

# Wpływ jonów niektórych metali na szybkość ruchów fototaktycznych chloroplastów

*The influence of some metallic ions on the phototactic movements of chloroplasts.*

ALICJA ZURZYCKA i JAN ZURZYCKI

wpl. 24.III.51.

## I. W s t ę p.

Przy badaniu wpływu temperatury na szybkość ruchów fototaktycznych chloroplastów (Z u r z y c k a i Z u r z y c k i, 1950) stwierdzono w pewnych typach reakcji fototaktycznych brak zależności szybkości ruchu od temperatury. Wraz z temperaturą zmienia się jednak niewątpliwie lepkość plazmy (B e l e h r a d e k, 1935), stanowiącej ośrodek dla poruszających się chloroplastów. Tym samym powinny się zmieniać i opory, przeciwstawiające się temu ruchowi, ponieważ opór ośrodka zależy przede wszystkim od jego lepkości.

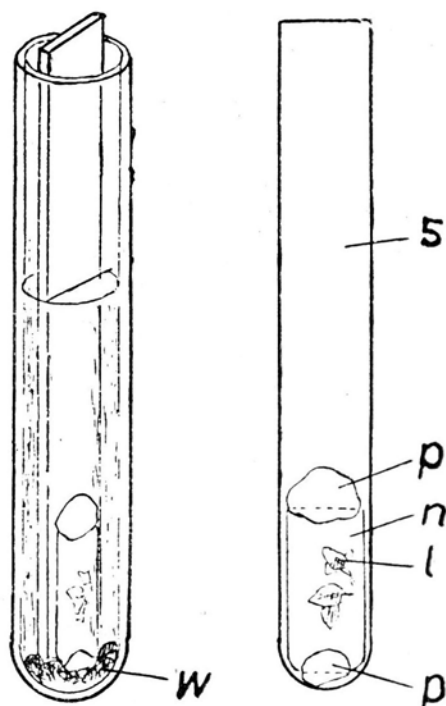
Należałoby więc przypuszczać, że przy pewnych typach ruchów fototaktycznych szybkość przemieszczania się chloroplastów jest albo niezależna od lepkości ośrodka, albo zależna w tak małym stopniu, że nawet przy zastosowaniu metody statystycznej, mimo jej względnej dokładności nie udało się tej zależności wykazać.

Ponieważ jony metali alkalicznych i ziem alkalicznych wpływają w pierwszym rzędzie na zmianę lepkości plazmy (F r e y - W y s s l i n g, 1948), celem niniejszej pracy było stwierdzenie w jaki sposób zmienia się lepkość plazmy w komórkach liści *Lemna trisulca* L., poddanych działaniu jonów niektórych z wymienionych wyżej metali, oraz w jaki sposób w takich warunkach przebiegają ruchy fototaktyczne chloroplastów.

## II. Materiał i metoda.

Do doświadczeń użyto rośliny wodnej *Lemna trisulca* L. Obserwacje przeprowadzano na brzeźnych i szczytowych partiach liścia, gdzie mezofil składa się tylko z jednej warstwy komórek.

Badane liście poddawano działaniu jonów następujących metali: potasu, litu, magnezu i wapnia. Do sporządzania roztworów użyto chlorków tych metali. Stężenie badanych roztworów było hypotoniczne i wynosiło 1/10 wartości osmotycznej komórki. Ponieważ wartość ta, wyznaczona przy pomocy metody plazmolizy granicznej w sacharozie wynosi około 0,4 M, stężenie użytych roztworów utrzymane było na poziomie 0,04 M, przy założeniu całkowitej dysocjacji soli. pH użytych roztworów wynosiło dla sacharozy 6,25, dla chlorku potasu 5,90, chlorku litu 5,60, chlorku magnezu 5,82, chlorku wapnia 5,50. Liście przeznaczone do badań umieszczano w powyższych roztworach na 4 do 6 godzin przed rozpoczęciem obserwacji.



