: 在番茄幼苗的植株体顶部上方 1cm 处持续 2h。照明结束后立刻收集番茄叶片并使用液氮冷冻, 接着研磨成粉末。从粉末中提取核糖核酸 (RNA), 并通过诺森印迹法对 AOS 基因进行分析

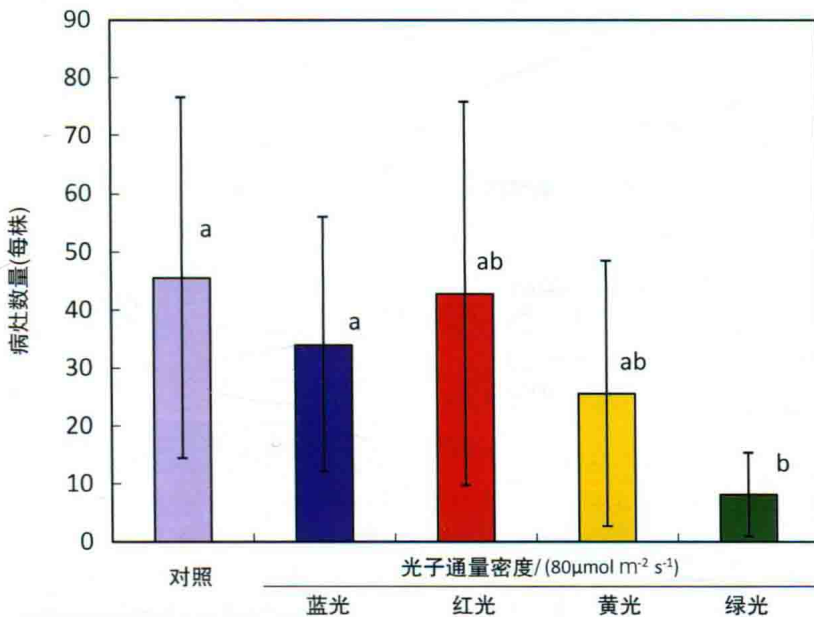


图 19.4 光质对草莓炭疽病发病率的影响 (Kudo 等人 2010)。品种: “Smile Heart” (Shikoku Research Institute Inc.)。LED 光源: 蓝光、绿光、黄光以及红光。光子通量密度: $80\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。将组织培养的移植物置于 25°C 的培养箱中照射 2h。照射结束后立即通过弥散的方式将草莓炭疽病原体的悬浮液接种在幼苗上。接着将幼苗在 25°C 的培养箱中培养 2 周, 然后对幼苗的草莓炭疽病发病率进行评估。* 根据 Tukey 的多重比较程序, 这些英文字母之间存在着 5% 水平的显著差异 ($n=5$)

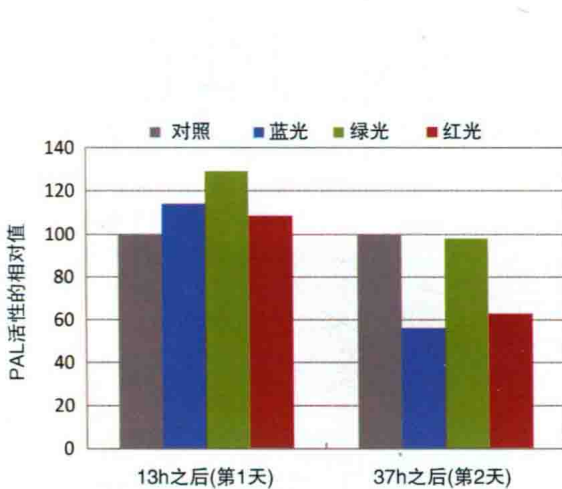


图 19.10 光质对生菜 PAL 活性的影响。在生菜 “Banchu Red Fire” 的幼苗生长 20 天后, 将其种植在用于水培的聚苯乙烯泡沫板上, 并培养于塑料温室内的营养流技术 (NFT) 系统中。使用荧光灯 (蓝光、绿光以及红光) 作为光源, 以每 3 天一次的间隔从 20:00 至 22:00 以 $65\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光子通量密度进行 2h 的照明。种植后的第 28 天基于 Koukol-Conn 方法对 PAL 活性进行测量 ($n=6$)

