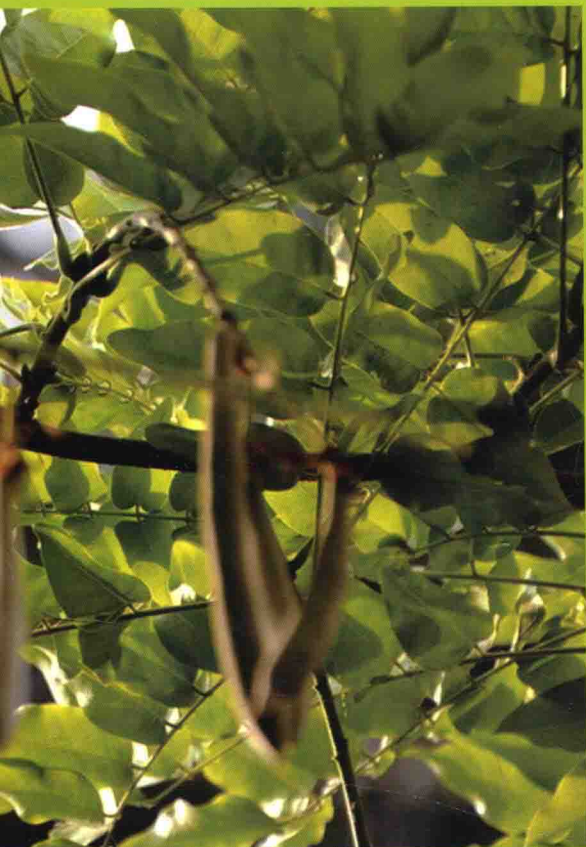


绿色植物

空间效益研究



杜宏彬 编著

中国农业科学技术出版社

绿色植物

空间效益研究



杜宏彬 编著

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

绿色植物空间效益研究 / 杜宏彬著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2014. 9

ISBN 978 - 7 - 5116 - 1785 - 9

I. ①绿… II. ①杜… III. ①光合作用 - 研究 IV. ①Q945.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 184383 号



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) 82109708 (编辑室) (010) 82106624 (发行部)
(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82106650

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

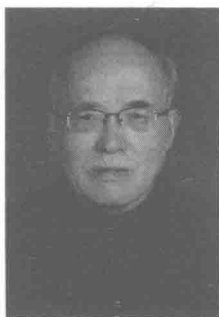
印 张 12.5

字 数 160 千字

版 次 2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —



作者近照

杜宏彬 男，1938年11月出生，浙江省衢州市人，中共党员，退休科技干部，林业工程师。长期服务于生产、教学和科研等基层单位，1999年从新昌县科学技术协会退休。

1957年7月毕业于浙江丽水林校，同年参加工作。1977年参加农林部南方林木良种繁育培训班，1984年从浙江大学科技日语培训班结业，1986年结业于武汉科技日语函授进修学院高级班。

在职期间，曾被授予“全国农林科技推广先进工作者”“中国农函大先进工作者”“浙江省林业科技先进个人”和“浙江省农村科普先进工作者”等称号。获省、市、县科技成果多项。

退休后，建立新昌县苦丁茶研究所，被新昌县政府命名为“重点农业民营科技研究所”；被江苏省林业科学研究院聘请为“常绿阔叶树引种技术顾问”和浙江省标准化研究院聘请为“浙江省应对技术贸易壁垒专家库”专家，荣获“绍兴市优秀民间组织工作者”。

撰写和主编出版科技著作6部（计约105万字），参编3部；编著农函大（苦丁茶）教材1部；为主制订省级农业标准2个，参订1个。在省级及省级以上科技刊物上发表学术论文100余篇，报刊发表科技译文30余篇。有发明专利102项（包括受理和授权）。

目前主要从事绿色植物研究及农村科普工作。

序

FOREWORD

本书作者是我的老同学。

宏彬同学，正月初九就邮来了他的新作——《绿色植物空间效益研究》，约我作序。前些日子，由于忙于马年的迎来送往，以及千里岗红色文化礼堂的策划与实施，最近才静下心来拜读大作，深为感动。

本书集二十三篇成果分五大专题，系统地论述绿色植物空间效益的含义，对如何提高光能利用率、植物空间效益及其有关效益的关键栽培技术、低高位植物栽培的比较研究等一系列重大课题作了详细的剖析和探索，用亲身经验和科学实验方法论证了它们之间的关系，提供了提高绿色植物空间效益的科学方法，为我国的林业事业作出了卓有成效的贡献。

