

BBA 75408

DER EINFLUSS DER LICHTINTENSITÄT UND
DER SAUERSTOFFSPANNUNG AUF DIE DIFFERENZIERUNG DER
MEMBRANEN VON *RHODOSPIRILLUM RUBRUM*

J. OELZE UND G. DREWS

Lehrstuhl für Mikrobiologie, Institut für Biologie II der Universität Freiburg i. Br. (Deutschland)

(Eingegangen am 25. September, 1969)

(Revidiertes Manuskript eingegangen am 2. Februar, 1970)

SUMMARY

The effect of light intensity and of oxygen pressure on the differentiation of membranes in Rhodospirillum rubrum

1. Cells of *Rhodospirillum rubrum* precultured at low light intensity were exposed to moderate (4000 lux) and then to low (400 lux) light intensities for 5 and 4 h, respectively. During culture under moderate light intensity oxygen within the freshly diluted culture is consumed. Under these conditions growth continues without bacteriochlorophyll synthesis.

2. During exposure to 4000 lux the thylakoids undergo a change from a spherical into a flattened structure. This change is reversed after exposure to 400 lux.

3. Within cells precultured at low light intensity the radioactive label of incorporated [2-¹⁴C]acetate is equally distributed between thylakoids and cytoplasmic membrane. Under moderate light intensity the label is preferentially increased in the cytoplasmic membrane fraction. However, equal distribution is again obtained after lowering the light intensity.

4. The specific bacteriochlorophyll content of thylakoids decreases under moderate light intensity from 100 to 45 µg bacteriochlorophyll per mg protein and increases during the period of low light intensity up to 80 µg bacteriochlorophyll per mg protein.

5. During incubation under 4000 lux the different thylakoid proteins approach a pattern which is typical for the cytoplasmic membrane. Radioactive labeled amino acids are preferentially incorporated into proteins which are characteristic of the cytoplasmic membrane. The protein pattern of this modified membrane again becomes typical for thylakoids during the following exposure to 400 lux. This, too, is in agreement with the preferential amino acid incorporation into thylakoid-specific proteins.

6. The results indicate that thylakoids and the cytoplasmic membrane represent reversible modifications of a dynamic membrane system.

EINLEITUNG

Das bakterielle Thylakoidsystem entsteht durch Einfaltung der cytoplasmatischen Membran in das Innere der Zelle. Dieser Vorgang wurde zunächst an Hand

elektronenmikroskopischer Aufnahmen beschrieben¹⁻³, da in den Bildern Verbindungen zwischen der cytoplasmatischen Membran und den Thylakoiden festgestellt werden konnten. Neuere Untersuchungen an *Rhodospseudomonas spheroides* und *Rhodospirillum rubrum* über Phospholipide⁴, Enzyme⁵ und Proteinkomponenten⁶ der Membranen, sowie radioaktive Markierungen⁷ bestätigen die cytologischen Beobachtungen. Darüber hinaus zeigen die Experimente Ergebnisse über die Synthese und den Aufbau der Thylakoidmembranen. Es konnte festgestellt werden, dass die Thylakoide durch Differenzierung der cytoplasmatischen Membran entstehen^{5,8}. Der Vergleich der Membranen aus phototroph und heterotroph gewachsenen Zellen von *R. rubrum* ergab, dass sich die Proteinbausteine der cytoplasmatischen Membran von denen der Thylakoide vorwiegend quantitativ unterscheiden⁹. Alle Proteine, die in der cytoplasmatischen Membran vorkommen, sind wahrscheinlich auch in den Thylakoiden vorhanden. Nach den vorliegenden Ergebnissen scheinen alle Proteinbausteine katalytische Funktion zu haben. Ein Strukturprotein, das den in der Literatur beschriebenen Kriterien gehorcht¹⁰, konnte aus Membranen von *R. rubrum* nicht isoliert werden⁹. Die Differenzierung der cytoplasmatischen Membran zur Ausbildung der Thylakoide besteht demnach in einer Änderung des vorhandenen Proteinmusters durch bevorzugte Synthese und Einlagerung einiger dieser Membranproteine. Hiermit verbunden wächst das Membransystem und stülpt sich in das Zellinnere ein.

