

作物产量形成与高产理论

(譯文集)

上海科学技术出版社

作物产量形成与高产理论

(译文集)

游修龄 厉葆初 等译

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书收集了苏联、美国、日本、德意志民主共和国、瑞典等国期刊和文集集中的論文 16 篇, 主要介紹国外有关农作物产量形成和如何获得高产的理論研究, 涉及的作物有水稻、小麦、玉米、甘薯和馬鈴薯等。书末附有“作物群体的光合作用和干物质生产”附录一篇。可供农业科学研究人員、农业院校师生参考。

作物产量形成与高产理論(譯文集)

游修齡 厉葆初 等譯

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海市印刷三厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 787×1092 1/18 印張 12 2/18 排版字数 271,000

1966 年 3 月第 1 版 1966 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—2,100

統一书号 16119·560 定价 (科六) 1.50 元

譯 記

夺取高产是农业生产的根本目标。因而研究作物高产的形成就成为农业科学的中心任务。我国农民在长期的生产斗争过程中积累了极为丰富的經驗，对于农作物高产形成的規律有相当深刻的認識。如陈永康同志的单季晚稻生育期中三黑三黄的叶色变化理論和清秀老健的长相长势要求，以及他辯证地貫徹农业“八字宪法”，灵活地运用土、肥、水等技术措施实现高产的一整套农业技术，对于水稻高产形成的科学作出了重要的貢獻。

1958 年以来，我国农业科学工作者联系实际，深入农村，拜农民为师，总结大面积的丰产經驗，并以劳动模范的高产經驗为基础，开展了产量形成和高产理論的研究，特别是在农作物群体动态結構、丰产长相及其控制等等方面，取得了許多成就，对农业增产起了一定的促进作用。为了給这方面的研究提供一些国外的参考資料，我們从苏联、美国、日本、德意志民主共和国、瑞典等国家的期刊和論文集中，选譯了十多篇有关农作物产量形成和高产理論研究的論文，編成这本譯文集。

譯文集共包括十六篇論文，其中有綜合性論述，也有专题研究。《論提高作物群体光合生产率的途徑》、《作物最大生产力的估計》、《作物产量的上限》、《产量形成的基本規律(摘要)》、《植物群落中的叶量、光照分布及总光合量的相互关系》、《論作物群体光体系的特性》六文，分析了当前大田生产中光能利用的状况，探討了充分利用光能、提高产量的可能的潜力，分析了群体叶面积动态、叶子排列状态等与光照分布及淨同化率的关系，討論了高产群体結構的特点，以及提高群体光合生产率、提高产量的途徑。《作物的产量与种植密度》、《不同种植密度水稻的光合生产率》、《水稻品种的生产力及其生理上的考察》、《作物高产的生理基础》、《作物群体光合作用活动力是形成高产的基础》、《甘薯的干物质生产研究》I 和 II、《不同生理过程对决定产量的相对重要性》、《馬鈴薯在不同营养面积条件下产量形成的評定》等九文，就水稻、小麦、玉米、甘薯、馬鈴薯等的实验結果，討論了农作物产量形成与自然条件及栽培技术的关系，特别是种植密度对产量的效应。《从植物生理学的若干动向看高产品种的育种》、《水稻品种的生产力及其生理上的考察》等文，从提高作物群体光合生产率从而提高产量的角度，討論了对高产品种的要求，指出了育种的方向。附录《作物群体的光合作用和干物质生产》是一篇資料性的綜述。

應該指出，这些論文和資料譯自不同国家的期刊和論文集，他們的研究观点和方法各有不同，只能供讀者参考。

本譯文集的选题和翻譯工作是在丁振麟同志指导下进行的。

譯 者 1965 年 9 月

目 录

論提高作物群体光合生产率的途径	A. A. 尼启波罗維奇	(1)
作物最大生产力的估計	R. S. 隆密斯 W. A. 威廉斯	(29)
作物产量的上限	J. 彭納	(41)
产量形成的基本規律(摘要)	E. 保古斯拉夫斯基等	(48)
植物群落中的叶量、光照分布及总光合量的相互关系	佐伯敏郎	(60)
論作物群体光体系的特性	A. A. 尼启波罗維奇	(69)
作物的产量与种植密度	吉良龙夫	(79)
不同种植密度水稻的光合生产率	H. C. 彼季諾夫 B. Л. 勃罗夫崔娜	(99)
水稻品种的生产力及其生理上的考察	村田吉男	(115)
作物高产的生理基础	B. Л. 麦其涅茨	(123)
作物群体光合作用活动力是形成高产的基础	Г. П. 烏斯金科	(129)
甘薯的干物质生产研究 I. 甘薯光合作用的各种特性	藤瀬一馬 津野幸人	(163)
甘薯的干物质生产研究 II. 群落的干物质生产及其构成	津野幸人 藤瀬一馬	(170)
不同生理过程对决定产量的相对重要性	F. L. 密尔索普	(176)
馬鈴薯在不同营养面积条件下产量形成的評定	E. 迈耶霍福	(182)
从植物生理学的若干动向看高产品种的育种	V. 史托埃	(195)
附录 作物群体的光合作用和干物质生产		(204)

論提高作物群体光合 生产率的途徑

A. A. 尼启波羅維奇(Ничипорович)

十分明显, 增加农作物光合作用产物的手段之一, 應該是扩大农作物的栽培面积, 合理輪作, 尽量种植最有价值的和高产的作物。統計說明, 在許多地方进行土壤改良(灌溉、排水、森林挖根、草原和草地的翻耕)以及开垦生荒地的結果, 可使农作物的栽培面积增加 1~2 倍。可是, 假使沒有根本提高产量, 或者这样說, 假使沒有提高食用和飼用作物单位种植面积的光合作用生产率, 那末, 还是不能基本解决食物資源問題。