宏彬同学成果累累，数百万字的书稿，百余篇论文，102项专利，是我国林业战线上的佼佼者，他无愧是全国农林科技推广先进工作者、浙江省林业科技先进人物、浙江省农村科普先进工作者等光荣称号，我为有这样一位同学而骄傲。

今天，作者又大胆创新地提出了绿色植物空间效益的三要素：最适合的原动力——光源要素、最大的有效绿叶面积——载体要素、最充足的二氧化碳和水——原材料要素，我把它概括为“三要素理论”，即：

绿色植物空间有效性 = 光源（环境）、载体（加工）、原材料（条件）

$$F = H \cdot Z \cdot T$$

这是一个系统工程理论，它们相互影响、互为条件；相互依存，互为作用，缺一不可。只有三者的共同作用，才能源源不断地为人类创造巨大的物质财富和精神财富。只有懂得这个原理，我们人类才能为它们创造条件保护环境，共同谱写“美丽中国”。

地球是浩瀚宇宙中的一个小星球，但它与其他星球的区别是有生命的存在，也是地球美的所在。地球上的生命不可能单独生存，在一定条件下，它们是相互联系共同生活的。地球上生物圈中所有的动物、植物、微生物，以及它们所拥有的基因和生存环境，具有遗传多样性、物种多

样性和生态系统多样性三个层面。而生物多样性就是我们的生命。生物学家指出：在自然状态下，物种灭绝与新物种出现的种数基本上是平衡的。但是，这种平衡已受到破坏。

如今，在人类追求高投入、高增长、高消费的文化发展模式的冲击下，生态环境迅速恶化，使物种的灭绝速度达到过去两亿年速度的数百万倍乃至数千万倍。由于人口不断增加，土地压力大增，野生动物遭受人类大捕杀，森林也几乎砍伐殆尽，使整个生态环境遭到严重破坏。

2009年11月3日，世界自然保护联盟 IUCN 再次更新了《受威胁物种红色列表》，在 47 667 个被评估物种中 17 291 个物种有濒临灭绝的危险，比例约为 36.3%，其中包括鲜为人知的植物、昆虫、鸟类和哺乳动物。

生物多样性提供了地球生命的物质基础，如果这种物种遭到破坏，我们的后代子孙将变成孤家寡人，难以在地球上生存。地球在告急。

举世瞩目的中国共产党第十八届中央委员会第三次全体会议，通过了《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》，把生态文明建设放在突出位置，旗帜鲜明地抨击了过去那种过度追求开发、发展速度和以牺牲环境为代价，追求黑色 GDP 的错误做法。

习近平总书记强调：“要清醒认识保护生态环境、治理环境污染的紧迫性和艰巨性，清醒认识加强生态文明建设的重要性和必要性。”首次将生态文明建设与经济、政治、文化和社会社会主义建设列为同等重要的地位来表述，这划时代的举动，显示了中共中央决策层对生态文明建设真抓实干的决心。

宏彬同学这部著作的诞生，相信一定能在绘制绿色中国新蓝图中，为“蔚蓝的天空、清新的空气、清澈的溪水、碧绿的森林”添光加彩；为全世界动植物的福祉添福加寿，让改革释放更多的“红利”，让人民群众生活更加幸福。

希望读者能好好读一读这本书。让“中国梦”，美梦成真。

经济学博士、教授

写在首个“世界野生动植物保护日”2014年3月3日

于百姓书院

前言

PREFACE

本书主要收集了作者于 2009—2013 年期间撰写的文章，共计 23 篇。其中有部分曾在《安徽农学通报》和《世界农业》学术版等杂志上刊载过。该论文集根据笔者长期实践经验，汲取国内外科技信息，借鉴前人和他人理论成果，跨行业跨学科，大胆提出了一系列新观点。诸如绿色植物空间效益、植物效益关键期关键技术和关键前提、冠层表面积系数、树冠采光面积系数、绿叶功能和绿叶庇荫、叶面积系数局限性、植物有效绿叶面积、高位植物与低位植物、高位植物群体栽培和低位植物设施栽培等。