In der vorliegenden Mitteilung wird untersucht, ob auch die Umkehr der Thylakoidbildung möglich ist. Hierzu dient die bereits beschriebene Versuchsanordnung, thylakoidreiche Zellen einem Wechsel der Kulturbedingungen (4000 \leftrightarrow 400 Lux) auszusetzen. Während der Beleuchtung mit 4000 Lux und der Gegenwart von Sauerstoff bilden die Kulturen kein Bacteriochlorophyll²⁰, zeigen jedoch ausgeprägtes Wachstum⁷. Die Thylakoide sollten in diesem Fall zurückgebildet werden und Eigenschaften der cytoplasmatischen Membran erlangen. Als Kriterien hierfür werden elektronenmikroskopische Aufnahmen von Schnitten durch ganze Zellen von *R. rubrum*, die Veränderungen der Proteinmuster der Membranfraktion, sowie die Kinetik des Umbaus radioaktiv markierter Membranen gewertet. Die Versuche ergaben in der Tat eine Differenzierung der Thylakoide in Richtung Cytoplasmamembran unter den genannten Bedingungen.

MATERIAL UND METHODEN

R. rubrum, Stamm FR1, wurde wie früher beschrieben kultiviert^{6,7}. Der Proteingehalt wurde nach LOWRY *et al.*¹¹ ermittelt, Bacteriochlorophyll wurde im Methanolextrakt unter Verwendung des spezifischen Absorptionskoeffizienten von SMITH UND BENITEZ¹² bestimmt. Zur Markierung der Membranen mit [2-¹⁴C]Azetat (Radiochemical Centre, Amersham, England) wurden die Zellen mit 10 μ C [2-¹⁴C]-Azetat pro 50 ml Nährlösung bei 4000 Lux vorkultiviert. Die Nährlösung für diese Experimente enthielt einen Zusatz von 0.1 % Natriumazetat. Nach 20–24 Std wurden die dicht bewachsenen Kulturen abzentrifugiert, mit Nährlösung gewaschen und mit einer Impfdichte von 0.03 mg Protein pro ml Nährlösung suspendiert. Die Kulturen wurden dann in 50 ml Schraubdeckelflaschen 5 Std bis zum Verbrauch des Sauerstoffs bei 4000 Lux und daran anschliessend 4 Std anaerob bei 400 Lux bebrütet. Der O₂-Partialdruck wurde mit der Beckman Sauerstoffelektrode gemessen.

Die Markierung der Membranproteine mit ^{14}C -markiertem Proteinhydrolysat (Radiochemical Centre Amersham, England) erfolgte durch Zugabe von 100 μC Proteinhydrolysat pro 400 ml dünn beimpfter Kultur kurz vor der Inkubation bei 4000 Lux. Der Lichtwechsel und die Inkubation dazu wurden wie oben beschrieben durchgeführt. Die Methoden zur Isolation und Reinigung der Membranen im Ficoll-Gradienten (Ficoll: Pharmacia, Uppsala, Schweden) und die Fraktionierung des Gradienten finden sich in vorangegangenen Mitteilungen⁶⁻⁸.

Die Messung der Radioaktivität in den einzelnen Fraktionen der Gradienten erfolgte nach HALL UND COCKING¹³ im Scintillations-Zähler (Packard, Modell 3003). Die mit Proteinhydrolysat radioaktiv markierten Membranen wurden nach der von BAUM *et al.*¹⁴ modifizierten Methode von TAKAYAMA *et al.*¹⁵ in ihre Proteinbausteine zerlegt und durch Elektrophorese in Polyacrylamid 90 Min getrennt. Die Proteine wurden durch 0.5 % Amidoschwarz B (Serva) in 7.5 % Essigsäure angefärbt und mit 7.5 % Essigsäure differenziert. Nach dem Entfärben wurden die Proteinzonen densitometrisch vermessen und die Gelsäulen durch Längsschnitte¹⁶ in Streifen zerlegt. Die Gelstreifen wurden auf Filterpapier getrocknet und anschliessend mit Röntgen-Film (Agfa-Gevaert, Belgien) zur Autoradiographie bedeckt. Die Filme wurden 4 Tage bei 5° inkubiert. Nach dem Entwickeln wurden die radioaktiven Proteinzonen an Hand der Schwärzungen auf dem Film densitometrisch registriert.