早就知道, 光合作用是自营有机体植物的营养的主要机能和主要过程。显然, 植物 90~95% 的生物物质重量是光合作用过程中形成的有机物质。这一点也早已知道, 就是說, 要增加植物的产量, 首先要提高它們的光合作用生产率, 提高利用太阳輻射能进行光合作用的效率。也已了解, 太阳輻射能通量是决定植物最高产量的最終的决定性因子。

实际上, 就供給田間作物以任何必需数量的水和营养元素从而增加其产量这一方面來說, 我們是不能判断任何可能增产的限度的。但是, 如果增产过程中在利用太阳輻射能进行光合作用方面已达到了理論上可能的有效利用系数, 那末, 我們將有理由认为达到了植物总产量可能增加的极限。但是长期以来, 所有这些观点, 即把光合作用看作为植物生产力的决定因素的观点, 在实际上並沒有运用到提高产量的研究中去。

“控制光合作用以提高植物产量”, 长期以来被看作为极重要的論题, 但是它几乎只是單純的宣言。而只有到近几年, 由于各方面的研究結果积累了大量的材料, 才使控制田間作物和人工条件下的植物光合作用活动的問題, 成为现实的和重要的任务。

在下列情况下問題可以順利地解决:

第一, 應該解决光合作用器官(叶綠体、叶子)和更复杂的系統(植株、群落、藻类悬浮液)利用太阳輻射能进行光合作用的理論上可能的利用系数。

第二, 應該确定实际上观察到的有效系数同理論上可能的有效系数不一致的程

度。这里必须指出,在大田作物中这一差距是很大的:如果目前的大田作物平均同化照射于其上的太阳辐射能为 $0.5 \sim 1\%$, 则理论系数为 $5 \sim 10\%$ 。

第三,应该阐明实际观察到的与理论上可能的系数之间不符合的原因。

最后,第四,必须拟订一个措施制度,以尽可能缩小现有的系数差距,使作物地上实际观察到的光合作用有效系数,接近于理论上可能的系数。我们现在就按上述次序考察这些问题。

利用被吸收的光能进行光合作用的理论系数

在考察这一问题以前,我们先明确一下关于利用太阳辐射能或光能进行光合作用的系数这个概念本身。

这些系数中的第一个,是光合作用的物体(无论是叶子,藻类悬浮液,光合器官总和以至作物地上全部生物物质,自然植被或群落)所吸收的光能(I_a)用于光合作用的利用系数(E_a)。系数 E_a 决定于能量(R) (贮藏于光合作用产物中,即生物物质产量中)对所吸收的能量(L_a)之比。

$$E_a = \frac{R}{L_a}。$$

系数 E_a 的数值可以很不相同,直到零和负值。例如,在辐射强度很大,但光合作用不能良好进行(水分缺乏,引起叶子过度和萎蔫,呼吸加强)时就是这样。可是我们感兴趣的应该是由光合作用过程的本性和机制所得出的最高可能系数值 $E_{\max}$ 。我们在提高植物光合作用生产力的工作中所必须力求的目的,应该就是这一数值。

光合作用的光化学阶段是因光的量子性而实现的。因此,光合作用最大可能的能量效率 $E_{\max}$ 问题的实质,可归结于还原一分子 CO_2 所需吸收最少数目的光子问题,也即在光合作用过程中同化一克分子(44 克) CO_2 或释放一克分子(32 克) O_2 所需能量的爱因斯坦数目问题。

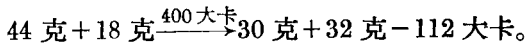
根据许多著作(参阅 Рабинович, 1953; Gaffron, 1960) 可以采纳(虽然现在不能认为问题已完全解决),最低量子消耗量 $Q_{\min}$ 可以等于每一分子 $8 \sim 10$ 个量子,即相当每克分子 CO_2 $8 \sim 10$ 爱因斯坦辐射。换句话说, $Q_{\min} = 8$ 爱因斯坦/克分子 CO_2 。

量子消耗最低可能数值的大小,在光谱可见部分范围内,不同波长的单色光中可以是 inconsistent 的。例如,在绿色光线中量子的消耗要比在蓝光和红光中大一些。在混合组成的光通量中,量子的消耗也可能是不同的,但必须是在不同波长光线处于不同比例的情况下。

在精确的研究中所有这些情况都必须考虑到,但对于我们现在抱定的目的来说,可以有足够可靠的程度采纳光合作用所需最低量子消耗等于每一分子 CO_2 $8 \sim 10$ 个量子。同时,光合作用最大力能出产率($E_{\max}$) 将随所吸收光的光谱成分而定,因为量子的能量是不一致的,它决定于波长(图 1)。

按照这一点, 照射在作物地上的 1 爱因斯坦的阳光, 由于其光谱成分会改变, 可能有不同的数值, 这也必须考虑到。在这种情况下, 为了原则性地考察问题, 我们采纳 1 爱因斯坦的阳光平均等于 50 大卡。这样看来, 在光合作用每同化一克分子消耗 8 个量子的情况下, 在太阳光谱对光合作用有效部分 (380~720 毫微米) 中, 应该吸收 $8 \times 50 = 400$ 大卡的太阳辐射能。