在本书中所称谓的植物系绿色植物；植物效益是指绿色植物的空间效益。

众所周知，光合作用是地球上最重要的化学反应，作物产量形成的决定因素。光合作用就是绿色植物吸收太阳能，同化二氧化碳和水，制造有机物质并释放出氧气的过程。在光合作用诸要素中，阳光可以比喻为原动力，绿叶（叶绿素）是器官和载体，二氧化碳和水是原材料，三者缺一不可。其中，原动力（阳光）和载体（绿叶），互为条件。绿叶（叶绿素）是内因。没有绿叶，光合作用失去了载体，根本不能进行。阳光虽然是外因，但却很重要。没有阳光，或在遮蔽下的绿叶，光合作用就失去了原动力，也不能进行。同时，原材料也是不可或缺的，光合作用必须有充足的原材料——二氧化碳和水。

由此可见，绿色植物栽培的最基本、最主要任务是尽可能为作物创造光合作用的 3 个条件：最适宜的原动力——光源要求；最大的有效绿叶面积；最充足的原材料。如果人类能够做到如此，那么，绿色植物空间效益和产量，就可以增加几倍乃至几十倍。但在目前情况下，欲要完全做到，是不大可能的。

在一定条件下,叶面积系数和冠层表面积系数,是绿色植物光能利用率的重要标志,并与植物空间效益和作物产量成正相关关系。

本书着重就绿叶及其与阳光关系进行研究探讨。笔者认为,绿叶是光合作用的重要器官和内因,制造有机物质的载体,作物产量形成的基础。因此,充分发挥绿叶功能,增加有效绿叶面积,提高光合作用效率,是植物效益最大化的共性关键。一切栽培技术措施的实行,都应当围绕此关键而进行,其中包括植物优良品种的选择。

与此同时,笔者就满足绿色植物光合作用诸条件作了探索,并认为从目前情况看,设施栽培能较好地满足光合作用的3个条件:可以使低位植物的有效绿叶面积和叶面积系数,轻而易举地提高数倍;光源可选择和自由配置,光量能自动调节,光照时间根据需要来定;原材料——二氧化碳和水,能得到充分供给。但是,设施栽培尤其是其中的无土栽培,有一定限制性,一般只适宜于低位植物和高位植物秧苗阶段。而设施栽培中的有土栽培,虽也可应用于一部分高位植物,能较好地解决光源需求和原材料问题,却较难于使作物有效绿叶面积提高数倍。且设施栽培面积通常只占少数,大田露地栽培面积依旧占据大多数。因此,设施栽培务必与露地栽培有机结合,如高位植物秧苗期的设施栽培,务必与成苗后的大田露地栽培结合,才能相互促进,使绿色植物有更好更高的效益。

本著作在撰写过程中,有关论文得到盛伯增、吕新浩、吕吉尔、徐国绍、周桂瑜、徐伶和朱勇等的指导支持和协作;得到浙江省林业厅老科协徐培金会长、方胜秘书长、浙江省林业科学研究院林协研究员和绍兴市林业局原副局长何彬林以及姜世祥、张锡全、余太明、王镇夷等的指导和帮助。在此一并表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,在本书中尚存有很多不足之处,错误在所难免,敬请广大读者朋友和专家学者不吝指教为盼。

杜宏彬

于2014年2月20日

目 录

CONTENTS

植物效益关键论

绿色植物空间效益概论	(2)
植物效益关键论	(11)

植物光能利用率标志

从叶面积系数到冠层表面积系数	(26)
乔木的冠层表面积系数	(34)
植物叶面积系数探究	(40)
关于树冠采光面积系数的思考	(47)

提高植物效益共性关键

绿叶功能浅析	
——兼论绿色植物栽培的共性关键所在	(56)
绿叶庇荫浅析	
——再论绿色植物栽培的共性关键所在	(64)
试论植物有效绿叶面积	(72)
试论植物效益关键期	(81)
谈谈老年叶	(88)

植物栽培共性关键技术

绿色植物提高空间效益的关键共性技术	
——以藤本作物生长方式和树木高度变化为例	(96)

论绿色植物栽培的共性关键技术 (103)

植物效益关键期若干技术措施 (110)

从甘薯等作物立体栽培看绿色植物的空间效益 (117)

栽培植物株型的选择与塑造 (123)

油菜生态生理特征及对策探讨 (129)

一种苦丁茶移植苗轮回修剪方法

——发明专利权利要求书和说明书 (137)

低位植物和高位植物

高位植物与群体栽植 (144)

低位植物与设施栽培 (152)

设施栽培与露地栽培 (162)

高位植物劣势研究 (171)

低位植物优势研究 (181)

后 记 (190)