Zur elektronenmikroskopischen Untersuchung wurden die Zellen nach KELLENBERGER *et al.*¹⁷ fixiert, mit Äthanol entwässert und in Epon 812 eingebettet. Die mit dem LKB-Ultratom hergestellten Dünnschnitte wurden nach KARNOVSKY¹⁸ mit Pb^{2+} nachkontrastiert und im Elmiskop 1A (Siemens) betrachtet.

ERGEBNISSE

Elektronenmikroskopische Untersuchungen

Wie im methodischen Teil beschrieben, wurden die thylakoidhaltigen, im Schwachlicht angezogenen Zellen zunächst aerob 5 Std bei 4000 Lux und anschliessend anaerob 4 Std bei 400 Lux kultiviert. Während dieses Wechsels ist eine ausgeprägte Veränderung in der Ultrastruktur der Zellen erkennbar. In Fig. 1 ist ein Schnitt durch Zellen von der Ausgangskultur (Schwachlicht) dargestellt. Die Thylakoide sind in diesen Zellen normal als Vesikel ausgebildet. Stark verändert ist dagegen das Bild der Zellen nach 5 Std Wachstum bei 4000 Lux (Fig. 2). In dieser Zeit sind die Kulturen ohne eine messbare Bacteriochlorophyll-Synthese auf das Dreifache angewachsen⁷. In den Zellen verschwinden die typischen sphärischen Thylakoide. Es sind statt dessen vorwiegend abgeflachte Membranstrukturen im peripheren Teil der Zellen erkennbar. Nach anaerober Kultur bei 400 Lux sind die Thylakoide wieder normal ausgebildet (Fig. 1).

Die Markierung der Membranen mit $[2-^{14}\text{C}]$ Azetat

Während der Vorkultur haben die Zellen $[2-^{14}\text{C}]$ Azetat in die durch Zentrifugation im Ficoll-Gradienten isolierbare leichte und schwere Membran-Fraktion gleichmässig eingebaut (Fig. 3). In der schweren Fraktion befinden sich die Thylakoide, während in der leichten Fraktion Teile der cytoplasmatischen Membran nachgewiesen werden konnten⁶. Nach Bestrahlung mit 4000 Lux wird die Radioaktivität in die leichte Fraktion verlagert. Während dieser Zeit befinden sich die Zellen unter

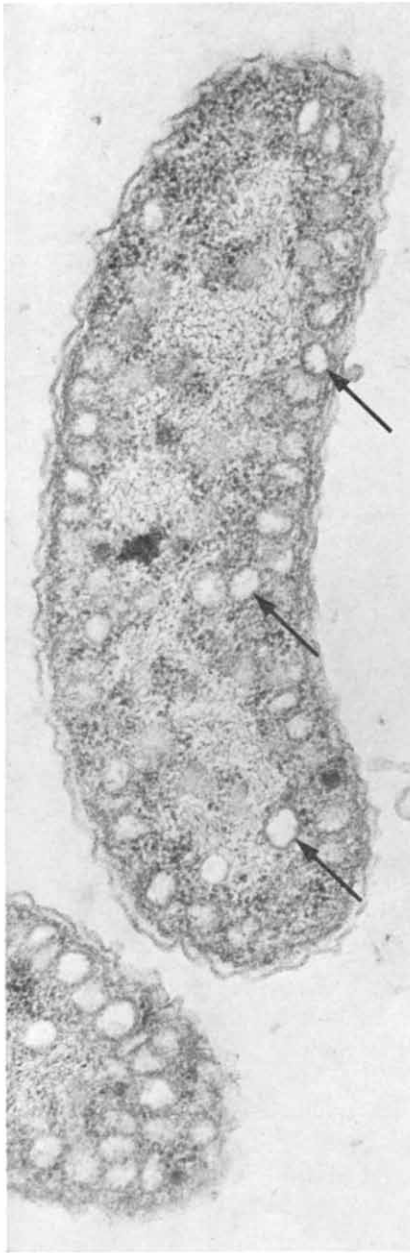


Fig. 1. Die Ultrastruktur von *R. rubrum*. Die Zellen wurden 24 Std anaerob bei Schwachlicht kultiviert. →, Thylakoide. $\times 75000$.

