

植物绿叶对光的吸收规律的实验研究

唐建民 傅昌余 王礼兵

(解放军第三军医大学物理教研室, 重庆)

刘代玺 陈祖林*

(解放军第三军医大学生物教研室)

提 要

实验结果表明: (1) 光线照射到植物绿叶时, 光的反射不仅仅发生在叶子表面, 还发生在表面以下各组织层; (2) 在 190—860 nm 之间, 绿叶在 190—500 nm 段出现一个吸收区, 在 680 nm 处出现一个吸收峰, 它们的吸收比均高达 85% 以上; (3) 虽然 710—750 nm 的红光对叶片的反射比大于 500—570 nm 的绿光, 但人眼看到叶片仍然是绿色, 我们对这一现象进行了解释。本文将为研究绿叶的光学性质和光合作用等提供有用的参数。

一、前 言

我们在研究人体和动物组织光学性质的基础上^[1-3], 转入植物光学性质的实验研究。众所周知, 绿叶是植物营造“食品”的工厂, 光合作用就是绿叶中通过叶绿素进行的。植物在进行光合作用时需要阳光, 而阳光是由许多单色光组成的, 显然, 研究绿叶时各种单色光的吸收规律是一项重要的基础研究, 它将为研究绿叶的光学性质和光合作用提供重要参数。我们知道, 光照射到绿叶上要发生反射、透射和吸收, 一般而言:

吸收比(吸收的光能:入射的光能)=1-反射比-透射比。

显然, 测出了绿叶的反射比和透射比就可算出吸收比。因此本实验的关键是如何测准反射比和透射比, 大家知道, 当光照射到绿叶上时要发生漫反射, 只有充分收集和记录全部漫反射的能量, 才能测准反射比, 用“积分球”测试就能作到这一点, 同样透射比也只能用“积分球”才能测准。

二、实验方法与材料

我们采用“带积分球的 UV-365 型双光束扫描分光光度计”来测定绿叶的反射比和透射比, 该仪器由电脑控制, 从 190—860 nm 进行自动扫描, 实验前仪器进行严格的自校准, 并做出标准曲线, 在数据可靠重复性很高的基础上再进行实验。实验时将标本(新鲜绿叶)平整地紧贴积分球的实验窗口, 使其向阳面垂直地迎着样品光束。有关“积分球”的装置、原理和测反射比和透射比的方法, 请详见文献[2]。

我们的实验材料(叶片)有: (1) 大叶黄杨(俗称万年青), 学名 *Evonymus gracilis* S, 重庆产品, 已扦插四年, 其幼嫩叶是当年生新叶, 老叶已生长二年。(2) 剑麻, 学名 *Yucca brevifolia*, 来自墨西哥, 重庆市分株栽培, 其浅色叶是当年生新叶, 中色和深色叶分别生长了三年和六年。(3) 夹竹桃, 学名 *Nerium oborum* S, 重庆产品, 已扦插三年, 其幼嫩叶是当年生

* 三军大军医系八四大队学员。

新叶,老叶约生长了二年。(4)美人蕉,学名 *Canna generalis* B,重庆产品,分株栽培,一年落叶。(5)腊梅,学名 *Meratia praecox* R,重庆产品,压条分栽,一年落叶。(6)菊花,学名 *Chrysanthemum morifolium* R,重庆产品,扦插栽培,一年落叶。(7)天竺葵,学名 *Pelargonium* sp.,南非产品,经渡口市移植重庆,扦插栽培,一年落叶。除菊花和天竺葵为盆景生长外,其它均在我校花园内生长。1987年12月初上午7点半用剪刀采下叶片,8点左右进行测试。实验前用白色软纸去掉叶片上的灰尘,现出叶片本色。测试后用两片盖玻片轻轻夹住叶片,用校准好的螺旋测微计(精度0.001mm)测其厚度,再减去两盖玻片的厚度,便求得叶片的厚度。

我们测定了上述七种植物的新老绿叶的反射比和透射比曲线,发现它们有一致的规律性。

三、实验结果

实验结果见图1—5,夹竹桃、美人蕉、腊梅、菊花和天竺葵新老叶的反射比、透射比曲线与之类似,从略。

由实验结果可得出五点结论:

1. 在190—860nm之间,绿叶对750—860nm的近红外线反射比最高,高达40—60%以上;对500—600的绿黄光,其反射比次之,并且在555nm处出现峰值;对190—500nm和680nm的光而言,其反射比最低,低于10—15%;从680—750nm反射比急剧上升。