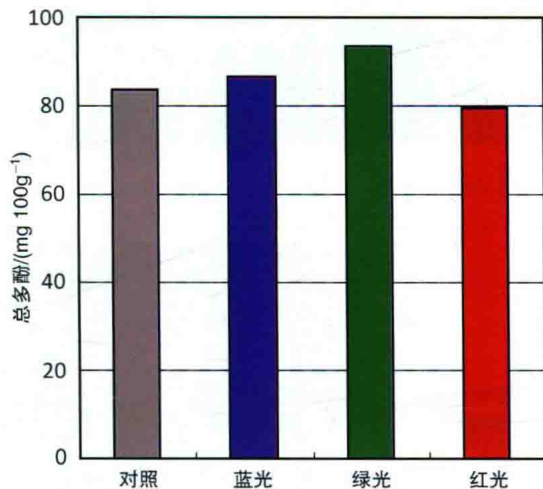
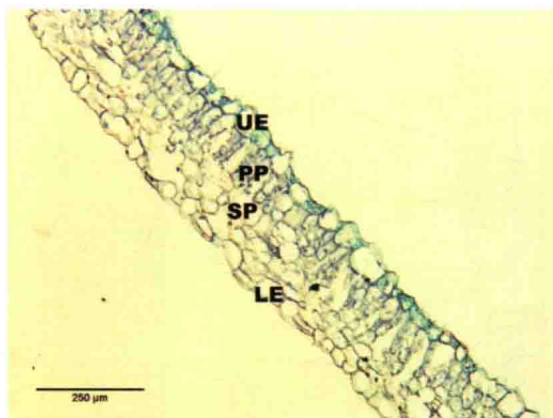
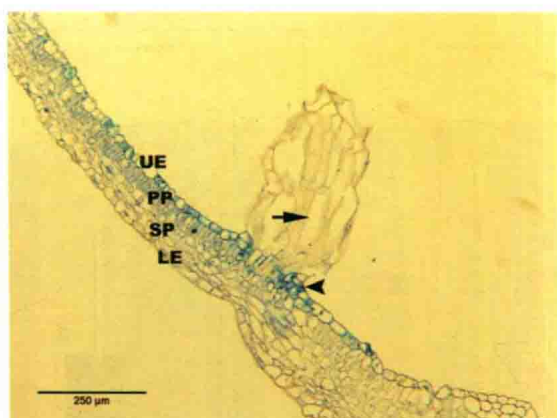


图 19.11 光质对生菜多酚含量的影响。在叶生菜 “Banchu Red Fire” 的幼苗生长 20 天后, 将其种植在用于水培的聚苯乙烯泡沫塑料板上, 并培养于塑料温室内的 NFT 系统中。使用荧光灯 (蓝光、绿光以及红光) 作为光源, 以每 3 天一次的间隔从 20:00 至 22:00 以 $65\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的光子通量密度进行 2h 的照明。在种植后的第 45 天基于 Folin-Denis 方法对总多酚含量进行测量 ($n \geq 3$)



a)



b)

图 20.1 光学显微镜下观察到的用甲苯胺蓝 O 染色的 a) 无症状观赏甘薯叶片及 b) 有症状肿大叶片。上表皮 (UE); 栅栏薄壁组织 (PP), 海绵组织 (SP) 及下表皮 (LE)。示出了肥大 PP 细胞 (箭头) 突出在 UE 上方, 挤开了 UE 细胞 (点) (图片来自 Craver)



图 20.2 观赏甘薯 (*Ipomoea batatas*) 表现出早期至中期的发育在叶片上表面 (顶部) 的肿大以及发育出坏死病变的晚期肿大 (底部)。请注意叶片的向下卷曲 (底部) (图片来自 Craver)



图 20.3 萼距花 “Tiny Mice” 叶片表现出早期至中期 (顶部) 以及带有坏死区域的晚期肿大发育 (底部)。请注意叶片向下卷曲 (底部) (图片来自 Craver)



图 20.4 观赏甘薯 (*Ipomoea batatas* “Ace of Spades”) 叶片显示出严重的肿大发育, 主要沿着主要叶脉以及叶片的向下卷曲 (图片来自 Craver)



图 20.5 番茄 (*Solanum lycopersicum* “Maxifort”) 叶片表现出具有导致植物光合面积减少的大面积坏死区域的严重肿大损伤 (图片来自 Craver)



图 22.1 日清纺公司草莓 PFAL：种植区域（左）和生产出的草莓（右）（来源：日清纺公司）



图 22.2 SPREAD PFAL（来源：SPREAD 公司）



图 22.4 PlantLab 公司工厂（来源：PlantLab 公司）



图 22.5 PlantLab 公司工厂内部（来源：PlantLab 公司）



图 23.1 在 Farmbox Greens 垂直农场种植的萝卜（左）和包装标签（右）（来源：Farmbox Greens）



图 23.2 Farmbox Greens 农场使用 LED 照明 (来源: Farmbox Greens)

