darin gesehen werden, daß bei dem Präparat II das Methionin etwa zur Hälfte als Methioninsulfon vorliegt, wogegen bei dem Präparat I diese Oxydationsstufe nicht festgestellt werden konnte.

Wir schließen aus den Versuchen, daß das Protein des MKS-Virus, ähnlich wie bei den kleinen sphärischen RNS-Bakteriophagen⁸, aus einheitlichen Proteinketten aufgebaut ist.

Leider konnten noch nicht so zahlreiche Versuche durchgeführt werden, um eindeutig zu klären, ob die Streuung der Zahlenwerte in der Zusammensetzung der einzelnen Komponenten Ausdruck einer typenspezi-

fischen Unterschiedlichkeit der Proteinzusammensetzung ist, oder ob sie innerhalb des experimentellen Fehlers liegt. Weitere Versuche in dieser Richtung sind in Vorbereitung.

Wir danken Herrn Dr. H. G. WITTMANN, MPI, für molekulare Genetik in Berlin, für wertvolle Unterstützung und für die Möglichkeit, die Proteinuntersuchungen in seinem Institut durchführen zu können und Herrn ADAM und Frau JAKOBS für ihre wertvolle Hilfe bei den Versuchen.

⁸ B. WITTMANN-LIEBOLD, Z. Vererbungsl. **97**, 272 [1965].

Eine Methode zur Bestimmung der reellen CO₂-Photosyntheserate bei höheren Pflanzen

KURT SCHNEIDER

Institut für allgemeine Botanik der Universität Zürich

(Z. Naturforschg. **22 b**, 1364—1365 [1967]; eingeg. am 7. August 1967)

Die apparente Photosyntheserate einer Pflanze ist relativ einfach meßbar. Ihre Auftrennung in die gegenläufigen Raten von reeller Photosynthese und Atmung bereitet jedoch methodische Schwierigkeiten, in welchen wohl der Grund zu den divergierenden Ansichten über das Verhältnis von reeller und apparater Photosynthese liegt. Im folgenden sei zu diesem Thema, unter alleiniger Berücksichtigung des CO₂-Gaswechsels, zusammenfassend eine Modellvorstellung mit den sich aus ihr ergebenden experimentellen Voraussetzungen, deren experimentelle Verwirklichung und die aus ihr gewonnenen Resultate dargestellt.

Für eine direkte Bestimmung der reellen Photosyntheserate erscheint die Verwendung von ¹⁴CO₂ als unerläßlich. Befindet sich eine Pflanze in einer Küvette mit ¹⁴CO₂-haltiger Luft, so besteht zwischen den entscheidenden Größen der in Abb. 1 dargestellte Zusam-

Abb. 1. Schema des CO₂-Austauschs einer Pflanze mit einer ¹⁴CO₂-enthaltenden Küvette in halboffener Gaskreislaufschaltung. Poolbezeichnungen: K: Küvette; S+P: Gesamte Pflanze ohne Wurzeln; P: Direkt mit der Photosynthese verbundene Prozesse. r_i : Flußraten [ml CO₂/h]. a_i : Spezifische Aktivitäten [cpm/ml CO₂]. V_i : Poolvolumina [ml CO₂].

menhang. Ein biochemisch nicht genau zu spezifizierender Pool P in der Pflanze P+P, der aber auf jeden Fall die Hell- und die Dunkelreaktionen der Photosynthese umfaßt, nimmt mit der reellen Photosyntheserate r_P CO₂ aus der Küvette auf. Von P nach K ist hypo-

thetisch eine ¹⁴CO₂-enthaltende Rückreaktionsrate r_R in Rechnung zu stellen, für die verschiedene, durch neu anfallende Photosynthese-Produkte gespeisene Prozesse in Frage kommen: Direkte Rückreaktion, Photorespiration, Photooxidation¹. In den, an den Vorgängen in P nicht unmittelbar beteiligten Pool S der Pflanze entläßt P einen Strom von Photosynthese-Produkten mit der r_S entsprechenden Rate. S wiederum kann mit der Rate r_A CO₂ direkt in die Küvette abgeben, wobei r_A im Dunkeln gleich der Dunkelatemungsrate, im Licht jedoch von unbekannter Größe ist. Die Differenz $r_S - r_A$ ergibt die apparente Photosyntheserate r_N .

