

## PIŚMIENNICTWO

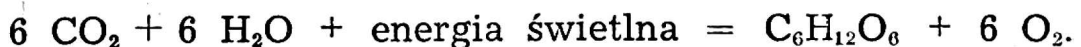
- 1) J a q u e. Irish. Am. J. Physiol. **143** 47 (1945)  
L i n k. J. Biol. Chem. **145** 155 (1942).  
Q u i c k. Physiol. Rev. **24** 297 (1944) J. Biol. Chem. **161** 33 (1945) Am.  
J. Physiol. **151** 63 (1947)  
O v e n. Proc. Soc. Expl. Biol. Med. **67** 231 (1948) C. A. **42** 4660a (1948)  
A n d r e j e n k o, Dokłady Akad. Nauk. **61** 1117 (1948)
- 2) D a m Nature **161** 1010 (1948)
- 3) Monografie H. R. Rosenberg-Chemistry and Physiology of the Vita-  
mins. (1945)  
B. A. Kudriaszow-Biologiczeskie osnovy uczenia o witami-  
nach (1948)
- 4) S t a h m a n n, Hübner, Link J. Biol. Chem. **153** 5 (1944) J. Am. Chem.  
Soc. **66** 900 (1944)  
F u c i k, Prochazka.  
Bull. Soc. Chim. France. **16** 99, 609, 626 (1949)  
M e n t z e r, Meunier.  
Bull. Soc. Chim. Biol. **25** 379 (1943)  
Helv. Chim. Acta. **29** 1291 (1946)  
Bull. Soc. Chim. France **11** 171 (1944) **16** 749 (1949)  
Gruessner Jubille Vol. E. Barell 238—252 (1946)
- 5) Biuletyn Głównego Instytutu Chemii Przemysłowej maj 1950

P. STREBEYKO

### WYDAJNOŚĆ KWANTOWA FOTOSYNTAZY

(Z Zakładu Fizjologii Roślin Uniwersytetu Warszawskiego).

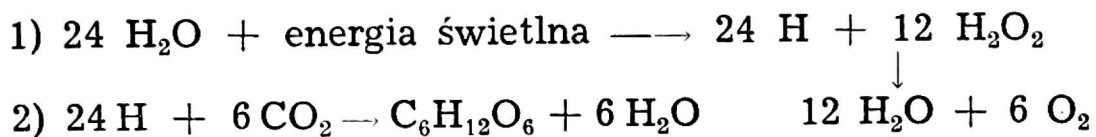
Asymilacja dwutlenku węgla jest procesem fotochemicznym i przebiega według empirycznego równania:



Jest to proces odwrotny do oddychania, a że utlenienie 1 mola glukozy wydziela przy stałym ciśnieniu w temperaturze 298° K 674 Kal, więc przez odwrotną analogię przyjęto, że proces fotosyntezy pochłania 674 Kal w formie energii świetlnej, na 1 mol wytworzonej glukozy lub 112 Kal na 1 mol zasymilowanego dwutlenku węgla.

Na podstawie prac Rubena (1939), Van Niela (1931—1941). i innych dochodzimy do przekonania, że w reakcjach fotochemicznych tego skomplikowanego procesu rozkładowi ulega nie

dwutlenek węgla, jak dawniej sądzono, lecz woda, a dopiero uwolniony wodór redukuje dwutlenek węgla w reakcjach bezświatlnych. Wobec tego dokładniejszy schemat fotosyntezy przedstawiałby się następująco:



W syntezie cząsteczki cukru bierze udział oczywiście tylko 6 cząsteczek wody, ale przejściowo byłyby w tym procesie zaangażowane 24 cząsteczki wody, co pociąga za sobą konieczność zrewidowania naszych dotychczasowych poglądów na zużycie energii przy asymilacji dwutlenku węgla. Dotychczas jednak nikt tego zagadnienia nie poruszył. Rabinowitch (1945), w monografii poświęconej fotosyntezie przedstawia ten proces w sposób następujący:



czyli zupełnie według dawnego schematu. Franck i Loomis (1949) w podobnej monografii poświęcają cztery rozdziały zagadnieniu energetyki fotosyntezy, lecz podają metodykę i wyniki pomiarów wydajności kwantowej fotosyntezy bez teoretycznego uzasadnienia. Wydaje się, że obecny stan wiedzy pozwala już na bardziej ogólne sformułowanie tego zagadnienia.

Ciepło rozkładu wody w stanie pary na atom wodoru i rodnik wodorotlenowy przy stałym ciśnieniu w temperaturze 298° K wynosi według Syrkina (1946) 119,5 Kal na mol. Oderwanie 24 atomów wodoru wymagałoby więc 2868 Kal, czyli przeszło cztery razy więcej, niż podawano dotychczas. Przeważająca część tej energii musi ulec rozproszeniu i nie może być wykorzystana do rozkładu następnych cząstek wody, gdyż jest to proces fotochemiczny. Tylko niektóre mikroorganizmy posiadają zdolność asymilowania dwutlenku węgla bez udziału światła dzięki wykorzystaniu energii chemicznej innych reakcji. Nic nie wskazuje na to, aby i rośliny zielone posiadały taką właściwość. Jeżeli zaś przyjmiemy, że rośliny zielone rozkładają wodę tylko przy pomocy energii świetlnej, to wydzielona przy tym energia cieplna nie może być użyta do następnych reakcji rozkładu wody. Tych dwóch form energii bilansować

nie można. Dostarczona musi być energia świetlna, a wydziela się energia cieplna, która może być wykorzystana tylko w zwykłych reakcjach bezświetlnych, lecz nie w fotochemicznych.

