

同化箱法による光合成の測定法

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者	青木, 正敏
巻/号	38巻4号
掲載ページ	p. 425-427
発行年月	1983年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



同化箱法による光合成の測定法

青 木 正 敏

(大阪府立大学農学部)

1. はじめに

作物・植物の物質生産的な観点からの光合成研究は、赤外線式炭酸ガス分析計の進歩とそれによって発展した、いわゆる同化箱と呼ばれる光合成測定装置によって、約25年間に著しく発達した。新しい知見は新しい測定法の開発・工夫に負うところがはなはだ多く、測定法は単なる技術ではなく研究の方法論でもある。

近年、ハウスの環境制御を行なう際に作物の光合成速度を目安にして気温・CO₂濃度等の環境条件の設定値を決めることが実験的に行なわれており、単に研究として作物の光合成反応を明らかにするというだけでなく、現場の作物の生産あるいは環境制御に光合成の反応を利用するまでに至っている。同化箱による光合成の測定法の詳細は他の文献に譲り、ここではこのような観点から測定法を概説し、同化箱を利用するにあたって注意すべき点について述べる。

2. 測定法の原理・特徴

同化箱法には開放式(通気式)、半閉鎖式、閉鎖式の測定法および動的測定法が知られている。いずれも(1)式のように同化箱内のCO₂収支から測定対象の正味のCO₂吸収速度(正味の光合成速度: P ; $\text{gCO}_2 \cdot \text{s}^{-1}$)を測定する方法である。

$$P = v(C_1 - C_2) - V \frac{dC}{dt} + B \quad (1)$$

ここで、 C_1 、 C_2 および C はそれぞれ同化箱内に流入、流出する空気および箱内の空気のCO₂絶対濃度($\text{gCO}_2 \cdot \text{cm}^{-3}$)を示す。 v は流入・流出する空気流量(通気量; $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)、 V は容積(cm^3)、 B は光合成反応と無関係に同化箱内に混入するCO₂流入速度($\text{gCO}_2 \cdot \text{s}^{-1}$)である。

2.1 開放式(通気式)測定法

同化箱のCO₂濃度変化がない($dC/dt=0$)ようにして測定する方法が開放式(通気式)測定法である [$P=v(C_1 - C_2) + B$]。この方式にも箱内へのCO₂混入がない($B=0$)ようにして測定する通常の方法 [$P=v(C_1 - C_2)$]と、

通気出入口のCO₂濃度差を常にゼロ($C_1 - C_2 = 0$)とするようにCO₂を補給し、この補給速度(B)から P を求める方法がある。いずれも $C_1 - C_2$ の測定には感度の良い差型のCO₂分析計が用いられる。

前者では同化箱の構造が単純なので、小型・大型のものとも従来よく用いられてきた。この方式では、通気量が多くないと箱内の通風速度が小さくなるため、葉面境界層抵抗が大きくなったり、葉面上での風上〜風下側のCO₂濃度・温湿度分布むらが生じるために、測定そのものに問題が生じる。逆に通気量が多過ぎると $C_1 - C_2$ の値が小さくなるため、光合成の測定精度を悪くする結果になる。

後者では差型CO₂分析計と精密自動流量調節計とを組み合わせることによって個体群・群落を対象とするような大型の同化箱に適した方法と考えられる。この方法では通気量を測定する必要がないので野外等で通気量が変動したり空気もれが避けられないようなハウス等を対象とした測定法としては有望である。

開放式測定法の場合には、測定の時定数は V/v で表わされ、指示値の95%の応答時間は約 $3.0 \times (V/v)$ となる。例えば大型($V=2 \text{ m}^3$)の場合で $v=0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ の時には、指示値が安定するまで少なくとも12分間は待たねばならない。光合成速度が変動する場合、測定された平均値には意味があるが、その変動成分にはあまり意味がないことに注意を要する。

開放式測定法の変形の一つとして半閉鎖式測定法がある。この型の同化箱は、本体にループ状のバイパス回路が設けられ空気が循環する構造となっており、通気量とは無関係に通風速度を速く出来る点が上記の同化箱の構造と異なる。これによって上述した開放式の通風に関する欠点を解決しようとする方法である。この同化箱は強いて言えば、空気循環型の開放式同化箱とも言えるもので、原理は開放式と同一で [$P=v(C_1 - C_2)$]、応答性も同一である。従って筆者はこの型の同化箱を半閉鎖式と呼ぶのは適当でないと考えている。