Die Flußrate r_E ist experimentell regelbar. Sie bestimmt, auf einen festen Wert eingestellt, abgesehen von weiteren Umweltsfaktoren, als einzige unabhängig variable Flußrate die Höhe, der sich mit der Zeit auf einen konstanten Wert einstellenden CO₂-Küvettenkonzentration. Dem Betrage nach ist dann $r_E = r_N$.

Unter der, durch Dunkelversuche an mit ¹⁴CO₂ gefütterten Pflanzen erhärteten Voraussetzung, daß $a_S \ll a_P$, so daß $r_S \cdot a_A \sim 0$ und der experimentellen Festlegung, daß $a_E = 0$, gilt für K folgende Differentialgleichung:

$$\frac{da_K}{dt} = \frac{1}{V_K} (a_P \cdot r_R - a_K \cdot r_P).$$

Die direkte Bestimmung von r_P ist bei Beachtung folgender Punkte möglich:

1. Die CO₂-Konzentration in der Küvette muß homogen sein.
2. Die Poolvolumina V_i und die Flußraten r_i müssen während des Versuchs konstant bleiben.
3. Existiert die Rückreaktion mit der Rate r_R und erfolgt die Beschickung der Küvette mit ¹⁴CO₂ im Zeitpunkt $t=0$, so kann r_P nur in dem relativ kleinen Zeitintervall Δt_1 von $0 \leq t \leq t_1$, für das $a_P \cdot r_R \sim 0$ gilt, gemessen werden.

Folgendes Vorgehen gestattete die Bestimmung von r_P : r_E ist in einer halboffenen Gaskreislaufschaltung auf einen festen Wert eingestellt. Die r_E entsprechende Menge reines CO₂ strömt durch eine Düse direkt in die Küvette, wo eingebaute Ventilatoren für eine homogene CO₂-Konzentration sorgen. Die CO₂-konzentrationsabhängigen Flußraten ändern sich so lange, bis die Kü-

¹ Hypothesen diskutiert bei J. S. TURNER u. E. G. BRITAIN, Biol. Rev. Cambridge philos. Soc. **37**, 130 [1962].

vettenkonzentration konstant bleibt. Nun erfolgt die Injektion einer geringen Menge von $^{14}\text{CO}_2$ mit hoher spezifischer Aktivität, so daß dadurch die Küvettenkonzentration nicht meßbar beeinflusst wird. Ein integrierendes Zählgerät schreibt die Funktion $a_K(t)$. Stellt man anschließend $\ln a_K(t)$ graphisch dar, so muß der Funktionsverlauf für das Zeitintervall Δt_1 linear sein. Wäre nun die Rückreaktionsrate $r_R = 0$, so bliebe diese Linearität über den ganzen Bereich von t erhalten. In diesem Fall stellte $a_K(t)$ eine reine Exponentialfunktion dar. Existiert hingegen r_R , so stört diese Flußrate nach dem Zeitpunkt t_1 den linearen Verlauf von $\ln a_K(t)$ merklich. Diese Linearitätsabweichung dauert an, bis in einem zweiten Zeitpunkt t_2 $a_K \sim a_P$ gilt. Man erhält dann in einem Zeitintervall Δt_2 für $\ln a_K(t)$ eine zweite Gerade, deren geringere Steigung ein Maß für die Syntheserate r_S darstellt.

Alle CO_2 -Konzentrationsmessungen wurden mit einem URAS durchgeführt. Während der Versuche mit halb-offener Gaskreislaufschaltung zur Messung von $a_K(t)$ kontrollierte er die Konstanz der CO_2 -Konzentration. Außerhalb dieser Versuche registrierte er kontinuierlich in einer offenen Gaskreislaufschaltung die Nettoassimilations- und die Dunkelatemungsrate.