如果在光合作用过程中形成的产物, 其还原程度等于碳水化合物 (CH_2O) 的还原程度, 那末光合作用的能量效果可用下列方程式表示:



从方程式可见, 每同化一克分子 CO_2 必须吸收 400 大卡, 而在光合作用产物中联结 112 大卡。

由此可见, 在这种情况下, 光合作用最大的能量效果应该是 $\frac{112}{400} = 0.28$, 即 28%。而还原一克 CO_2 所消耗的能量, 按吸收的光计算是 $\frac{400}{44} = 9.1$ 大卡/克 CO_2 , 按在产物中联结的能量计算是 $\frac{112}{44} = 2.54$ 大卡/克 CO_2 。由此可见, 当光合作用在阳光中短时间进行, 而且形成的产物, 其还原程度等于碳水化合物还原程度的物质时, 光合作用的能量效果可能是等于 28%, 可是在实际情况下, 光合作用形成的产物有部分还原程度更高、形成时要消耗更多的能量的。此外, 光合作用的直接产物要转移到植株上别的器官, 并在那里进行各种转化。此时相当的一部分产物在氧化转化和呼吸过程中被氧化为 CO_2 和水。必须注意到, 这种氧化既在叶子本身中进行, 特别是在晚间; 而且也在别的器官——茎、根、繁殖器官和贮藏器官中进行, 这些器官不仅晚间在呼吸, 而且白天也在呼吸。

如果消耗性器官对叶群的相对重量特别大, 而呼吸作用持续时间又比光合作用持续时间长, 那末物质的消耗可能是很大的。此外, 在高温、缺水等的时期, 这种消耗可能特别大。

光合作用产物消耗于呼吸作用以及其他损失的比值问题需要专门详细的研究。现在我们可以有一定的可靠程度说, 即使在比较良好的条件下, 这种消耗可以占光合作用过程中所形成物质的 20~25%。这样, 在实际情况下, 吸收的光能用以进行光合作用的理论有效系数, 可能是等于 $0.28 - (0.28 \times 0.20) = 0.28 - 0.056 = 0.224$, 即 22.4%。

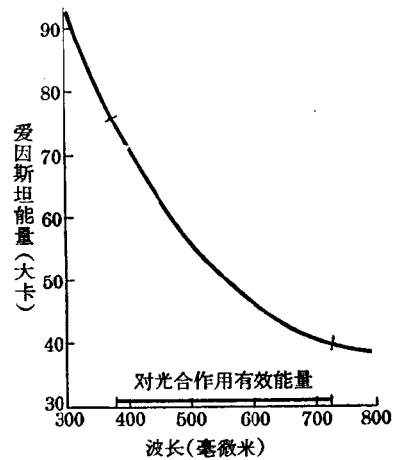
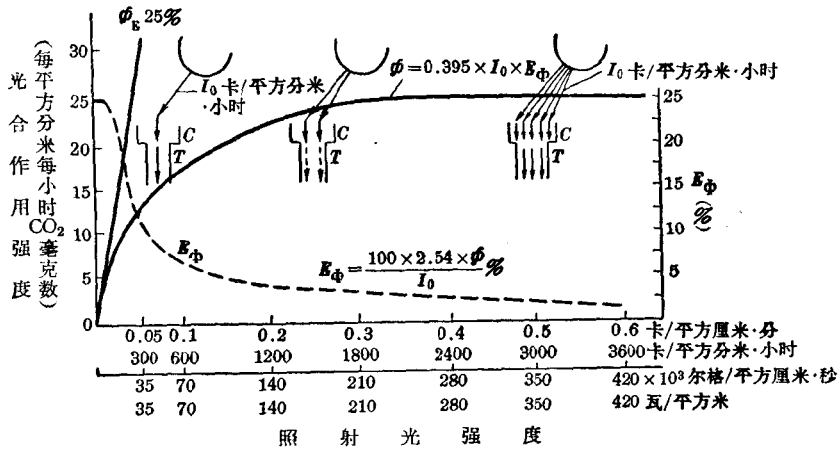
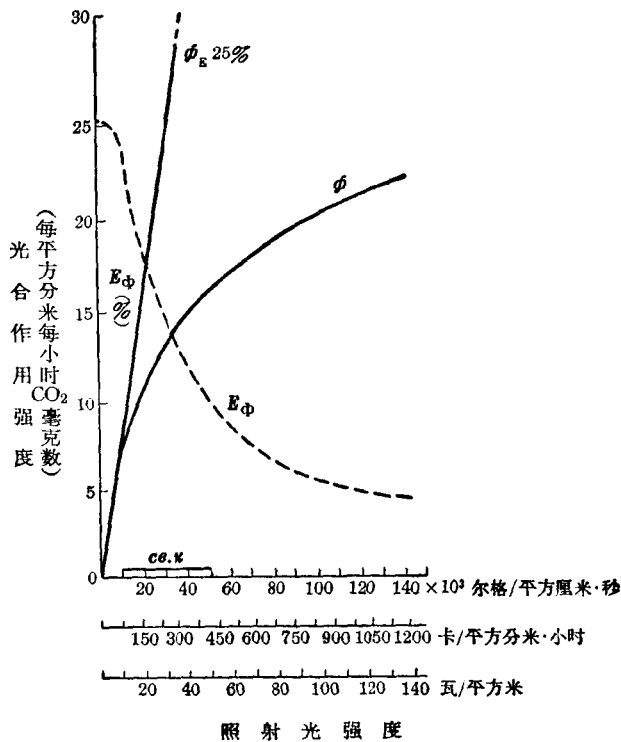