Na pozór stanowiłoby to nieoszczędne gospodarowanie energią przez roślinę, ale to jest zjawisko normalne. W procesie transpiracji roślina traci kilkadziesiąt razy więcej energii niż jej zużywa do procesu fotosyntezy, a więc wydzielone przy tym ciepło może służyć do zamiany wody ciekłej w parę i będzie stanowiło tylko nieznaczną część energii wydzielonej przez roślinę w procesie fizjologicznego parowania. Jeżeli nowy schemat słuszny i jeżeli rozkład wody jest reakcją wyłącznie fotochemiczną, to zapotrzebowanie energii świetlnej wyrażone w Kaloriach musi wynosić dla 1 mola rozłożonej wody lub jednego gram-atomu uwolnionego wodoru 119,5 Kal; dla 1 mola zasymilowanego dwutlenku węgla wyniesie ono 478 Kal, a dla 1 mola glukozy 2868 Kal. Energia ta musi być dostarczona roślinie w odpowiedniej ilości kwantów energii świetlnej, pochłanianych przez cząsteczki w kolejnych reakcjach fotochemicznych.

Wielkość kwantu energii wyraża iloczyn częstotliwości światła ( $\nu$ ) przez stałą Plancka ( $h$ ):  $e = h \cdot \nu$  Mol kwantów ( $E$ ) posiada  $6,02 \cdot 10^{23}$  razy więcej energii. Częstotliwość fali możemy zastąpić jej długością  $\lambda$ , gdyż  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , gdzie  $c$  oznacza szybkość światła. Jeżeli ergi zamienimy w kalorie kilogramowe, a szybkość światła i długość fali wyrazimy w mikronach ( $\mu$ ), wówczas wzorowi Plancka nadamy bardzo dogodną formę użytkową, mianowicie energia 1 E =  $\frac{28,5}{\lambda}$  Kal. Np. dla fali długości 0,4  $\mu$  E = 71 Kal, a dla fali 0,8  $\mu$  E = 35,5 Kal.

Reakcja fotochemiczna może zajść tylko wówczas, jeżeli foton działającego światła wniesie dostateczną ilość energii, to znaczy, jeżeli fala świetlna jest dostatecznie krótka. Każda reakcja fotochemiczna ma swoje minimum energii fotonu, czyli maximum długości fali świetlnej. Przy falach dłuższych reakcja nie zachodzi. Jaka jest graniczna długość fali dla procesu fotosyntezy, nikt jeszcze nie ustalił. W drugiej połowie ubiegłego i w początkach bieżącego stulecia, nie znając jeszcze kwantowego charakteru energii świetlnej poszukiwano optimum długości fali dla procesu fotosyntezy, a przy tym notowano również

dolną i górną jej granicę. Z krytycznego przeglądu tych obserwacji wynika, że największa długość fali, od której się fotosynteza rozpoczyna wynosi 0,700 — 0,718  $\mu$ . W moich wstępnych doświadczeniach wykonanych w Zakładzie Fizyki Doświadczalnej U. W. otrzymałem jako graniczną długość fali 0,697  $\mu$ . Maximum długości fali dla procesu fotosyntezy wynosi około 0,7  $\mu$ , co odpowiada 40,7 Kal w 1 molu kwantów. Z tego wynika, że do fotochemicznego rozkładu 1 mola wody (119,5 Kal) potrzebne są conajmniej 3 mole kwantów, a do rozkładu 1 cząsteczki wody — 3 kwanty energii świetlnej. Ponieważ w redukcji cząsteczki dwutlenku węgla zgodnie z nowym schematem biorą udział 4 atomy wodoru, więc asymilacja dwutlenku węgla powinna być procesem conajmniej 12 kwantowym, czyli jego wydajność kwantowa powinna wynosić 0,083 (3), a synteza 1 mola glukozy wymagałaby 72 kwantów. Potwierdzenie tego obliczenia znajduję w ostatnich wynikach badań nad wydajnością kwantową fotosyntezy. Emerson i Lewis (1941), Moore i Duggar (1949), Rieke (1941) i Arnold (1937) stwierdzili, że fotosynteza pochłania 10 — 12 kwantów na 1 mol dwutlenku węgla. Pewne wahania wyników są nieuniknione, sięgają one czasem i 20 kwantów. Zupełnie inną wydajność kwantową (0,25) znajduje Warburg, który pierwszy rozpoczął te badania w roku 1922. Według Warburga proces fotosyntezy pochłania tylko 4 kwanty na 1 cząsteczkę dwutlenku węgla. Poza pewnymi zastrzeżeniami wysuwanymi przez innych autorów należy zwrócić uwagę na to, że Warburg jako źródła dwutlenku węgla używa  $\text{CO}_2$  gazowego w stężeniu 5%, którym nasycy roztwór. Jest to koncentracja 166 razy wyższa niż w naturalnej atmosferze. W ostatniej swej publikacji (Biochem. et Biophys. Acta Vol. 4, 1950), Warburg potwierdza wydajność kwantową 0,25, lecz jednocześnie otrzymał i znacznie mniejszą wydajność, odpowiadającą przeszło 11 kwantom, gdy jako źródła dwutlenku węgla użył dwuwęglanów, jak to robi Emerson.

Dodać należy, że dla fotosyntezy, która się odbywa w olbrzymiej skali na morzach i oceanach, źródłem dwutlenku węgla są właśnie dwuwęglany. Polska również mogłaby wziąć udział w rozwiązaniu tego problemu. Badania należałoby przeprowadzić na organizmach morskich.