Fig. 2. Die Ultrastruktur von *R. rubrum*. Die Zellen wurden 24 Std anaerob im Licht und anschließend 5 Std aerob in dünner Suspension bei 4000 Lux kultiviert. →, abgeflachte Vesikel. $\times 75000$.

pulse-chase-Bedingungen; sie wachsen in einem kalten Medium mit 0.1 % Natriumazetat. Die Menge der in die partikuläre Fraktion eingebauten Radioaktivität wird während der 5-Std Kultur bei 4000 Lux nicht verändert. Zu Beginn wurden 61 % der insgesamt aufgenommenen Aktivität in der Gesamtmembranfraktion gemessen

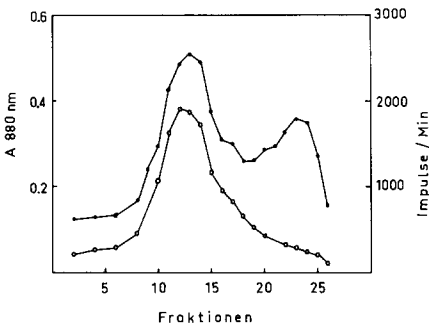


Fig. 3. Verteilung der Radioaktivität auf die Fraktionen des Ficoll-Gradienten aus einer 24 Std anaerob im Licht mit $[2\text{-}^{14}\text{C}]$ -Azetat inkubierten Kultur von *R. rubrum*. ○—○, $A_{880\text{ nm}}$; ●—●, Impulse/Min.

und am Ende 64 %. Ein die Versuchsergebnisse beeinflussender turn-over der radioaktiven Phospholipide ist aus diesem Grunde mit Sicherheit ausschliessbar. Im Gradientendiagramm ist dies daran erkennbar, dass die Aktivität pro Bacteriochlorophyll ($A_{880\text{ nm}}$) in der Thylakoidfraktion konstant bleibt. In der anschliessenden Schwachlichtkultur (400 Lux) wird der hohe Aktivitätsgipfel in der leichten Fraktion stark erniedrigt (Fig. 4 und 5).

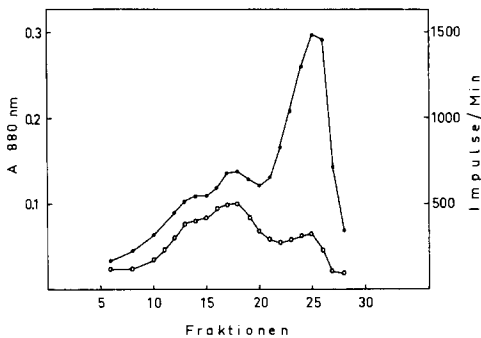


Fig. 4. Verteilung der Radioaktivität auf die Fraktionen des Ficoll-Gradienten aus einer Kultur von *R. rubrum*, die wie bei Fig. 3 vorkultiviert wurde. Nach dem Waschen wurde diese Kultur weitere 5 Std aerob bei 4000 Lux bebrütet. Zeichenerklärung vergleiche Fig. 3.

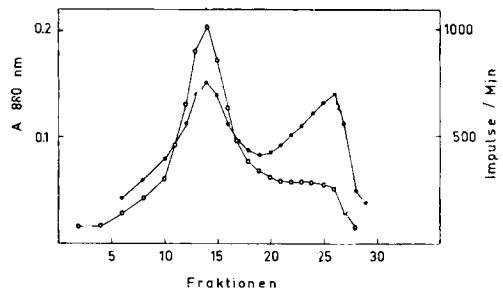


Fig. 5. Verteilung der Radioaktivität auf die Fraktionen des Ficoll-Gradienten, Kultur: Vorbebrütung wie bei Fig. 3, nach 5 Std Wachstum bei 4000 Lux wurde die Kultur weitere 4 Std bei 400 Lux bebrütet. Zeichenerklärung vergleiche Fig. 3.

Der spezifische Bacteriochlorophyll-Gehalt der Thylakoide

Zu drei Zeiten während des Lichtwechsels wurden die Thylakoide aus den Zellen isoliert und ihr spezifischer Chlorophyll-Gehalt gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle I zusammengestellt. Zu Beginn der Inkubation bei 4000 Lux besitzen die

Thylakoide, bedingt durch die Vorkultur bei Schwachlicht, einen hohen Pigmentgehalt von 100 μg Bacteriochlorophyll pro mg Membranprotein. Nach 5 Std Bebrütung sinkt dieser Wert auf 45 ab und steigt während der 4 Std. bei 400 Lux wieder bis 80 μg Bacteriochlorophyll pro mg Protein an. Während der 5 Std bei 4000 Lux wird die Sauerstoff des Kulturmediums verbraucht.