Ryc. 1. Sposób zmontowania liście do wirowania: a — probówka wirówki, s — szkiełko przedmiotowe odpowiednio doszlifowane, n — szkiełko nakrywkowe, l — liść, p — parafina, w — kłębek waty. Leaf prepared for centrifugation. a — tube of centrifuge, s — slide glass specially ground, n — cover glass, l — leaf, p — paraffin, w — cotton wool ball.

Kontrolę zmian lepkości przeprowadzano metodą wirowania (Weber, 1923). Posługiwano się wirówką elektryczną firmy Janetzky, Leipzig typu ZE-3. Badany liść umieszczony był na szkiełku przedmiotowym, tak doszlifowanym, aby wchodziło do wnętrza próbówki wirówki, i przykrywany szkiełkiem nakrywkowym odpowiednich rozmiarów. Brzegi obu szkiełek łączono przy pomocy parafiny. Takie zmontowanie zapewniało odpowiednie zorientowanie liścia w stosunku do kierunku działania siły odśrodkowej (ryc. 1). Próbówki wypełniano mniej więcej do połowy roztworem sacharozy lub odpowiedniej soli.

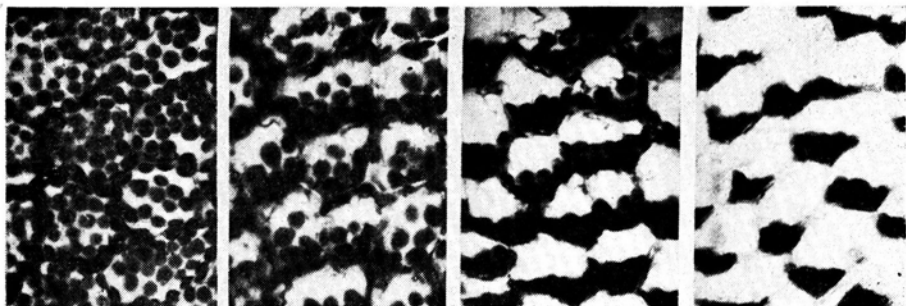
Wirowanie odbywało się przy 2.800 obr/min. co dawało przyspieszenie  $1200 \times g$ . Za czas wirowania uważano okres najwyższych obrotów wirówki (uruchamianie i zatrzymywanie wirówki trwało około 30 sekund, co mogło mieć wpływ tylko na bardzo krótkie czasy wirowania). Czasy wirowania zmieniano, przedłużając stopniowo o dwie lub cztery minuty. Bezpośrednio po ukończeniu wirowania określano procent odwirowanych chloroplastów. Określanie odbywało się przez oszacowanie w każdej komórce jednego ze stanów, przy którym 0, 25, 50, 75 lub 100% chloroplastów ulegało odwirowaniu; następnie obliczano średnią z 25 komórek danego liścia. Jako względną miarę lepkości przyjęto czas potrzebny do zupełnego odwirowania chloroplastów. Podczas wirowania temperatura zmieniała się bardzo nieznacznie (przy najdłuższym wirowaniu, trwającym około 30 minut wzrastała o  $3^{\circ}$ ). Temperatura roztworów w próbkach ustalana była przed wirowaniem na około  $19^{\circ}$ , po skończonym wirowaniu wynosiła więc najwyżej  $21,5 - 22^{\circ}$ . Zgodnie z wynikami poprzedniej pracy można przyjąć, że powyższe wahania nie mają istotnego znaczenia.

Otrzymywanie położeń wyjściowych chloroplastów w komórce, oraz badanie przebiegu reakcji i określania czasu reakcji odbywało się identycznie jak w poprzedniej pracy (Zurzycki i Zurzycki, 1950). Badania mikroskopowe przeprowadzano w temperaturze  $20^{\circ} + 1^{\circ}$ .

### III. Wyniki badań.

#### Zmiany lepkości plazmy określane metodą wirowania.

Po kilkuminutowym wirowaniu liści umieszczonych poprzednio w wodzie lub w 0,04 M sacharozie, chloroplasty zaczynają ulegać przesunięciu na jedną stronę komórki (ryc. 2 b). W miarę zwięk-



Ryc. 2. Kolejne stadia odwirowywania chloroplastów. A — epistrofia przed wirowaniem, B i C — postępujące odwirowywanie, D — zupełne odwirowywanie. Successive stages of separation of chloroplasts. A — epistrophe before centrifugation, B and C — different stages of centrifugation, D — arrangement after centrifugation.