Die Wahl des Objekts fiel aus rein technischen Gründen auf einen Kaffeebaum (*Coffea arabica*, var. Bourbon). Die im vorliegenden Versuch verwendete Kaffeepflanze war 15 Monate alt, 50 cm hoch und besaß mit 16 Blattpaaren eine Blattfläche von 12 dm^2 . Sie befand sich während eines Monats in einer Küvette von 36 l Inhalt, das Wurzelwerk in einem Topf mit Erde außerhalb derselben, unter folgenden Bedingungen: Lufttemperatur $25 \pm 1,0^\circ \text{C}$; Blattemperatur $25 \pm 3,0^\circ \text{C}$; relative Luftfeuchtigkeit $75 \pm 15\%$; Belichtungsdauer pro Tag 11 Std.; Lichtintensität im Küvettenzentrum $10^5 \text{ erg/cm}^2/\text{sec}$; spektrale Lichtintensitätsverteilung entsprechend einer Farbtemperatur von 3200°K gefiltert mit einer Kupfersulfatlösung der Konzentration $57 \text{ g CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O/l}$, 1 cm Schichtdicke; CO_2 -Küvettenkonzentration 40–200 ppm.

Die Resultate sind in Abb. 2 zusammengestellt.

Versteht man unter der Lichtatmung die gesamte Menge des bei laufender Photosynthese ausgestoßenen CO_2 , so entspricht ihre Größe der Differenz zwischen reeller und apparater Photosyntheserate: $r_P - r_N$. Abb. 2 zeigt, daß sie sich aus den beiden Anteilen $r_P - r_S$ und $r_S - r_N$ zusammensetzt. Entscheidend ist die Frage, ob die Pflanze mit diesen Differenzraten markiertes CO_2 ausstößt. Dieser Anteil, der linear von der realen Photosyntheserate r_P abhängig ist, gehört somit zur Rückreaktionsrate r_R . Die von der Photosyntheseleistung unabhängige Differenz $r_S - r_N$ ist dem Betrage nach ähnlich der Dunkelatmung. Es ist nicht mit Sicherheit zu entscheiden, ob der $r_S - r_N$ zugehörige

Abb. 2. Flußraten r_i in Abhängigkeit der CO_2 -Küvettenkonzentration C_K bei *Coffea arabica*; positiv Aufnahme, negativ Abgabe durch Pflanze. r_P : Reelle Photosynthese. r_S : Effektive Leistung der Photosynthese. r_N : Apparente Photosynthese. r_D : Dunkelatmung. Bedeutung der Meßpunktsymbole: ● Aus Aktivitätsabfall $a_K(t)$ im halboffenen Gaskreislauf berechnet; ○ Werte für r_E ; ○ r_N im offenen Gaskreislauf; ■ an Markierungsversuche anschließende Dunkelatmung; ● Dunkelatmung im offenen Gaskreislauf. Alle Werte gehören zur selben Pflanze und verteilen sich auf die Versuchsdauer von einem Monat.

Prozeß aus neu anfallenden, markierten Photosyntheseprodukten gespeist wird und somit ebenfalls r_R zuzurechnen ist oder ob diese Differenz einer von der Photosynthese nicht direkt beeinflussten Atmung mit der Rate r_A entspricht.

In drei Versuchen zeichneten sich in der Darstellung von $\ln a_K(t)$ drei lineare Bereiche ab, die die Annahme nahe legen, daß mit $r_S - r_N$ ein Ausstoß von $^{14}\text{CO}_2$ verbunden ist. Da die jeweiligen an einen Markierungsversuch anschließend gemessene Dunkelatmung nie einen meßbaren Ausstoß von $^{14}\text{CO}_2$ zeigte, müßte man aus der obigen Annahme schließen, daß im Licht die Atmungsprozesse ihr Substrat direkt aus P erhalten, daß $r_A = 0$ gilt und sich somit die Atmungsprozesse im Licht ihrer Natur nach wesentlich von denjenigen im Dunkeln unterscheiden.

Eine Publikation mit ausführlichen theoretischen und methodischen Darlegungen befindet sich in Vorbereitung.