Badania nad ruchami fototaktycznymi chloroplastów. II.

Studies on the phototactic movements of chloroplasts. II.

ALICJA ZURZYCKA I JAN ZURZYCKI

(Wpłynęło 2.XI.53 r.)

Celem niniejszej pracy było zbadanie kilku dalszych zagadnień, dotyczących działania światła białego na ruchy fototaktyczne chloroplastów, a mianowicie:

- 1) wpływu stopniowej zmiany intensywności światła na przejście chloroplastów do parastrofii,
- 2) wpływu światła przerywanego na przebieg reakcji fototaktycznych,
- 3) przebiegu reakcji fototaktycznych w zależności od czasu trwania pozycji wyjściowej i
- 4) zmęczenia w ruchach fototaktycznych.

Jako materiału użyto, podobnie jak poprzednio (Zurzycka i Zurzycki 1953) *Lemna trisulca* L. Doświadczenia przeprowadzano przy pomocy aparatury opisanej w jednej z prac poprzednich (Zurzycka i Zurzycki 1951).

1. Wpływ stopniowej zmiany intensywności światła na przejście chloroplastów do parastrofii.

We wszystkich dotychczasowych badaniach wywoływano reakcje fototaktyczne nagłą zmianą intensywności światła. W związku z tym należało sprawdzić, czy zmiana układu chloroplastów w komórce spowodowana jest dostosowywaniem się do nowej intensywności światła, czy też jest rezultatem nagłego skoku intensywności. Dla przekonania się, która z tych możliwości jest słuszna, przeprowadzano rejestrację zmian układu chloroplastów w reakcji epistrofia — parastrofia przy stopniowej zmianie intensywności światła (z 90 luksów na 13300). Stopniową zmianę intensywności światła osiągnęto przez przesuwanie lampy na ławie optycz-

Ryc. 1. Zmiany układu chloroplastów przy stopniowym zwiększaniu intensywności światła przez przybliżanie lampy o 2 cm co 15 minut. Rzędne — procent epistrofii, odcięte — położenie lampy na ławie optycznej. Punkty 1—5 oznaczają średni procent epistrofii uzyskany w badaniach poprzednich dla różnej intensywności światła przy zastosowaniu nagłej zmiany intensywności.

Fig. 1. Changes in chloroplasts arrangement caused by increasing light intensity when the lamp is approached 2 cm every 15 mins. Abscissae — percentage of epistrophe, ordinates — distance of lamp. Spots 1—5 indicate the average epistrophe percentage obtained in previous investigations for sudden changes in intensity of light.

nej co 15 minut o 2 cm. Odpowiada to w przybliżeniu średniemu wzrostowi intensywności o około 10%.

Wynik doświadczenia (ryc. 1) pozwala stwierdzić, że niezależnie od tego czy intensywność światła jest zmieniana stopniowo czy nagle, układ końcowy chloroplastów jest identyczny — jest on zatem zależny wyłącznie od intensywności światła a nie od jej skoku.

2. Wpływ światła przerywanego na przebieg reakcji fototaktycznych.

Badania nad działaniem światła przerywanego miały na celu rozstrzygnięcie zagadnienia, czy układ chloroplastów dostosowuje się do sil-

nej intensywności światła, działającej z przerwami, tak jak gdyby działała ona ciągle, czy też odpowiada średniej intensywności, wynikającej z sumy padającego światła.

Światło przerywane dozowano przy pomocy sektora, wykonującego 1 obrót w ciągu 16 sekund. Światło silne miało natężenie 8300 luksów, światło słabe (otrzymane przez osadzenie matówki na sektorze) intensywność 400 luksów. Stosowano działanie światła o stosunku światło silne do światło słabe — 1:1 i 3:1.

Ryc. 2. a. Przebieg reakcji fototaktycznej przy naświetlaniu światłem ciągłym —x—, oraz przerywanym w stosunku 1:1 sek —●—, i 8:8 sek —○—. Odcięte czas w minutach, rzędne procent epistrofii

b. Przebieg reakcji fototaktycznej przy naświetlaniu światłem ciągłym —x—, i przerywanym w stosunku 1,5:0,5 sek. —●—, i 12:4 sek. —○—. Odcięte — czas w minutach, rzędne — procent epistrofii.

