

几种植物光合速率的测量*

冯春生 张庆海

赵福林

(吉林省农科院原子能利用研究所)

(吉林省农科院大豆研究所)

摘 要

应用 ^{14}C 示踪方法研究几种植物的光合速率特征及与环境因子的关系。结果表明,光照强度、温度、钾肥及根瘤固氮等因子,对光合速率都有重要的影响, C_3 和 C_4 作物在光合速率方面有明显差异。

在绿色植物中,光合作用是重要的生理代谢过程,它主宰着植物的生长和发育。植物通过光合作用,将太阳能转变成化学能,同时把 CO_2 和水合成有机物质加以贮存和利用。光合作用对作物的经济产量具有决定性的作用,因为作物有90%以上的生物产量是光合产物。因此,光合作用是农业科学研究的一项重要内容。光合速率测量是光合作用研究的重要方法,从1983年以来,应用同位素示踪新技术开展了对大豆、玉米、高粱、白菜、葡萄和人参等光合速率的测量和研究。

一、标记和测量方法

光合速率测量是应用FGC—2型 ^{14}C 植物光合速率测量仪^[1]。测量方法:1. $^{14}\text{CO}_2$ 空气制备:用放射性同位素 $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ 配制一定放射性比度的0.01N $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ 标准溶液,再在 $^{14}\text{CO}_2$ 空气制备装置中用此标准液制备 CO_2 浓度为300ppm的空气,充入高压贮气瓶中,供光合标记用;2.光合标记:用FGC—2型 ^{14}C 植物光合速率测量仪的叶室夹住待测植物叶片,供气光合标记20秒钟,立即取样固定;3. ^{14}C 放射性强度测量:用液体闪烁计数器测量样品叶的放射性强度,根据叶片吸收 ^{14}C 的强度来计算同化 CO_2 的量,结果为真光合速率。

二 结果与讨论

1. 光合作用的日变化

我们以田间栽培的大豆和塑料遮阴棚栽培的人参为供试材料,在其适宜的光照和温度条件下,连续测定它们的光合速率和光、温两个因子的日变化动态,研究两种不同习性植物的光合作用日变化规律(图1、图2)。

结果表明,大豆和人参光合作用的日变化规律基本一致,都表现出内生节奏规律^[6]。即从8时至16时,光合作用强度

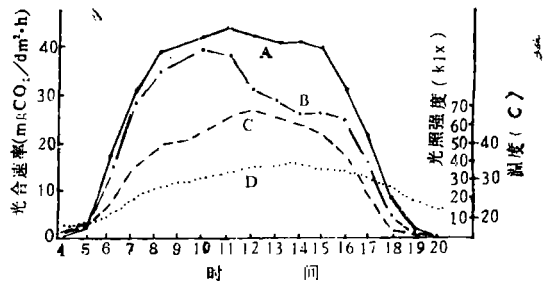


图1 田间大豆光合作用日动态

A: 铁丰18 B: 绥农4号 C: 光照强度
D: 温度

* 本文承大豆所生理室主任徐豹同志审阅。测量工作是在高金方、徐豹同志指导下完成的,吉林农科院沈银保、杜志中、张兰恒,中国农科院特产所王化民,孟繁莹等同志参加部分测量工作,在此一并致谢。

测量结果，在开花期，结瘤大豆的光合速率是 $39.4\text{mgCO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$ ，固氮酶活性为

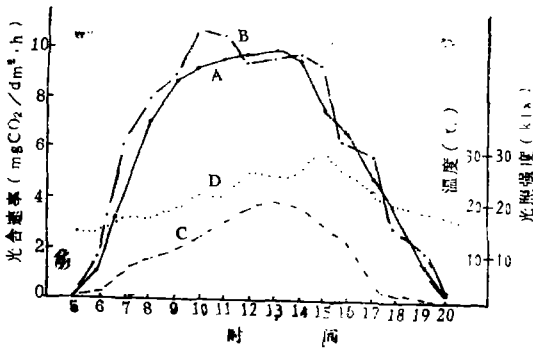


图2 塑料大棚人参光合作用日动态

A: 4年生人参 B: 6年生人参
C: 光照强度 D: 温度

表现得高而稳，中午前后达最大值，且早晨和傍晚偏低。因此，可以认为8时—16时，是光合作用的最佳时间。但是，就其光合作用强度而言，由于大豆和人参的光合生理特性不同，两者存在很大差异；人参的光合速率为 $10\text{mgCO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$ 左右，而大豆的光合速率高达30— $40\text{mgCO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$ ，比人参的光合速率高3倍多。另外，人参的光饱和强度为20Klx左右，而大豆的光饱和强度高达60—70Klx，也比人参的光饱和强度高3倍多，与大豆和人参在光合速率上表现的差异呈正相关。大豆品种间的光合作用强度也有差异，在鼓粒期间测定了115个栽培大豆品种的光合速率，早熟和中早熟品种的光合速率明显高于中晚熟和晚熟品种。