2. 光线照射到绿叶表面时,光的反射不仅发生在叶片表面,还发生在表面以下各组织层,这在图2、3中可明显看出。绿叶透加的层数愈多,其反射比愈高,但叶片增加到一定程度时,反射比就不再增高,这时的反射比称为最高反射比,最高反射比所对应的透射比为0;各单色光最高反射比所对应的叶片厚度不同,有的(190—500nm、680nm)最多只有一片;有的(750—860nm)可高达六片。

3. 在190—860nm之间,740—860nm的光对绿叶的透射比最高,能透过六片大叶黄杨

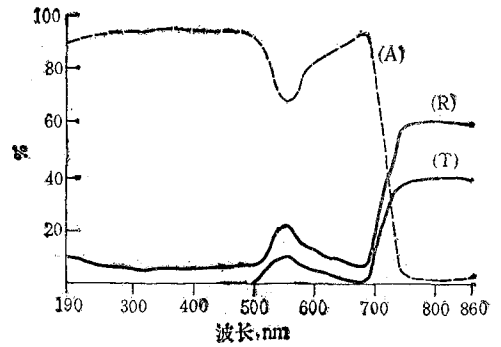


图1 大叶黄杨幼嫩绿叶(厚度 $d_1 = 0.660\text{mm}$)的(R)反射比曲线:(T)透射比曲线:(A)吸收比曲线

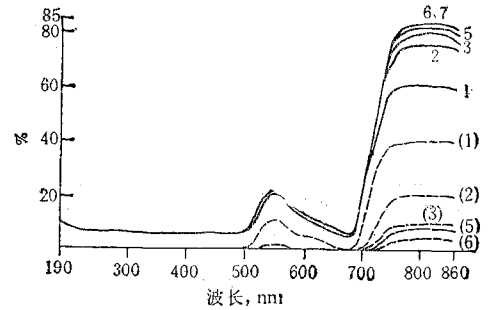


图2 大叶黄杨幼嫩新绿叶的反透射比曲线

1,2,3,5,6,7 分别表示一片叶和二、三、五、六、七片叶重叠后的反射比曲线; (1),(2),(3),(5),(6) 则表示相应的透射比曲线; 七片叶透不过。叶厚 $d_1 = 0.66\text{mm}$, $d_2 = 1.37\text{mm}$, $d_3 = 2.00\text{mm}$, $d_5 = 2.65\text{mm}$, $d_6 = 3.33\text{mm}$, $d_7 = 3.91\text{mm}$; 图中曲线6,7重合。

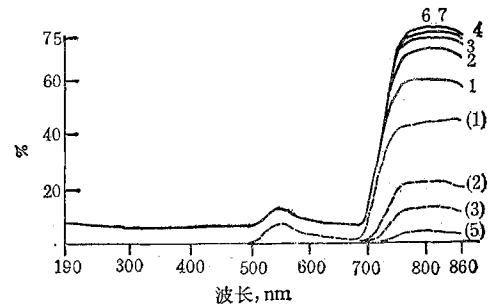


图3 大叶黄杨深老绿叶的反透射比曲线

1,2,3,4,6,7 分别表示一片叶和二、三、四、六、七片叶重叠后的反射比曲线; (1),(2),(3),(5) 则表示相应的透射比曲线; 七片叶透不过。叶厚: $d_1 = 0.680\text{mm}$, $d_2 = 1.380\text{mm}$, $d_3 = 2.150\text{mm}$, $d_4 = 2.760\text{mm}$, $d_6 = 4.110\text{mm}$, $d_7 = 4.730\text{mm}$; 图中曲线6,7重合