Fig. 2. a. Course of phototactic reaction in continuous light —x—, and in light interchangeable in ratio of 1:1 secs —●—, and 8:8 secs —○—. Abscissae — time in mins, ordinate — epistrophe percentage.

b. Course of phototactic reactions in continuous light —x—, and in light interchangeable in ratio of 1,5:0,5 secs —●—, and 12:4 secs —○—. Abscissae — time in mins. ordinate — epistrophe percentage.

W wypadku pierwszym (stos. 1:1) działano okresami 1:1 lub 8:8 sek. Średnia intensywność światła wynosiła 4300 luksów. Wyniki tego doświadczenia przedstawia ryc. 2a. Ryc. 2b przedstawia wyniki podobnego doświadczenia, przeprowadzonego dla stosunku światło silne: światło słabe — 3:1, dozowanego w okresie 1,5:0,5 i 12:4 sek. Średnie końcowe % epistrofii (z 6 powtórzeń) osiągnięte w wymienionych powyżej wypadkach przedstawia Tablica I.

TABLICA I

Światło silne: światło słabe — 1:1 (Średnia intensywność 4300 luksów)		Światło silne: światło słabe — 3:1 (Średnia intensywność 6300 luksów)	
1:1 sek.	44,56	1,5:0,5 sek.	16,62
8:8 sek.	45,08	12:4 sek.	20,20
kontrola	41,50	kontrola	19,90

Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że układ chloroplastów dostosowuje się zawsze do średniej intensywności światła, wynikającej z sumy światła padającego, niezależnie od tego, czy jest ono dozowane w sposób ciągły, czy przerywany oraz niezależnie od sposobu przerywania.

3. Przebieg reakcji fototaktycznych w zależności od czasu trwania pozycji wyjściowej.

W badaniach poprzednich stwierdzano sporadycznie, że szybkość reakcji fototaktycznych zdaje się niekiedy zależeć od czasu w jakim chloroplasty były ustawione w położeniu początkowym. Dla sprawdzenia tej hipotezy przeprowadzono badania przebiegu reakcji fototaktycznych w tych samych komórkach liścia

- 1) po $1/2$ godziny utrzymywania chloroplastów w pozycji wyjściowej,
- 2) po 5 godzinach utrzymywania chloroplastów w pozycji wyjściowej.

Wyniki doświadczeń przedstawia ryc. 3 a-d. Pozycjami wyjściowymi były: epistrofia (reakcja epistrofia — apostrofia i epistrofia — parastrofia), parastrofia (reakcja parastrofia — epistrofia) oraz apostrofia (reakcja apostrofia — epistrofia).

Jak wynika z wykresów przebieg reakcji jest w granicach błędu identyczny, jest zatem niezależny od poprzedniego naświetlania. Według Senna (1908) chloroplasty z dużymi ziarnami skrobi poruszają się wolniej niż chloroplasty bez skrobi. Jednak ani czas 5 godzin ani intensywność 13300 luksów nie była wystarczająca na utworzenie takiej ilości skrobi, która mogłaby wpływać na szybkość reakcji.

4. Zmęczenie w ruchach fototaktycznych.

Celem tej części pracy było stwierdzenie czy często powtarzane reakcje fototaktyczne przebiegają jednakowo, niezależnie od ilości powtó-

Ryc. 3a-d. Przebieg reakcji fototaktycznej w tych samych komórkach przy poprzednim trwaniu pozycji wyjściowej 30 minut —●— i 5 godzin —○—, a — reakcja epistropia-parastrofia, b — reakcja parastrofia-epistropia, c — epistropia-apostropia, d — apostropia-epistropia.

Fig 3a-d. Course of phototactic reaction when the initial arrangement lasted 30 mins —●— and when it lasted 300 mins. —○—. The same cells were used in both cases, a — epistrophe-parastrophe reaction, b — parastrophe-epistrophe reaction, c — epistrophe-apostrophe reaction, d — apostrophe-epistrophe reaction.

rzeń, czy też podlegają zjawisku zmęczenia, objawiającym się w wolniejszym przebiegu lub ustaniu reakcji.

W reakcji epistropia — parastrofia — epistropia (zmiana intensywności światła 90 — 13300 — 90 luksów co 40 minut) w ciągu 10 — 12 godzin trwania doświadczenia chloroplasty reagują bardzo regularnie, osiągając po 40 minutach pełną epistropię względnie parastropię. Krzywe otrzymane dla tych reakcji (ryc. 4a), odznaczają się we wszystkich po-

Ryc. 4. Przebieg wielokrotnie powtarzanych reakcji fototaktycznych. Światło silne (13300 luksów) , światło średniej intensywności (90 luksów) , ciemność . Odcięte — czas w godzinach, rzędne — procent epistrofii.