大豆和人参在光合速率上表现的差异呈正相关。大豆品种间的光合作用强度也有差异，在鼓粒期间测定了115个栽培大豆品种的光合速率，早熟和中早熟品种的光合速率明显高于中晚熟和晚熟品种。

2. 各节位叶片的光合速率规律

植物叶是获取光能和光合作用的主要器官。我们在直射光下测定了山葡萄和吉林13号大豆各节位叶片的光合作用强度(图3、图4)。

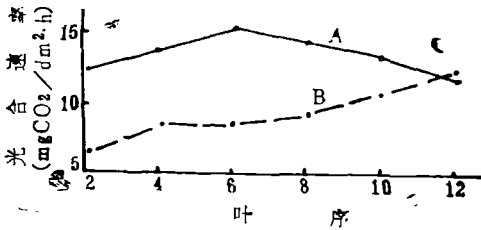


图3 葡萄各叶位光合速率

A: 幼果期 B: 成熟期

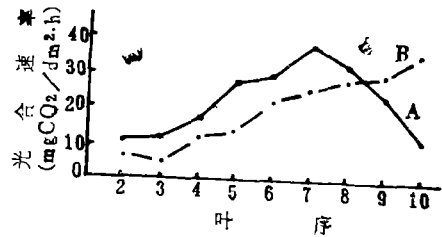


图4 大豆各叶位光合速率

A: 开花期 B: 鼓粒期

结果表明，在同一光照强度下，各节位叶的光合速率差异明显。幼果期山葡萄和开花期大豆第6、7叶片的光合速率最强，是这一生育期的主要功能叶片，随着植物的生长发育，主要功能叶片向上位叶转移。此结果与东北师大生物系所得结果趋势一致⁽⁷⁾。植物叶片的光合作用强度除受光照强度和温度等环境因子控制外，还与各节位叶片的叶龄、叶绿素含量、叶质重等生理状态有关。

3. 光照强度对人参光合作用的影响

人参是多年生宿根阴性植物，需在遮阴条件下栽培⁽⁵⁾。研究人参的光合作用规律及适宜光照强度，对选择不同形式和透光度的遮阴棚，提高人参的产量和质量有着重要的意义。

1978年7月,我们用单透参棚5种透光度的光照强度,处理5年生人参4天,然后测定各处理小区的人参光合速率(表1)。

表1 光照强度对人参光合作用的影响

参棚透光率(%)	透光强度(Klx)	棚内温度(°C)	棚内湿度(%)	光合速率 (mgCO ₂ /dm ² ·hr)	参叶外观
				$\bar{A} \pm \delta A$	
10	7	24	84	5.09±0.56	深绿
25	20		73	5.82±0.53	绿
35	25	25	73	4.04±0.73	浅绿
55	40	28	65	1.33±0.24	浅黄绿
70	55	34	43	0.78±0.12	黄绿

结果表明,光照强度为20Klx时,人参的光合速率最高,当光强再增加时,光合速率反而降低。从人参叶片的颜色看,光照强度为7Klx时,叶片呈深绿色,光照强度为20Klx时,叶片呈正绿色,当光照强度超过20Klx时,参叶由正绿色逐渐变为黄绿色。说明光照强度为20Klx左右,透光率在25%左右时,对人参的光合作用最为有利。

Moss和Loomis对叶片从光能的吸收量与叶绿素含量的关系上进行过探讨,所作的结论是:在可见光谱范围内,植物叶片对光能的吸收量与叶绿素含量成正比;如果叶片呈黄色或橙色,对光能的吸收能力减弱,而对光的反射率和透射率增加。我们的结果说明光强和叶绿素含量是互为影响的,光照强度改变叶绿素含量,叶绿素又影响叶片对光能的吸收量,两者都影响光合作用强度。人参在高光强下生长时,造成叶绿素氧化,使叶片变黄,导致光合作用能力下降,严重时发生日灼烧病而枯萎。