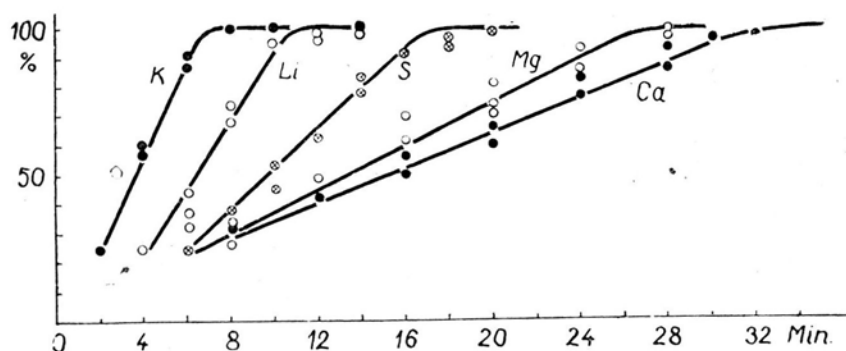
szania czasu wirowania coraz więcej chloroplastów zostaje odrzuconych na brzeg komórki. Odwirowywanie jest równomierne i mniej więcej proporcjonalne do czasu wirowania. Po około 10 minutach połowa chloroplastów zostaje odwirowana, a po 18—20 minutach wszystkie chloroplasty skupione są w jednym miejscu komórki (ryc. 2 d). Dalsze zwiększenie czasu wirowania nie zmienia już zasadniczo otrzymywanego obrazu. Odwirowanie chloroplastów jest nietrkałe. Po wyjęciu z wirówki chloroplasty zaczynają z powrotem wędrować na puste ściany komórki, osiągając po 10—30 minutach swój normalny układ.

Opisany proces odwirowywania chloroplastów ma podobny przebieg w czasie zarówno wówczas, gdy pozycją wyjściową jest epistrofia, jak i wówczas, gdy wyjściowym położeniem chloroplastów przed wirowaniem jest położenie boczne: apostrofia względnie parastrofia. Dlatego w dalszych doświadczeniach z wirowaniem ograniczono się do epistrofii jako pozycji wyjściowej.

W komórkach poddanych uprzednio działaniu hypotonicznego roztworu chlorku potasu, chloroplasty ulegają przesunięciu znacznie szybciej. Już po 7—8 minutach następuje zupełne odwirowywanie. Przebieg odwirowywania jest bardzo regularny, podobnie jak w kontroli w cukrze.

Działanie soli litu jest nieco słabsze. Przesuwanie chloroplastów jest znacznie szybsze niż w kontroli, ale wolniejsze niż w roztworze KCl. Prócz tego przebieg odwirowywania jest nieco mniej regularny niż w poprzednich roztworach.

Działanie dwu pozostałych soli na plazmę powoduje zwolnienie szybkości odwirowywania chloroplastów; jony magnezu — mniejsze, jony wapnia znacznie większe (ryc. 3).



Ryc. 3. Przebieg odwirowywania chloroplastów w komórkach poddanych działaniu różnych roztworów. Odcięte — czas wirowania w minutach, rzędne — procent odwirowanych chloroplastów. Centrifugation of chloroplast in cells treated with different solutions. Abscissae — time in minutes of centrifugation, ordinates — percentage of displaced chloroplasts.

Najkrótsze czasy potrzebne do całkowitego odwirowywania chloroplastów zależą zatem wybitnie od rodzaju jonów, których działaniu zostały komórki uprzednio poddane. Czasy te, mogące być względną miarą lepkości przedstawia tablica I.

TABLICA I.

Roztwór	Czas odwirowania w min.
sacharoza	17,0
chlorek potasu	6,7
chlorek litu	10,8
chlorek magnezu	26,7
chlorek wapnia	32,0

Wpływ badanych jonów na przebieg reakcji epistrofii-a-parastrofia.