叶(图2,3)、五片夹竹桃新叶;在500—600nm段光对绿叶的透射比次之,最多只能透过二片绿叶(图2),在500—600nm段出现一个透射

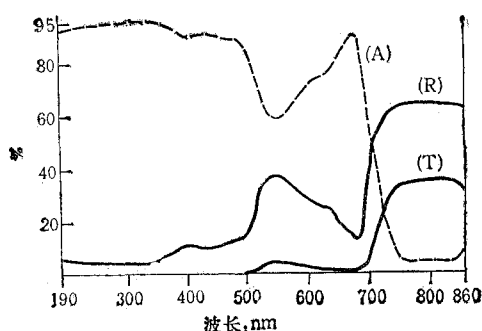


图4 剑麻浅绿色新绿叶的 (R) 反射比曲线; (T) 透射比曲线; (A) 吸收比曲线; 叶厚 $d_1 = 1.305\text{mm}$

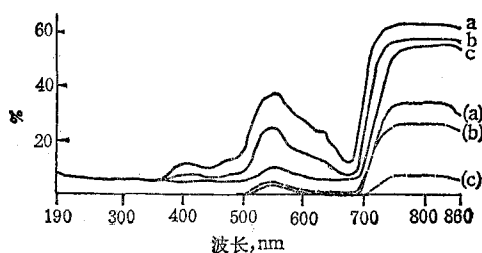


图5 剑麻绿叶的反透射比曲线

a、b、c 分别表示浅色、中间色和深色反射比曲线; (a)、(b)、(c) 则表示相应的透射比曲线, 浅色叶厚 $d_a = 1.305\text{mm}$; 中间色厚 $d_b = 1.500\text{mm}$; 深色叶厚 $d_c = 3.120\text{mm}$

比波峰, 峰值在 555nm 处, 在 $190-500\text{nm}$ 段和 680nm 处光对绿叶的透射比为 0, 一片叶也透不过。

4. 在 $190-860\text{nm}$ 之间, 绿叶的反射比曲线和透射比曲线具有基本相似的变化趋势。即在 $190-500\text{nm}$ 段两曲线均较平坦; $500-600\text{nm}$ 段均出现波峰, 峰值均在 555nm 处; 从 $680-750\text{nm}$ 段曲线都陡升; $750-860\text{nm}$ 段均较平坦。

5. 在 $190-860\text{nm}$ 之间, 如图 1、4 所示: 绿叶对 $190-500\text{nm}$ 和 680nm 处的光的吸收比最高, 高达 85% 以上; 吸收比在 $500-600\text{nm}$ 段次之, 并形成一波谷, 谷底在 555nm 处, 谷底的吸收比大于 55%; 对 $760-860\text{nm}$ 段的光的吸收比最低, 低于 4%。

四、讨 论

大叶黄杨等叶片的颜色为什么是绿色。从图 1 至图 5 可见, $710-750\text{nm}$ 的红光的反射

比高于 555nm 绿光(峰值)的反射比, 具体地说 710nm 比 555nm 高 1.32—1.92 倍, 750nm 比 555nm 高 1.7 到 5.2 倍。也就是说日光投射到植物叶上, 红光 ($710-750\text{nm}$) 比绿光 ($500-570\text{nm}$) 的反射比高, 人眼感觉的是绿色, 而不是红色, 这怎样解释呢?

图 6 是太阳表面 (6000K) 的辐射能量分布曲线, 能量最大的波长 $\lambda_M = b/T = 2.898\text{m} \cdot \text{K} \div 6000\text{K} = 4.83 \times 10^{-4}\text{m} = 0.5\mu\text{m}$ 。由图 6 可明显看出太阳光中 $500-570\text{nm}$ 的绿光能量多于 $710-750\text{nm}$ 的红光。考虑到地球大气对可见光是透明的, 所以照射到叶片上的日光中, $500-570\text{nm}$ 的绿光的能量也多于 $710-750\text{nm}$ 的红光。

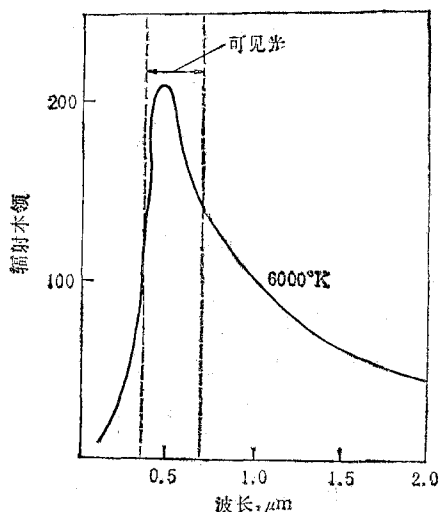


图6 太阳表面辐射能量分布曲线

我们知道, 人眼对不同波长的光所引起的明亮感觉不同, 表述人眼对于各种波长的光的相对敏感度的数量, 称为光见度函数, 用符号 $\varphi(\lambda)$ 表示。白昼时, 人眼光见度函数 $\varphi(\lambda)$ 和波长的关系如图 7 所示。从图上可知, 555nm 时人眼的光见度函数为 1, 人眼对它最敏感; 当 $\lambda = 710-750\text{nm}$ 时, $\varphi(\lambda)$ 则从 0.0021 下降到 0.00012, 基本上接近于 0, 即 555nm 的绿光的光见度数值是 710nm 的 476 倍, 750nm 的 8333 倍。综上所述, 人眼对绿光的明亮度超过了红光, 所以大叶黄杨等叶子看上去是悦目的