2.2 閉鎖式測定法

この方式は同化箱を気密にし [$v=0$, すなわち $v(C_1 - C_2)=0$], 箱内 CO_2 濃度の時間的变化 (dC/dt) を測定して P を求める方法である ($P = -V \cdot dC/dt$)。実際には箱内 CO_2 濃度の調節用通気口があり, その通気口を測定時に閉鎖すると光合成によって箱内 CO_2 濃度が減少するので, これを絶対値型 CO_2 分析計で監視し, ($C_a + \Delta C/2$) から ($C_a - \Delta C/2$) までの濃度低下に要する時間 (Δt) を測定し, $\Delta C/\Delta t$ を計算することによって C_a の CO_2 濃度における P を求めるのが通常閉鎖式の方法である。この方式の特徴は CO_2 濃度を素早くある任意の濃度に変化させて光合成を測定することが容易なことである。従って CO_2 濃度と光合成との関係を明らかにしたり, CO_2 補償点を求めたりする場合に向いている。しかし, 測定は間欠的であり連続的に行なうことはできない。小型の同化箱では気密にすることはあまり困難ではないが, 大型の場合には容易でない。

なお, この方式にも常に $dC/dt=0$ となるように箱内に CO_2 を補給し, その補給速度 (B) によって P を求めることも可能である ($P=B$)。この場合には一定の CO_2 濃度に保った状態で連続的にかつ箱内の空気のかくはんが十分であれば極めて応答性よく光合成の測定が可能である。強いて言えば, この方法が半閉鎖式と呼ばれるべき測定方法であろう。

2.3 動的測定法

以上のいずれの方式でも, 同化箱内の CO_2 濃度が刻々と変化している間の光合成速度を連続的にしかも応答性良く測定することはできない。しかし, 以上の点を満足できる新しい測定方法が提出された (青木, 1978)。図1のような同化箱を用い, 差型 CO_2 分析計で ($C_1 - C_2$) を測定すると同時に, 絶対値型 CO_2 分析計で dC/dt を測定し, (1) 式により P を求める方法である。 CO_2 濃度の制御は絶対値型 CO_2 分析計で監視しながら流入空気混合室 (図1参照) から箱内に流入する空気中の CO_2 濃度を調節することによって行なわれる。この方法では非定常の

CO_2 収支式を用いているので, 光合成速度の過渡的・動的測定が可能のため, 動的測定法と名付けられている。2台の分析計を用いなければならない複雑さはあるが, CO_2 濃度を任意に変動させている間でも連続的に光合成速度を測定できることに, この方法の最大の特徴がある。さらに, この方法では容積が大きいので, 開放式では CO_2 濃度変化の項 ($V \cdot dC/dt$) が無視できないような場合, および気密度の良くない野外のハウスにも適用できる点からも将来有望と考えられる。最近ではマイクロコンピュータが手軽に利用できるので測定・演算の煩雑さは気にならない。矢吹 (1966) はこの方式をビニールハウスに適用し, そこに栽培されているレタスの光合成を測定したが, 現場の作物の光合成を測った特筆すべき例である。

3. 測定上および測定値利用上の注意

何の測定に限らず, 測定に備うべき重要な条件が3点ある: ①測定すること自体によって対象・現象そのものを変化させてはならない, ②その測定値が対象・現象の母集団を代表していること, ③同じ対象・現象の測定が何度も繰り返して行なえること。

光合成測定ではそのうち特に①が避けられないことが多く, その問題が常に「測定の正しさ」に付きまとう。例えば, 同化箱内の気流は野外あるいはハウス内とはかなり質的に異なっているという問題がある。同化箱の通気量によって光合成速度が異なることを武田 (1960) は指摘した。大阪府立大学環境調節工学研究室およびその他によって葉面境界層の点から風速と光合成の問題が検討され, 風速および層流か乱流かによって光合成速度が大きく変化し, 測定する葉の大きさ自体によっても単位葉面積当りの光合成速度の異なることが示されている。その他, 測定光源の特性, 植物の環境に対する前歴の問題等, 測定にあたって考慮・検討すべき点は多い。