图 1 不同波长光线的爱因斯坦能量



a



b

图2 a是通常看到的光合作用光曲线(ϕ); b是同样曲线的光强度较低的部分; $c\phi. \%$ 是植物光照栽培通常所处的光强度区。符合光合作用能量效果等于25%($E_{\phi} 25\%$)的估算光曲线。照射光强度= I_0 。欲求 ϕ 可按指数 E_{ϕ} ; 反之, 欲求 E_{ϕ} 可按指数 ϕ (参阅 ϕ 和 E_{ϕ} 曲线上的方程式)。 I_0 以卡/平方分米·小时表示, C和T分别是光合作用光照反应(C)和黑暗反应(T)的“通过能力”

至于在作物地上,作物所吸收的全部能量并非都为进行光合作用的器官所吸收,一部分(虽然是不大的一部分)是为不进行光合作用的器官所吸收的。可见,作物地吸收的太阳辐射能用于光合作用的最高可能的系数,可以认为是等于20%左右,这一问题我们在后面还要说明。

可是,事实上观察到的被吸收的能,特别是照射在作物地上的能,它们在光合作用中的利用系数(注意它是联结于产量的物质中)要无比地小(平均为0.5~1%, 0~1.5%)。

由此可见,我们的任务就是要考虑怎样提高这些系数的可能性和条件的问题。

光合作用的光曲线及其能量效果系数

在有关这一问题的所有著作中,光合作用的最低量子消耗都是在较低的光强度下观察到的。随着光强度 I_0 的提高,量子消耗的指标一般增大,而能量效果系数则降低。这一规律性是由光合作用光曲线的特点决定的(图2a, 曲线 ϕ)。在光合作用过程中既有需光的光化学反应,也有毋需光参加而进行的即通称为“黑暗反应”的酶促反应。

在正常情况下,植物的黑暗反应(图2a, T)、尤其是光照反应(图2a, C) 器官(叶绿素, 叶绿粒结构复合体的伴随色素)的通过能力是相当大的。在很低的光强度下,某些系统的通过能力是远无限制的。因此,在这样的条件下,这些系统的光合作用可以无限制地进行,从而具有最高的力能出产率(曲线 E_ϕ)。

在弱照度区增强光强度,光合作用强度 ϕ 将随光强度成比例地增长;光合作用光曲线的这一段是直线性的。随着光强度的进一步增强和黑暗反应器官通过能力的饱和,光曲线上升的斜度减小,而从黑暗反应器官通过能力达到饱和的光强度开始,再增加光强度已经不能导致光合作用强度的增强;光合作用的光曲线达到光饱和的平峰(图2a, 曲线 ϕ)。

显而易见,在这种情况下,随着光强度的增加,光合作用能效系数值 E 必然大大改变:光曲线升高的直线段符合其较高的数值,而在以后其数值大为减低(图2a, 曲线 E)。图2中 a 引列了或多或少是普通的光曲线,是许多大田作物在一般栽培条件下所常常碰到的典型的光曲线。如所周知,在这种曲线中,很大光强范围内光合作用的能效系数不过1.5~4.0%,也即离开理论上的最高值28%或25%相距甚远。

因为我们的任务是在于竭力提高光合作用的能效,并力求使其指标接近理论上可能的最高值,我们必须讨论解决这一问题的原理和途径。

为了提供讨论材料,让我们评价一下在下列假设情况下计算出来的光合作用光曲线:那时叶子或植物的光合作用活动性是如此的大,以致光合作用能效系数在任何光强度下都等于25%(图3, 曲线 I)。这意味着,在一切光强度数值下,光合作用的进行都应该大致消耗8个量子。考察一下曲线 I , 我们可以看到,在所有上述条件下,

当叶子吸收光的数量为 3600 卡/平方分米·小时(夏天正午直射阳光下可能如此)的时候, 光合作用强度应该达到 360 毫克/平方分米·小时。这是一个很大的数值, 无论何时, 谁也没有观察到过。由此可见, 力求获得有如曲线 1 的光合作用光曲线, 未必能实际地解决提高光合作用过程能效的问题。那末, 在这种情况下, 解决问题的途径何在呢? 为此, 我们来考察另两条光合作用光曲线(图 3)。曲线 2, 这是普通的、经常碰到的、我们许多农作物在一般栽培情况下所固有的曲线(参阅图 2)。曲线 2e 是与之相适应的光合作用能效曲线。曲线 3 和 3e 是 Gaastra (1959) 在黄瓜上得到的。曲线 4 和 4e 是根据 Л. Е. Строгонова (苏联科学院植物生理研究所) 于莫斯科近郊

在晴朗、温暖的日子所进行的玉米光合作用的计算而绘制的。

如所周知, 2e 和 4e 的光合作用能效指标比之 3e 曲线情况下的指标已有很大的差异, 更何况是 1e, 因而在以后的工作中必须大大地改善。如果这种改善能导致我们作物地光合作用的光曲线, 稳定地即使只是接近于光曲线 4, 那也将是向前跨了一大步。在这种情况下, 受光强度为 600~1200 卡/平方分米·小时左右的植物叶子, 能够以很高的、接近理论上的有效系数利用光能。此外, 利用更高的光强也将有足够良好的效果。