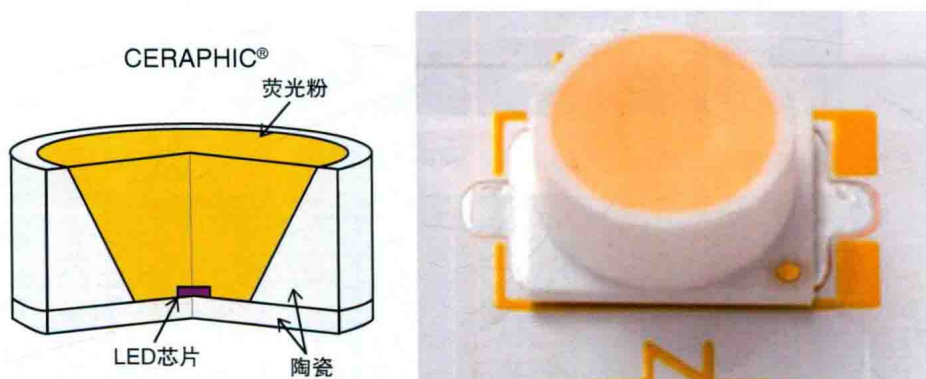


图 24.1 Kyocera 公司 LED 生长灯结构图 (来源: Kyocera 公司)

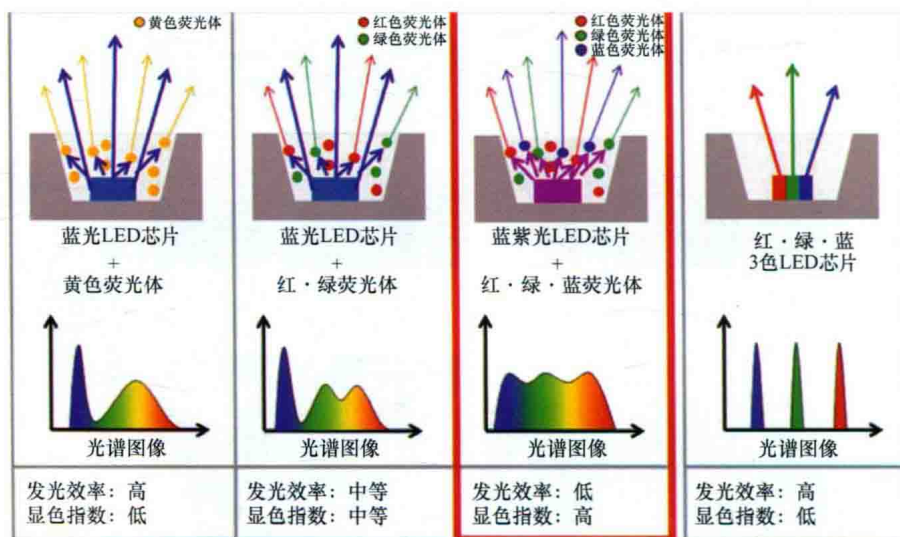


图 24.2 Kyocera 公司 LED 生长灯发射系统 (来源: Kyocera 公司)