TABELLE I

DIE ÄNDERUNG DES SPEZIFISCHEN BACTERIOCHLOROPHYLL-GEHALTS IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN KULTURBEDINGUNGEN (VORBEBRÜTUNG SCHWACHLICHT)

Lichtintensität (Lux)	Zeit (Std)	p_{O_2} (mm Hg)	Bacteriochlorophyll ($\mu\text{g}/\text{mg}$ Thylakoidprotein)
4000	0	120–140	100
	5	0–10	45
400	9	0	80

Die Proteinmuster der Thylakoidfraktionen

Die Thylakoide wurden vor und nach der 5 Std Inkubation bei 4000 Lux, sowie nach 4 Std bei 400 Lux isoliert, in ihre Proteinbausteine zerlegt und durch Elektrophorese getrennt. Fig. 6a zeigt das für Thylakoide typische Proteinmuster vor Bestrahlung der Zellen mit 4000 Lux. Charakteristisch scheinen die im Diagramm

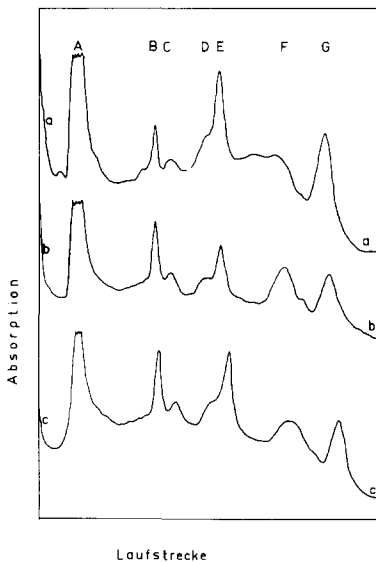


Fig. 6. *R. rubrum* wurde unter Lichtwechsel angezogen. Nach jeder Lichtperiode wurden die Thylakoide im Ficoll-Gradienten isoliert, in Phenol-Harnstoff-Eisessig (2:1,2:1, w/w/v) aufgespalten und durch Gelelektrophorese getrennt. Die Lage der angefärbten Protein zonen wurde durch Densitometrie ermittelt. A–G = proteinhaltige Zonen. (a) Thylakoide aus Zellen, die 24 Std bei Schwachlicht kultiviert wurden. Anschließend wurden die Kulturen verdünnt und mit 4000 Lux bestrahlt. Ein Teil wurde nach 5 Std bei 4000 Lux (b), der Rest dagegen nach weiteren 4 Std bei 400 Lux (c) zur Thylakoid-Isolation aufgearbeitet.

als stärkere Gipfel hervortretenden Proteine der Zonen B, E und G zu sein. Die Proteine der Zone E dominieren. Nach Bebrütung bei 4000 Lux sind die Gipfel E und G deutlich reduziert (Fig. 6b), die Zonen B und F sind dagegen stärker geworden. In der anschließenden Schwachlichtkultur werden offensichtlich die Proteine der Zone E wieder stärker gebildet (Fig. 6c). Die Ausbildung der Zone A ist nicht signifikant, diese Zone wird deshalb von der Betrachtung ausgeschlossen.

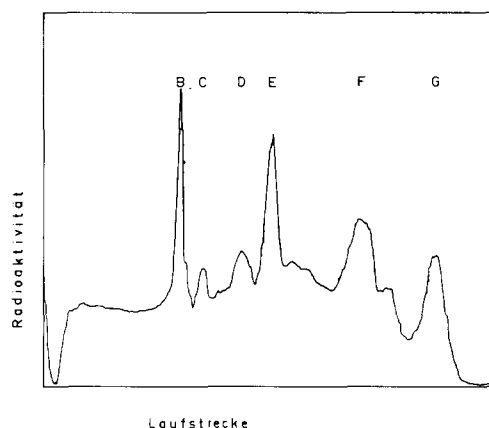
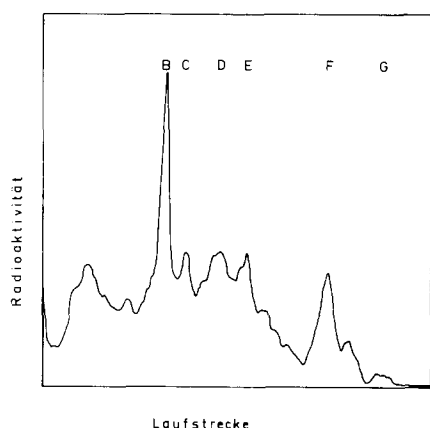