W roztworze sacharozy przebieg reakcji jest identyczny jak w wodzie. W roztworach LiCl i KCl reakcja zachodzi natomiast znacznie szybciej, zwłaszcza w roztworze cukru, gdzie średni czas reakcji jest prawie połową czasu reakcji kontroli. Natomiast roztwory MgCl<sub>2</sub> i CaCl<sub>2</sub> znacznie opóźniają ruch chloroplastów. Szczegółowe dane przedstawia tablica II.

gólnie silne prawie pięciokrotne opóźnienie daje chlorek wapnia. Wyniki liczbowe doświadczeń wraz ze średnią obliczoną z czterech powtórzeń przedstawia Tablica II.

TABLICA II.

Roztwory	Czas reakcji w min.				Średni czas reakcji w min.
sacharoza	8,9	8,8	11,2	7,2	$9,02 \pm 0,78$
chlorek potasu	5,8	7,6	5,9	4,3	$5,72 \pm 1,06$
chlorek litu	10,8	8,1	6,6	5,6	$7,70 \pm 1,29$
chlorek magnezu	17,6	23,2	24,8	22,6	$22,05 \pm 1,63$
chlorek wapnia	48,6	68,0	50,0	36,2	$50,70 \pm 1,96$

### Wpływ badanych jonów na przebieg reakcji epistrofia-apostrofia.

W sacharozie ruch chloroplastów jest identyczny jak w wodzie, czas reakcji wynosi około 30 minut. Czas wstępny reakcji okazał się wybitnie skrócony w porównaniu z poprzednimi wynikami (Zurzycka i Zurzycki, 1950). Prawdopodobnie jest to związane z inną porą roku, w której przeprowadzano obecne doświadczenia (późna jesień). Podobnie jak w poprzedniej reakcji sole litu i potasu działają wybitnie przyspieszająco na proces poruszania się chloroplastów. KCl powoduje znów skrócenie do połowy czasu reakcji. Czas wstępny reakcji jest przy działaniu obu tych soli mniej więcej taki sam jak w sacharozie. Sole magnezu i wapnia powodują zwolnienie ruchu chloroplastów, jakkolwiek stosunkowo słabsze niż w poprzedniej reakcji (wapń przedłuża tylko dwukrotnie czas reakcji). Czas wstępny reakcji wzrasta przy tym bardzo nieznacznie. Czasy reakcji z czterech powtórzeń oraz obliczoną średnią przedstawia tablica III (w nawiasach podano wstępne czasy reakcji).

TABLICA III.

Roztwór	Czas reakcji w min.								Średni czas reakcji w min
sacharoza	(11,6)	25,2	(10,8)	34,4	(0)	27,2	(4,0)	35,2	30,50±2,50
chlorek potasu	(8,0)	15,6	(9,6)	17,0	(3,0)	12,2	(10,6)	12,0	14,20±1,29
chlorek litu	(8,0)	30,4	(11,2)	26,6	(14,4)	25,0	(19,0)	27,0	27,25±3,87
chlorek magnezu	(39,2)	35,0	(11,0)	42,4	(17,2)	43,2	(2,0)	26,4	39,00±3,79
chlorek wapnia	(13,8)	73,2	(23,0)	100,4	(24,8)	84,6	(23,6)	64,8	80,75±11,62

### Wpływ badanych jonów na przebieg reakcji parastrofia-epistrofia.

W 0,04 M sacharozie reakcja przebiega równie szybko jak w wodzie. Żaden z użytych roztworów nie wpływa wyraźnie na zmianę szybkości przebiegu reakcji. Czasy reakcji obliczone z poszczególnych powtórzeń wykazują te same wartości zarówno w roztworze KCl jak i  $\text{CaCl}_2$ . Drobne różnice w wartościach średnich obliczonych z czterech powtórzeń nie przekraczają nigdy granicy błędu. W roztworach  $\text{MgCl}_2$  i  $\text{CaCl}_2$  występuje tylko zazwyczaj epistrofia niezupełna. Na ściany górne i dolne komórek przechodzi tylko część chloroplastów, lecz ten stan utrzymuje się i mimo dalszego naświetlania chloroplastów nie przybywa. W tabelicy IV zestawiono wyniki doświadczeń.