4. 锌肥对玉米花白叶光合作用的影响

锌是植物正常生长所必须的重要微量营养元素,它参予生长素的合成和酶系统的活动。为了探索锌肥对玉米花白叶光合作用的影响,1983年,我们应用¹⁴C和⁶⁵Zn放射性同位素示踪法,研究了玉米花白叶病与锌元素的关系⁽²⁾。用飞机喷洒3%ZnSO₄溶液,3小时后测定玉米正常叶和花白叶的光合速率(表2)。

表2 锌肥对玉米花白叶光合速率的影响

项目	施Zn前(A ₀) A ₀ ±δA ₀ (mgCO ₂ /dm ² ·hr)	施Zn后(A _{Zn}) A _{Zn} ±δA _{Zn} (mgCO ₂ /dm ² ·hr)	比值 (A _{Zn} /A ₀)	q _{0.01} 检验
正常叶	30.2±2.7	36.6±2.8	121%	A**
花白叶	9.5±1.5	16.4±2.0	172%	A**

测定结果表明,在喷洒锌肥前,玉米花白叶的光合速率仅为正常叶的三分之一,喷洒锌肥后,玉米正常叶的光合速率提高21%,而花白叶则提高72%,说明锌肥能显著改善玉米的光合生理特性。因为锌是碳酸酐酶的重要成分,增加植物体内的锌含量,能增强光合作用能力,促进吡啶乙酸的合成⁽⁴⁾。另外,锌还能促进植物对其它营养元素的吸收。例如镁是叶绿素不可缺少的组成元素,施锌能提高植物对镁的吸收量,增加叶绿素的含量,从而提高光合作用强度。土壤高磷含量能抑制植物对锌肥的吸收和在体内的正常运转,大量的锌被固定在植物的根部和茎秆中,降低了叶片的锌含量和活性⁽²⁾。因此,土壤高磷含量是玉米叶缺锌引起花白叶病的重要因素。

5. 大豆光合作用与根瘤固氮酶活性及子实产量的关系

大豆根瘤共生固氮是把空气中氮气转化为大豆本身能吸收利用的有效氮素,以供大豆生长发育。1983年,我们测定了盆栽结瘤与不结瘤同位基因系Harosoy大豆的光合速率与固氮酶活性,探讨大豆光合作用与根瘤固氮及子实产量的关系(表3)。

测量结果，在开花期，结瘤大豆的光合速率是 $39.4\text{mgCO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$ ，固氮酶活性为

表3 大豆光合速率与根瘤固氮酶活性及子实产量的关系

同位基因系哈罗索大豆	光合速率	固氮酶活性	子实产量
	$A \pm \delta A$ ($\text{mgCO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$)	($\mu\text{gMC}_2\text{H}_4/\text{hr}$)	($\text{g}/3\text{plants}$)
结瘤	34.9 ± 2.2	30840	36.6
不结瘤	18.9 ± 1.2	436	11.6
比值(%)	184%	7073%	315%
F _{0.01} 检验	A**	A**	A**

$3.08 \times 10^4 \mu\text{gMC}_2\text{H}_4/\text{hr}$ ，都极显著高于不结瘤大豆。在鼓粒期，结瘤大豆的光合速率和固氮酶活性也都显著高于不结瘤大豆。

Sloger^[12]研究了大豆根瘤菌固氮与碳水化合物供应关系，他用USDA110慢生型大豆根瘤菌接种 Bonus品种大豆，用水蒸气包围茎1分钟来阻断光合产物的输送。结果是，在部分根瘤胞质体中，蔗糖含量1小时降低34%，2小时降低73%。同样，固氮酶活性1小时降低56%，2小时降低79%，表明了大豆根瘤固氮酶活性与光合作用的密切关系。我们测量结果说明，结瘤大豆通过根瘤固氮供给植株茎叶充足的氮素养分，促进了大豆生长发育，提高了结瘤大豆的光合速率，增加了光合产物的积累。同时，这丰富的光合产物又反过来输送到根部，根瘤菌得到充足的碳水化合物养分，提高了固氮活力。Wells报道^[10]，大豆在鼓粒期至成熟期的冠层表现光合作用与产量呈显著正相关。我们测定结瘤与不结瘤大豆的光合速率和子实产量与Wells的结果一致，秋后测产，结瘤大豆比不结瘤大豆的子实产量高3倍。