植物效益关键论



绿色植物空间效益概论

摘要 绿色植物是地球生态系统中的主要成分和生产者, 占有一定空间。其效益高低, 拟以单位空间体积的产出(量)计。叶面积系数 LAI 与绿色植物空间效益呈正相关关系^[1], 它适用于作物封行或林木密郁闭前; 在此之后, 宜用冠层表面积系数 CSAC 来表示。无论低位植物还是高位植物, 其空间发展的潜力在某种程度上是无限的。藤本植物是介于低位植物和高位植物之间的绿色植物。尽管植物种类繁多, 环境条件各异, 栽培技术千变万化, 却有一个共同点: 务必充分发挥绿叶功能, 尽量增加有效绿叶面积, 提高光合作用效率。这是绿色植物提高空间效益的共性关键所在。光合作用是构成作物产量的决定因素, 国内外农业设施栽培实践证明: 人类倘能同时满足光合作用各基本条件, 那么, 绿色植物空间效益就可成倍乃至几十倍地增长。

关键词 空间效益 绿叶功能 有效绿叶面积 冠层表面积系数

中图分类号 S687.9 **文献标识码** A

文章编号 1007-7731 (2013) 04-28-03

人类生产活动的目的, 从根本上说, 是以最少的空间和资源谋求最大的效益。毫无疑问, 绿色植物的生产也是一样^[1]。

1 绿色植物的意义和作用简述

绿色植物就是体内含有大量叶绿素的植物。它能利用太阳的光能, 将水和二氧化碳合成为有机物, 同时释放出氧气。

绿色植物的作用主要包括: 光合作用、呼吸作用、蒸腾作用等。其中, 最主要的是光合作用。绿色植物通过光合作用, 以自己制造的有机物来维持生活和生命(即能够自养的植物)。光合作用乃是地球上最重要的化学反应, 是构成作物产量的基础, 也是人类和动物赖以生存的必要条件。

绿色植物是生态系统的主要成分, 由于能够进行光合作用, 所以, 也是生态系统中的生产者。而绿色植物中的森林则成为陆地生态系统的

主体^{[2][3]}。

2 绿色植物的空间效益

2.1 空间效益的类别

不妨把绿色植物空间效益区分为两大类别：第一大类别是植根于土地上（直接扎根于地上）的空间效益。绝大多数绿色植物皆属于此，如造林栽树、水稻种植等。第二大类别是非植根于（非直接扎根）土地上的空间效益，如屋顶栽植和阳台盆栽，多层式、立柱式和墙体式之类的设施栽培等。这是人类突破现有土地面积限制，旨在向上方空间索取更大效益。

2.2 空间效益的形式

根据植物种类和人类需求不同，空间效益体现形式也有别。例如，水稻和小麦，主要体现为谷物产量；果树，主要看果实产量；茶树，看其叶子产量；甘薯和马铃薯，体现在地下块茎；白菜，以全身生物量计（除根部外）；甘蔗，看其茎秆产量多少；用材林，则是树干的蓄积量高低；花卉，视其观赏价值如何；生态公益林，以维护和改善生态环境、保护生态平衡、保护生物多样性等满足人类社会的生态、社会需求和可持续发展为主体功能。绿色植物空间效益的体现形式不同，所采取的栽培技术措施也有别。

2.3 栽培面积与空间效益

任何一种绿色植物都占有一定的空间。栽培植物的空间效益习惯上多用单位面积的收获量来表示，而忽略了空间体积。其实，这并不确切。因为栽培面积只是平面的概念，而作物产量形成离不开空间。例如，新昌县农民丁银仁种植“甬优12”水稻，经浙江省农业厅组织验收，亩产量达到1 001.3kg，名列全省前茅^[4]。这里没有说明空间，但由于水稻植株平均高度有高低，因而占有空间也有大小。如果该水稻品种平均高度

为 1.5m, 那么, 这个产量就等于是 在每亩 (667m^2 , 全书同) 上空 $1\,000.5\text{m}^3$ 空间的收获量。倘若该水稻品种平均高度大于 1.5m, 其空间效益势必会降低; 若低于 1.5m, 那么, 其空间效益就比原来要高。总之, 空间也是一种资源, 作物效益离不开空间, 产量也离不开空间。准确的表示方法应该是单位空间 (或单位面积上方空间) 的产量多少。