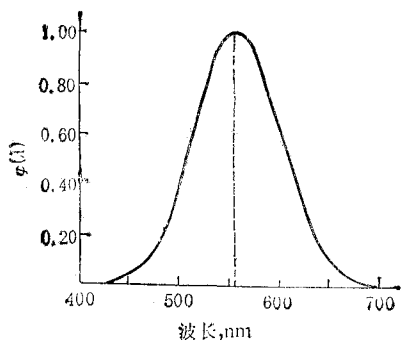


图7 人眼的光见度函数

绿色。

从图1、4可见,绿叶在680 nm处出现一个很明显的吸收峰,吸收比高达90%以上,和能级理论相对应,在植物叶绿素中,应存在相应的吸收能级。

文献[4]指出:“光合作用所利用的那部分太阳辐射在400到700 nm之间,这范围内的辐射称为光合有效辐射”。和图1、4对照,在190—860 nm之间,400—700 nm段的吸收比也高于700—860(190—400 nm的紫外光除外),因此,绿叶的吸收特性有利于自身的光合作用。不难看出,在400—700 nm段,上述绿叶在400至500 nm和680 nm附近的光合作用最强,555 nm处最弱。

在图1、4中,750—860 nm的近红外光和710—750 nm段的红光对绿叶的反射比都相当高,在遥感技术中,可利用这些波段来测定植物的覆盖面积。

我们所做的植物叶片的吸收比曲线和英国人所做的菠菜叶和豆叶的吸收比曲线很类

似^[5],和苏联人所做的水金凤、白睡莲、紫苏、马蹄纹天竺葵、西伯利亚白杨、蒿苳和无花果等叶片的吸收曲线也大致类同^[7]。因此我们所做曲线的变化趋势对植物绿叶来说,具有某种较普遍的规律性。

国外对植物叶片及其色素(叶绿素、类胡萝卜素)的光学性质已有许多研究^[4-10],光合作用领域最近进展十分迅速^[4]。我国未见这方面的研究论文。本文和国外不同的是我们测定了叶片的透射比曲线,并将多片叶子重迭起来进行反射、透射比测试,发现了一些有趣的结果。但是,我们的工作仅仅是开始。

我们认为,上述实验曲线对研究我国绿叶的光合作用、植物的生长、发育、向光性、色彩和光学性质等,将提供有用的参数。

参 考 文 献

- [1] 唐建民,傅昌余:《激光杂志》,1986,7(4)213.
- [2] 唐建民,傅昌余:《中国激光》,1987,14(7),440.
- [3] 傅昌余,唐建民:《应用激光》,1987,7(6),278.
- [4] J. 库姆斯等《生物生产力和光合作用测定技术》,科学出版社,北京,1986,28.
- [5] L. O. 布琼:《光与生命》,科学出版社,北京,1984,7, 11, 31, 55.
- [6] R. 希尔等:《光合作用》,科学出版社,北京,1960,19, 27—29, 118—119.
- [7] A. Ф. 克列什宁:《植物与光》,科学出版社,北京,1963,7—15.
- [8] D. W. 琼斯《生物聚合物波谱学导论》,科学出版社,北京,1983.
- [9] Mayhew, P. W. et al.: *An inexpensive and simple spectrophotometer for measuring grass biomass in the field*, *Oikos* 1984, 43, 62—67.
- [10] Steven, M. D.: *Int. J. Remote sensing*, 1983, 4 (2), 325.

[本文于1988年2月13日收到]

(上接第164页)

450.

- [10] Bretting, H. et al.: *Comp. Biochem. Physiol.*, 1981, 70B, 69.
- [11] Canicatti, C. & N. Parrinello: *Experientia*, 1983, 39, 764.

- [12] Michelson, E. H. et al.: *Biol. Bull.*, 1977, 153, 219.

- [13] Vasta, G. R. et al.: *Experientia*, 1983, 39, 721.

[本文于1988年1月4日收到]