根据这些资料的分析, 也可指出解决我们所提出的、提高光合作用中太阳辐射能利用系数的任务的可能途径。其

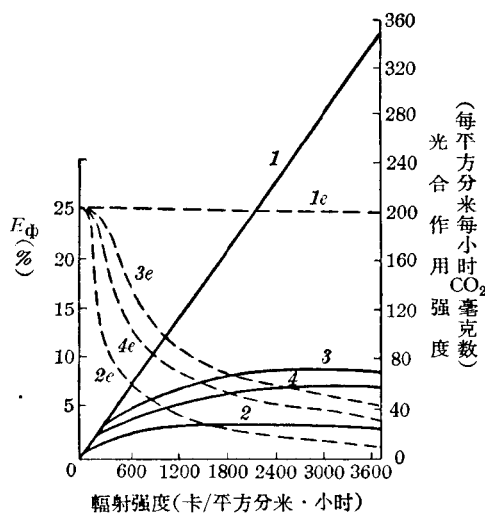


图 3 光合作用光曲线

1- $E_{\phi}=26\%$ 的估算光曲线; 2-普通所见光曲线; 3-Gaastra (1959) 观察到的黄瓜在最适条件下的光曲线; 4 玉米在良好的田间栽培条件下的光曲线; 1e, 2e, 3e, 4e 是各自符合光曲线 1~4 的光合作用能效(E_{ϕ})曲线

其中之一是活化光合作用过程本身, “拉直”这一过程的光曲线, 使之在中等和较低的光强度区很为稳定, 并且在尽可能大的光强范围内符合相当于消耗 8 量子的曲线, 而在高的光强度下有最高的平峰, 并且在最高的光强度下也达到这一平峰。这样活化植物的光合作用过程可以用各种各样的手段和方法来达到, 而首先是提高光照反应和黑暗反应系统的活性和“通过能力”。

光合作用器官的活性随其本性和组织而不同, 这一点可以从不同植物间经常观察到的光合作用指数的巨大差异方面得到证明。例如向日葵和禾谷类作物, 比之其他许多植物、尤其是乔木, 总是具有高度光合作用的活动力 (Петрушевская, 1925; Чесноков 和 Базырина, 1932)。

可以举 Saeki (1960) 关于两种植物 *Celosia* (苋科鸡冠属——译者) 与 *Zelkova*

(榆科樺屬——譯者)的資料(圖4),作為不同植物光曲綫,從而也是光合作用器官活性差異的例子。

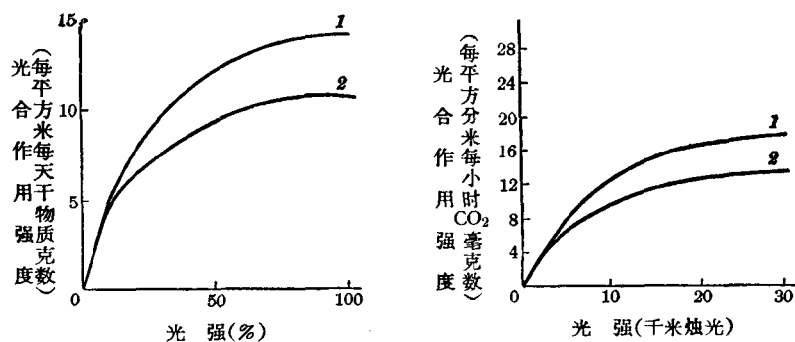


圖4 *Celosia* (1) 和 *Zelkova* (2) 植株的光合作用光曲綫
(据 Saeki, 1960)

可惜的是,目前只有很少的材料可據以推斷那些具體的特徵、特性以及它們在植物光合作用器官的組織中配合的情況,而這些特徵、特性正是應該符合植物光合作用器官的最高活動力的。但是,現在對某些重要的特性已經弄清楚了,它們在完成複雜的光合作用的過程中具有決定性的能力。例如葉綠體的片狀結構,就是在它們具有固定 CO₂ 能力的時候在其中產生的 (Wolken, 1958; Wettstein, 1958; Sager, 1958; Calvin, 1958; Тагеева 等, 1962)。看來,不僅葉綠體中葉綠素及其他色素的總含量有重大的意義,它們的狀況也有重大的意義 (Rabinowitch 及 Govindjee, 1961; Красновский, 1962)。

近來逐漸清楚,光合作用過程中不僅有一個,而是至少有三個(如果不是更多的話)光化學反應參加,其中不僅有葉綠素,而且可能還有其他光敏活性系統參加 (French, 1961; Rabinowitch 和 Govindjee, 1961; Аллен, 1962; Арнон, 1962; Воскресенская, Гришина, 1962)。毫無疑問,光合作用器官的活性十分緊密地決定於葉綠體固有的複雜酶系統的活性及其相互關係 (Сисакян, 1962; Gaffron, 1962; Арнон, 1962; Бассем, Кальвин, 1962; Кандлер, Лизенкеттер, 1962)。然而葉綠體的結構和活性系統是很不穩定的,會遭受很大的改變,這一點即使用簡單的方法,諸如葉綠體狀況的微观統計,統計色素的總含量及其比例,即可加以確定 (Табенцкий, 1953; Осипова, 1957; Кахнович, 1961)。

變更氮肥營養水平可能是促成這種改變的特別有效的方法,它對光合作用光曲綫的進程也有強烈的影響(圖5),這一點從 Müller (1932) 的資料中可看得很清楚。當植物栽培在不同的光照條件下時,其光合作用器官形成的情況各異,活性程度也不同 (Кахнович, 1961)。圖6說明了喜陰和喜光植物光曲綫的差異。