2.4 叶面积系数与空间效益

叶面积系数 LAI (leaf area index) 是单位土地上植物叶面积总和, 即叶面积与土地面积的比值 (倍数)。用以下公式表示:

$$\text{LAI} = L_s / \text{AI}$$

其中, LAI 为叶面积系数, L_s 为叶面积, AI 为土地面积。

对于绝大多数绿色植物来说, LAI 是光能利用率的重要标志。在一定范围内, 叶面积的增加与产量形成的关系是正相关的。吉林大学作物研究中心以 4 个玉米品种为试验材料, 比较研究了紧凑型玉米和平展型玉米单株叶面积、群体叶面积指数、光合速率以及产量和产量构成因素的关系。结果表明: 4 个玉米品种在最适种植密度下 LAI 和光合速率在整个生育期平均呈单峰曲线变化; LAI 于灌浆期达到最大值, 且 2 个紧凑型玉米品种大于 2 个平展型玉米品种^{[6][1]}。

少数植物种光合作用主要载体并非绿叶, 而是其他器官。例如, 油菜在花期以后, 主要靠角果 (皮)。其角果皮面积系数 PAI 与干物质积累和产量呈显著线性正相关^[5]。

但是, LAI 适用范围有一定限度。正如前文所述, 它需要最适种植密度, 一般适用于群体作物封行之前或林木达到密郁闭 (郁闭度 0.7) 前。在此之后, 绿色植物尤其植物群体, 光照环境急剧恶化, 叶面积和 LAI 再多, 也不会有相应的实际效果^{[7][1]}。

2.5 冠层表面积系数与空间效益

冠层表面积系数 CSAC (The canopy surface area coefficient) 是单位土地上的冠层表面积数, 即冠层表面积与土地面积的比值 (倍数)。其中, 乔木的冠层表面积系数也称树冠采光面积系数 CDAC (The crown dayligh-

ting area coefficient)。

冠层表面积系数用以下公式表示：

$$CSAC = A_s / A_l$$

其中，CSAC 为冠层表面积系数， A_s 为冠层表面积， A_l 为土地面积。

CSAC 由 LAI 演变而来，只是叶面积用冠层表面积来代替。LAI 考虑的是单位土地上的叶面积之多少，但如果没有阳光或者多数绿叶被遮蔽，叶面积再多也是枉然。而 CSAC 则同时兼顾到绿叶和光照两个方面，因此，更能准确地反映出植物受光面积大小和光能利用率的高低，更为加符合实际情况^[7]，测定起来也比较方便。发明专利公开号 CN1535565A “一种苦丁茶苗木修剪方法”，对郁闭度达到 1.0 的大叶冬青苦丁茶 (*Ilex latifolia* Thunb.) 1~2 年生散播实生苗木实施叶片修剪。方法是将苗木的每个叶片剪去前半部分，保留下半部分。据测定，该苗木经叶片修剪后，LAI 由原来的 3.1 降到 2.0；郁闭度由原有的 1.0 降到 0.6；CSAC 从原有的 1.1 提高到 1.9 左右。苗木有效冠层（绿叶层）厚度，从 20cm 增加到 35cm。从而促进了苗木质量，使规格苗比例增加 15%~20%；造林成活率提高 21%。

2.6 有效绿叶面积与空间效益

有效绿叶面积系指能正常或基本正常进行光合作用的绿叶面积，是相对于无效绿叶面积而言。无效绿叶面积指不能或基本不能正常光合作用的绿叶面积；它由被庇荫的绿叶和老年叶组成^[8]。因此，植物体中被庇荫的绿叶和老年叶比例越多，则有效绿叶面积比例就越少。有效绿叶通常位于冠层表面和上部，无效绿叶通常位于冠层内部和下部。据孙永飞等报道，水稻群体内叶片互相重叠，上部叶片受光良好，下部叶片由于被上位叶遮阳，受光量减少。个体所具有的最高光合能力往往不能发挥。在自然光强为 10 万 lx 时，最上第 1 叶、第 2 叶的光合能力可以全部发挥，第 3 叶只能发挥 60% 左右，第 4 叶只能发挥 25% 左右。当自然光强为 5 万 lx 时，只有最上 1 叶的光合能力可以全部发挥，第 2 叶只能发挥 70% 左右，第 3 叶、第 4 叶因光照严重不足，光合作用受到严重抑制^[9]。

充分发挥绿叶功能,归根结底是要充分发挥有效绿叶(面积)功能。同时,必要时限制和减少无效绿叶面积(被庇荫叶和老叶),其中,包括去除或修剪老叶,它能使部分作物如甘蔗、苦丁茶等显著增产^{[10][11]}。