T A B L I C A IV.

Roztwór	Czas reakcji w min.				Średni czas reakcji w min.
sacharoza	7,7	5,0	5,9	7,1	$6,42 \pm 0,61$
chlorek potasu	7,8	6,4	6,7	7,1	$7,00 \pm 0,32$
chlorek litu	5,9	6,4	7,1	7,8	$6,80 \pm 0,41$
chlorek magnezu	9,0	6,2	7,7	8,0	$7,72 \pm 0,58$
chlorek wapnia	8,2	7,5	5,1	6,2	$6,75 \pm 0,90$

### Wpływ badanych jonów na przebieg reakcji apostrofia-epistrofia.

Podobnie jak w poprzedniej reakcji szybkość przemieszczeń fototaktycznych chloroplastów jest identyczna w wodzie, sacharozie i w każdej z użytych soli. Wahania obliczonych średnich są stosunkowo nieznaczne. Niezupełna epistrofia obserwowana była tylko w kilku wypadkach w roztworze  $\text{CaCl}_2$ . Zestawienie wyników podaje tablica V.

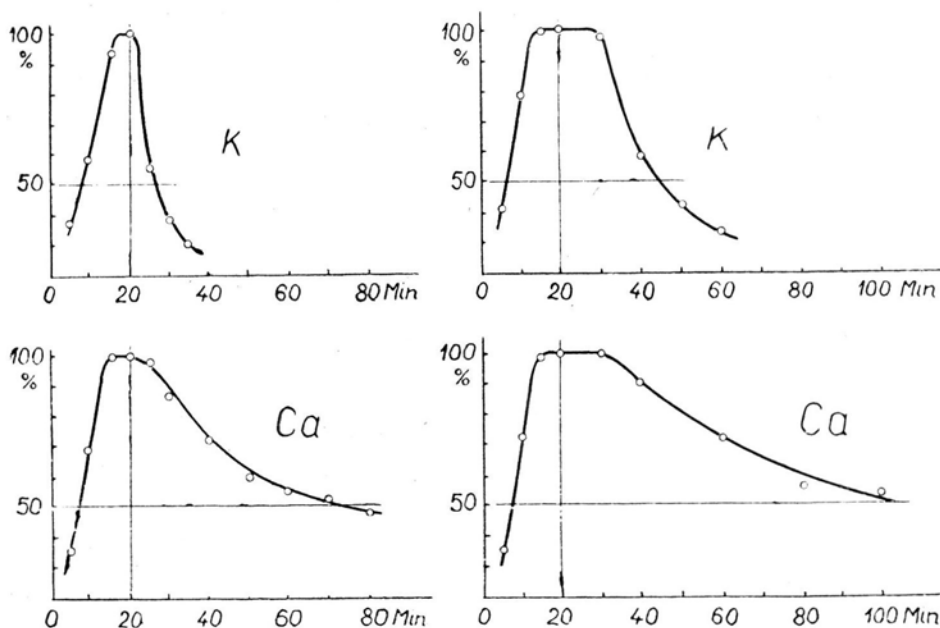
T A B L I C A V.

Roztwór	Czas reakcji w min.				Średni czas reakcji w min.
sacharoza	7,3	7,9	8,2	—	$7,80 \pm 0,55$
chlorek potasu	9,6	6,9	6,3	5,2	$7,00 \pm 0,93$
chlorek litu	8,0	5,8	7,7	7,4	$7,13 \pm 0,53$
chlorek magnezu	5,5	8,3	6,3	7,8	$6,95 \pm 0,61$
chlorek wapnia	7,3	7,1	8,6	8,9	$7,97 \pm 1,03$

## IV. Dyskusja wyników.

Metoda wirowania jest najbardziej precyzyjną ze wszystkich metod pomiaru lepkości plazmy, możliwych do zastosowania w komórkach liścia *Lemna trisulca* (Weber 1923, Makarov 1948). Otrzymane wyniki wskazują na dużą regularność z jaką odbywa się odwirowanie chloroplastów. Warunkiem dobrego odwirowania jest pełna żywotność komórek. W komórkach uszkodzonych lub martwych, choć wyglądających zewnętrznie podobnie do normalnych, odwirowanie następuje słabo lub nie następuje w ogóle.