植物光合作用器官的活性和光合作用光曲綫的特點,在很大程度上決定於植物

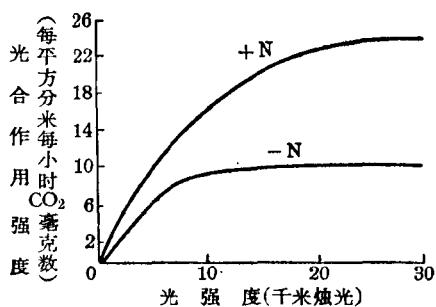


图5 芥菜叶子在氮素供应良好(+N)和不良(-N)时的光曲线

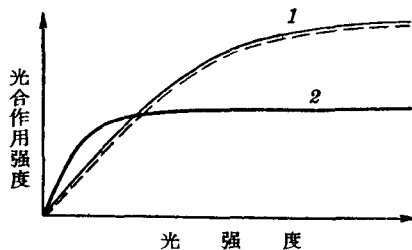


图6 喜光(1)和喜阴(2)植物光曲线的典型对比

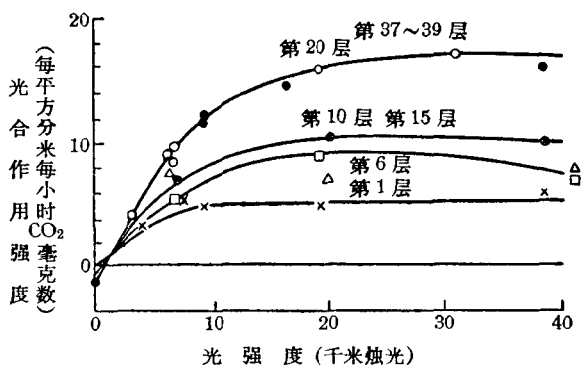


图7 *Celosia* 各层叶子的光曲线
(Saeki, 1959)

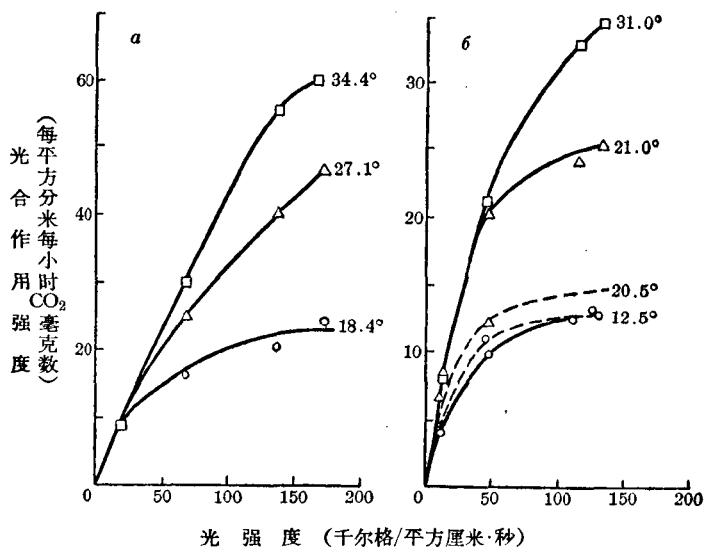


图8 黄瓜(a)和番茄(b)在不同温度下的光曲线
(Gaastra, 1959)

的个体发育状况和它們的器官, 这从 Saeki (1959) 关于不同层次叶子的資料中可以看到(图 7)。

溫度因子和叶子二氧化碳供应水平对植物光合作用器官活性和光合作用光曲线特点的影响也不小, 这从图 8、9 Gaastra (1959) 的研究中可以看出。

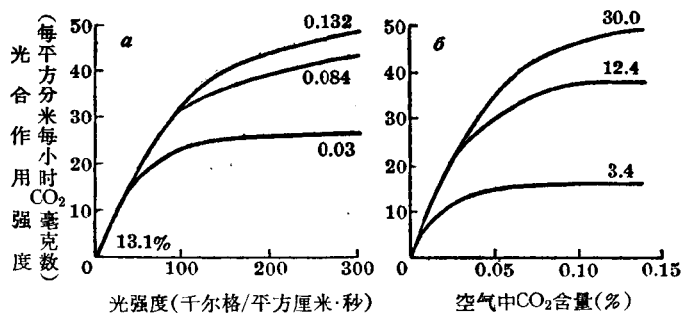


图 9 甜菜在空气中 CO_2 含量不同的光曲线(a); 不同光强度下甜菜光合作用与空气中 CO_2 含量的关系(b)
(Gaastra, 1959)

上列資料远不能排除旨在活化植物光合作用器官的所有情况和可能性。可是这些資料却足够确凿地說明有很大的可能来“拉直”植物光合作用光曲线, 从而在所有光照状况条件下提高其能量效果。

图 10 的資料再一次提供了在不同光曲线型下推断光合作用能量效果变异的可能性, 同时也显示了一种簡便的图解方式来根据能量效果指标评价这些光曲线型。光合作用光曲线的估算值在图中都用直线表示, 其来源是假设在任何光强度下, 每一