2.7 低位植物与空间效益

低位植物是指植株比较矮小、贴近地面的植物,只能从地面和低空截获太阳光。低位植物的 CSAC 较低,一般在 2.0 以下。越是低矮和贴近地面的植物,其 CSAC 的最大值越是接近于 1.0;如苔藓、草皮和绿萍等。这是其劣势。但低位植物也有其优势。由于植株矮小,生产周期短,基本不存在上方庇荫和侧方庇荫,加上叶子寿命不长,老年叶又少。因此,有效绿叶面积比例较高。从而为设施栽培提供了必要条件和可能性。如很多蔬菜类都属于低位植物。我国以蔬菜产业为主的设施农业非常重要。目前,设施蔬菜(包括西甜瓜)栽培面积多达 270 万 hm^2 ,占世界设施蔬菜总面积的 80% 以上。我国设施蔬菜用 20% 的菜地面积,提供 40% 产量和 60% 的产值^[12]。

2.8 高位植物与空间效益

高位植物是指植株比较高的植物,可以从较高空间截获太阳光。这是其优势。其中,乔木树种更具天然高度优势,最高的可达 100m, CDAC 达 10.0 乃至 20.0 以上。每公顷产生物总量高达数百吨乃至近千吨。这种单位面积上空的空间效益是远非农作物和低位植物所能比拟的^[1]。所以,高位植物重在发挥自身的高度优势。高位植物的边缘优势,源自高度优势。利用其边缘优势,实行群体栽植,是提高绿色植物空间效益的重要措施之一。但高位植物也有其劣势:生长周期长,老年叶多,上方和侧方庇荫较重,导致无效绿叶面积比例大。因此,在目前条件下,除了部分植物的秧苗期外,高位植物一般不适宜于设施栽培。

2.9 藤本植物与空间效益

藤本植物是绿色植物茎的 4 种基本形态中除直立茎外,匍匐茎、攀缘茎和缠绕茎植物的总称^[13]。这种茎不能直立,只能匍匐蔓生或攀缘和

缠绕他物而生长。藤本植物可以说是介于低位植物和高位植物之间的绿色植物。当其茎匍匐生长时,植株高度较低矮,一般只有几十公分,最多不会超过 50cm,属于低位植物;当人工辅助让其直立生长,或攀缘、缠绕他物生长时,高度可达数米,甚至几十米,则属于高位植物。绿色植物匍匐生长和直立生长的空间效益截然不同。发明专利公开号 CN101073303A 《甘薯支架式立体栽培方法》,讲述的是一种甘薯匍匐生长改变成为支架式生长方式, LAI 由原来的 1.0~1.2 上升到 2.0 左右,鲜薯产量比对照增加 22%~60%^[14]。

2.10 光合作用与空间效益

光合作用是绿色植物利用太阳能将二氧化碳和水转化为碳水化合物并释放出氧气的过程。从该化学反应过程看,光合作用需要 3 个基本条件:叶绿素、阳光、二氧化碳和水。可以作这样比喻:绿叶(叶绿素)为载体,阳光为原动力,二氧化碳和水是原材料,三者缺一不可;而碳水化合物和氧气则是光合作用的产物^[13]。笔者着重叙述绿叶(叶绿素)功能,但其他 2 个条件也很重要。在自然条件下,要同时满足这些条件是不大可能的。如果能人为创造并满足光合作用的 3 个条件,那么绿色植物的空间效益肯定会提高很多。农业上的设施栽培的目的就在于此,它可使作物成倍增长乃至数倍增长。无论按单位土地面积计,还是按单位空间体积计,其效益都不是非设施栽培所能比拟的。例如,浙江省嵊泗县菜园镇石柱村的翁光裕,尝试了草莓的分层栽培,使得大棚产量大大提高,亩产草莓达到 2 500kg。翁光裕的大棚分 3 层:第一层以地面为基础,第二层距地面 0.8m,第三层距离地面约 1.5m。每层使用的有机质无土栽培。还在智能大棚里装了 36 盏白炽灯,一来可提高棚内温度,更重要的是保证底层草莓的光照量。分层栽培提高了土地利用率,按 600m² 建筑面积计算,实际使用面积可达到 1 800m²^{[13][1]}。

3 绿色植物提高空间效益的共性关键

绿色植物要提高空间效益,务必同时满足光合作用的诸条件。本文