W porównaniu z wynikami Voerk'l'a (1934) wykazują nasze obserwacje zasadniczą różnicę co do przebiegu procesu odwirowania. Voerk'l twierdzi, nie podając jednak dokładnych da-

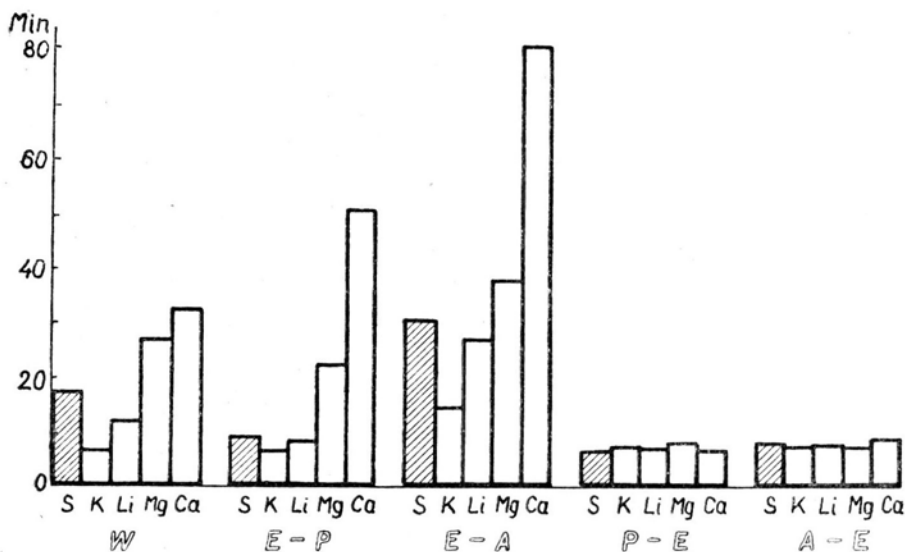


Ryc. 4. Przebieg reakcji fototaktycznych chloroplastów. U góry — w komórkach poddanych działaniu roztworów KCl, poniżej — w komórkach poddanych działaniu CaCl<sub>2</sub>. Na lewo reakcja parastropfia - epistropfia - parastropfia, na prawo reakcja apostropfia - epistropfia - apostropfia. Zmiana oświetlenia następowała w 20 minucie. Development of phototactic reactions of chloroplasts: above — in cells treated with KCl solutions, below — in cells treated with CaCl<sub>2</sub> solutions, left — parastrophe - epistrophe - parastrophe reaction; right — apostrophe - epistrophe - apostrophe reaction. Change of illumination in 20th minute.