しかし, どうしたら「正しい測定」が出来るかという指針となるべき報告はされていない。あくまでも同化箱法で得た光合成速度はその同化箱で得た値であって, 他の同化箱で得た結果とは異なる。ましてや野外・ハウス内での現実の作物の光合成速度ではないことを熟知した上でそれらの測定値を利用するのが妥当と筆者は考えている。前述したように, ハウス内作物の光合成を測定したければそのハウスを同化箱と見なして測定する以外に方法はない。同化箱法による測定結果の公表の際には, 上述したような測定条件の詳細な記載が不可欠である。同化箱法を利用する際には, その測定によって何を言いたいのかという測定の目的・ねらいを明確にし, 測定に具備すべき条件を的確に定めることが最も重要である。

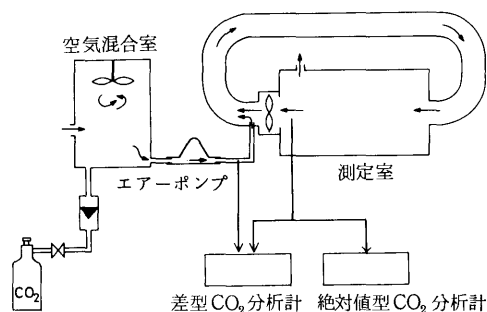


図1 動的測定法による光合成測定装置の概念図

参考文献

- 1) Aoki, M. and Yabuki, K., 1977: Studies on the carbon dioxide enrichment for plant growth VII. *Agric. Meteor.*, **18**, 475-485.
- 2) 青木正敏, 1978: 環境制御室内作物の光合成速度の動的測定法, *農業気象*, **34**, 1-6.
- 3) Bazzaz, F. A. and Boyer, J. S., 1972: A compensation method for measuring carbon dioxide exchange, transpiration, and diffusive resistances of plants under controlled environmental conditions. *Ecology*, **53**, 343-349.
- 4) 堀江 武, 1978: 作物の光合成・呼吸の測定法, *農業気象観測・測定法に関する手引書*, 第3部, 日本農業気象学会関東支部, 23-31.
- 5) 石井龍一, 1981: 葉の光合成速度の測定, *光合成研究法*, 加藤・宮地・村田編, 共立出版, 13-33.
- 6) 伊藤浩司, 1971: 個葉光合成の測定法, *作物の光合成と物質生産*, 戸刈監修, 養賢堂, 23-29.
- 7) 伊藤浩司, 1971: 圃場群落の光合成の測定法, *作物の光合成と物質生産*, 戸刈監修, 養賢堂, 141-145.
- 8) 高 清吉, 1981: 同化箱法によるガス代謝測定法, *光合成研究法*, 加藤・宮地・村田編, 共立出版, 44-50.
- 9) 玖村敦彦, 1968: 大豆の物質生産に関する研究, 第3報, *日作紀*, **37**, 570-582.
- 10) 棟方 研, 1970: 同化箱による圃場群落光合成量測定法について, *農業気象*, **26**, 112-114.
- 11) 武田友四郎, 1960: 作物の瓦斯代謝作用に関する研究(第1報), *日作紀*, **29**, 34-36.
- 12) 武田友四郎・矢島正晴・青木正敏・箱山 晋・斉藤 尚・小野 博, 1976: 水稻個体群における一次生産力推定のための大型同化箱法について, *日作紀*, **45**, 139-150.
- 13) Totsuka, T. and King, K. M., 1970: Measurement of field photosynthesis with an air-conditioned chamber. *Guelph Report of Canadian IBP-PP 1969*, 1-33.
- 14) 宇田川武俊, 1974: 光合成・蒸(発)散測定法, *新編農業気象ハンドブック*, 養賢堂, 789-792.
- 15) 牛島忠広・古川昭雄・米山忠克, 1981: 植物生産過程測定法(生態学研究法講座7), 共立出版.
- 16) 矢吹万寿, 1966: 炭酸ガス環境について(I), *関西ゴルフ連盟グリーン研究所報告集*, **10**, 1-7.
- 17) 矢吹万寿・宮川秀夫, 1970: 風速と光合成に関する研究(第2報), *農業気象*, **26**, 137-141.
- 18) 矢吹万寿, 1980: 作物環境調節法確立の基本的な考え方—葉面境界層と光合成との関係—, *大阪農業*, **18**, 27-31.