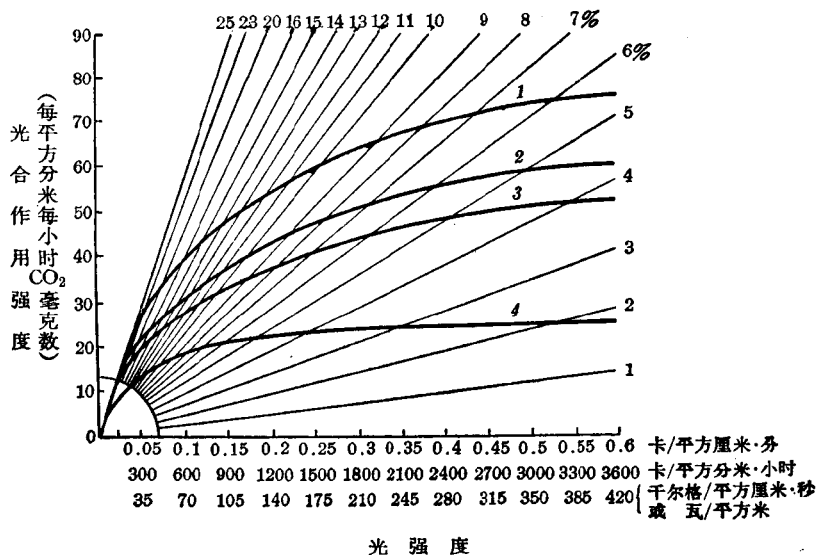


图 10 黄瓜、甜菜和玉米的光合作用光曲线

1-黄瓜; 2-玉米; 3和4-甜菜分别在空气中 CO_2 含量为 0.132% 和 0.03% 时

种光合作用的过程都是借一定的能效系数完成的。

在每一条估算曲线的末端标出了与之相应的光合作用效果系数(%)。1~4号表示实际的光合作用光曲线,系采自各种研究。这些曲线与估算曲线的交叉点说明每一地段实际光曲线光合作用效果系数的值。借助于这种图解法,将实际获得的光曲线交織在估算曲线上,就可以容易地对各种光照条件下光合作用的能效指标给予评价。从图10的资料可以看到,“拉直”光合作用光曲线,对提高植物利用照射于其上的光能进行光合作用的系数具有意义。可是“拉直”光合作用光曲线不是提高这个过程的光能利用系数的唯一方法,何况问题不是涉及各片叶子,而是涉及作为一个完整的光体系的群落或者作物群体。例如,当植物用光照栽培的方法栽培在人工光源下时,其照度一般是很低的,变动在每平方分米每小时75到450卡的范围内。在这种照度下,即使是一般的光合作用光曲线,其光合作用的光能利用系数也可能是很高的。实际上,Н. Н. Протасова(苏联科学院植物生理研究所)进行的实际测定也表明,光能利用系数为12~27%,在红光中甚至达到30%。诚然,在光照栽培中,供应于灯的能量总有效系数,普通是很低的。但是,这主要是由于照明技术装置不完善,光能不能集中在栽培面积上而造成巨大损失。因为常见的作物地本身密集程度低,尤其在植物幼龄时,大量的光透入土壤。由于以上这些原因,电能输送为对光合作用有效的光能的效率很低。至于大田作物,那里不能改变进入田间的太阳辐射能的量,但应该最充分地、以最高的有效系数利用之进行光合作用。这点很清楚,在这种情况下,作物群体首先应该具有这样的结构,这样的光学密度,可使照射于其上的太阳辐射能吸收得尽可能地更为充分;其次,还要以最高的有效系数将被吸收的光能用于光合作用。实现我们上面讨论的“拉直”光合作用光曲线并强化光合作用本身的结果,第二点是可能达到的。

可是,获得这种结构的群体也很重要:在群体层中,叶子的平均的照度是最有利的,而且大部分叶面积所受光照的强度,按照光合作用光曲线的本性,光合作用过程的有效系数是最高的。

由于许多原因,作物群体作为一个光学体系的最适结构的问题是复杂的。如很稀植的作物,其叶子有相当长的一部分时间可以受高强度光的照射,符合光合作用光曲线的平峰,但光合作用的有效系数低。此外,这种作物群体不能充分地吸收照射于其上的太阳辐射能。另一方面,极为密集的群体有很发达的叶层,可以足够充分地吸收照射于其上的太阳光能,但叶子相互遮荫可能十分厉害,以致光合作用很弱。此外,还可产生这样的有害后果,诸如植株拔长,下叶死亡,倒伏,繁殖器官和贮藏器官发育不良,等等。

由此可见,群体的最适结构问题,即保证良好地吸收照射在群体上的太阳辐射能,并具有高的有效利用系数,这个问题既极重要,又很复杂,因而需要专门说明。

善于吸收太阳辐射能的作物群体的特点

如上所述,可以据以评价作物群体的第一个要求,即它是否具有能够最充分地吸收照射于其上的辐射能的结构。植物吸收光能进行光合作用的主要器官是叶子,因而作物群体的光学密度自然也应与每公顷或每平方米作物地的叶面积密切相关。

这一关系可以用 С.Н. Чмора 在我們的实验室中所得到的资料图解如图 11 (参阅 Ничипорович 等, 1961)。由图可见,随着作物地叶面积增加到 3~4 万平方米/公顷时,它所吸收的光能百分率显著增高。进一步增大叶面积并不能使能量吸收百分率有什么明显的增加。这使我们有根据认为(Ничипорович, 1956; Ничипорович 等, 1961),每公顷 3.5~4 万平方米的叶面积符合于作物群体最适叶面积。

我们认为,具有最适结构且其形成和发展进程良好的作物群体应该是这样:其叶面积尽可能迅速地达到每公顷 4 万平方米左右,在这个水平上尽可能长久地(随植物生长期长短而定)保持活跃状态,最后显著降低或完全雕枯,将可塑性物质转到繁殖器官或贮藏器官的形成上去。

图 12 是不同生长期的植物叶面积增长最适进程的示意图(曲线 1a~2e)。曲线 1a~1e 代表太阳辐射能的数量(照射能%),作物群体 1a~2e 能够随着叶面积的增长相应地吸收它们