nych, że siła odśrodkowa nie wywiera początkowo żadnego wpływu na chloroplasty i dopiero po pewnym czasie następuje zwykle nagłe przemieszczenie się chloroplastów. W naszych doświadczeniach chloroplasty u *Lemna trisulca* były odwirowywane równomiernie i bardzo regularnie mniej więcej proporcjonalnie do czasu wirowania. Natomiast podobnie jak to ma miejsce u innych roślin (V o e r k e l 1934, T i m m e l 1928) stwierdziliśmy, że i u *Lemna* wirowanie nie wywiera szkodliwego działania na komórki i po krótkim czasie odwirowane chloroplasty wracają do pierwotnego położenia. Wartości bezwzględne czasów wirowania przy pozycjach wyjściowych epistrofii i apostrofii są w pewnym stopniu zbliżone do danych otrzymanych przez V o e r k l'a. Porównanie utrudniają bardzo duże wahania temperatury w doświadczeniach tego autora. Natomiast nie stwierdziliśmy u *Lemna* wyraźnej obniżki lepkości plazmy, wywołanej naświetlaniem powodującym parastrofię, jak to miało miejsce u *Funaria hygrometrica*. Być może jest to związane ze stosunkowo słabszymi intensywnościami światła, użytymi przez nas do wywołania parastrofii. Identyczny przebieg procesu odwirowywania w sacharozie i w wodzie świadczy, że roztwór sacharozy nie wywiera wpływu na lepkość plazmy. Jest to zupełnie zrozumiałe z uwagi na minimalne stężenia sacharozy. Lepkość plazmy zależy w dużej mierze od obecności jonów nieorganicznych, które działają na heteropolarne wiązanie kohezyjne i zmieniają w ten sposób hydratację plazmy (F r e y - W y s s l i n g 1948). W naszych doświadczeniach jony potasu i litu zmniejszały lepkość, zaś jony magnezu i wapnia zwiększały lepkość plazmy, co wyrażało się w przyspieszaniu lub opóźnianiu tempa odwirowywania chloroplastów. Zmieniona lepkość plazmy nie wywiera jednakowego wpływu na szybkość wszystkich reakcji fototaktycznych chloroplastów. W reakcjach, w których położeniem wyjściowym jest epistrofia, istnieje korelacja między szybkością ruchów chloroplastów a lepkością plazmy; gdy natomiast pozycją wyjściową w reakcji jest położenie boczne chloroplastów (parastrofia lub apostrofia) brak takiej korelacji. Wyraźnie widoczne jest to z Tablicy VI oraz ryc 5, gdzie przedstawiono czasy reakcji w porównaniu z kontrolą (sacharozą).

Szybkość reakcji pierwszego typu epistrofia - parastrofia i epistrofia - apostrofia jest wyraźnie zależna od lepkości ośrodka, a niejednokrotnie przyspieszanie względnie opóźnianie obu należących tu reakcji świadczy za tym, że mechanizm tych reakcji, być może



Ryc. 5. Czasy odwirowywania chloroplastów i czasy reakcji fototaktycznych chloroplastów w roztworach sacharozy i różnych soli. Time of centrifugation of chloroplasts and time of phototactic reaction of chloroplasts in saccharose and different solutions.

TABLICA VI.

	Sacharoza	K	Li	Mg	Ca
Wirowanie	17,0	6,7	10,8	26,7	32,0
Epistrofia — parastrofia	9,02	5,72	7,70	22,05	50,70
Epistrofia — apostrofia	30,50	14,20	27,25	39,00	80,75
Parastrofia — epistrofia	6,42	7,00	6,80	7,72	6,75
Apostrofia — epistrofia	7,80	7,00	7,13	6,95	7,97

podobny nie jest jednak identyczny. Należy podkreślić, że czas wstępny przy reakcji epistrofia - apostrofia ulega bardzo nieznacznym zmianom pod wpływem użytych jonów. Natomiast szybkość przemieszczania się chloroplastów w reakcji parastrofia - epistrofia i apostrofia - epistrofia, gdzie położeniem wyjściowym chloroplastów jest ustawienie profilowe, jest niezależna od lepkości plazmy. Zgadza się to z poprzednimi wynikami (Zurzycka i Zurzycki 1950), gdzie wykazano niezależność przebiegu tych reakcji od temperatury i stanowi potwierdzenie postawionej na wstępie hipotezy.

## V. Streszczenie wyników.

1. Przy pomocy metody wirowania określono względne zmiany lepkości plazmy w komórkach *Lemna trisulca* poddanych dzia-

łaniu hypotonicznych roztworów LiCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> i CaCl<sub>2</sub>. Stwierdzono, że jony działają upłynniająco względnie usztywniająco na plazmę według szeregu  $K > Li > Mg > Ca$ .

2. W powyższych roztworach zbadano przebieg reakcji fototaktycznych epistrofia - parastrofia, epistrofia - apostrofia, parastrofia - epistrofia, apostrofia - epistrofia. Stwierdzono, że szybkości dwu pierwszych reakcji (położeniem wyjściowym — płaskie położenie chloroplastów) ulegają zmianie pod wpływem działania tych soli, przy czym jony potasu i litu działają przyspieszająco, jony magnezu i wapnia opóźniająco. Przy pomocy stosowanej metody nie stwierdzono wpływu jonów na szybkość reakcji w tych wypadkach gdy położeniem wyjściowym chloroplastów jest położenie profilowe (reakcja parastrofia - epistrofia i apostrofia - epistrofia).