Fig. 4. Course of often repeated reactions. Strong light (13300 luxes) , medium light (90 luxes) , darkness . Abscissae — time hours, ordinates — epistrophe percentage.

wtórzeniach niezwykle regularnością, a procenty epistrofii po określonym czasie trwania reakcji są w większości wypadków bardzo zbliżone.

Reakcję epistrofia — apostrofia — epistrofia wywoływano stosowaniem 40-minutowych okresów światła słabego (90 luksów) i ciemności. W powtarzających się okresach światła i ciemności zostaje zawsze uzyskana epistrofia (często ponad 100% w porównaniu z epistrofią początkową), natomiast apostrofia, silna w pierwszym okresie ciemności, w następnych staje się coraz słabsza, aż wreszcie zaciemnienie nie wywołuje przesunięcia chloroplastów do apostrofii (ryc. 4b).

Reakcję parastrofia — apostrofia — parastrofia uzyskiwano stosowaniem 40 minutowych okresów światła silnego (13300 luksów) oraz dłuższych (ze względu na długość przebiegu reakcji parastrofia — apostro-

fia) 80 minutowych okresów ciemności. Jak wynika z ryc. 4c, ucieczka chloroplastów do parastrofii odbywa się mniej więcej regularnie w ciągu całego czasu trwania doświadczenia, natomiast przebieg reakcji parastrofia — apostrofia jest niejednolity. Jak stwierdzono poprzednio (Zurzycka i Zurzycki 1953), reakcja ta przebiega w dwu fazach. W pierwszej chloroplasty przechodzą do epistrofii, w następnej przybierają układ właściwy apostrofii. O ile początkowo wymienione procesy przebiegają typowo, to w dalszych istnieje tylko szybki powrót do epistrofii. Druga część reakcji natomiast następuje coraz słabiej i w końcu apostrofia nie tworzy się w ogóle i w ciemności utrzymuje się epistrofia.

Doświadczenia te wskazują, że wywołanie parastrofii względnie epistrofii odbywa się bardzo regularnie, reakcje tego typu nie podlegają zatem zmęczeniu. Natomiast reakcja epistrofia — apostrofia a również druga część reakcji parastrofia — apostrofia, podlega zmęczeniu już po kilku kolejnych powtórzeniach i apostrofia w ogóle nie zostaje osiągnięta. Układem w którym utrzymują się chloroplasty po zmęczeniu jest epistrofia.

Zjawisko zmęczenia występujące w reakcji epistrofia — apostrofia potwierdza wysuniętą już poprzednio hipotezę o biologicznym charakterze tej reakcji (Zurzycka i Zurzycki 1950). Zjawisko zmęczenia tłumaczy w dużym stopniu trudności z otrzymywaniem apostrofii i spotykany często przy tej reakcji nieregularny jej przebieg.

Streszczenie wyników.

1. Układ chloroplastów jest identyczny, zarówno wówczas, gdy zmiana intensywności jest dozowana w formie skoku, jak i wówczas, gdy intensywność wzrasta stopniowo z uniknięciem skoku.
2. Przy świetle przerywanym układ chloroplastów odpowiada średniej intensywności wynikającej z sumy padającego światła.
3. Przebieg reakcji fototaktycznych jest niezależny od czasu trwania chloroplastów w pozycji wyjściowej.
4. Przy wielokrotnie powtarzanych reakcjach fototaktycznych epistrofia i parastrofia zostaje stale osiągana normalnie, natomiast reakcja epistrofia — apostrofia ulega zmęczeniu, co objawia się utrzymywaniem się epistrofii w ciemności.

Z Zakładu Fizjologii Roślin U. J.

SUMMARY

This investigation has been undertaken to examine further the influence of white light on phototactic movements of chloroplasts in *Lemna trisulca* L.

1. Influence of gradual changes in light intensity on the epistrophe — parastrophe reaction.

In all previous investigations phototactic reactions were induced by sudden changes in light intensity. It has appeared necessary to examine whether the changes in chloroplast arrangements in cells are caused by accomodation of chloroplasts to the new intensity, or by the jump in light intensity. For this purpose the intensity of light has been altered gradually by altering the distance of its source every 15 mins by 2 cms, simultaneously the changes in chloroplast arrangements have been registered. The results obtained (fig. 1) show that the final arrangement of chloroplasts is the same both when the intensity of light is changed gradually or suddenly. The arrangement is therefore dependent on the intensity and not on the jump.