(参阅图 11)。大家知道,这种作物群体在整个生长期內平均可以吸收照射于其上的光合作用有效辐射达 50~60%。叶面积增长进程的每一个图形(1a~2e)都注明群体光合势的指标(Ничипорович, 1956; Ничипорович 等, 1961)。这一指标的意思是:以 1 平方米叶面积作为群体光合作用的工作单位。除去呼吸作用的消耗之外,1 平方米叶面的光合作用每日可以形成 4~7 克干物质(可是这些指标也可能更高得多)。换句话说,每平方米叶子每日的工作可以作为度量光合作用工作的单位。把每公顷作物在生长期中每天的叶面积指标累计起来,我们就可以得到群体在整个生长期內或其中一段时期內可能的光合作用工作单位数。此项累计可用图解法进行(Ничипорович 等, 1961)。结果是得到了我们称之为群体光合势的指标,单位是平方米·日。

我们假定某群体的叶面积按照图 12 曲线 1 的图形发展,群体光合势为 200~250 万平方米·日。如果此时整个生长期中叶子的光合作用活动力相当于在光合作用过程中形成每平方米 5~6 克的总干物质,那末干物质的总生物产量可以等于每公顷

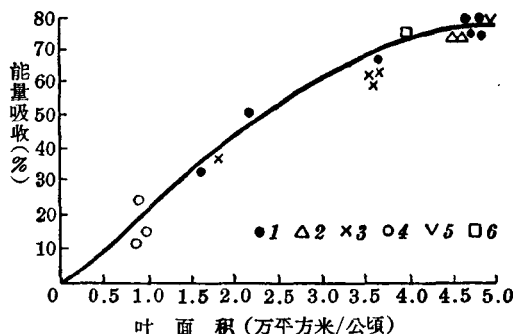


图 11 作物群体吸收太阳辐射能中对光合作用有效部分的情况与总叶面积的关系

1-玉米; 2-小麦; 3-向日葵; 4-甜菜;
5-三叶草+猫尾草; 6-苕子、燕麦混播
(С. Н. Чмора)

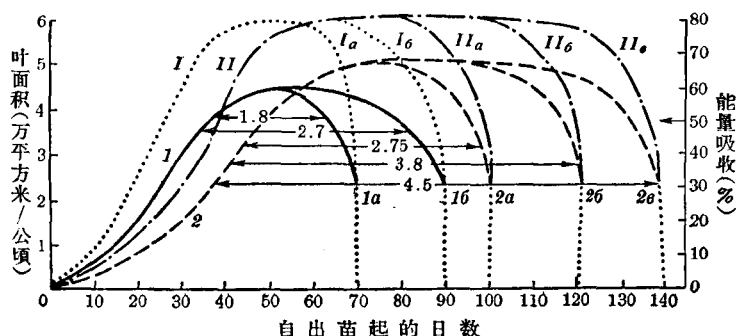


图 12 不同生长期植物群体叶面积增长的最适图形

1a, 16 是生长期较短的; 2a, 26, 2e 是生长期长的。Ia, 6, IIa, 6, e 是随着群体叶面积的增长各个群体吸收太阳辐射能百分率的曲线

10~15 吨, 这相当于每公顷 40~60 公担的谷物, 500~700 公担的甜菜根和马铃薯块茎, 600~1000 公担的玉米青贮料(参见图 15)。此时产量中固结了近 4000~6000 万大卡的能(按每公斤干物质的热值为 3750~4000 大卡计算)。如果群体吸收的能在光合作用中的利用率是等于 10%, 那末为了形成上述产量, 群体应该吸收 5~6 亿大卡的能量。而假定上述产量具有良好结构的群体, 能够吸收照射于其上的能的 50% 以上, 那就应该得出结论, 在所有上述条件下, 在植物可能的生长期中, 对光合作用有效的太阳辐射能进入群体的总量, 应该在每公顷 10 亿大卡以上。

必须指出, 这样的太阳辐射能, 即使在北方象列宁格勒甚至阿尔汉格尔斯克那样的纬度(该地生长期只有 90 天左右), 也是具备的。由此可见, 理论上的分析表明, 即使在这样的条件下也可能有上述的产量。如果说那里事实上并未获得这样的产量, 那在相当大的程度上是由于其他的不利因子。这些地区农业的任务也就在于克服这些因子的限制作用。

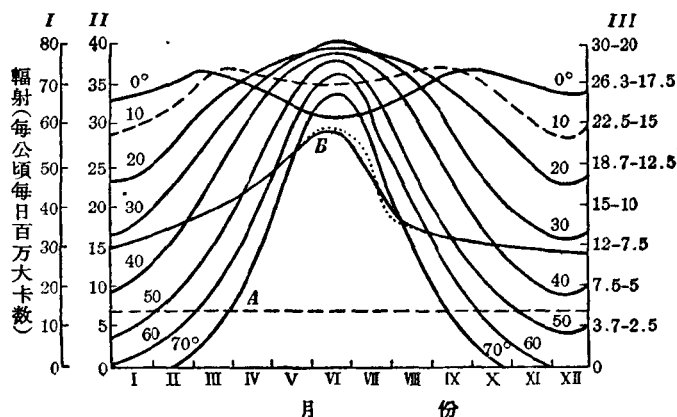


图 13 不同地理纬度照射在 1 公顷地面上的每日太阳辐射量的年进程

纵轴 I 是理想大气中的总辐射量; 纵轴 II 是理想大气中对光合作用有效的辐射量;
纵轴 III 是实际条件下对光合作用有效的辐射量