Fig. 7. Densitometrisch ausgemessenes Radioautogramm über die durch Disc-Elektrophorese getrennten Proteine der Ficoll gereinigten Thylakoide. Die Kulturen von *R. rubrum* wurden wie bei Fig. 6b kultiviert. ^{14}C -markiertes Proteinhydrolysat wurde den Kulturen vor der Inkubation bei 4000 Lux zugesetzt. Zeichenerklärung vergleiche Fig. 6.

Fig. 8. Densitometrisch ausgemessenes Radioautogramm über die durch Disc-Elektrophorese getrennten Proteine der Ficoll gereinigten Thylakoide. Die Kulturen von *R. rubrum* wurden wie bei Fig. 6c kultiviert. Einsatz des ^{14}C -markierten Proteinhydrolysat wie bei Fig. 7. Zeichenerklärung vergleiche Fig. 6.

Radioaktive Markierung der Thylakoide mit (^{14}C -markiertem) Proteinhydrolysat

Die Tendenz einer verstärkten Synthese von Proteinen der Zone B aerob unter 4000 Lux (Fig. 6b) wird nach radioaktiver Markierung besonders deutlich (Fig. 7). Aber auch in die übrigen Fraktionen, vor allem D und F, wird Radioaktivität inkorporiert (Fig. 7). Dagegen werden die Proteine der Zonen E und G offenbar nur in sehr geringem Umfang synthetisiert (Fig. 6b und 7). Die nachfolgende anaerobe Kultur unter 400 Lux bewirkt, dass nun die Synthese der Proteine in Zone E und G verstärkt einsetzt (Fig. 8).

DISKUSSION

Werden Zellen von *R. rubrum* mit hohem Bacteriochlorophyll-Gehalt unter aeroben Bedingungen einer erhöhten Lichtintensität (4000 Lux) ausgesetzt, so wird vorübergehend kein Pigment synthetisiert²⁰. Das Wachstum der Kultur dagegen läuft unter der genannten Bedingung weiter. Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Schnitten durch Zellen aus diesen Kulturen zeigen, dass die Zahl der Thylakoide in den Zellen abnimmt und dass sich ihre Form verändert (Fig. 1, 2). Aus den sphärischen Vesikeln werden abgeflachte Strukturen im peripheren Teil der Zellen. Es ist bisher nicht bekannt, welche Faktoren für die Formgebung der Thylakoide ausschlaggebend

sind. Auf jeden Fall aber müssen sich diese Faktoren während der betrachteten Inkubation geändert haben. Hinweise dafür, dass die Thylakoide nicht nur ihre Form, sondern auch ihre Funktion ändern, finden sich in den folgenden Ergebnissen.

Die Verschiebung der Radioaktivität in den durch $[2\text{-}^{14}\text{C}]$ Azetat markierten Phospholipiden⁷ der Membranen von der Thylakoidfraktion in die Fraktion der cytoplasmatischen Membran (Fig. 3, 4) lässt darauf schliessen, dass die Thylakoide während der 5 Std bei 4000 Lux zum Teil rückgebildet und in cytoplasmamembran-ähnliche Strukturen umgewandelt werden. Die anschliessende Bestrahlung mit 400 Lux lässt dann wieder die Radioaktivität in der cytoplasmatischen Membran absinken (Fig. 5) und, wie früher⁷ bereits gezeigt werden konnte, in der Thylakoidfraktion wieder ansteigen. Es wurden also Thylakoide neu synthetisiert.