2. Influence of interchangeable strong and weak light.

Experiments with interchangeable strong and weak light have been carried out to establish, whether the arrangement of chloroplasts accomodates itself to strong light acting at intervals so as if the strong light were continuous or whether the chloroplast arrangement is accomodated to the average intensity of the sum total of acting light. Interchangeable light was regulated by a sector. The intensity of strong light was 8300 luxes and of weak light 400 luxes, in the later case a dim glass was placed on the sector. When strong and weak light were used in the ratio of 1:1 the intervals were 1:1 and 8:8 secs. The average intensity was then 4300 luxes. When strong and weak light were used in the ratio of 3:1 the intervals were 1,5:0,5 and 12:4 secs. Characteristic results in these cases are given in fig. 2 a and b, while the average final percentage of epistrophe (from 6 countings) in Table I.

From these results it appears that the chloroplast arrangement is always accomodated to the average intensity of the sum total of acting light and is not dependent on the way light is regulated e. i. it will be the same both when the light is steady and when it is interchangeable.

3. Influence of the time the initial arrangement is maintained on the course of phototactic reactions.

To examine this problem the experiment was repeated twice: once when the initial arrangement was maintained half an hour, and the second

time when this position was maintained for 5 hours. The results are given in fig. 3 a — d. It appears from the curves that, within limits of error, the course of reactions does not depend on the time the foregoing intensity of light lasts.

4. Exhaustion of phototactic movements.

In the epistrophe — parastrophe — epistrophe reaction (intensity of light is changed every 40 mins) during the 10 — 12 hours the experiment lasts, the chloroplasts react very regularly. They attain full epistrophe or parastrophe after 40 mins. The curves for these reactions are in all repetitions extremely regular.

The epistrophe — apostrophe — epistrophe reaction was induced by 40 min. intervals of medium light and darkness. During the repeated intervals of light and darkness epistrophe is usually obtained (often in more than 100%). However apostrophe obtained very fully at first, is reached later in a smaller degree, and finally, intervals of darkness do not induce the displacement of chloroplasts to apostrophe.

The parastrophe — apostrophe — parastrophe reaction was obtained by 40 min. intervals of strong light and 80 min. intervals of darkness. The intervals of darkness were longer because the parastrophe — apostrophe reaction is much slower. As it appears from fig. 4 the displacement of chloroplasts to parastrophe is more or less regular, throughout the experiment. However, the course of the parastrophe — apostrophe reaction develops in two stages: in the first chloroplasts reach epistrophe, and in the second they attain the proper apostrophe arrangement. At first this double process develops regularly, but after some time only epistrophe is reached very quickly, much quicker than before, while the second stage is continued less often. Finally apostrophe is never reached and epistrophe is maintained in darkness.

These experiments show that parastrophe and epistrophe are obtained without disturbances, and these reactions are not exhausted. On the other hand the epistrophe — apostrophe and the second stage in the parastrophe — apostrophe reactions can be exhausted after several successive repetitions. *When after exhaustion chloroplasts cease to reach apostrophe, they remain in epistrophe.* Exhaustion in the epistrophe — parastrophe reaction confirms the hypothesis made in a previous paper that this reaction is of a biological character. This explains also the irregularities observed often in the course of this reaction and the difficulties in obtaining it.

LITERATURA

1. Senn G., 1903. Die Gestalts — und Lageveränderung der Pflanzenchromatophoren. Engelmann Leipzig.
2. Zurzycka A.a. Zurzycki J., 1950. The influence of temperature on the phototactic movements of chloroplasts. *Acta Soc. Bot. Pol.* 20 665—680.
3. Zurzycki J. a. Zurzycka A., 1951. Investigation onto phototactic movements of chloroplasts in *Selaginella Martensii* Spring. *Bull. Acad. Pol. des Sciences et des Lettres. Serie B. I.* 235 — 251.
4. Zurzycka A. i Zurzycki J., 1953. Badania nad ruchami fototaktycznymi chloroplastów. I. (Studies on the phototactic movements of chloroplasts. I.) *Acta Soc. Bot. Pol.* 22 667 — 678.