6. C₃和C₄植物的光合作用强度

在高等植物中，按光合作用方式可分为C₃植物、C₄植物和CAM植物三类。我们测定几种C₃和C₄植物的光合作用强度(表4)，结果是C₄植物的光合速率明显高于C₃植物。在C₃植物中，阳生植物高于阴生植物。导致C₃和C₄植物光合速率差异的原因，主要是C₃植物对CO₂的同化只通过卡尔文循环(Calvin)系统，由RuDP辅酶固定CO₂，通过乙醇酸代谢途径进行光呼吸，释放出一部分同化的CO₂。而C₄植物对CO₂的同化，有C₄双羧酸循环(Hatch-Slack)和卡尔文循环(Calvin)两个系统。C₄双羧酸循环起浓缩CO₂作用，卡尔文循环固定CO₂。C₄植物缺少光呼吸，从而减少CO₂的代谢^[8]。另外，C₃和C₄植物在细胞结构，叶绿素含量，光合辅酶种类，生理代谢功能等诸方面都有很大区别，导致光合速率的显著差异。

表4 C₃和C₄植物的光合速率

光合分类	品种	重复数	光合速率
			$A \pm \delta A$ ($\text{mgCO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{hr}$)
C ₃	吉林人参	6	$10.8 \pm 2.3\%$
	阔叶杨树	7	$29.9 \pm 2.1\%$
	白菜	10	$37.5 \pm 2.5\%$
	大豆	10	$37.8 \pm 1.3\%$
C ₄	玉米	10	$52.4 \pm 2.7\%$
	高粱	10	$58.6 \pm 3.3\%$

总之，光合作用是植物基础生理代谢过程，环境能量与养分通过光合作用转化为有机物质。光合速率是光合作用研究的重要指标，这是一个多因子函数，它与植物

种类、细胞结构、叶绿素含量、叶肉细胞阻抗及光合途径等生理特性相关，同时，还受光、温、水、肥、气等环境因子的制约。因此，在测量光合速率时，要注意植物的生理状态和

环境条件的变化和影响。

参 考 文 献

- (1) 冯春生等: FGC-2 型¹⁴C植物光合速率测量仪, 《核农学报》, 1987, 1(2): 105—111.
- (2) 王成方等: 玉米花白苗的同位素示踪研究, 《微量元素肥料研究与应用》, 湖北科技出版社, 1986, 213—218.
- (3) 苗以农等: 大豆不同节位叶片叶绿素含量的变异性, 《大豆科学》, 1987, 6(1): 21—25.
- (4) 王淑惠: 玉米锌肥营养与锌肥施用研究, 《微量元素肥料研究与应用》, 湖北科技出版社, 1986, 82—91.
- (5) 徐克章等: 不同透光率遮阴棚对人参生长和生理特性的影响, 《吉林农业科学》, 1986, 第2期, 84—85.
- (6) 户刘义次: 作物的光合作用与物质生产, 科技出版社, 1979, 103—108.
- (7) 东北师大生物系编: 大豆生理, 科学出版社, 1981, 75—161.
- (8) 加藤荣: 光合作用研究方法, 能源出版社, 1985.
- (9) 叶育才: 光合作用—植物生产力的生理基础, 台湾国立编译馆, 1981, 189—244.
- (10) Wells, R., Cultivar differences in canopy apparent photosynthesis and their relationships to seed yield in soybean, *Crop Science*, 1982, Vol.22, 886—889.
- (11) Buttery, B.R., Relationships among photosynthetic rate, bean yield and other Characters in field grown Cultivars of Soybean, *Can.J.plant Sci.*, 1981, 61(2): 191—198.
- (12) Sloger, C., Effects of blocking photosynthate to Soybean root nodules, In *Nitrogen fixation research progress*, 1985, 343.

MEASUREMENT OF PHOTOSYNTHETIC RATE IN SEVERAL CROPS

Feng Chunsheng Zganh Qinghai

(Application Institute of Atomic Energy, Jilin Academy
of Agricultural Sciences)

Zhao Fulin

(Soybean Research Institute, Jilin Academy
of Agricultural Sciences)

ABSTRACT

The Photosynthetic Characterization of some Crops and the Correlation with environmental factors were studied by ¹⁴C tracer. The results indicated that the sunlight illuminant intensity, the temperature, the Zinc fertilizer and the nitrogen fixing activity of soybean rhizobia effect on the photosynthesis importantly, Photosynthesis of C₃ and C₄ plants are different significantly.