Die Verschiebung der Radioaktivität könnte besonders während der aeroben Periode bei 4000 Lux als ein Verfall der Thylakoide und eine Neusynthese der Cytoplasmamembran aus den Thylakoidbausteinen gedeutet werden. Es gibt jedoch wesentliche Gründe, die gegen diese Annahme sprechen. Wie in den Ergebnissen beschrieben, bleibt die Menge an eingebauter Radioaktivität in der Gesamtmembranfraktion während der 5 Std konstant. Dies dürfte jedoch nicht der Fall sein, wenn Komponenten der aufgelösten Thylakoidmembran dem Aufbau der Cytoplasmamembran dienen. Es wäre in diesem Fall ein Absinken der partikelgebundenen Radioaktivität bedingt durch Neusynthese aus kaltem Azetat während des 'pulse-chase' zu erwarten. Ein quantitativer Austausch der Aktivität unter Umgehung des Cytoplasmas innerhalb der Rohmembranfraktion ist jedoch nur dann zu verstehen, wenn die isolierten Partikel *in vivo* Teile eines einzigen Membransystems sind, in dem sie ineinander überführt werden können.

In den Thylakoiden selbst nimmt der spezifische Bacteriochlorophyll-Gehalt während der 5 Std bei 4000 Lux ab und steigt bei Bestrahlung mit 400 Lux wieder an (Tabelle 1). Dieses Absinken des spezifischen Bacteriochlorophyll-Gehalts in der Thylakoidfraktion könnte durch Abbau von Bacteriochlorophyll bewirkt werden. Das ist jedoch unwahrscheinlich, weil sich die Gesamtmenge an Bacteriochlorophyll in der Kultur während der 5 Std bei 4000 Lux nicht ändert⁷. Auch konnte ohne vorherige Zerstörung der Thylakoide kein Pigment ausser an Membranen gebunden isoliert werden¹⁹. Nach den experimentellen Daten ist vielmehr das scheinbare Absinken des Bacteriochlorophyll-Gehalts in den Thylakoiden durch einen Anstieg der Proteinmenge bedingt. Die Erhöhung des Pigment-Gehalts in den Thylakoiden unter Bestrahlung mit 400 Lux dagegen ist durchaus mit einer Neusynthese von Bacteriochlorophyll zu erklären, da der Pigment-Gehalt unter diesen Bedingungen in den Zellen ansteigt⁷.

Die Daten aus den gelelektrophoretischen Untersuchungen der Thylakoidproteine zeigen, dass sich die Proteinmuster der Thylakoide während des Lichtwechsels in charakteristischer Weise verändern. So ähnelt die Verteilung der Proteinbausteine in Thylakoiden 5 Std nach Erhöhung der effektiven Lichtintensität (Fig. 6a) mehr der Proteinverteilung von Membranen aus thylakoidlosen Dunkelzellen⁹. Das Proteinmuster wird also ähnlich dem der cytoplasmatischen Membran. Die Radioaktivitätsverteilung in den Gelen lässt erkennen, dass unter diesen Bedingungen die Proteine der Zonen B und F bevorzugt synthetisiert werden (Fig. 7). Nach 4 Std bei Schwachlicht dagegen liegt die Proteinsynthese vornehmlich auf Seiten der Komponenten in den Zonen E und G (Fig. 6c, 8). Diese Proteine dominieren in normalen Thylakoiden

(Fig. 6a). Offenbar stehen also die Proteine E und G mit der Ausbildung des Photosynthese-Apparates in Verbindung. Zusammenfassend bedeuten diese Ergebnisse, dass Cytoplasmamembran und Thylakoide als Teile eines Membransystems je nach den herrschenden Bedingungen ineinander überführt werden können. Auf der Basis der Proteinbausteine ist diese Veränderung an einer bevorzugten Synthese der für die jeweilige Membran-Modifikation charakteristischen Proteine erkennbar.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Es wird untersucht, auf welche Weise sich das Membransystem bei *R. rubrum* Veränderungen der Kulturbedingungen anpasst.
2. Als Versuchsanordnung wird der Wechsel von Schwachlicht-mittlere Lichtintensität-Schwachlicht gewählt. Hierzu werden unter Schwachlicht angezogene Zellen 5 Std aerob bei 4000 Lux und anschliessend bei 400 Lux anaerob bebrütet.
3. Während der 5 Std bei 4000 Lux werden die vesikulären Thylakoide abgeflacht. Im Schwachlicht entstehen wieder Vesikel.
4. Bei 4000 Lux wird die zunächst gleichmässig in Thylakoide und cytoplasmatische Membran inkorporierte Radioaktivität [$2\text{-}^{14}\text{C}$]Azetat stark auf die Seite der Cytoplasmamembran verschoben. Unter Schwachlicht (400 Lux) wird diese Verschiebung wieder ausgeglichen.
5. Der spezifische Bacteriochlorophyll-Gehalt der Thylakoide sinkt bei 4000 Lux von 100 auf 45 μg Bacteriochlorophyll pro mg Protein ab und steigt in der darauf folgenden Periode bei 400 Lux wieder auf 80 μg wieder an.
6. Das Proteinmuster der Thylakoide nähert sich bei mittlerer Lichtintensität (4000 Lux) einer der cytoplasmatischen Membran ähnlichen Zusammensetzung. Unter Schwachlicht (400 Lux) wird wieder das Proteinmuster normaler Thylakoide angestrebt.
7. Durch radioaktive Markierung der Thylakoidproteine wird gezeigt, dass unter mittlerer Lichtintensität (4000 Lux) Proteine syntetisiert werden, die für den Aufbau der cytoplasmatischen Membran charakteristisch sind. Die Proteine, die unter dem anschliessend eingestrahnten Schwachlicht (400 Lux) bevorzugt gebildet werden, sind typische Thylakoidbausteine.
8. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass abhängig von den Kulturbedingungen bei *R. rubrum* die cytoplasmatische Membran zu Thylakoiden und Thylakoide zu cytoplasmatischer Membran umgewandelt werden können.