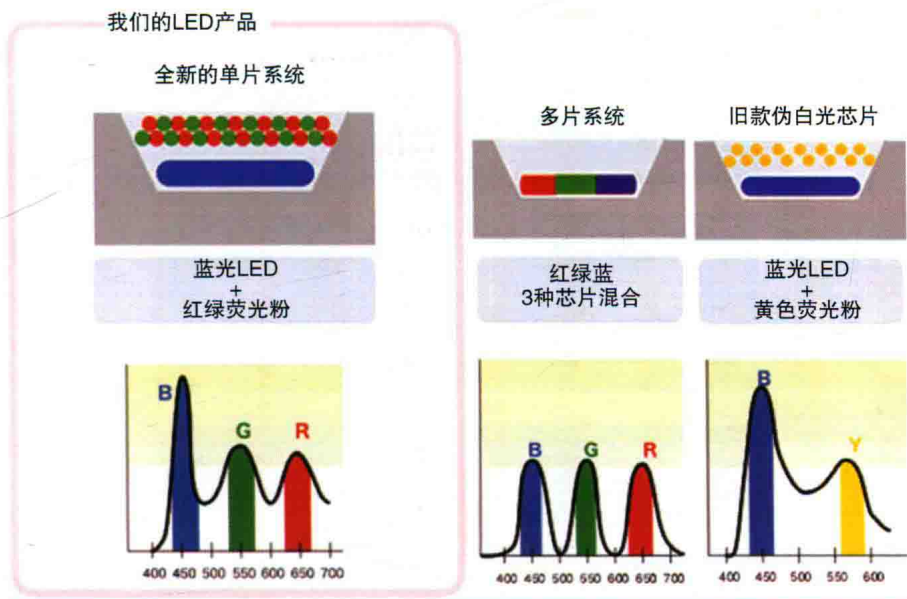


图 24.3 全新的单片系统：Nihon Advanced Agri 公司的 LED 生长灯（来源：Nihon Advanced Agri 公司）



图 24.5 Stanley Electric 公司位于银座商场的配有 LED 照明设备的 PFAL（来源：Stanley Electric 公司）



图 24.7 Illumitex 公司员工在使用两种不同光谱（F3 和 X5）的 Illumitex Eclipse 灯条（来源：Illumitex 公司）



图 24.8 在 Mucci 农场进行采摘（来源：Illumitex 公司）

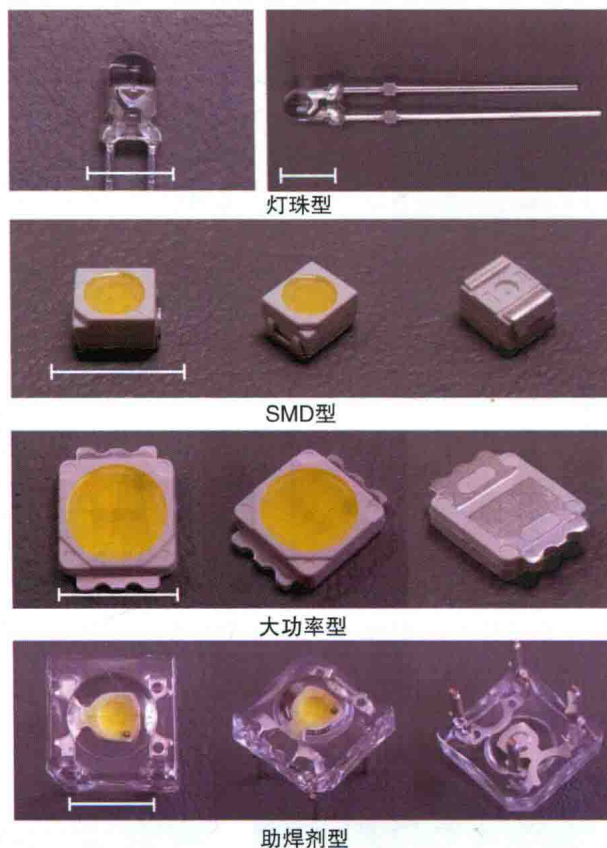


图 27.2 灯珠 (NSPW310DS; Nichia 公司)、SMD (NESW115T; Nichia 公司)、大功率 (NS3W183AT; Nichia 公司) 和助焊剂 (NSPWR60CS-K1; Nichia 公司) 型 LED 包装。白色条形表示约 5mm 的刻度

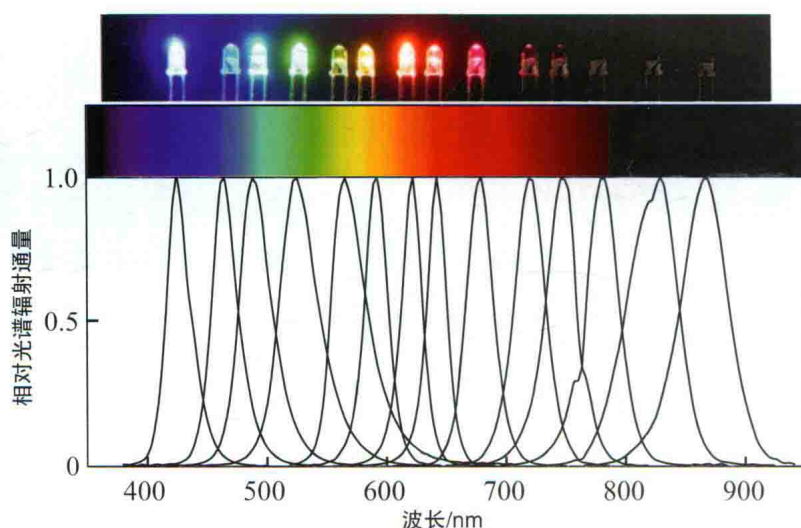


图 27.10 各种峰值波长灯型 LED 的相对光谱辐射通量及其相应的照片