Panu Prof. Dr F. Górskiemu, Kierownikowi Zakładu Fizjologii Roślin składamy serdeczne podziękowania za cenne uwagi i wskazówki.

## S U M M A R Y

An important factor when considering the valocity of any movement is the resistance of the medium which depends on its viscosity. The lack of influence of temperature on the velocity of some phototactic reactions of chloroplasts suggest that the velocity of these reactions is not dependent on the viscosity of the protoplasm though the viscosity varies undoubtedly together with any change of temperature. In order to check this supposition the phototactic movements of chloroplasts were investigated in cells of *Lemna trisulca* L. in which the viscosity of the protoplasm was altered by the presence of ions of alkaline metals and alkaline earths. During 4—6 hours preceding the experiments leaves of *Lemna trisulca* were treated with KCl, LiCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub> solutions as well as with an isosmotic saccharose solution, the concentration of which was 0,04 M (1/10 of the osmotic value of the cell). The temperature in all experiments was  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

The changes in viscosity were detected by centrifugation. For this purpose the leaf was prepared on the objective slide and placed in the tube of a centrifuge; this warrented a determined position relatively to the centrifugal force. Centrifugation was made at  $1200 \times g$  (2800 revolutions per minute). After centrifugation the percentage of chloroplasts separated was determined. The transposition of chloroplasts began in the the first minutes of centrifuga-

tion and steadily increased throughout this process. Both in water and saccharose all chloroplasts were separated after approximately 18 minutes. The course of separating was identical whether the starting position was the epistrophe, the apostrophe or the parastrophe. The difference between the observations here described and Voerke'l's results on *Funaria* were discussed. The ions have a very considerable influence on the viscosity of protoplasm. The solutions ranged in an ascending scale of effectiveness to decrease the viscosity of the protoplasm are:  $K > Li > \text{saccharose} > Mg > Ca$ .

The phototactic reactions were induced and their development observed by the same method as in the previous investigation. Relatively to the control experiment the epistrophe - parastrophe reaction was accelerated in K and Li salts and retarded in Mg and Ca salts. This also was the case in the epistrophe - apostrophe reaction, but the time of the preliminary period varied only insignificantly in the different salts. On the other hand in the parastrophe-epistrophe and the apostrophe - epistrophe reactions no essential differences in the velocity of reactions in various salts could be noticed. From these observations it appears that the viscosity of protoplasm has an important influence on the velocity of chloroplast movements only when in their initial position the chloroplasts are horizontal (epistrophe) and when in their initial position the chloroplasts are arranged vertically (parastrophe or apostrophe) the velocity of their movement seems to be independent of viscosity.

Z Zakładu Fizjologii Roślin U. J. Kraków.

#### LITERATURA

1. Bělehradek J. 1935. Temperature and living matter. Berlin 1935. (Protoplasma Monographien Vol. 8).
2. Frey-Wyssling, A. 1948. Submicroscopic Morphology of Protoplasm and its derivatives. Amsterdam 1948.
3. Makarow P. W. 1948. Fiziko-chemiczne swojstwa kletki i metody ich izuczenia. Leningrad 1948.
4. Timmel, H. 1928. Zentrifugenversuche über die Wirkung chemischer Agentien insbesondere des Kaliums auf die Viscosität des Protoplasmas. Protoplasma, 3, 197—212.
5. Voerke'l, H. 1934. Untersuchungen über die Phototaxis der Chloroplasten. Planta, 21, 156—205.
6. Weber, F. 1924. Methoden der Viscositätsbestimmung des lebendigen Protoplasmas. Abderhalden Hb. der biologischen Arbeitsmethoden, XI, T. 2. 656.
7. Zurzycka A. i Zurzycki J. 1950. The influence of temperature on the phototactic movements of chloroplasts Acta Soc. Bot. Pol. 20, 665—680.