DANK

Wir danken Frl. R. Ladwig für die Anfertigung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen. Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Stiftung Volkswagenwerk durchgeführt.

LITERATUR

1. E. S. BOATMAN UND H. C. DOUGLAS, *Abstr. 5th Intern. Congr. Electron Microscopy, Philadelphia*, Vol. 2, RR 7 (1962).
2. P. GIESBRECHT UND G. DREWS, *Arch. Mikrobiol.*, 43 (1962) 152.
3. G. COHEN-BAZIRE UND R. KUNISAWA, *J. Cell Biol.*, 16 (1963) 401.

- 4 A. GORCHEIN, A. NEUBERGER UND G. H. TAIT, *Proc. Roy. Soc. London, Ser. B*, 170 (1968) 311.
- 5 A. GORCHEIN, A. NEUBERGER UND G. H. TAIT, *Proc. Roy. Soc. London, Ser. B*, 170 (1968) 319.
- 6 J. OELZE, M. BIEDERMANN UND G. DREWS, *Biochim. Biophys. Acta*, 173 (1969) 430.
- 7 J. OELZE UND G. DREWS, *Biochim. Biophys. Acta*, 173 (1969) 448.
- 8 J. OELZE, M. BIEDERMANN, E. FREUND-MÖLBERT UND G. DREWS, *Arch. Mikrobiol.*, 66 (1969) 154.
- 9 J. OELZE UND G. DREWS, *Arch. Mikrobiol.*, 69 (1969) 12.
- 10 R. S. CRIDDLE, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 20 (1969) 239.
- 11 O. H. LOWRY, M. J. ROSEBROUGH, A. L. FARR UND R. J. RANDALL, *J. Biol. Chem.*, 193 (1951) 265.
- 12 J. H. C. SMITH UND A. BENITEZ, in K. PAECH UND M. V. TRACEY, *Moderne Methoden der Pflanzenanalyse*, Band 4, Springer, Berlin, 1955, p. 179.
- 13 T. C. HALL UND F. C. COCKING, *Biochem. J.*, 96 (1965) 626.
- 14 H. BAUM, H. J. SILMAN, J. S. RIESKE UND S. H. LIPTOW, *J. Biol. Chem.*, 242 (1967) 4870.
- 15 K. TAKAYAMA, D. H. MACLENNAN, A. TZAGOLOFF UND C. D. STONER, *Arch. Biochem. Biophys.*, 114 (1966) 223.
- 16 G. FAIRBANKS, C. LEVINthal UND R. H. REEDER, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 20 (1965) 393.
- 17 E. KELLENBERGER, A. RYTER UND J. SECHAUD, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 4 (1958) 671.
- 18 M. J. KARNOVSKY, *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 11 (1961) 729.
- 19 H. K. SCHACHMANN, A. B. PARDEE UND R. Y. STANIER, *Arch. Biochem. Biophys.*, 38 (1952) 245.
- 20 G. COHEN-BAZIRE, W. R. SISTROM UND R. Y. STANIER, *J. Cellular Comp. Physiol.*, 49 (1957) 25.

Biochim. Biophys. Acta, 203 (1970) 189-198